

CLAP2022

Actas

Segundo Congreso Latinoamericano de
Agricultura de Precisión



Organizadores



GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

ISBN 978-987-88-9088-3

2º Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión -CLAP 2022
Asociación Latinoamericana de Agricultura de Precisión : 2º Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión : CLAP 2022 / compilación de Ricardo Melchiori ; Gabriel Pablo Espósito ; editado por Ricardo Melchiori ; Alejandra Kemerer. - 2a ed volumen combinado. - Río Cuarto : Gabriel Pablo Esposito, 2023.
Libro digital, PDF - (CLAP / Ricardo Melchiori)

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-88-9088-3

1. Agricultura de Precisión. I. Melchiori, Ricardo, comp. II. Espósito, Gabriel Pablo, comp. III. Kemerer, Alejandra, ed. IV. Título.
CDD 630.7

ISBN 978-987-88-9088-3



Comisión organizadora

Presidente: Ing. Agr. Dr. Gabriel Espósito (Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina)

Vicepresidente: Ing. Agr. MSc. Fernando Scaramuzza (INTA Manfredi)

Secretaria: Ing. Agr. Dra. Mónica Balzarini (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Tesorero: Ing. Agr. MSc. Cecilia Cerliani (Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina)

Pro Tesorero: Ing. Agr. Dra. Cecilia Bruno (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Vocales:

Ing. Agr. Diego Villarroel (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. Dr. Sergio Abascal (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)

Ing. Agr. Rafael Naville (Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina)

Ing. Agr. Juan Pablo Vélez (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. Dr. Pablo Pacchiorretti (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Ing. Agr. Dr. Mariano Córdoba (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Ing. Agr. MSc. Silvia Olivo (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. MSc. Diego Mathier (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. Sebastián Muñoz (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. Franca Gianini (UN Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Colaboradores:

Sec. María Eugeni (INTA Manfredi, Argentina)

Lic. Mauro Bianco Gaido (INTA Manfredi, Argentina)

Tec. Lucas Cuevas (INTA Manfredi, Argentina)

Lic. Soledad Puechagut (INTA Manfredi)

Comisión científica

Presidente: Ing. Agr. MSc. Ricardo Melchiori (INTA Paraná, Argentina)

Vicepresidente: Ing. Agr. Dr. Rodrigo Ortega Blu (Universidad Santa María, Chile)

Comité:

Ing. Agr. MSc. Alejandra Kemerer (INTA Paraná, Argentina)

Ing. Agr. MSc. Susana Albarenque (INTA Paraná, Argentina)

Ing. Agr. Dra. Mónica Balzarini (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Ing. Agr. Dr. Sergio Abascal (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)

Ing. Agr. Diego Villarroel (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. Dr. Rajiv Khosla (Colorado State University, EEUU)

Ing. Agr. Dr. Guillermo Balboa (Nebraska State University, EEUU)

Ing. Agr. Dr. José Paulo Molin (Universidad de San Pablo, Brasil)

Ing. Agr. Dr. Rodolfo Bongiovanni (INTA Manfredi, Argentina)

Ing. Agr. Dra. Cornelia Weltzien (Leibniz Institute for Agricultural Engineering, Alemania)

Ing. Agr. Dr. Telmo Carneiro Amado (Universidad Federal de Santa María, Brasil)

Ing. Agr. Dra. Adriana Gili (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)

Ing. Agr. Dr. Darío Aimar (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)

Esp. Carlos Ferrero (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)



II Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión

“Gestionando la variabilidad para una producción sustentable”

19° Capacitación INTA Ag-Tech

Córdoba (Argentina), 30-31 de marzo y 1 de abril de 2022

Bajo el lema “Gestionando la variabilidad para una producción sustentable” el Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2022) en el marco del 19° Capacitación INTA AgTech 2022, tuvo como objetivo impulsar la investigación y desarrollo de tecnologías de precisión. El programa académico presentó los principales avances científicos para la gestión de la variabilidad espacial en la agricultura sustentable. El encuentro permitió el intercambio entre asistentes, presentadores y representantes de instituciones y universidades y ofreció una experiencia única a nivel científico, académico, técnico y también cultural. En forma complementaria, la capacitación INTA Ag Tech, se enfocó en la aplicación y uso de las AgTech en el lote y cuanto aportan a la nueva agricultura digital. El encuentro contó con disertaciones principales sobre: La ambientación y la variabilidad espacio temporal de los Recursos Naturales, Experiencias e innovaciones en mecanización y herramientas de Agricultura de Precisión en Argentina, Datos espacio-temporales en Agricultura de Precisión: Conocimientos y Perspectivas, Tecnologías de detección, análisis y tratamiento variable en protección de cultivos y sobre el Papel de la biota en el delineamiento de ambientes de producción. Además, se realizaron diversas presentaciones orales y en paneles con asistencia de sus principales autores

El CLAPP 2022 se realizó en el tradicional punto de encuentro; la Estación Experimental INTA Manfredi, institución pionera de la Agricultura de Precisión en Argentina que desde 1995 viene desarrollando estas tecnologías e impulsando el desarrollo agroindustrial del país. Este evento fue organizado en forma conjunta con las Estaciones Experimentales Agropecuarias, INTA Paraná e INTA Marcos Juárez y las Universidades Nacionales de Río Cuarto, Córdoba y La Pampa con el marco de la Asociación Latinoamericana de Agricultura de Precisión (ASLATAP), resaltando la continuidad en la realización de estos eventos científicos y la evolución de los mismo desde su inicio en Chile 2018. El marco de este evento, con más de 1000 asistentes, entre ellos, investigadores latinoamericanos de Agricultura de Precisión, profesionales, productores y estudiantes de grado y post grado de carreras afines a la temática que estuvieron presentes, demostró una vez más el interés y la importancia de esta temática que de modo transversal es demandada y utilizada por empresas de diferentes estratos productivos y de interés a la investigación.

El libro proyecta los resúmenes técnicos científicos de las 5 sesiones en que se organizó el CLAP2022, las mismas estuvieron pensadas en los pasos que se transitan por el proceso productivo en cada toma de decisiones. Las áreas temáticas fueron: I) Variabilidad de recursos naturales, II) Equipamientos para agricultura de precisión, III) Datos espaciales y IV) Economía y gestión de la variabilidad. En cada una de estas áreas, investigadores nacionales e internacionales, referentes en las temáticas abordadas fueron los encargados de llevar adelante diferentes conferencias. El evento académico contó con más de 100 trabajos de investigación que a continuación se relejan en el presente libro, donde el comité científico seleccionó 36 trabajos que fueron presentados en forma oral presencial y virtual.

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

AREA TEMATICA 1. VARIABILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES

EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO Y AGUA EN CAÑA DE AZUCAR POR ZONAS DE MANEJO FERNÁNDEZ, H; ACRECHE M; SPERANZA F. ...	11
RELACIÓN ENTRE POTENCIAL HÍDRICO, CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y TEMPERATURA DE CANOPIA EN VIÑEDO MONTROYA, M; DALMASSO, J; FERRARI, F; MUNAFÓ, M. ...	16
DELIMITACIÓN DE ZONAS DE PRODUCCIÓN HOMOGÉNEA EN CAÑA DE AZÚCAR Y RELACIÓN CON REGIONES AGROLÓGICAS FANDOS, C; SORIA, F; SCANDALIARIS, P; CARRERAS BALDRÉS, J.	20
ZONIFICACIÓN DEL ÁREA CAÑERA SEGÚN PERÍODOS DE COSECHA FANDOS, C; SORIA, F; FORCINITI, J; CARRERAS BALDRÉS, J; SCANDALIARIS, P; ROMERO, E.	24
PREDICCIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA RESPUESTA EN RENDIMIENTO DE TRIGO Y MAÍZ Y NECESIDAD DE NITRÓGENO EN FUNCIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PREVIAS A LA SIEMBRA PAUTASSO, J; BARBAGELATA, P; MELCHIORI, R.	29
ALTERNATIVAS DE MEDICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO PARA LA DEFINICIÓN DE ZONAS DE MANEJO SITIO ESPECÍFICO MCDERMOT, T; VÁZQUEZ, J; MUÑOZ, M; REPOSO, G; MARTÍNEZ, M; ROJO, V; GUEÇAIMBURU, J.	34
CORRELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NO SOLO BOTTEGA, E; AMARAL, L; AMADO, T; SEVERO, T; PINTO, E; ASSMAN, J.	39
CUANTIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUPERFICIE Y PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA EN SUELOS DEL SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA ERCOLE, H; ALTOBELO, M; CAVANAGH, M; DALI, D.	44
APLICACIÓN DE TECNICAS DE TELEDETECCION EN LA IDENTIFICACION DE VARIABILIDADES FISICO-QUIMICAS EN PROYECTOS AGROFORESTALES BISONÓ, A; GONZALEZ, G.	49
USO DE MUESTREOS SISTEMÁTICOS PARA ESTIMAR PRODUCCIÓN, CURVAS DE CALIBRE Y MEJORAS EN EL MANEJO DE HUERTOS DE CIRUELO EUROPEO (PRUNUS DOMESTICA) ORTEGA, R; POBLETE, H; MARTÍNEZ, M; POBLETE, C.	53
EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SENSOR SOILOPTIX PARA CARACTERIZAR LA VARIABILIDAD INTRALOTE EN SUELOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS RAMÍREZ, S; HILL, S; KEMERER, A; NOVELLI, L; MELCHIORI, R.	54
RENDIMIENTOS DE MAÍZ A DISTINTAS DENSIDADES DE SIEMBRA Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DE SITIO A ESCALA DE LOTE EN EL VALLE DE LERMA. VALDEZ NAVAL, G; ACIAR, L; CÁCERES DÍAZ, R; PATRESE RESINA, E; CANCINOS, E; LEDESMA, F.	59

AREA TEMATICA 2. EQUIPAMIENTOS PARA TECNOLOGÍAS DE PRECISIÓN

TRATAMIENTO INTELIGENTE DE MALAS HIERBAS A TRAVÉS DE ISOBUS LOPEZ CORREA, J; ANDÚJAR, D.	61
AUTOMATED VIGOR ESTIMATION ON VINEYARDS PANTOJA, M; HONEYMAN LUCCHINI, A; GUTIERREZ, C; GUERRERO, D.	62
RESPUESTA DEL ACTUADOR HIDRONEUMÁTICO TWIN FORCE SOBRE CALIDAD DE SIEMBRA Y RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (ZEA MAÍZ L) SCARAMUZZA, F; VILLARROEL, D; OLIVO M.	68
CAMPERO FERTILIZADORAS. APP UTILITARIA PARA REGULACIÓN DE FERTILIZADORAS POR PROYECCIÓN D'AMICO, J; MICHELETO, M; EGGLY, G; CROCIONI, S.	73
DISEÑO DE UNA RED DE DRENAJE SUPERFICIAL EN UN HUERTO DE PALTOS UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE TERRENO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ALEGRIA AYALA, M.	74
USO DE PLATAFORMA WEB PARA LA GESTIÓN DE DATOS KEMERER, A; MELCHIORI, R.	76
LOS DESAFÍOS DE LA ROBÓTICA EN LOS CULTIVOS INTENSIVOS PARA ALCANZAR LA AGRICULTURA DIGITAL PICCINI, E.	81
SISTEMA AUTOMÁTICO DE MAPEO DE RENDIMIENTO COMO SOPORTE PARA IMPLEMENTAR LA FRUTICULTURA DE PRECISIÓN PICCINI, E.	86
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO RPAS EQUIPADO CON SENSOR RGB LÓPEZ CANTEÑS, G; PÉREZ PAREDES, J.	91
AUTOMATIZACIÓN DE AIREACIÓN DE GRANOS PARA SILOS DE PRODUCTORES Y PEQUEÑOS ACOPIOS DE LA TORRE, D; BARTOSIK, R.	96
MONITORING OF THE SPATIAL VARIABILITY OF SUGARCANE QUALITY FROM NIR SPECTROSCOPY CORRÊDO, L; MOLIN, J.	102
RESPUESTA DEL ACTUADOR HIDRONEUMÁTICO TWIN FORCE SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (ZEA MAÍZ L) SCARAMUZZA, F; VILLARROEL, D; OLIVO, S.	103
NUEVO MODELO ESPECTRAL PARA DETECCIÓN DE ANTRACNOSIS EN FRUTOS DE MANGO BASADO EN ANÁLISIS HIPERESPECTRAL Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS DISCRIMINANTE VELÁSQUEZ, C; PRIETO, F; BORRÁS, N; CUBERO, S; BLASCO, J.	104
RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS EN DOSIFICADORES MATERMACC SOBRE CALIDAD DE SIEMBRA Y RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (ZEA MAÍZ L) SCARAMUZZA F; VILLARROEL D; OLIVO S.	105
DESEMPEÑO DE COSECHADORA CON SISTEMAS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICOS TOURN, S ; VAZQUEZ, J; PLATZ, P; MERANI, V; MUR, M; LARRIEU, L; FERRO, D; GUILINO, F; PEREIRA, E; GIAMBELLUCA, A.	110

USO DE PILOTO AUTOMÁTICO EN PLANTACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) RODRIGUEZ, R.	115
EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS EN EL USO DE HERRAMIENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN RODRIGUEZ, R.	116
USING COMPUTER VISION AND RGB IMAGES TO QUANTIFY PLANT SPATIAL DISTRIBUTION IN CORN VILA, S; TOLEDO, A; LOPEZ-CORREA, J; PERALTA-CUQUEJO, R; BALBOA, G.	118
USO DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS PARA ESTABLECER NIVELES DE ESTRÉS HÍDRICO EN OLIVARES CON RIEGO POR GOTEO CAPRARO, F; VITA SERMAN, F; TOSETTI, S; BABELIS, G.	119
DISPOSITIVO IOT DE BAJO COSTO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AGRO-HIDROLÓGICAS LÓPEZ, E; PRODOLLIET, J; CONTINI, G; VIONNET, C; PAREDES, V; DUNGER, G; MAIZTEGUI, J; GIECCO, J; BLUMENTHAL, M.	124
ODAPES: GIVING ACCESS TO IN THE DIGITAL TRANSFORMATION FOR ALL FARMERS RUBIN, M; ORTEGA, R.	129
ESTIMACIÓN DE LA EVOLUCIÓN EN LA ADOPCIÓN DE COMPONENTES DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS VILLARROEL, D; SCARAMUZZA, F; MELCHIORI, R.	130
DESARROLLO DE APPS PARA ESTABLECIMIENTOS LECHEROS CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTES (ELCI) AIMAR, M; CARIDAD DEL R, J; MORA MORA, M; GARCÍA, C; LA MANNA, A; DEZA, C; CHARLÓN, V; MANCUSO, W; COSTAMAGNA, D; GIMÉNEZ, G; MAEKAWA, M; MORETTO, M; FAVERIN, C; TIERI, M; GARCÍA, F; SALVADOR, L; GODOY, J; TENTOR, G; OLIVO, A; CRAVERO, C; PÉREZ, G; NEGRI, L.	135

AREA TEMATICA 3 – ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES Y/O ECONOMETRÍA

NATURAL AND FERTILIZER-PLACEMENT INDUCED NUTRIENT VARIABILITY FERNÁNDEZ, F.	137
ANÁLISE E INTERPOLAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS DE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E GERAÇÃO DE MAPAS DE INTERPRETAÇÃO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA LAURENTI, N; RODRIGUES, J; GUIMARÃES, E; MACEDO PEZZOPANE, J; BERNARDI, A.	138
MINERÍA VERDE DE PRECISIÓN AUTOMATIZADA: CONVENIENCIA DE MANEJO POR AMBIENTES SEGÚN EL BALANCE DE NITRÓGENO SIMPLIFICADO PARA MAÍZ Y EXTRACCIÓN NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS CORIGLIANO, J; BONGIOVANNI, C.	140
OPTIMIZACIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO Y DENSIDAD DE PLANTAS EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA VIDELA-MENSEGUE, H.; CAVIGLIA, O; SALAFIA, A; Y PIETRANTONIO, J.	145
META, NUEVO MÉTODO PARA LA COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE ZONAS EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN CÓRDOBA M; PACCIORETTI P; BALZARINI M.	150
ÍNDICE DE DIGITALIZAÇÃO DE SOJICULTORES BRASILEIROS DALBEM, D; AMADO, T; ALVES LEÃO, T; ACOSTA, J.	155
DETECCIÓN TEMPRANA DE ANTRACNOSIS EN ALMENDRO MEDIANTE PARÁMETROS ESPECTRALES DE CASTRO, A; TORRES SÁNCHEZ, J; PEÑA, J; LOVERA, M; JIMÉNEZ BRENES, F; ARQUERO, O; LÓPEZ GRANADOS, F.	160
DETERMINACION DE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN CULTIVOS EN AMBIENTES CON DIFERENCIA EN EL POTENCIAL DE HUMEDAD FARRELL, M; KENT, F.	162
UTILIZACIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES ESPACIALES COMO INDICADORES DE AMBIENTACIÓN PARA CULTIVO DE CEBADA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA FERRERO, C; GILI, A; AIMAR, D; ABASCAL, S.	163
IMPACTO ECONÓMICO DE LA FECHA DE SIEMBRA VARIABLE EN MAÍZ ESPÓSITO, G; CERLIANI, C; FISSORE, M; NAVILLE, R.	167
ZONIFICACIÓN DE LOTE Y ANÁLISIS DE DATOS DE MONITORES DE RENDIMIENTO CON FASTMAPPING PACCIORETTI, P; CÓRDOBA, M; BALZARINI, M.	172
MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL AJUSTE DE CURVAS DE RESPUESTA DESDE ENSAYOS DE TASA VARIABLE DE INSUMOS PACCIORETTI, P; GIANNINI-KURINA, F; BRUNO, C; CÓRDOBA, M; BULLOCK, D.	173
VARIACIÓN DEL EFECTO DE INSUMO DENTRO DEL LOTE. MODELOS DE REGRESIÓN CON COEFICIENTES ESPACIALMENTE VARIABLES PACCIORETTI, P; GIANNINI-KURINA, F; CÓRDOBA, M; BULLOCK, D; BALZARINI, M.	178
COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA EL MAPEO DE LA VARIABILIDAD INTRALOTE SUAREZ, F; PACCIORETTI, P; CÓRDOBA, M; BALZARINI, M.	183
USO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN MULTIESPECTRALES PARA EL FENOTIPADO DEL DESARROLLO FENOLÓGICO EN SOJA [GLICINE MAX (L.) MERRILL] PEIRONE, L; CICONI, E; OGANDO, F; RASPA, F; OVANDO, G; VEGA, C.	188

AREA TEMATICA 4 – GESTION DE LA VARIABILIDAD

MANEJO VARIABLE DE FÓSFORO EN TRIGO: AJUSTE DE LA DOSIS MEDIANTE EL MUESTREO DE SUELO EN GRILLA SAINZ ROZAS, H; ANGELINI, H; LARREA, G; AVILA, O; EYHERABIDE, M; PEREZ, M; REUSSI CALVO, N; CARCIOCHI, W; CRESPO, C; BARBIERI, P; WYNGAARD, N.	193
RENDIMIENTO ALCANZABLE DE HÍBRIDOS DE MAÍZ DESTINADOS A LA ELABORACIÓN DE SILO DE PLANTA ENTERA EN EL VALLE DE LERMA. VALDEZ NAVAL, G; ALANÍS, A; CHÁVEZ, P; CARRIZO, M; SILVESTRE OLGUÍN, M; PEREYRA, R.	194
EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA FLORACIÓN EN CEREZOS (PRUNUS AVIUM) MEDIANTE ÍNDICES VEGETACIONALES ESPECIALIZADOS, UTILIZANDO IMÁGENES MULTIESPECTRALES. HONEYMAN, A; RUBIO, A; SEGUEL, B	195
REFERTILIZACIÓN EN TRIGO BASADA EN EL MODELO N-INTA VS ZONAS DE MANEJO. MELCHIORI, R; KEMERER, A; FACCENDINI, N; BRACCO, J.	201
MONITOREO SATELITAL DEL ESTATUS NITROGENADO EN MAÍ. LAPAZ OLVEIRA, A; CASTRO-FRANCO, M; SAÍNZ ROZAS, H; CARCIOCHI, W; BALZARINI, M; ÁVILA, O; LARREA, G; TOVAR HERNÁNDEZ, S; RODRÍGUEZ, M; REUSSI CALVO, N.	206
AN INTEGRATED APPROACH FOR THE ZONING AND CROP ROTATION PLANNING PROBLEM IN A CONTEXT OF ORGANIC AGRICULTURE . ALBORNOZ, V; ZAMORA, G.	212
EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN COMO DESCRIPTORES DE LA VARIABILIDAD INTRALOTE DE RENDIMIENTO DE MAÍZ EN LA CUENCA DEL SALADO. GARELLO, F; CICCHINO, M; MELANI, E.	217
RESPUESTA A DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN, Y EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE DIFERENTES PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA AMBIENTACIÓN, EN UN SUELO DE LA PLANICIE MEDANOSA DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA CENTRAL. FERRERO, C; ABASCAL, S; AIMAR, D; GILI, A.	222
MONITOREO Y DIAGNÓSTICO DE NUTRICIÓN NITROGENADA EN RAIGRÁS. MELCHIORI, R; HILL, S; MELCHIORI, A; PAUTASSO, J; MALTESE, N; KEMERER, A; VEIK, V; FACCENDINI, N; BRACCO J.	223
OPTIMIZACIÓN DE LA RENTABILIDAD AGRÍCOLA POR SELECCIÓN DE SECTORES PRODUCTIVOS INTRALOTE. MARTÍNEZ BOLOGNA, G; ESPÓSITO, G; MARTÍNEZ ALVAREZ, D; BONGIOVANNI, M; ODETTI, J.	228
¿LAS HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN SATELITAL PERMITEN MONITOREAR LOS REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO EN MAÍZ? LAPAZ OLVEIRA, A; CASTRO-FRANCO, M; SAÍNZ ROZAS, H; CARCIOCHI, W; BALZARINI, M; TOVAR HERNÁNDEZ, S; ÁVILA, O; LARREA, G; RODRÍGUEZ, M; REUSSI CALVO, N.	234
ÉPOCA ÓPTIMA DE SIEMBRA DE SÉSAMO (SESAMUM INDICUM L.) VARIEDAD ESCOBA BLANCA, EN EL DEPARTAMENTO DE GUAIR. SILVERO ESPÍNOLA, M.	240

VARIABILIDAD INTRA-LOTE DE LA RESPUESTA A FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE SIEMBRA A PARTIR DE ENSAYO DE EXPERIMENTACIÓN PRECISA (OFPE). GELICH, M; PACCIORETTI, P; GIANNINI-KURINA, F.	244
DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN ARROZ. HILL, S; MELCHIORI, R; KEMERER, A.	249
EXPERIENCIAS EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y AJUSTES DE DOSIS DE INSUMOS EN MAÍZ EN ZONAS DE ALTA PRODUCCIÓN EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA. LUCERO, M; NAVILLE, R; CERLIANI, C.	254
ESTACIÓN MÓVIL DE BALANCE DE ENERGÍA PARA EVALUAR PRODUCTOS DE SATÉLITE Y REANÁLISIS COMO ALTERNATIVA DE CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN VID . DALMASSO, J; MONTOYA, M; FERRARI, F; RIVAS, R; FACUNDO, C.	259
DOSIS VARIABLE Y EFICIENCIA DE USO DE FOSFORO EN TRIGO EN EL CENTRO OESTE BONAERENS. PEREZ, G; ESTELRRICH, C; MELION, D; ZANETTINI, J.	260
EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE RUEDAS TAPADORAS EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO EN MAÍZ Y GIRASOL. LARRIEU, L; MERANI, V; FERRO, D; GUILINO, F; VAZQUEZ, J; GIAMBELLUCA, A; PEREIRA, E; TOURN, S; PLATZ, O; MUR, M.	265
SISTEMA NEUMÁTICO DE CONTROL DE CARGA. INCIDENCIA SOBRE LA UNIFORMIDAD TEMPORAL Y EL RENDIMIENTO DE CULTIVOS DE MAÍZ Y GIRASOL. MUR, M; TOURN, S; PLATZ, P; LARRIEU, L; FERRO, D; GUILINO, F; VÁZQUEZ, J; GIAMBELLUCA, A; PEREIRA, E; MERANI, V.	271
RELACIÓN ENTRE LA MATERIA ORGÁNICA Y RENDIMIENTO A ESCALA DE LOTE. VÁZQUEZ, J.; MUÑOZ, M; VARGAS, L; FILIPINI, S; ZABALA, S.	276
COMBINACIÓN OPTIMIZADA DE POBLACIÓN DE PLANTAS Y FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO Y NITRÓGENO EN MAÍZ EN LAS LAJITAS (SALTA). FLORES POZZI, L; MARINCIONI, GUSTAVO; PICCO, N.	281
DIAGNÓSTICO SITIO-ESPECIFICO DE NITRÓGENO EN TRIGO MEDIANTE IMÁGENES VISIBLES OBTENIDAS CON UN DRO. ROMPANI, J; PAGANI, A.	286
INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA UNA PRODUCCIÓN FRUTÍCOLA SUSTENTABLE: EL CASO DE LA ROSA SOFRUCO SA. POBLETE, H; MARTÍNEZ, M; ORTEGA, R; POBLETE, C.	287
VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRODUCTIVIDAD DE DIFERENTES CULTIVOS ANTE VARIACIONES EDÁFICAS Y TOPOGRÁFICAS A NIVEL INTRA-LOTE EN EL CENTRO-OESTE BONAERENSE. PAGANI, A; GIRÓN, P; ROMPANI, J.	288
EVALUACIÓN DE MAPAS DE ALTIMETRÍA GENERADOS POR DIFERENTES MAQUINARIAS AGRÍCOLAS COMO CAPA DE DATOS PARA LA PRESCRIPCIÓN DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA VARIABLE EN MAÍZ EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA. DI MENZA, S; STEFANI, E.	289

RENTABILIDAD ESTIMADA DEL MANEJO VARIABLE DE FÓSFORO BASADO EN UN MUESTREO DE SUELO EN GRILLA.	295
PAGANI, A; ROMPANI, J.	
CORRELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD PRODUCTIVA INTRALOTE Y LOS INDICES: NDVI, EVI Y SAVI, PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN LOTES DEL SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.	301
SALEME, K; OHANIAN, I; NIETO, A; CERLIANI, C; DEGIOANNI, A.	
ESTIMACIÓN DE ALTURA EN PARCELAS DE TRIGO CON LIDAR Y FOTOGAMETRÍA 3D A BORDO DE UAV.	306
DI LEO, N; LAGLEIZE, A; SKOBALSKI, J.	
ANÁLISIS DE LAS BRECHAS DE RENDIMIENTOS DE MAÍCES EN EL SUR DE MARCOS JUÁREZ.	311
GARIS, A; MARINANGELI, A; PETTINARI, A; MUÑOZ, S; CONDE, M; LINGUA, A; LUQUE, S.	
UTILIZACIÓN DE ÍNDICES MULTIESPECTRALES RELEVADAS MEDIANTE UN UAV PARA LA PREDICCIÓN DE RENDIMIENTO, NÚMERO Y PESO DE GRANOS EN SOJA.	315
OGANDO, F; PEIRONE, L; CICCONI, M; RASPA, F; OVANDO, G, VEGA, C.	
¿CÓMO AFECTA LA PROFUNDIDAD DEL SUELO AL ÍNDICE DE SUFICIENCIA DE NITRÓGENO EN LA CEBADA Y EL TRIGO?	320
LOPEZ DE SABANDO, M; DIAZ-ZORITA, M.	
IMPACTO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE SOJA DE LA ELECCIÓN DE GRUPO DE MADUREZ Y FECHA DE SIEMBRA SEGÚN AMBIENTES.	321
LÓPEZ DE SABANDO, M; GUTIERREZ, J.	
EFFECTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA EMERGENCIA DE MAÍZ SOBRE EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES.	326
ALBARENQUE, S; MAESTRINI, B; DAVIDSON, O; MELCHIORI, R; BASSO, B.	
EFFECTO DE LA EMERGENCIA DESUNIFORME Y LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ.	327
ALBARENQUE, S; BASSO, B.	
EVALUACIÓN DE DOS ÍNDICES ESPECTRALES QUE PERMITAN CUANTIFICAR LA VARIABILIDAD DEL ESTADO NUTRICIONAL EN UN CULTIVO DE MAÍZ.	328
NAVILLE, R; LÓPEZ, M; MINOD, F; CERLIANI, C; ESPÓSITO, G.	
MONITOREO DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL EN LA HUMEDAD DE SUELO Y ESTATUS N EN MAÍZ A ESCALA DE ESTABLECIMIENTO.	332
MALTESE, N; KEMERER, A; MELCHIORI, R; CARRILLO, W.	

AREA TEMATICA 5 – PRECISION EN EL CUIDADO DEL AMBIENT

MULTI-CLASS WEED DETECTION AND CLASSIFICATION SYSTEM FOR TOMATO (SOLANUM LYCOPERSICUL L.) USING NEURAL NETWORKS. TOLEDO, A; LOPEZ CORREA, J; ANDÚJAR, D.	337
MAPEO DIGITAL DE LA DINÁMICA DE HERBICIDAS EN SUELOS. GIANNINI-KURINA, F; HANG, S; BALZARINE, M.	338
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE APLICACIÓN DE HERBICIDA Y CONTROL DE MALEZAS CON DRON Y CON EQUIPO PULVERIZADOR TERRESTRE EN EL CULTIVO DE SOJA. BRUNORI, A; MUÑOZ, S; BELLUCCINI, P; BERGMAN, N; ANTONELLI ROSCH, F.	343
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE APLICACIÓN Y DEL CONTROL DE MALEZAS CON DRON Y CON EQUIPO PULVERIZADOR TERRESTRE EN BARBECHO. MUÑOZ, S; BRUNORI, A; BELLUCCINI, P; BERGMAN, N; ANTONELLI ROSCH, F.	345
NUTRITIONAL ANALYSIS OF NITROGEN, PHOSPHORUS, POTASSIUM, CALCIUM, MAGNESIUM, IRON, MANGANESE AND BORON IN “ROJO BRILLANTE” PERSIMMON LEAVES BY VIS/NIR REFLECTANCE SPECTROSCOPY. ACOSTA, M; RODRÍGUEZ, I; VISCONTI, F; MUNERA, S; DE PAZ, J; QUIÑONES, A; BLASCO, J.	346
DETECCIÓN DE CICATRICES DE INCENDIOS SOBRE CULTIVOS EN LA LLANURA TUCUMANA APLICANDO TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG. SORIA, F; CARRERAS BALDRES, J; SCANDALIARIS, P; FANDOS, C.	347
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MITIGAR ADVERSIDADES EN APLICACIONES DE FITOSANITARIOS EN ZONAS PERIURBANAS. LOIZAGA, U; HIDALGO, R; LEDDA, A; DOMÍNGUEZ, F.	349
MANEJO VARIABLE DEL MAÍZ PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO. ETCHETO, A; BONGIOVANNI, R; ESÓSITO, G.	351
CALIDAD DE TRABAJO DE UNA PULVERIZADORA NEUMÁTICA CON SISTEMA DE APLICACIÓN DIRIGIDA WEED-IT PLATZ, P; MERANI, V; MUR, M; VAZQUEZ, J; LARRIEU, L; FERRO, D; GUILINO, F; PEREIRA, E; GIAMBELLUCA, A; MIOLANO, G; TOURN, S.	355
MANEJO SELECTIVO DE HERBICIDAS Y FERTILIZANTES POR MICROAMBIENTES CON DRON EN CAÑA DE AZÚCAR. LOBO VALLEJO, E.	360
MONITOREO DE MALEZAS EN LOTE MEDIANTE TÉCNICAS DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE OBJETO. GUAITA, N; BARRIONUEVO, N.	361
OPTIMIZACIÓN DEL USO DE HERBICIDAS MEDIANTE MAPAS DE TRATAMIENTO LOCALIZADO OBTENIDOS CON TECNOLOGÍA DRON. DE CASTRO, A; HORNO, C; DORADO-GÓMEZ, J; PEÑA, P	366
PRESCRIPCIÓN SIMPLIFICADA PARA APLICACIONES SELECTIVAS SOBRE MALEZAS CON UAV RG. FORBICE, A; DI LEO, N.	370
AJUSTE DE MODELOS PREDICTIVOS DE ESTIMACIÓN TEMPRANA DE RENDIMIENTO DE MANÍ MEDIANTE NDVI. CERLIANI, C; MORLA, F.	375
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN Y RENDIMIENTOS DE MAÍZ: COMPARACIÓN ENTRE VANT Y OTRAS FUENTES. OREIRO F. A.; POSE M. N.; PUEYO R. I.; SANAHUJA M. E.; ZUBILLAGA M. M.	377

EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO Y AGUA EN CAÑA DE AZÚCAR POR ZONAS DE MANEJO

FERNÁNDEZ, Hugo¹, ACRECHE Martín M.², SPERANZA Flavio¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Yuto. Ruta Nac. 34, Km 1286, Yuto (4518), Jujuy, Argentina.; ²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Salta. Ruta Nac. 68, Km 172, Cerrillos (4403) Salta, Argentina. [*fernandez.hugo@inta.gob.ar](mailto:fernandez.hugo@inta.gob.ar)

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *El rendimiento en caña de azúcar se encuentra fuertemente asociado a la disponibilidad de agua y nitrógeno(N), las cuales presentan grandes variaciones espacio-temporales a nivel de lote, generando diferentes eficiencias de uso del N (EUN) y agua (EUA), que se traducen en un menor aprovechamiento de los recursos disponibles y la imposibilidad de alcanzar rendimientos potenciales. El objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad, EUA y EUN en 2 zonas de manejo (ZM) de un lote, delimitadas en base a imágenes satelitales y a muestreos de suelo. La zona 1(ZM1) presentó textura franco-arenosa, menor NDVI, materia orgánica (MO) y capacidad hídrica de saturación (CHS); y la zona 2(ZM2) textura franco-arcillosa y mayor NDVI, MO y CHS. Durante dos campañas se analizaron los efectos de las zonas y se evaluaron dosis crecientes de N (0; 58, 115 y 173 kg N ha⁻¹) sobre la productividad, EUA y EUN. La ZM2 registró mayores valores que ZM1 para las variables: MST (>10% y >24%); RC (>9% y >16%); EUN (>1,8% y >16,6%) y EUA (>7,13 % y >12,3%) para las campañas 2015/16 y 2017/18, respectivamente. El aumento en la dosis de N incrementó la MST, el RC y la EUA, y disminuyó la EUN, presentando todas las variables mayores valores en ZM2. Estos resultados muestran que la implementación de diagnósticos y recomendaciones sobre las necesidades de agua y de N en caña de azúcar según zonas de manejo podrían ser una estrategia promisoría para realizar un uso más eficiente de estos recursos.*

Palabras clave. Caña de azúcar; zonas de manejo; eficiencia en el uso de recursos; fertilización nitrogenada.

INTRODUCCION

El cultivo de caña de azúcar presenta grandes variaciones espacio-temporales en el rendimiento (Vicini, 2007), entre las causas se encuentran las variaciones en el contenido hídrico y de N del suelo. Para lograr un incremento en los rendimientos con bajo o nulo impacto ambiental, es necesario incrementar la eficiencia en el uso de recursos, generando mayores beneficios económicos y sustentabilidad a la producción (Ciampitti y Garcia, 2007). Con el fin de mejorar la eficiencia productiva y optimizar el uso de recursos se ha impulsado en las últimas décadas el desarrollo de tecnologías y conocimientos para manejar la variabilidad espacio-temporal a nivel de lote (Pierce y Nowak, 1999), entre las que podemos mencionar a los sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores y controladores de aplicación. Estas herramientas contribuyen a integrar y a sintetizar gran cantidad de información a distintas escalas y de diferente naturaleza, lo que permite identificar, con precisión, la potencialidad de cada sitio o zona dentro de los lotes de producción. Conocer como varía la EUA y EUN permitirá adecuar las prácticas de manejo y de realizar un uso más eficiente de los mismos, generando mayor retorno económico al productor y minimizando el impacto ambiental.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en un lote ubicado en la localidad de El Tabacal, Salta, Argentina (23°16'34.7"S 64°15'21.8"O), durante las campañas 2015/16 y 2017/18. Durante la campaña 2015/16 el estudio fue no manipulativo y se analizó el efecto de la ZM sobre la productividad, EUN y EUA. En base a imágenes satelitales y a muestreos de suelo *in-situ*, se delimitaron dos zonas de manejo (ZM1 y ZM2). En cada zona, se tomaron muestras de 10 sitios, se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 10 repeticiones. Durante la campaña 2017/18 se realizó una exploración más intensiva de las zonas, buscando mayor uniformidad en la respuesta de los atributos del rendimiento y de eficiencia. Para ello, se analizaron diferentes niveles de fertilización con N en cada una de las ZM. Las dosis fueron 0, 58, 115 y 173 kg ha⁻¹ de N aplicados como urea granulada entre las fases fenológicas de establecimiento de la población inicial de tallos y macollaje. Se utilizó un diseño en franjas con tres pseudo-repeticiones y arreglo factorial (dos zonas y cuatro dosis de N).

Delimitación de las zonas de manejo

Se obtuvieron las imágenes satelitales disponibles en el período marzo - junio de las campañas 2012-2018, correspondientes a la escena 231/76 (norte de la provincia de Salta), de los satélites Landsat 7 y 8, descargadas del Servicio geológico de Estados Unidos (USGS) y del catálogo de imágenes de la comisión nacional de actividades espaciales (CONAE). Se seleccionaron imágenes libres de nubes de fechas en las que el cultivo manifestó la máxima reflectancia. Con las bandas correspondientes al infrarrojo cercano y rojo se calculó el NDVI (ecuación 1) para cada fecha. El procesamiento de los datos se realizó mediante el programa QGIS V.2.12 Lyon. Se utilizó la plataforma Google Earth para delimitar y separar áreas no agrícolas del área útil de cultivos y esta información fue excluida del análisis. Los datos de NDVI fueron clasificados de manera conjunta para generar las zonas de manejo con el programa MZA, software basado en el análisis de cluster especialmente desarrollado para la delimitación de ZM, que utiliza el algoritmo no supervisado fuzzy k-means. Se eligió el NDVI para realizar la zonificación ya que este índice está directamente relacionado con el vigor y la productividad del cultivo, y es útil para determinar la variabilidad dentro del lote y delimitar ZM. Una vez delimitadas las ZM, y para corroborar la existencia de diferencias en parámetros edáficos entre las mismas, se las caracterizó mediante un análisis físico-químico, donde se determinaron el contenido de N, fósforo y potasio, la conductividad eléctrica, la textura, MO y el pH.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

Donde: R= reflectancia en la banda infrarroja y R= reflectancia en la banda roja.

Determinaciones en suelo y biomasa

En cada uno de los sitios de ambas ZM, se tomaron muestras de biomasa aérea y de suelo en cuatro fases fenológicas del cultivo (establecimiento de la población inicial, macollaje, gran crecimiento y maduración). Se tomaron muestras de suelo a cuatro profundidades diferentes, hasta el metro de profundidad (0-25; 25-50; 50-75; 75-100 cm). De cada muestra se calculó el contenido de humedad gravimétrica, la densidad aparente y el contenido de N. Para las determinaciones de biomasa se realizó un corte al ras del suelo en dos metros lineales (3,2 m²). Se determinaron el número de tallos (NT), BT y MST y en la fase de maduración se determinó el RC. Posteriormente, el contenido de N de la biomasa se determinó por el método de Kjeldahl. A partir de estos datos se calcularon la EUA y la EUN utilizando las ecuaciones (2) y (3)

$$EUN = \frac{MST}{Nd} \quad (2)$$

Dónde: EUN: eficiencia en el uso de nitrógeno (kg MST kg N⁻¹)
MST: materia seca aérea total (kg ha⁻¹)
Nd: nitrógeno total disponible en el suelo (kg N ha⁻¹)

$$EUA = MST/AU \quad (3)$$

Dónde: EUA: eficiencia en el uso del agua (kg MST mm⁻¹)
MST: materia seca aérea total (kg ha⁻¹)
AU: agua utilizada por el cultivo (mm)

RESULTADOS Y DISCUSION

En base a las imágenes satelitales, y a los muestreos de suelo in-situ, se realizó la zonificación del lote dividiéndolo en 2 zonas (ZM1 y ZM2). La ZM1 franco-arenosa, de menor NDVI, MO y CHS que la ZM2, franco-arcillosa y de mayor NDVI, MO y CHS (Tabla 1). Durante el ciclo agrícola 2015/16 no se encontraron diferencias significativas entre ZM y las variables de respuesta, aunque se observó cómo tendencia valores superiores en la ZM2. Las condiciones climáticas imperantes en cada campaña influyeron de manera notoria en los resultados. Durante 2015/16 se generaron mayores rendimientos asociados a la mayor precipitación acumulada (24% más que la media histórica en los meses de mayor demanda del cultivo) y su mejor distribución anual; mientras que en 2017/18, la cantidad acumulada (43% menor) y la distribución anual, fueron desfavorables para el crecimiento del cultivo. Aunque en menor medida, la temperatura también resultó más favorable para el crecimiento y desarrollo del cultivo durante la campaña 2015/16.

Tabla 1. Análisis físico-químico del suelo para las zonas 1 y 2.

Zona	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Capacidad hídrica de saturación (%)	Conductividad eléctrica (mmhos cm ⁻¹)	Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Relación C/N
1	0-25	50	37	13	32	0,80	0,84	0,07	7
	25-50	56	33	11	26	0,80	0,51	0,03	11
	50-75	54	35	11	26	0,72	< 0,4	< 0,01	-
	75-100	52	37	11	27	0,92	< 0,4	< 0,01	-
2	0-25	24	43	33	50	0,88	1,98	0,11	10
	25-50	28	43	29	38	0,72	0,79	0,05	9
	50-75	44	35	21	37	0,76	0,17	0,02	5
	75-100	52	33	15	32	0,84	0,38	0,02	11

Las variables MST, RC, EUN y EUA presentaron valores más altos en la ZM2 para ambas campañas. Se observó que las características propias del suelo de la ZM2 generaron una mayor disponibilidad y mejor distribución de agua y N en el suelo, lo que se tradujo en mayores MST y RC y por ende en mayores EUN y EUA (Tabla 2). La diferencia entre ZM para las variables RC, EUN y EUA fueron de: 3,4 y 6,5 Mg ha⁻¹; 7,4 y 18,6 Mg ha⁻¹; 3 y 26,7 kg MST kg N⁻¹ y 2,3 y 5,9 kg MST mm⁻¹, para las campañas 2015/16 y 2017/18, respectivamente. Estas diferencias entre zonas estarían asociadas a la variabilidad

espacial del lote. Las propiedades físico-químicas de los suelos han sido reportadas como generadoras de variabilidad en el rendimiento de caña de azúcar (Cerri y Magalhães, 2012; Souza et al, 2010;). Esto debido a que modificaciones en la textura y la MO generan variaciones en la disponibilidad de agua y nutrientes que afectan el rendimiento (Landell, 2003; Sanches et. al., 2019). Resultados similares fueron reportados por Thorburn et al. (2017), quienes encontraron mayores valores de EUN en suelos de textura fina que en suelos de textura gruesa. Los mismos autores encontraron que años con precipitaciones relativamente altas y una buena distribución a lo largo del ciclo del cultivo, producen una disminución de las diferencias de EUN entre estos dos tipos de suelo, es decir que la capacidad de retención de agua del suelo y sus efectos resulta menos importante en años lluviosos que en años secos. En años sin limitaciones hídricas el menor contenido de MO y N de la ZM1 se vería contrabalanceado por la mayor tasa de mineralización en la misma, como posiblemente ocurrió en la campaña 2015/16. Por otro lado, en años con limitaciones hídricas, como la campaña 2017/18, la tasa de mineralización de un suelo arenoso no compensa el menor contenido de MO y N del mismo. Además, las características propias de un suelo arcilloso permitirían que los mismos sincronicen mejor la oferta de N del suelo y la demanda del mismo por el cultivo, como pudo haber ocurrido en la ZM2.

Tabla 2. Análisis de las variables MST, RC, EUN y EUA en las zonas 1 y 2 durante las campañas 2015/2016 y 2017/2018.

Tratamiento	Campaña 2015/2016				Campaña 2017/18				
	MST	RC	EUN	EUA	MST	RC	EUN	EUA	
Zona	ZM1	30,8 a	75,7 a	140,7 a	29,4 a	19,4 a	49,3 a	100,4 a	29,9 a
	ZM2	34,2 a	83,1 a	143,2 a	31,7 a	25,9 b	67,9 b	127,1 b	35,8 b
P valor		0,2329	0,2268	0,4520	0,9536	0,0002	0,0003	0,0093	0,0127

MST: materia seca total; RC: rendimiento cultural; EUA: eficiencia en el uso del agua; EUN: eficiencia en el uso del nitrógeno. Letras diferentes representan diferencias significativas entre zonas para cada momento de muestreo con una probabilidad de 0,05.

No hubo interacción entre ZM y dosis de N. Se encontró una relación lineal y positiva entre el RC, MST y EUA, frente al aumento de la dosis de N; mientras que para EUN el comportamiento fue el opuesto, registrándose las mayores eficiencias con las menores dosis de N. resultados similares fueron reportados por otros autores (Trivelin et al. 2002; Otto et al. 2009; Almeida Júnior et al. 2011; Chalco Vera, 2012). La EUA es mayor en zonas de mayor productividad y se asocia positivamente con el N disponible (Teixeira et al., 2014; Halvorson et al., 2004), debido al incremento en el aprovechamiento de la radiación asociado a una mayor expansión foliar y retraso en la senescencia de las hojas (Lemaire y Gastal, 2009), lo que genera una mayor capacidad fotosintética incrementando la proporción de agua transpirada. Los valores promedio de EUN fueron 0,70; 0,43 y 0,35 Mg MST kg N⁻¹ para las dosis de N de 58, 115 y 173 kg N ha⁻¹. Thorburn et al. (2017) reportaron valores similares de EUN que variaban entre 0,25 y 3 Mg MST kgN⁻¹. Esta reducción en la EUN con el aumento de la dosis de N está relacionada con una sub-utilización del N aportado, ya sea debido a posibles pérdidas por lixiviación y volatilización del N. Estos resultados demuestran la baja eficiencia con que la caña de azúcar utiliza el N y que existe una interacción entre el N y el agua total disponible (a través de la textura y el contenido de MO) que permite un aprovechamiento diferencial del mismo.

CONCLUSIONES

La combinación de muestreos *in situ* con imágenes satelitales constituye una herramienta sencilla y eficaz para delimitar ZM en caña de azúcar.

Se debe considerar el efecto de las propiedades físico-químicas de los suelos para incrementar la eficiencia en el uso de recursos: zonas con mayores contenidos de arcillas (franco-arcillosos) y mayor contenido de MO generaron mayores EUN y EUA que suelos arenosos y menor contenido de MO.

Existe interacción entre condiciones ambientales y ZM en la respuesta al uso del N y agua disponible en el suelo: ciclos agrícolas secos permitirían una mejor respuesta relativa, en términos de eficiencia,

al uso de estos recursos en suelos de bajo contenido de MO y texturas gruesas, mientras que ciclos agrícolas húmedos permitirían maximizar las respuestas en suelos de alto contenido de MO y texturas finas.

El incremento de la dosis de N repercute en una mayor MST y RC, pero disminuye la EUN; sin embargo, una mayor fertilización permite un mejor aprovechamiento del agua, generando una mayor EUA.

Los resultados de este trabajo permiten afirmar que sería posible diagramar estrategias de manejo de la fertilización nitrogenada y riego en caña de azúcar considerando zonas de manejo. Esto podría permitir un incremento en la eficiencia en el uso de recursos que repercutiría en una mayor productividad, rentabilidad y menor contaminación ambiental. Para ello se deben considerar, además, las condiciones climáticas presentes en cada campaña.

Se debe tener en cuenta que estas conclusiones son preliminares ya que son producto de un solo sitio experimental y de 2 campañas, por lo que no cubre el rango de todas las condiciones posibles. En busca de mejorar este aspecto se plantea seguir con una mayor cantidad de sitios experimentales que contemplen un mayor número de condiciones edafo-climáticas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa SEABORD s.r.l, que facilitó insumos y recursos humanos, además del sitio experimental para la realización del experimento. Este trabajo fue realizado en el marco de una beca de formación INTA Y con fondos de los proyectos PNAIyAV-1130023 y PNIND-1108064.

Referencias

- Almeida Júnior A.B., Nascimento M.F.S., Silva F.B.V. y Gomes W.A. (2011) Soil fertility and uptake of nutrients by sugarcane fertilized with filter cake. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(10): 1004-1013.
- Cerri, D.G.P. y Magalhães, P.S.G., (2012). Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47, 613-620.
- Chalco Vera, J. (2012). Eficiencias De Absorción y uso del nitrógeno de la caña de azúcar en Tucumán. Informe final Practicando agrónomo optativo. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad nacional de Tucumán. 23.
- Ciampitti I.A. y Garcia. F.O. (2007). Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. IPNI Cono Sur. International Plant Nutrition Institute. 13
- Halvorson, A.D., Nielsen D.C., y C.A. Reule. (2004). Nitrogen fertilization and rotation effects on no-tillage dryland wheat production. *Agronomy Journal*, 96, 1196–1201.
- Landell, M.G.A., Prado, H., Vasconcelos, A.C.M., Perecin, D., Rossetto, R., Bidoia, M.A.P., Silva, M.A.O., Xavier, M.A. (2003). Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. *Scientia Agrícola* 60: 741-745.
- Lemaire, G. y Gastal, F.F. (2009). Chapter 8: Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: *Crop Physiology*. Sadras, V.O., Calderini, D. (Eds). 171-211.
- Otto, R., Franco, H. C. J., Faroni, C. E., Vitti, A. C., y Trivelin, P. C. O. (2009). Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana de açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 398–405.
- Pierce, F.J; Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1 -85.
- Sanches, G., Graziano Magalhães, P., Franco, H. (2019). Site-specific assessment of spatial and temporal variability of sugarcane yield related to soil attributes. *Geoderma*. 334.
- Souza, Z.M., Cerri, D.G.P., Colet, M.J., Rodrigues, L.H., Magalhães, P.S.G. y Mandoni, R.J., (2010). Análise dos atributos do solo e produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Cien. Rural*, 40, 840-847.
- Teixeira, E.I., George, M., Herreman, T., Brown, H., Fletcher, A., Chakwizira, E. y Noble, A. (2014). The impact of water and nitrogen limitation on maize biomass and resource use efficiencies for radiation, water and nitrogen. *Field Crops Research*. 168, 109–118.
- Thorburn, P.J. (2017). Prioritizing Crop Management to Increase Nitrogen Use Efficiency in Australian Sugarcane Crops. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-16.
- Trivelin, P.C.O., Vitti, A.C., Oliveira, M.W., Gava, G.J., y Sarries, G.A. (2002) Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26(3), 636-646.
- Vicini, L.E. (2007). Determinación de la variación de rendimiento cultural de caña de azúcar en Tucumán, Argentina, posicionada con GPS. *Actualización Técnica*, 8,1-3.

Relación entre potencial hídrico, conductancia estomática y temperatura de canopia en viñedo

M.A. Montoya^{1,2}; J. Dalmaso¹, F.N. Ferrari¹ y M.V. Munafó³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, Argentina. ² Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo. ³ Profesional independiente.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La utilización de sensores remotos para la gestión de cultivos es cada vez más difundida en explotaciones agrícolas. Para optimizar el uso del agua, insumo indispensable, es necesario contar con herramientas tecnológicas que permitan cuantificar la necesidad hídrica de los cultivos, controlar la eficiencia del riego y ayudar en el manejo del mismo. El estado hídrico se puede evaluar con una cámara de presión (potencial) o con un porómetro (conductancia estomática); ambos métodos son apropiados para hojas individuales, lentos y limitados. Otra metodología utilizada desde hace tiempo, consiste en medir la temperatura de la canopia. El objetivo de este trabajo fue determinar la correlación de la temperatura de canopia de un viñedo con el potencial hídrico foliar y la conductancia estomática. En una parcela de Malbec, conducida en espaldero alto, sin malla antigranizo, se aplicaron cuatro niveles de riego (reposición del 100%, 50%, 25% y 0% de la demanda hídrica del cultivo) y se midió temperatura de canopia lateral, la conductancia estomática y el potencial hídrico foliar a medio día. Los resultados registraron una correlación lineal significativa entre potencial y temperatura ($p < 0,0001$; $R^2 0,57$) y entre conductancia y temperatura ($p < 0,0001$; $R^2 0,15$). Los datos de temperatura de canopia podrían ser mapeados en grandes extensiones en poco tiempo (si la cámara fuera montada en un dron, por ejemplo) y estos datos, rápidamente procesables, podrían ayudar en la toma de decisiones para el manejo del riego en tiempo real y optimizar así el uso del agua.

Palabras clave: cámara de presión, estado hídrico, imágenes térmicas, porómetro, vid

Introducción

La utilización de sensores remotos para la gestión de cultivos está cada vez más difundida en explotaciones agrícolas. El agua es un insumo indispensable para la producción agrícola en la provincia de Mendoza. Es un recurso renovable, finito y escaso. Para optimizar el uso del agua, es necesario contar con herramientas tecnológicas que permitan cuantificar las necesidades hídricas de los cultivos, controlar la eficiencia del riego y ayudar en la toma de decisiones. La vid, a pesar de ser una planta moderadamente tolerante a la sequía, puede reducir su crecimiento, producción y calidad cuando se encuentra bajo estrés hídrico (Ojeda *et al.*, 2002).

En la vitivinicultura, la manera convencional de evaluar el estado hídrico de las plantas es por medio de una cámara de presión (Acevedo-Opazo *et al.*, 2008; Girona *et al.*, 2006). Este dispositivo permite la determinación del potencial hídrico en hojas individuales. Es un método lento y limitado en el número de muestras diarias a evaluar, por lo tanto no permitiría detectar la variación espacial del estado hídrico de un cultivo. Otra metodología, que puede ser utilizada para el mapeo de la variación espacial del estado hídrico de cultivos, consiste en el cálculo de índices de espectrales tales como NDVI y OSAVI, a partir de imágenes satelitales. Pero estos índices sólo reflejan el resultado del efecto del estado hídrico de los cultivos acumulado en el tiempo, tal como una respuesta a largo plazo (Baluja *et al.*, 2012). La temperatura de canopia también es reconocida como una metodología adecuada para determinar el estado hídrico de cultivos (Jackson *et al.*, 1981; Costa *et al.*, 2010). Cuando una planta transpira, la temperatura foliar disminuye, pero cuando los estomas se cierran (por ejemplo, por falta de agua), la temperatura foliar aumenta (Costa *et al.*, 2010). Es por ello, que la temperatura foliar se utiliza para determinar el estado hídrico de las plantas (Jones *et al.*, 2002). Una cámara térmica puede ser montada en un dron (Poblete *et al.*, 2017), avión o satélite, o bien pueden tomarse las fotografías desde campo (de manera manual o automática, montando la cámara en un cuatriciclo o tractor, laterales o cenitales). La temperatura de canopia ha sido significativamente relacionada con el potencial hídrico y con la conductancia estomática (Baluja *et al.*, 2012; Grant *et al.*, 2007; Jones *et al.*, 2002; Möller *et al.*, 2007) y esta variable podría ser utilizada como herramienta para el monitoreo del estado hídrico y de riego a corto plazo (Costa *et al.*, 2010; Jones *et al.*, 1999).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la correlación entre la temperatura de canopia con el potencial hídrico foliar y la conductancia estomática.

Materiales y Métodos

El sitio de ensayo se ubicó en la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza del INTA (33° 00' 16" S, 68° 51' 43" W; 919 m.s.n.m.). La parcela de evaluación fue un cultivo de vid, cv. Malbec a pie franco, implantado en el año 2012 y conducido en espaldero alto con un marco de plantación de 2,50 m x 1,50 m, sin tela antigranizo y con riego por goteo. Para obtener variaciones en el estado hídrico y, con ello, la temperatura del cultivo, se realizaron cuatro niveles de riego (reposición del 100%, 50%, 25% y 0% de la demanda hídrica del cultivo). Estas restricciones hídricas se realizaron entre los meses de noviembre y marzo de cada año, correspondiendo a los estadíos de Baggiolini de floración y madurez (Rodríguez *et al.*, 2000). La determinación de potencial hídrico de hoja se realizó con una cámara de presión comercial (Scholander *et al.*, 1964) y la conductancia estomática mediante un porómetro de hoja (SC-1, Decagon). Se registró la conductancia estomática y el potencial hídrico de 4 hojas por cada repetición (que luego se promediaron) en 5 fechas de medición. En cada repetición se tomaron fotos laterales de la canopia con una cámara térmica FLIR Vue Pro (banda espectral: 7,5 a 13,5 μm) para el registro de temperatura media de canopia: estas fotografías fueron posteriormente procesadas con el

software Flir Tools ®.

Resultados y Discusión

Los resultados de las dos primeras temporadas de medición (2018-2019 y 2019-2020) mostraron una correlación del 75% entre la temperatura de canopia y el potencial hídrico de hoja y se registró una relación lineal estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) entre ambas variables (R^2 0,57) (Figura 1). Otros autores registraron correlaciones de R^2 0,50 para temperatura aérea y potencial tallo (Baluja *et al.*, 2012).

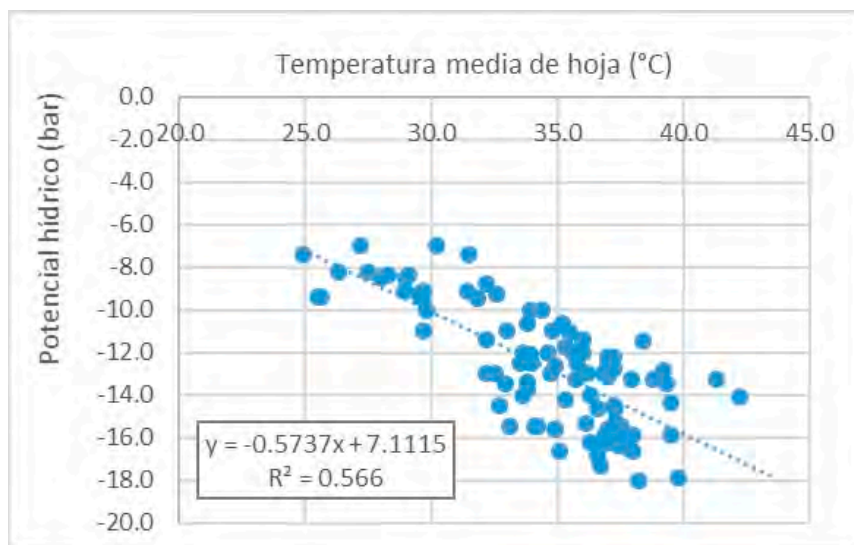


Figura 1. Potencial hídrico foliar (bar) en función de la temperatura de la hoja (°C). En el gráfico se indica la ecuación de la regresión lineal y el ajuste (R^2).

Para el caso de la conductancia estomática, la correlación con la temperatura también fue estadísticamente significativa ($p < 0,0001$), aunque el porcentaje de ajuste fue mucho menor, con un R^2 0,15 (Figura 2). Baluja *et al.* (2012) registraron valores de correlación más altos para estas dos variables, cercanos al 68%.

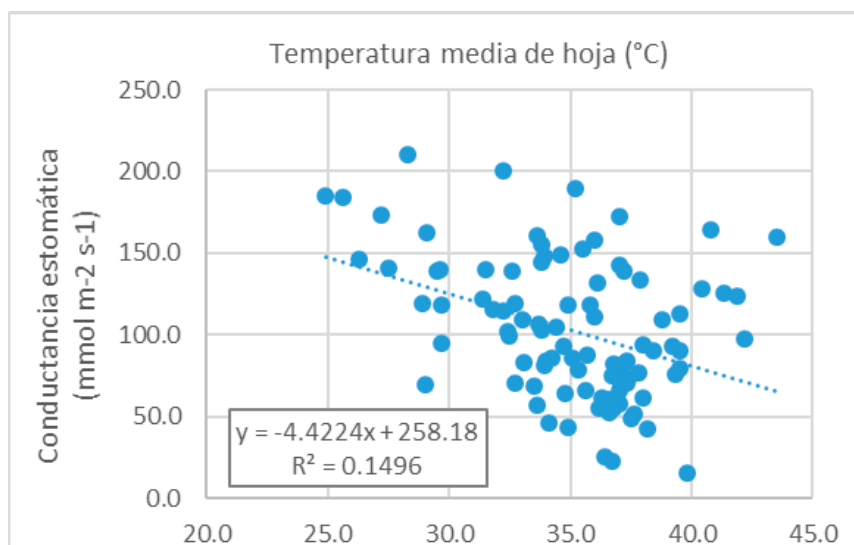


Figura 2. Conductancia estomática (mmol m⁻² s⁻¹) en función de la temperatura de la hoja (°C). En el gráfico se indica la ecuación de la regresión lineal y el ajuste (R^2).

Conclusiones

Los datos de temperatura de canopia fueron correlacionados estadísticamente con el estado hídrico de las plantas, los mismos podrían ser tomados en grandes extensiones en poco tiempo, si la cámara fuera montada en un dron. Estos datos, rápidamente procesables, podrían ayudar a la toma de decisiones para el manejo del riego en tiempo real y optimizar así el uso del agua. Se sugiere seguir realizando mediciones, tanto en vid como en otros cultivos, para poder ajustar aún más el modelo de regresión para poder utilizar la herramienta de manera confiable en cada cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Claudia Lucero, Dante Gamboa y Mauricio Godoy en el montaje y manejo del ensayo y en la toma de datos a campo.

Referencias

- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Ojeda, H., Ortega-Farías, S., & Guillaume, S. (2008). Is it possible to assess the spatial variability of vine water status? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42(4), p. 203-219.
- Baluja, J., Diago, M. P., Balda, P., Zorer, R., Meggio, F., Morales, F., & Tardaguila, J. (2012). Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*, 30(6), p. 511–522.
- Costa, J. M., Grant, O. M., & Chaves, M. M. (2010). Use of Thermal Imaging in Viticulture: Current Application and Future Prospects. In S. Delrot, H. Medrano, E. Or, L. Bavaresco, & S. Grando (Eds.), *Methodologies and Results in Grapevine Research* (pp. 135–150). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Girona, J., Mata, M., del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., & Marsal, J. (2006). The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science*, 24(2), p. 115-127.
- Grant, O. M., Ochagavía, H., Baluja, J., Diago, M. P., & Tardaguila, J. (2016). Thermal imaging to detect spatial and temporal variation in the water status of grapevine (*Vitis Vinifera* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(1), p. 43-54.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., & Pinter Jr, P. J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4), p. 1133–1138.
- Jones, H. G. (1999). Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95(3), p. 139-149.
- Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., Sousa, C. D., Chaves, M. M., & Grant, O. M. (2002). Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: Application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), p. 2249–2260.
- Möller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., & Cohen, S. (2007). Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 58(4), 827–838.
- Poblete, T., Ortega-Farías, S., Moreno, M. A., & Bardeen, M. (2017). Artificial neural network to predict vine water status spatial variability using multispectral information obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Sensors*, 17(11), p. 2488-2504.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of pre- and post veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), p. 261-267.
- Rodríguez, J., De la Iglesia, F., & Ocvirk, M. (2000). Fenología de cultivares de vid (*Vitis Vinifera* L.) en Luján de Cuyo: (Mendoza, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 32(2), p. 15-24.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Hemmingsen, E. A., & Bradstreet, E. D. (1964). Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 52(1), 119.

Delimitación de zonas de producción homogénea en caña de azúcar y relación con regiones agrológicas

**¹Carmina Fandos; ¹⁻²Federico J. Soria; ¹Pablo Scandaliaris
y ¹⁻²Javier I. Carreras Baldrés**

¹ Sección Sensores Remotos y SIG - Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. Las Talitas, Tafí Viejo, Tucumán, Argentina; ² Instituto de Estudios Geográficos “Guillermo Rohmeder” - Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

[carminaf; federicos; pablos; jcarreras]@eeaoc.org.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La zonificación de áreas agrícolas posibilita el tratamiento diferencial según las variables que limitan el potencial productivo. Los objetivos fueron realizar la zonificación del área cañera tucumana según niveles de producción y relacionarla con las regiones agrológicas. Se aplicó un análisis multitemporal de imágenes categorizadas, empleando técnicas de SIG. Se tomaron como base las clasificaciones de caña de azúcar según niveles de producción, entre 2011 y 2020. Las capas contenían tres categorías, según el rendimiento cultural: bajo, medio y alto. Para el análisis, a los píxeles correspondientes al nivel bajo, medio y alto se les asignaron los valores 1, 10 y 100, respectivamente. Para zonificar el área cañera, se consideraron tres zonas de producción: baja, intermedia y alta; y la asignación de las clases a cada zona se realizó considerando el mayor valor, según este se localizara en la unidad, decena o centena. Las clases sin predominio de valores fueron asignadas priorizando el nivel de menor producción. Los mayores porcentajes de zonas de baja producción se localizaron en la Llanura deprimida y Pedemonte; en contraste, la Llanura chacopampeana presentó los mayores porcentajes de zonas de mejor producción. El análisis espacial reveló un predominio de zonas de producción baja en el centro de la Llanura deprimida y una prevalencia de zonas de mayor producción en los sectores norte y sur, de las Llanuras chacopampeana y deprimida. El mapa temático contribuye a la identificación de zonas que requieren manejos diferenciales y sirve de base para análisis que incluyan otro tipo de variables.

Palabras clave. Teledetección, SIG, zonificación.

Introducción

La identificación de ambientes de diferente producción en las áreas agrícolas contribuye a la zonificación y gestión de prácticas que permiten el tratamiento diferencial de cada zona de acuerdo a las variables que limitan el potencial productivo. La zonificación de áreas agrícolas requiere de la información de distintas campañas, la cual puede ser obtenida rápidamente mediante el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La aplicación de metodologías de clasificación multispectral en imágenes satelitales facilita la obtención de capas categorizadas surgidas de la agrupación de los píxeles que componen la imagen en categorías temáticas. Dichas capas pueden ser empleadas para confeccionar mapas temáticos o realizar análisis multitemporales que permiten la detección de cambios (Chuvienco, 2008). Por otra parte, los SIG agilizan la vinculación espacial de distintas fuentes de información, ya que permiten integrar datos de diversas áreas de conocimiento con diferentes niveles de detalle. De allí que el uso combinado de la teledetección y los SIG presente gran potencial para la zonificación del cultivo de la caña de azúcar, tal como lo expresan Aguilar-Rivera *et al.* (2010).

El área cañera tucumana se concentra principalmente en las regiones del Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana (Zuccardi y Fadda, 1985). En cada una de ellas, las características climáticas, fisiográficas y edáficas son distintas, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo de la caña de azúcar.

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) dispone de mapas de niveles de producción de caña de azúcar para diferentes zafras en la provincia de Tucumán.

Tomando como base las capas temáticas de niveles de producción para diferentes zafras cañeras, los objetivos del trabajo fueron realizar la zonificación del área cañera tucumana según niveles de producción, y relacionarla con las regiones agrológicas.

Materiales y Métodos

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, que se concentra principalmente en las regiones del Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana (Zuccardi y Fadda, 1985). La situación relativa del área de estudio se visualiza en la Figura 1.

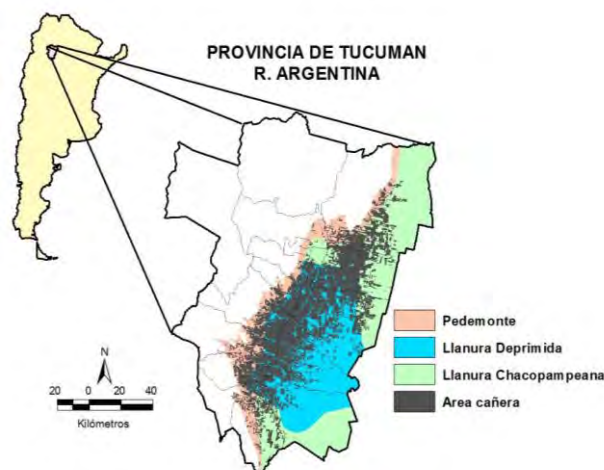


Figura 1. Situación relativa del área de estudio.

El trabajo se realizó mediante un análisis multitemporal de imágenes categorizadas (Chuvienco, 2008), empleando técnicas de SIG. Las coberturas temáticas utilizadas como base fueron las clasificaciones de caña de azúcar según niveles de producción para la provincia de Tucumán, obtenidas entre 2011 y 2020. Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multispectrales de imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidas de los sitios <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, respectivamente. La metodología empleada se indica en Soria *et al.*, (2000).

Las capas temáticas base de caña de azúcar contenían tres categorías de niveles de producción, según el rendimiento cultural: bajo (menor a 56 t/ha), medio (entre 56 y 75 t/ha) y alto (mayor a 76 t/ha). Para el análisis, a los píxeles correspondientes al nivel bajo se les asignó el valor 1, al nivel medio, el valor 10; y el valor 100 al nivel alto.

Como resultado de la sumatoria de capas temáticas se obtuvo una capa resumen con diferentes valores, en los que la unidad corresponde al nivel bajo, la decena, al medio y la centena, al alto.

A fin de zonificar el área cañera, se optó por considerar tres zonas de producción: baja, intermedia y alta; y la asignación de las clases a cada zona se realizó considerando el número con mayor valor, según este se localizara en la unidad, decena o centena. Ejemplo: las clases 1, 24 y 123 fueron asignadas a la zona de producción baja; las clases 10, 21 y 231 a la zona de producción intermedia; y las clases 100, 211 y 510 a la zona de producción alta. Las clases sin predominio de valores fueron asignadas priorizando el nivel de menor producción.

Seguidamente, se superpuso la capa resumen de zonas de producción con la correspondiente a regiones agrológicas de la provincia de Tucumán.

Los softwares utilizados para el trabajo fueron ERDAS Imagine, versión 8.4. y ARC GIS versión 9.0.

Resultados

La Figura 2 expone la superficie ocupada por cada zona de producción según regiones agrológicas mientras que la Figura 3 muestra su disposición espacial.

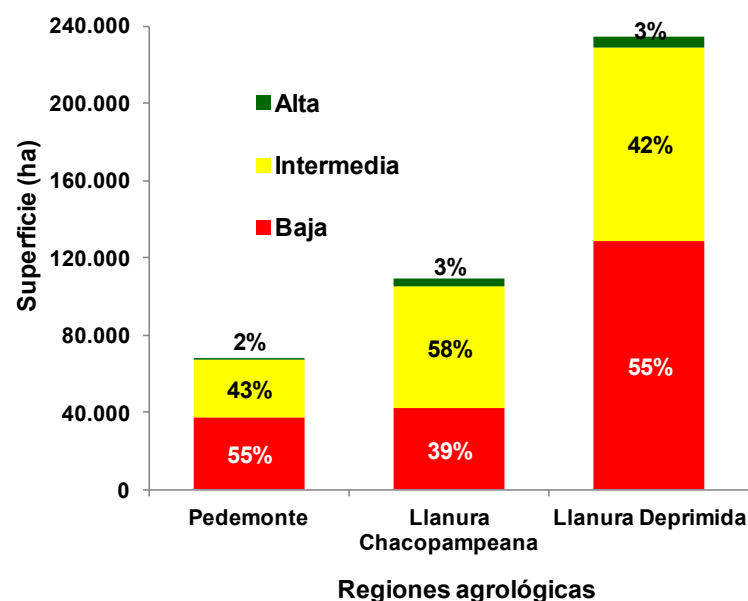


Figura 2. Zonas de producción de caña de azúcar según regiones agrológicas. Tucumán.

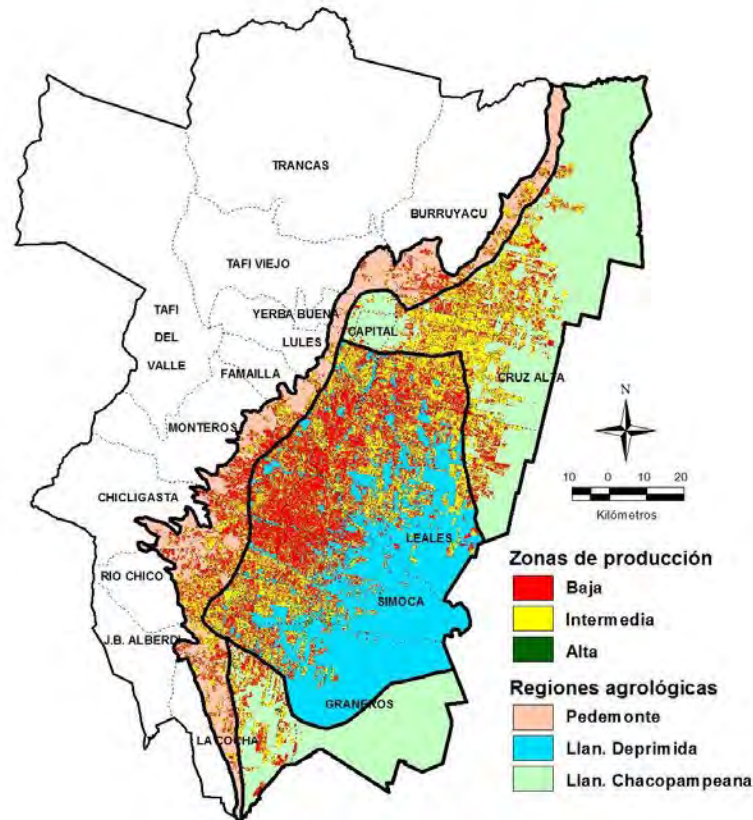


Figura 3. Distribución espacial de las zonas de producción de caña de azúcar según regiones agrológicas. Tucumán.

Conclusiones

La Llanura Deprimida concentró la mayor proporción de superficie cañera, seguida por la Llanura Chacopampeana y el Pedemonte. Los mayores porcentajes de zonas de baja producción se localizaron en la Llanura Deprimida y el Pedemonte; en contraste, la Llanura Chacopampeana presentó los mayores porcentuales de zonas de mejor producción.

El análisis espacial reveló un predominio de zonas de producción baja en el centro de la Llanura deprimida. Por otra parte, se destaca el predominio de zonas de mayor producción en los sectores norte y sur, de las Llanuras Chacopampeana y Deprimida.

El mapa temático generado contribuye a la identificación de zonas que requieren manejos diferenciales y sirve de base para análisis que incluyan otro tipo de variables.

Referencias

- Aguilar-Rivera, N.; Galindo Mendoza, C. y Fortanelli Martínez, J. (2010). Zonificación productiva cañera en la Huasteca Potosina México. *Rev. Agronomía Tropical* 60 (2): 139-154.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio (3 ed.). (Planeta, Ed.). España.
- Soria, F.; Fandos, C y Scandaliaris, J. (2000). Determinación por imágenes satelitales del área cultivada con citrus y granos, y producción de caña de azúcar. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 77 (1): 49-69.
- Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. 1985. Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán. *Miscelánea* 86. 63 p. FAZ-UNT. Tucumán. Argentina.

Zonificación del área cañera según períodos de cosecha

**¹Carmina Fandos; ¹⁻²Federico J. Soria; ³Jorge Forciniti, ¹⁻²Javier I. Carreras Baldrés,
¹Pablo Scandaliaris y ⁴⁻⁵Eduardo. R. Romero**

¹ Sección Sensores Remotos y SIG - Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Las Talitas, Tafí Viejo, Tucumán, Argentina. ² Instituto de Estudios Geográficos "Guillermo Rohmeder" - Universidad Nacional de Tucumán (UNT). San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. ³ Sección Agrometeorología – EEAOC. Las Talitas, Tafí Viejo, Tucumán, Argentina. ⁴ Sección Caña de Azúcar – EEAOC. Las Talitas, Tafí Viejo, Tucumán, Argentina. ⁵ Cátedra de Fisiología Vegetal – Facultad de Agronomía y Zootecnia (UNT). San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina

[carminaf; federicos; jorgeforciniti; jcarreras; pablos; eromero]@eeaoc.org.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. El monitoreo de las fechas y el modo en que se lleva a cabo la cosecha de caña de azúcar permite priorizar zonas, lo que contribuye a optimizar la recolección y a la adecuada planificación y manejo futuro del cañaveral. El objetivo fue zonificar el área cañera tucumana según períodos de cosecha. Se aplicó un análisis multitemporal de imágenes categorizadas, empleando técnicas de SIG. Las capas base fueron las coberturas de cosecha de caña de azúcar, según períodos, entre 2017 y 2021. A los píxeles correspondientes a los períodos inicial, intermedio, final y tardío se les asignaron los valores 1, 10, 100 y 1000, respectivamente. Para zonificar el área cañera se consideraron los cuatro períodos y la asignación de las clases a cada uno se realizó considerando el mayor valor, según este se localizara en la unidad, decena, centena o unidad de mil. Las clases sin predominio de valores fueron asignadas a otro grupo denominado período variable. El 13% de la superficie cañera correspondió al período inicial de cosecha, el 61% al intermedio, 8% al tardío, 1% al final y 17% al período variable. En la parte inicial de la zafra, la recolección se focaliza mayormente en los sectores oriental y sur del área cañera, mientras que en la etapa final se centraliza principalmente en los sectores norte y occidental. La información generada contribuye a la planificación de la cosecha y sirve de base para análisis posteriores que incluyan otras variables, entre ellas, la zonificación productiva del área cañera.

Palabras clave. Teledetección, SIG, caña de azúcar.

Introducción

En la zafra de Tucumán pueden distinguirse cuatro etapas o períodos: inicial, intermedio, final y tardío (Romero *et al.*, 2009). El período inicial se desarrolla entre los meses de mayo y junio; el intermedio, desde julio a mediados de setiembre; el final transcurre entre mediados de setiembre y mediados de octubre; y el tardío, desde mediados de octubre en adelante.

El monitoreo de las fechas y del modo de la cosecha de caña de azúcar permite priorizar zonas, lo que contribuye a optimizar la recolección y a la adecuada planificación y manejo futuro del cañaveral.

Las tecnologías de información geográfica (TIG), han facilitado el seguimiento de las prácticas agrícolas. En el ámbito de las TIG relacionadas con la cosecha de caña de azúcar, se destacan los estudios de Gers y Schmidt (2001), Markley *et al.* (2003), Lebourgouis *et al.* (2010) y Alves Aguiar (2011), en los que utilizando metodologías de clasificación multiespectral de imágenes satelitales y herramientas de SIG, distinguieron áreas cosechadas y no cosechadas.

La zonificación de las áreas agrícolas posibilita el tratamiento diferencial de cada zona de acuerdo a las variables que limitan el potencial productivo. Requiere de la información de distintas campañas, la cual puede ser obtenida rápidamente mediante el uso de las TIG.

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres realiza anualmente el monitoreo de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán aplicando metodologías de teledetección y SIG, lo que permite la generación de capas temáticas geoposicionadas lo que facilita su análisis en conjunto.

El objetivo fue zonificar el área cañera de la provincia de Tucumán según periodos de cosecha.

Materiales y Métodos

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán. La situación relativa del área de estudio se visualiza en la Figura 1.



Figura 1. Situación relativa del área de estudio.

El trabajo se realizó mediante un análisis multitemporal de imágenes categorizadas (Chuvienco, 2008), empleando técnicas de SIG. Las capas temáticas utilizadas como base fueron las coberturas de avance de cosecha de caña de azúcar para la provincia de Tucumán, obtenidas para los años 2017 a 2021. Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multispectrales de imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidas de los sitios <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, respectivamente.

Las capas base contenían cuatro categorías, según periodos de cosecha: inicial, intermedio, final y tardío. A los píxeles correspondientes al período inicial se les asignó el valor 1, mientras que a los píxeles de los periodos intermedio, final y tardío se les asignó el 10, 100 y 1000, respectivamente.

De la sumatoria de capas temáticas se obtuvo una capa resumen con diferentes valores, en los que la unidad corresponde al periodo inicial, la decena al intermedio, la centena al final y la unidad de mil al tardío.

Posteriormente se realizó la zonificación del área cañera según periodos de cosecha. La asignación de las clases a los cuatro períodos se realizó considerando el número con mayor valor, según este se localizara en la unidad, decena, centena o unidad de mil. Ejemplos: las clases 41, 230 y 1120 fueron asignadas al periodo intermedio ya que el máximo valor se ubicó en la decena. Las clases en las que no predominaba ningún valor fueron asignadas a otro grupo que se denominó “período variable”

Los softwares utilizados para el trabajo fueron ERDAS Imagine, versión 8.4. y ARC GIS versión 9.0.

Resultados

La Figura 2 expone las clases detectadas, que indican las combinaciones de períodos de cosecha, ordenadas según superficie y fragmentadas en dos grupos para facilitar su visualización (se excluyen las clases con superficie inferior a 700 ha).

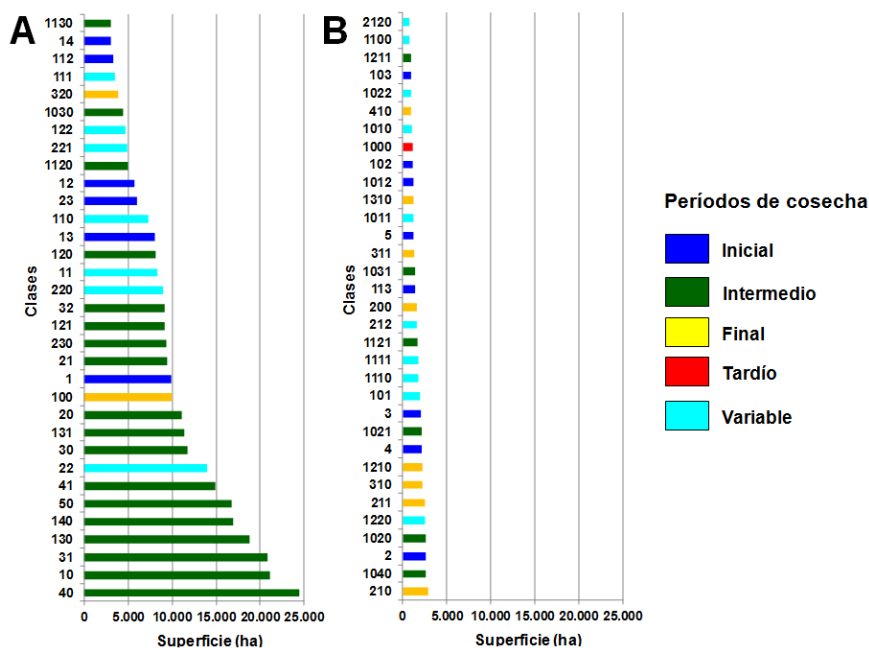


Figura 2. Clases correspondientes a combinaciones de periodos de cosecha. A: superficie mayor a 2.900 ha. B: superficie entre 2.800 ha y 700 ha. Tucumán.

Al agrupar las clases en los diferentes periodos de cosecha se constató que el 13% de la superficie cañera correspondía al periodo inicial de cosecha, el 61% al intermedio, 8% al tardío, 1% al final, y el 17% restante al período variable. La Figura 3 muestra el mapa temático resultante.

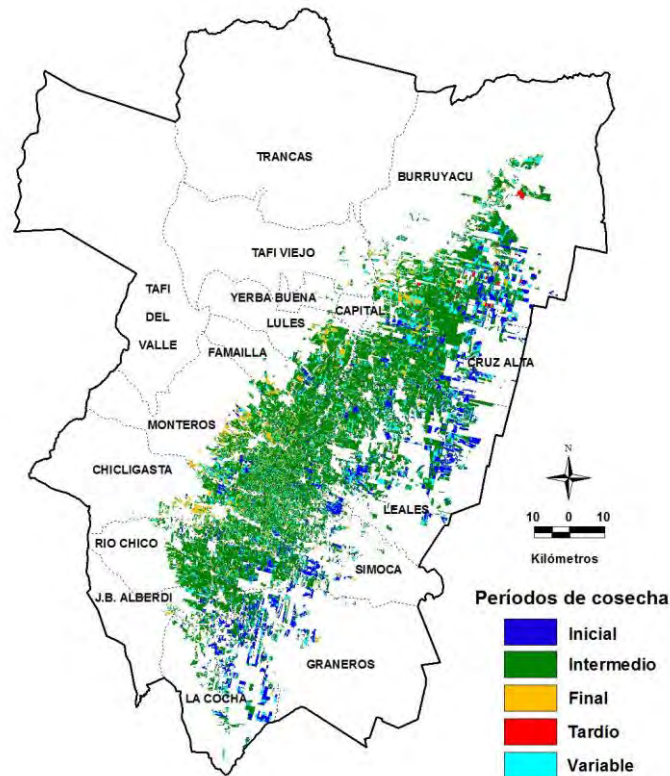


Figura 3. Disposición espacial de periodos de cosecha de caña de azúcar. Tucumán.

Conclusiones

El 13% de la superficie cañera correspondió al periodo inicial de cosecha, el 61% al intermedio, 8% al tardío, 1% al final y 17% al período variable.

En la parte inicial de la zafra, la recolección se focaliza en los sectores oriental y sur del área cañera, mientras que en la etapa final se centraliza principalmente en los sectores norte y occidental.

La información generada contribuye a la planificación de la cosecha y a la identificación de los factores que modifican su desarrollo, y sirve de base para análisis posteriores que incluyan la zonificación productiva del área cañera y otras variables de tipo ambiental, agronómica o económica.

Referencias

- Alves Aguiar D.; Rudorff B. F. T.; Silva W. F.; Adami M. y Pupin Mello M. (2011). Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in Sao Paulo State, Brazil. *Remote Sens.*, doi:10.3390/rs3122682
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio (3 ed.). (Planeta, Ed.). España.
- Gers, C.J. y Schmidt, E.J. (2001). Using SPOT 4 satellite imagery to monitor areas harvested by small scale sugarcane farmers at Umflozi. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*, 45, pp. 158–164.
- Lebourgeois, V.; Bèguè, A.; Degenne, P y Bappel, E. A. (2010). Improving sugarcane harvest and planting monitoring for smallholders with geospatial technology: The Reunion Island experience. *Internat. Sugar Journal* 109, 1298 (2010) 109-119.
- Markley, J., Raines, A. y Crossley, R. (2003). The development and integration of remote sensing, GIS and data processing tools



for effective harvest management. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology, 25, p. 5.

Romero E. R.; Scandaliaris J.; Digonzelli P. A.; Tonatto M. J.; Fernández de Ulivarri J.; Giardina J. A.; Alonso L. G. P; Casen S. D. y Leggio Neme M. F. (2009). Capítulo 13: Cosecha de la caña de azúcar. En: Manual del cañero. Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.). EEAOC, Tucumán, Argentina. 131-143.

“Predicción y modelización de la respuesta en rendimiento de trigo y maíz y necesidad de nitrógeno en función de variables climáticas previas a la siembra”

Juan M. Pautasso¹², Pedro A. Barbagelata¹² y Ricardo M. Melchiori¹.

pautasso.juan@inta.gob.ar; pedro.barbagelata@uner.edu.ar; melchiori.ricardo@inta.gob.ar.
EEA INTA Paraná; 2 FCA UNER. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

1

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Los rendimientos de trigo y maíz presentan una importante variabilidad interanual. Parte de esa variabilidad está determinada por factores limitantes, siendo el factor agua el más importante en los sistemas de secano, seguido por deficiencias de nutrientes. El nutriente que en mayor medida condiciona el rendimiento es el nitrógeno (N). El desafío que tiene la agricultura moderna consiste en incrementar eficientemente los rendimientos minimizando los impactos ambientales. Es clave conocer la demanda de N (determinada por el rendimiento) para el manejo racional de este nutriente: si se aplican dosis que exceden la capacidad de asimilación del cultivo se incrementa el riesgo de pérdidas. Una de las razones de la falta de adopción de recomendaciones de manejo de N en función del rendimiento radica en la incertidumbre sobre la determinación del rendimiento objetivo. Para estudiar la variabilidad climática existen diversos índices que son de público acceso y cuentan con una base de datos histórica, pero para la región no existen modelos predictivos de rendimiento para los cultivos de trigo y maíz, basados en los diferentes índices climáticos y/o variables hídricas que prevean posibles escenarios de rendimientos para poder ajustar la necesidad de N cada año en cada ambiente. El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta que modeliza mediante funciones matemáticas para la provincia de Entre Ríos los rendimientos de trigo y de maíz para cada año a partir de variables edafoclimáticas previas a la siembra de los cultivos y la respuesta esperada al agregado de N.

Palabras clave. modelos mecanísticos, fertilización, variabilidad espacial, variabilidad temporal.

Introducción

El maíz y el trigo son cultivos de gran importancia a nivel mundial, ya sea como alimento humano y animal o como fuente de productos industriales (Paliwal et al.; 2001). Argentina ha experimentado un crecimiento en superficie (MAGyP; 2021), sustentado por la generación, transferencia y adopción de tecnologías adecuadas a la diversidad de nuestros sistemas productivos (García Bernado, 2020).

El rendimiento de estos cultivos presenta una importante variabilidad interanual. Para explicar esta variación en rendimiento, Robbinge (1993) diferencia entre rendimiento potencial, alcanzable y real; donde el rendimiento potencial está determinado por factores definitorios (radiación, temperatura, genética), el rendimiento alcanzable es el que puede obtenerse en condiciones de cantidades sub óptimas de factores limitantes (agua y nutrientes) y el rendimiento real es aquel que se obtiene actualmente y está determinado por factores reductores (plagas, enfermedades y malezas).

Ray et al. (2015) estudiaron a escala global la variabilidad climática y su efecto en los rendimientos, informando que para Argentina alrededor del 40% de la variabilidad total del rendimiento de maíz y trigo de un año a otro se explica por la variabilidad climática interanual. Por otro lado, la brecha que corresponde a limitaciones por nutrientes para Argentina (Global Yield Gap and Water Productivity Atlas; 2021) se estima que es del 69% en maíz y el 51% en el caso del trigo.

La agricultura de precisión (AP) presenta un gran desafío frente a esta variabilidad temporal, ya que el riesgo de aplicar acciones económica y ambientalmente inapropiadas se incrementa si los tratamientos diferenciales se basan únicamente en información espacial, requiriendo además análisis científicos de tratamientos que consideren tanto la variabilidad espacial como temporal (Whelan y McBratney; 2000).

El nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento del trigo y el maíz es el nitrógeno (N). El N debe proveerse en cantidades suficientes para asegurar un óptimo estado fisiológico durante el período crítico en el que se define el rendimiento de los cultivos (Echeverría y Sainz Rozas; 2015). El manejo de este nutriente se relaciona al rendimiento, determinando que mayores rendimientos corresponden mayores necesidades de N (Echeverría et al.; 2014; Correndo et al.; 2021; García y Reussi Calvo; 2014).

Siendo la disponibilidad hídrica el factor que mayormente limita la producción y en segundo lugar el nitrógeno (Maddonni et al., 2003; Echeverría et al., 2015), para lograr el máximo rendimiento posible cada año se debe, en primer lugar, conocer y manejar las interacciones entre estos dos factores.

Se considera clave conocer la demanda de N para el manejo racional de este nutriente, dado que si se aplican dosis que exceden la capacidad de asimilación del cultivo, se incrementan las pérdidas durante el ciclo de los cultivos fertilizados y/o aumenta el riesgo de pérdidas por lavado y desnitrificación durante el barbecho posterior si el N residual es alto (Meisinger y col.; 2008).

Existen distintas alternativas de diagnóstico para un correcto manejo de este nutriente en el cultivo de trigo y maíz, las que permiten formular recomendaciones ajustadas de fertilización de acuerdo a numerosos trabajos de calibraciones e interpretaciones (García y Reussi Calvo; 2014; Echeverría y col.; 2014; Correndo et al; 2021; Ruiz y col.; 2018; Howard et al.; 2002). Actualmente se conoce la relación entre la necesidad de N y el rendimiento objetivo del cultivo, tanto en maíz como en trigo (Sawyer y col.; 2006; García y Reussi calvo; 2014), pero una de las razones de la falta de adopción del enfoque de manejo de N en función del rendimiento radica es la incertidumbre sobre cómo determinar o predecir ese rendimiento objetivo (Sawyer y col.; 2006).

Poseer un modelo predictivo del rendimiento antes de la siembra permitiría optimizar la captación de

del N, minimizando los riesgos de pérdida, lo que contribuiría a la sostenibilidad de los agroecosistemas (Echeverría y Sainz Rozas; 2015).

Para estudiar la variabilidad climática existen diversos índices que son de público acceso (NOAA, 2021) y cuentan con una base histórica que permite modelizar alguno de dichos índices con comportamientos del clima. Si bien existen trabajos sobre la temática, como por ejemplo lo realizado por De la Casa y Nasello (2011) que estudiaron capacidad predictiva del Niño-oscilación sur (ENSO) y de otros indicadores climáticos sobre la precipitación; o Hurtado et al. (2003) que informaron efecto de los eventos de El Niño/Oscilación Sur (ENSO) en el rendimiento de maíz; no existen modelos predictivos que prevean posibles escenarios de rendimientos para poder ajustar la necesidad de N cada año.

El objetivo de este trabajo es presentar para la costa oeste de la provincia de Entre Ríos un modelo de estimación de los rendimientos de trigo y de maíz alcanzables cada año a partir de variables hídricas y/o índices climáticos previos a la siembra de los cultivos, y la respuesta esperada al agregado de N.

Materiales y métodos

Para el estudio de la variabilidad climática entre campañas se trabajó con datos de lluvias para cada campaña a partir de pluviómetros distribuidos en el territorio provincial pertenecientes a instituciones públicas y privadas; y los indicadores climáticos utilizados fueron tomados del “laboratorio de ciencias físicas” de la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>). Para el estudio de la variabilidad de los rendimientos se trabajó en base a las estadísticas de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos y de ensayos realizados por el INTA. Para estimar las respuestas a la fertilización nitrogenada se contó con ensayos de fertilización del INTA, donde la necesidad de N para cada rendimiento se expresó como nitrógeno disponible (ND), que suma N de nitratos del suelo de 0-20 cm en kg ha⁻¹ más los kg por hectárea del N del fertilizante.

Los datos se analizaron mediante correlaciones entre los indicadores y variables climáticas y los rendimientos de trigo y maíz y su respuesta al agregado de N. Se seleccionó el mejor modelo que explique significativamente ($p < 0,05$) la variabilidad de rendimiento de los cultivos y su respuesta al agregado de N en función de la variabilidad climática; el criterio de selección del modelo fue el grado de bondad de ajuste (R²).

Resultados

Trigo: Modelización de la estimación del rendimiento y la respuesta al agregado de N:

La variabilidad interanual del rendimiento del trigo se explicó a partir de las lluvias ocurridas durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo de cada año (Figura 1A). Los rendimientos máximos para cada año se pueden estimar a partir de la siguiente ecuación: $12 \cdot \text{mm acumulados} - 230$ y los rendimientos promedios: $1287 + 4 \cdot \text{mm acumulados}$. Con lluvias acumuladas mayores a 440 mm el rendimiento promedio se “estabiliza” en 3238 kg ha⁻¹ y el rendimiento máximo en 5023 kg ha⁻¹.

En la Figura 2A se muestra la relación entre la necesidad de N disponible y el nivel de rendimiento de trigo ($0,03 \cdot \text{rend trigo} - 4,40$). Las pendientes y los valores absolutos obtenidos son similares a los informados por García y Reussi Calvo (2014).

La brecha entre los rendimientos promedios y los máximos son mínimas cuando el agua es muy limitante. El efecto “agua” generó una variabilidad de los rendimientos de trigo entre 40% y 80% para los rendimientos promedios y máximos rendimientos, respectivamente. Cuando la campaña se presenta sin limitación por “agua”, la variabilidad entre un escenario de máximos rendimientos vs rendimientos promedios fue del 55%.

Maíz: Modelización de la estimación del rendimiento y la respuesta al agregado de N:

La variabilidad interanual del rendimiento del maíz se explicó a partir del pronóstico de probabilidad de año Niño realizado en agosto para el trimestre noviembre – diciembre – enero (https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-cpc_plume) cada año (Figura 1B). Los rendimientos máximos para cada año se pueden estimar a partir de la siguiente ecuación: $-26.301 x^2 + 26.287 x + 6.741$ y los rendimientos promedios: $-5.684 x^2 + 8.147 x + 4.588$.

A partir de ensayos de fertilización nitrogenada, en la Figura 2B ($0,01^* \text{rend maíz} - 11,65$) se muestra la relación entre N disponible y el rendimiento del cultivo de maíz.

La brecha entre los rendimientos promedios y los máximos son máximas en valores intermedios de pronóstico de año Niño. Tomando los rendimientos más bajos en contraposición con los rendimientos máximos, el efecto “año” generó una variabilidad de los rendimientos de maíz entre 71% y 74% para los rendimientos promedios y máximos rendimientos, respectivamente. Para los años de altos rendimientos (cuando los pronósticos ENSO predicen entre 40-60% NIÑO) la variabilidad entre máximos rendimientos y los rendimientos promedios es del 82%.

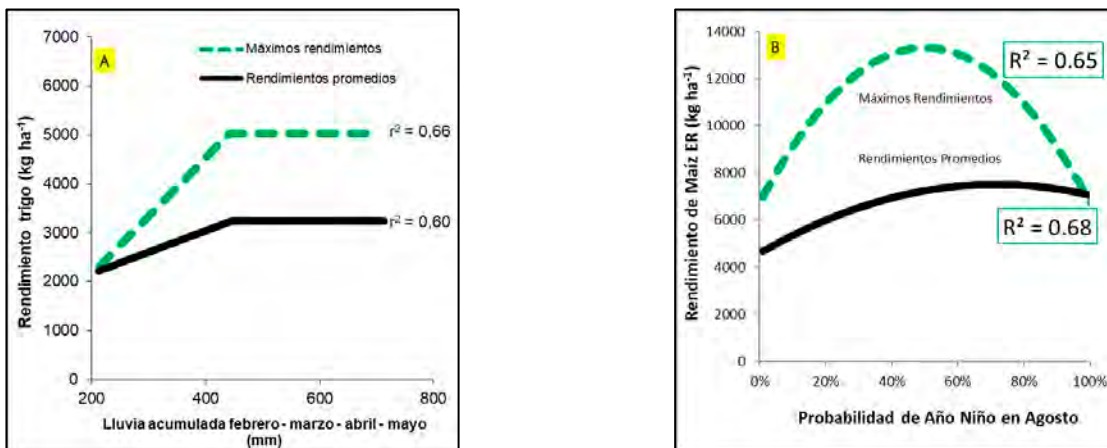


Figura 1: Rendimientos en función de variables climáticas: A) Rendimiento de trigo en función de las lluvias acumuladas; B) Rendimiento de maíz en función del porcentaje de Niño.

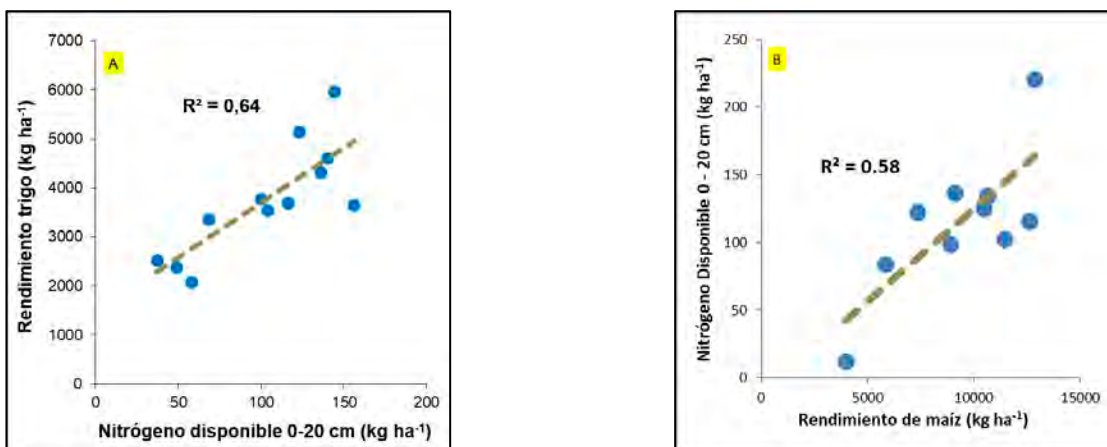


Figura 2: Nitrógeno disponible en función del rendimiento: A) trigo; B) maíz.

Conclusiones

La variabilidad interanual de rendimientos de los cultivos de trigo y maíz en Entre Ríos fue alta, siendo los valores encontrados similares a los informados por la bibliografía. Se determinaron variables climáticas que predicen satisfactoriamente el rendimiento a lograr cada año, siendo un aporte importante para poder tomar decisiones con menor grado de incertidumbre sobre el agregado de N de fertilizantes. Las brechas de rendimientos encontradas podrían ser utilizadas para asignar los rendimientos a alcanzar cada año en diferentes zonas de productividad dentro de los lotes, potencialidad que debe validarse aún y de esta manera ser un aporte para intentar “gestionar” la variabilidad interanual para luego asignar la dosis de insumos como el N y manejar la variación espacial de los rendimientos de trigo y maíz en cada lote.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el PE-E9-I177-001 del INTA.

Referencias

- Correndo A., F. Gutiérrez-Boem, F. García, C. Alvarez, C. Alvarez, A. Angeli, P. Barbieri, M. Barraco, A. Berardo, M. Boxler, P. Calvino, J. Capurro, H. Carta, O. Caviglia, I. Ciampitti, M. Díaz-Zorita, S. Díaz-Valdéz, H. Echeverría, G. Esposito, M. Ferrari, G. Ferraris, S. Gambaudo, V. Gudelj, J. Ioele, R. Melchiori, J. Molino, J. Orcellet, A. Pagani, J.M. Pautasso, N. Reussi Calvo, M. Redel, S. Rillo, H. Rimski-Korsakov, H. Sainz-Rozas, M. Saks, M. Tellería, L. Ventimiglia, J. Zorzín, M. Zubillaga, F. Salvagiotti. 2021. Attainable yield and soil texture as drivers of maize response to nitrogen: A synthesis analysis for Argentina. *Field Crops Research*, Volume 273, 2021, 108299, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108299>.
- De la Casa, A. y O. Nasello. 2011. Capacidad predictiva del Niño-oscilación sur (ENSO) y de otros indicadores climáticos sobre la precipitación en Córdoba, Argentina. *Anales Afa Vol. 22* (114-119) Malargüe 2010. <https://afan.df.uba.ar/journal/index.php/analesafa/article/view/27/54>
- Echeverría, H. y H. Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. Pp. 189-228. En H. Echeverría y F. García (Eds). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Echeverría, H.; H. Sainz Rozas y P. Barbieri. 2014. Maíz y Sorgo. Pp. 435-478. En H. Echeverría y F. García (Eds). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- García Bernado, Rolando. (2020) Impacto del modelo productivo agrario en la industria química argentina en los años recientes (2006-2017). *H-industri@* 26: 85-108. <http://ojs.econ.uba.ar/index.php/H-ind/article/view/1774H-industri@>
- García F. y N. Reussi Calvo. 2014. Trigo. Pp. 401-434. En H. Echeverría y F. García (Eds). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Global Yield Gap and Water Productivity Atlas. 2021. URL disponible: www.yieldgap.org (acceso: diciembre, 2021)
- Howard, D.; M. Newman; M. Essington y W. Percell. 2002. Nitrogen fertilization of conservation-tilled wheat. I. Sources and application rates. *Journal of Plant Nutrition* Volume 25, 2002 - Issue 6. <https://doi.org/10.1081/PLN-120004391>
- Meisinger, JJ, Calderón, FJ y Jenkinson, DS. 2008. Soil nitrogen budgets. En *Nitrogen in Agricultural Systems* (eds JS Schepers y WR Raun). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr49.c13>
- MAGyP. 2021. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Estimaciones agrícolas. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar>
- NOAA. 2021. National Oceanic and Atmospheric Administration. Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time-Series. <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>
- Paliwal R. L.; G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. FAO, Roma. <http://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm>.
- Rabbinge, R. 1993. The Ecological Background in Food Production. In *Crop Protection and Sustainable Agriculture*. John Wiley and Sons. Symp. 177, Chicester (págs. 2 a 29).
- Ray, D.; J. Gerber; G. MacDonald & P. West. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nat. Commun.* 6:5989 doi: 10.1038/ncomms6989 (2015).
- Ruiz, A.; T. Coyos, y L. Pagnan. 2018. Manejo de la fertilización nitrogenada y densidad de siembra de maíz en ambientes del sudeste de Córdoba – Experiencias de la Chacra Justiniano Posse. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/3052>
- Sawyer J.; E. Nafziger; G. Randall; L. Bundy; G. Rehm and B. Joern. 2006. Concepts and rationale for regional nitrogen rate guidelines for corn. PM2015. Iowa State University. Ames, Iowa. EEUU. <https://store.extension.iastate.edu/Product/pm2015>
- Whelan, B. M.; McBratney, A.B. (2000) "The "Null Hypothesis" of Precision Agriculture Management." *Precision Agriculture* 2: 265 - 279.

Alternativas de medición de la materia orgánica del suelo para la definición de zonas de manejo sitio específico

McDermot, T. ¹, J.M. Vázquez¹, M. Muñoz², G. Reposo¹, M. Martínez¹, V. Rojo¹, J.M. Gueçaimburu¹

¹Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Luján, Buenos Aires, Argentina. ² Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Luján, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *La materia orgánica es considerada uno de los factores fundamentales de la fertilidad de los suelos. Su concentración es de gran utilidad para guiar la aplicación de insumos agrícolas para mejorar la sustentabilidad del sistema. Por esto estimar la MO del suelo a partir de sensores que miden la reflectancia en el espectro del visible e infrarrojo cercano, resulta de utilidad, dado su bajo costo y alta densidad de datos con respecto al análisis tradicional. Al no contar con información sobre el desempeño de estos sensores en suelos de textura más gruesas, el presente trabajo propone comparar la capacidad de relevar la MO del suelo mediante sensores de reflectancia en tiempo real respecto de los muestreos tradicionales, y evaluar la distribución espacial de la MO en suelos de la Subregión Pampa Arenosa, a partir de la confección de mapas de MO que permitan realizar un manejo sitio específico de la fertilidad. Los datos pertenecen a un predio ubicado en el Partido de Bragado. Los valores de MO se obtuvieron por oxidación húmeda a partir de un muestreo tomado en una grilla de puntos georreferenciados. Estos se correlacionaron con los estimados por un sensor óptico de MO SmartFirmer, y se obtuvo como resultado un R de Pearson de 0,64 y un R² de 0,41 pero, se encontró una exactitud del 70% al definir zonas de manejo sitio específico a partir de la estimación de la materia orgánica por reflectancia*

Palabras clave. *agricultura de precisión , reflectancia, suelos arenosos.*

Introducción

El suelo es un recurso natural y un sistema muy complejo que permite el sostenimiento de las actividades productivas; la materia orgánica (MO) es uno de los indicadores más ampliamente utilizados para evaluar su calidad (Bünemann et al., 2018). En este sentido, mayores concentraciones de MO del suelo se asocian con mayores rendimientos de los cultivos, siendo una concentración de 3,5% de MO el umbral máximo para los cultivos de trigo y maíz (Oldfield et al., 2019). Los mapas precisos MO en el suelo permitirían a los productores ajustar la densidad de siembra, las dosis de fertilización, herbicidas y otros insumos de producción agropecuaria (Kweon & Maxton, 2013). Sin embargo, no alcanza con estimar su variabilidad espacial para manejar los suelos de manera eficiente y mantener su productividad, sino que además se necesitan estimaciones precisas de su variabilidad temporal (Córdoba & Balzarini, 2020), con métodos de generación de mapas sencillos, precisos y rápidos (Ladoni et al., 2010). Los mapas de suelo disponibles en la actualidad, difícilmente puedan ser utilizados para tomar decisiones de manejo de suelos debido a una pobre resolución espacial, falta de consistencia y altos costos de actualización, siendo la medición de la reflectancia en el espectro de la luz visible e infrarrojo cercano un método alternativo para relevar el contenido de MO del suelo de forma sencilla, a bajo costo y con una alta densidad de datos (Stevens et al., 2013).

Vázquez et al. (2020), compararon en un suelo de textura franco limosa, el contenido de MO estimado en el surco de siembra mediante un sensor de reflectancia y el medido en laboratorio por oxidación húmeda para la misma profundidad, encontrando que el sensor subestima el contenido de MO con un coeficiente de correlación de 0,48 y un coeficiente de determinación R^2 de 0,24. Se estima que en los últimos cinco años se han instalado estos sensores de reflectancia en más de 100 sembradoras en Argentina, pero aún no se cuenta con información sobre el desempeño de los mismos en suelos de textura más gruesas como los presentes en la Subregión Pampa Arenosa. El presente trabajo tiene como objetivo comparar la capacidad de relevar la MO del suelo mediante sensores de reflectancia en tiempo real respecto de los muestreos tradicionales, para evaluar la distribución espacial de MO en suelos de la Subregión Pampa Arenosa.

Materiales y métodos

El relevamiento se llevó a cabo en un predio de 56 hectáreas (550 x 1030 m), en la localidad de Bragado (35°07'00"S 60°30'00"O), en un paisaje de cordones arenosos ondulados de la Subregión Pampa Arenosa (Salazar et al., 1980). El predio era manejado en siembra directa con una rotación maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda.

La MO del suelo fue estimada mediante sensores de reflectancia SmartFirmer de la empresa Precision Planting. Estos fueron dispuestos en los abresurcos de una sembradora durante la implantación de un cultivo de maíz. Los sensores trabajaron a la profundidad de siembra que fue de unos cinco centímetros, y midieron la reflectancia del suelo en longitudes de onda del rango del visible e infrarrojo cercano, a partir de la radiación que emite el mismo sensor (Conway et al., 2019). La sembradora estaba equipada con un sensor cada cuatro surcos pero solo permitía exportar el promedio de los 5 sensores, 5 veces por segundo. Todos los datos fueron georreferenciados con el GPS del tractor que contaba con corrección diferencial.

Con posterioridad a la emergencia del cultivo, se realizó un muestreo en grilla. Para definir las dimensiones de las celdas de la grilla, se adoptó el criterio de que la distancia entre las muestras sea entre un tercio y un medio del rango de un semivariograma, generado a partir de información previa sobre la variabilidad espacial del lote, como imágenes satelitales o mapas de rendimiento (Oliver, 2010), aunque en este caso se tomó como referencia el semivariograma generado con los datos de MO obtenidos con el sensor de reflectancia. El ajuste de la grilla a las dimensiones del lote muestreado se llevó a cabo con la aplicación SoilSampler para dispositivos móviles, que es la misma que se utilizó para localizar los puntos de muestreo en el terreno y georreferenciarlos. Para que la

localización de los puntos en el terreno resultara precisa, se utilizó un receptor GNSS de doble frecuencia. Al mismo tiempo, los puntos de muestreo se registraron en archivos de formato rinex para su corrección en postproceso. El contenido de MO de las muestras se determinó por el método de Walkley & Black (1934), de acuerdo con la norma IRAM-SAGyP 29571-3 (2011).

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de la distribución de las dos variables y de su relación mediante un modelo de regresión lineal simple con el software estadístico R.

Finalmente a partir de los valores de MO obtenidos por las dos metodologías se generaron sendos mapas con la misma grilla de teselas de 35 metros y se clasificaron en dos clases de contenido de MO del suelo, con el software QGIS. La elección del tamaño de la grilla se adoptó siguiendo el criterio de que para interpolación espacial la grilla de predicción no tenga un espaciamiento inferior a la mitad del espaciamiento de los datos originales que para la grilla de muestreo era de 67 metros. El contenido de MO del suelo se dividió en dos clases a partir del 3,5% señalado por Oldfield et al (2019), y para los datos del sensor óptico fue de 2,93%, que se obtiene a partir del anterior mediante la ecuación de regresión. Con los dos mapas se evaluó la exactitud de la predicción de la MO por reflectancia, para la definición de zonas de manejo.

Resultados y discusión

Tanto la MO medida por oxidación húmeda como la estimada por reflectancia, no presentan grandes diferencias entre sus medias y medianas, por lo que sus distribuciones no están sesgadas (Tabla 1). Por otra parte, de la comparación de las medias, en principio se podría argumentar que la MO reportada por el sensor subestima, a la MO de laboratorio. En cuanto al desvío estándar, la MO estimada por reflectancia reporta un rango mucho más acotado que el relevado por el laboratorio. Esto último podría deberse en parte a que los datos de reflectancia descargados de la consola del sistema eran el promedio de las mediciones de los distintos sensores en el ancho de la sembradora.

Tabla 1. Valores obtenidos para los parámetros estadísticos descriptivos.

Variable	Media	Mediana	Desvío estándar
MO Laboratorio	3,26	3,33	0,80
MO Sensor	2,90	2,91	0,15

Del análisis de la relación entre los valores de MO reportados por el sensor y los obtenidos en laboratorio (Figura 1), surge que presentan un coeficiente de correlación R de Pearson de 0,64 y un coeficiente de determinación R de 0,41, que casi duplican los encontrados para suelos de textura más fina en la Región Pampeana (Vázquez et al., 2020). La mejor capacidad del modelo de explicar la variabilidad de los datos de MO estimada por reflectancia en el suelo de textura gruesa, puede deberse a la presencia de ambientes más contrastantes del paisaje de cordones arenosos ondulados de la Subregión Pampa Arenosa. En este sentido, el coeficiente de variación de los datos medidos en laboratorio fue de 3,3% en los suelos de textura fina y de 24% en los de textura gruesa medidos en este trabajo. Por otra parte, si bien existe una relación manifiesta entre los niveles de MO determinados por los dos métodos, dentro del rango de valores de MO medidos se encuentra que para los contenidos más bajos, el sensor de reflectancia tiende a sobrestimar los valores medidos en laboratorio y por el contrario tiende a subestimar los valores más altos de laboratorio. Esto se explica en parte por el hecho de que la pendiente del modelo de regresión lineal simple sea inferior a 1.

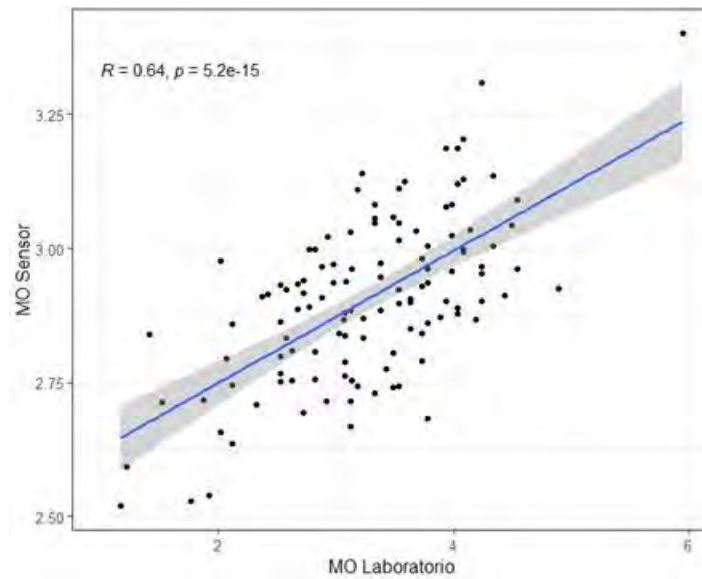


Figura 1. Gráfico de dispersión, con el trazado de la recta de mejor ajuste.

Para evaluar la exactitud del sensor para la determinación de áreas de manejo, se compararon los mapas de zonas de alto y bajo contenido de MO generados a partir de las dos metodologías evaluadas (Figura 2 y Tabla 2). En el mapa generado a partir de los datos medidos en laboratorio se identifican 3 zonas de bajo contenido de MO que en parte son encontradas en el mapa obtenido a partir del sensor de reflectancia, aunque con diferencias en los límites entre las dos clases de contenido de MO. Sin embargo el mapa obtenido por reflectancia presenta zonas de bajo contenido de MO que no se registran en el otro mapa, particularmente en la zona central del lote.



Figura 2. Mapas clasificados según el contenido de MO.

Tabla 2. Resultados obtenidos mediante el análisis geoestadístico.

Contenido de MO	Numero de pixeles	Área (m ²)	Porcentaje (%)
Siempre bajo (blanco)	94	11,5150	19
Siempre alto (negro)	258	31,6050	51
No cambia (blanco y negro)	252	43,120	70
Cambia según el método (gris)	155	18,9875	30

De la coincidencia entre ambos mapas se determinó un valor de un 70% de exactitud del sensor. Lo

cual contrasta con el R^2 de 0,41. Es necesario desarrollar algoritmos de corrección que permitan mejorar la exactitud del sensor para su uso en la definición de zonas de manejo.

Conclusiones

Los sensores de reflectancia que se están utilizando para estimar el contenido de MO del suelo en el surco de siembra, presentan un mejor ajuste en suelos de textura gruesa en paisaje de cordones arenosos ondulados de la Subregión Pampa Arenosa, respecto a otros suelos de la región Pampeana. Su uso para definir zonas de manejo sitio específico a partir del contenido de MO, mejora la escala de los mapas de suelos disponibles en la actualidad, pero aún se debe investigar la forma de mejorar su exactitud.

Referencias

- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., & Brussaard, L. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Conway, L.S., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Lindsey, A.J., & Carter, P.R. (2019). Planting Depth and Soil Series Effect on In-Furrow Soil Sensor Performance. En Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Veum, K.S. (Eds.), 5th Global Workshop on Proximal Soil Sensing Proceedings. www.pss2019.org
- Córdoba, M., & Balzarini, M. (2020). Mapeo de MO del suelo a escala de campo. In XII Congreso de AgrolInformática (CAI 2020)-JAIIO 49 (Modalidad virtual).
- Kweon, G., Maxton, C. (2013). Soil organic matter sensing with an on-the-go optical sensor. *Biosystems engineering*, 115(1), 66-81.
- Ladoni, M., Bahrami, H.A., Alavipanah, S.K., & Norouzi, A.A. (2010). Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review. *Precision Agriculture*, 11(1), 82-99.
- IRAM-SAGyP 29571-3. 2011. Norma IRAM-SAGyP 29571-3. (2011). Determinación de MO en suelos. Parte 3— Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte y digestión en tubo de ensayo. IRAM.
- Oldfield, E. E., Bradford, M. A., & Wood, S. A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), 15-32.
- Oliver, M.A. (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer.
- Salazar, J.C., Moscatelli, G.N., Cuenca, M.A., Ferrao, R.F., Godagnone, R.E., Grimberg, H.L., & Sánchez, J.M. (1980). Carta de suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. 1: 500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina, 505.
- Stevens, A., Nocita, M., Tóth, G., Montanarella, L., & Van Wesemael, B. (2013). Prediction of soil organic carbon at the European scale by visible and near infrared reflectance spectroscopy. *PloS one*, 8(6): e66409.
- Vázquez, J.M., M.H. Muñoz, O.S. Filipini, J.M. Guecaimburu, S.M. Zabala, G.P. Reposo, S.L. Vargas, M. Martinez, V. Rojo, J.A. Navone. (2020). Estimación de la variabilidad espacial de la MO del suelo mediante sensores de reflectancia. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 13 al 16 octubre de 2020, Corrientes.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.

Correlação entre a condutividade elétrica aparente e resistência à penetração em diferentes teores de água no solo

Eduardo L. Bottega^{1*}, Lucio de P. Amaral^{1#}, Telmo J. C. Amado¹, Filipe S. Severo², Ederson B. Pinto², Johan Assman²

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (PPGAP), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. ²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Coordenadoria Acadêmica de Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Autor correspondente: eduardo.bottega@ufsm.br

#: Autor apresentador

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Atualmente, com emprego de tecnologias geoespaciais no campo, tornou-se possível mapear a variabilidade espacial de atributos que influenciam na produtividade das culturas, dentre eles, a resistência do solo à penetração (RP). Entretanto, uma caracterização representativa exige a amostragem em vários pontos, o que pode elevar o custo de produção. Neste cenário, outras variáveis do solo podem ser mapeadas de forma rápida e barata, a fim de se conhecer a variabilidade espacial, é o caso da condutividade elétrica aparente (CEa), que, de acordo com alguns estudos, é influenciada por características físicas do solo. O presente trabalho objetivou estudar a correlação entre a condutividade elétrica aparente do solo, mensurada em diferentes condições de umidade, com a resistência do solo à penetração. O trabalho foi conduzido em Cachoeira do Sul/RS/Brasil, em área de pivô central, cultivada em sistema de plantio direto. Mensurou-se a CEa do solo em duas condições de umidade. Mensurou-se a RP do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Foi quantificada a correlação entre a CEa e a RP a partir do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson. Foi modelada a variabilidade espacial da CEa e da RP a partir do ajuste de semivariogramas. A CEa apresentou variabilidade espacial na área de estudos, independente da umidade do solo no momento das mensurações. Foi detectada variabilidade espacial da RP do solo nas camadas 0-10 cm, 20-30 cm e 30-40 cm. Correlação significativa foi observada entre a RP e a CEa mensurada em condição de baixa umidade do solo.

Palabras clave. Agricultura de Precisão. Compactação do solo. Plantio Direto.

INTRODUÇÃO

Melhorias do processo produtivo, sejam elas em ganhos de produtividade das culturas ou na otimização do uso de insumos, passam, obrigatoriamente, por um adequado manejo do solo, buscando garantir sua qualidade química, física e biológica. Quando emprega-se a expressão “qualidade física do solo”, pode-se referir à capacidade física do solo em sustentar o pleno desenvolvimento das plantas. Neste contexto, a resistência do solo à penetração (RP) se destaca, pois, indica o grau de compactação de um solo agrícola (EMBRAPA, 2007).

A compactação do solo é um fenômeno físico que tem sido associado à diminuição da produtividade de culturas (BEUTLER et al., 2004; ROQUE et al., 2008). Causada por tensões que surgem na interface solo/pneu e solo/implemento, pela aplicação de cargas dinâmicas ao solo, por rodados e implementos agrícolas durante o manejo (SILVA et al., 2003), ela se caracteriza pela aglutinação das partículas primárias do solo, mudanças em propriedades físicas relacionadas ao volume de espaço vazio do solo, redução do crescimento e da distribuição de raízes e suas consequências (STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002; SILVA et al., 2003).

Atualmente, com emprego de tecnologias geoespaciais no campo, tornou-se possível se conhecer a variabilidade espacial de atributos que influenciam na produtividade das culturas, dentre eles, a RP. Um fator que pode comprometer a viabilidade financeira de se mapear a RP do solo é a necessidade de um levantamento detalhado, realizado mediante a mensuração da RP em uma grande quantidade de pontos amostrais distribuídos ao longo da área.

Acredita-se que, a partir do mapeamento da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, $mS\ m^{-1}$), seja possível definir zonas de manejo capazes de diferenciar os graus de compactação do solo em uma área de cultivo. Com base no exposto, o presente trabalho objetivou estudar a correlação entre a condutividade elétrica aparente do solo, mensurada em diferentes condições de umidade, com a resistência do solo à penetração.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Cachoeira do Sul, estado do Rio Grande do Sul, em uma área comercial destinada ao cultivo de grãos em sistema de plantio direto, sob pivô central, com 25,8 hectares. O estudo foi realizado na entressafra na condição de resteva de trigo. O solo da região é classificado como ARGISSOLO Vermelho (EMBRAPA, 2013). Foi estabelecida uma malha amostral composta por 95 pontos (Fig. 1), com espaçamento regular de 50 x 50 metros. Estes pontos serviram de base para coleta de dados de altitude em relação ao nível do mar, mensuração da resistência do solo à penetração (RP, MPa) e retirada de amostras para caracterização da umidade (0-20 cm).

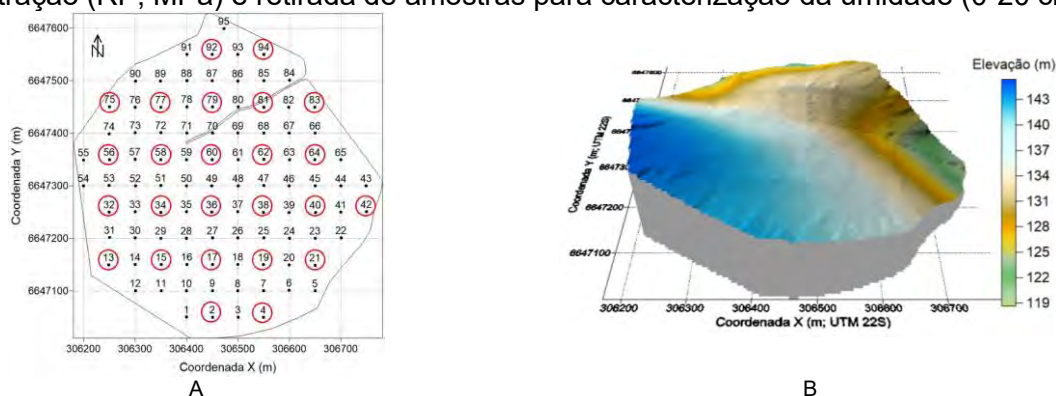


Figura 1. Polígono da área de estudos e pontos amostrais utilizados como base na mensuração da resistência do solo à penetração (RP, MPa) e coleta de amostras de solo (A) para determinação da umidade (pontos circulado em vermelho) e modelo digital de elevação do terreno (B).

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹) foi mensurada no dia 13/11/2018. O solo, neste dia, apresentava baixa umidade (13,7 kg kg⁻¹). No dia 17/11/2018 foi efetuada a segunda mensuração, dois dias após uma chuva de 70 mm. Foi utilizado o equipamento Terram® da Falker Automação Agrícola para medir a CEa. O Terram é um equipamento constituído por um chassi onde são montados quatro discos igualmente espaçados em 0,25 metros, medindo assim a CEa até 0,25 m de profundidade. Lastro são adicionados ao chassi para garantir o corte da palhada e o contato dos discos com o solo. Os discos internos atuam como eletrodos potenciais e os externos como eletrodos de corrente. A condutividade elétrica do solo é obtida a partir do inverso da resistividade elétrica do solo mensurada pela diferença potencial entre a corrente emitida e aquela recebida.

A RP foi mensurada com uso do penetrógrafo Solo Star da empresa Falker, modelo PLG5500 - Sistema automatizado para medição da compactação do solo. Os dados coletados foram gravados no sistema Fieldbox, de fabricação da mesma empresa.

A dependência espacial da CEa e da RP foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde;

$\hat{\gamma}(h)$ = Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h = Distância de separação entre pares de pontos, em metros;

N_(h) = Número de pares experimentais de observações Z_(x_i) e Z_(x_i + h) separados por uma distância h.

Os dados de CEa e de RP foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se a média, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação, a fim de fazer a caracterização. Dos 95 pontos amostrais, 38 foram selecionados para serem utilizados na análise de correlação de Pearson. As análises estatísticas foram realizadas no software Statística, versão 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentado o resumo estatístico para as leituras de CEa nas duas datas em que foram realizadas. Maior valor médio e menor CV% foi obtido para leituras efetuadas no dia 17/11/2018, dois dias após chuva de 70 mm. Esse fato pode ser explicado pois a CEa depende em larga escala da solução eletrolítica existente no solo ao invés das partículas sólidas do mesmo. Portanto, o nível da condutividade elétrica de um solo é principalmente devido ao seu teor de água e ao teor de sais dissolvidos nele (FREELAND, 1989).

Tabela 1. Resumo estatístico descritivo da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹) mensurada na área de estudos em duas datas

Atributo do solo	Profundidade (cm)	Parâmetros estatísticos	13/11/2018 ⁽¹⁾ menor umidade	17/11/2018 ⁽²⁾ maior umidade
CEa (mS m ⁻¹)	0 – 25	Média	5,72	7,89
		Mínimo	3,44	4,79
		Máximo	10,70	12,29
		Desvio Padrão	1,22	1,40
		CV (%)	21,38	17,79

⁽¹⁾Umidade média do solo na área de estudos para leituras de CEa efetuadas em 13/11/2018: 13,7 kg kg⁻¹. ⁽²⁾Leituras realizadas dois dias após chuva de 70 mm.

Os valores médios de RP do solo variaram entre 0,9 (0-10 cm) e 2,10 MPa (30-40 cm), indicando uma tendência de aumento da RP em função do aumento da profundidade de mensuração (Tabela 2). Estudos conduzidos por Cortez et al. (2014) indicam o aumento da RP em profundidade até à

Memórias del Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión

camada de 0,25-0,30 m, provavelmente devido a um conjunto de fatores, entre os quais maior deposição de matéria orgânica e atividade biológica nas camadas superficiais que diminui a densidade do solo, além do intenso tráfego máquinas/implementos em área sem revolvimento do solo, que favorece a distribuição de pressões resultantes do contato solo-rodado, contribuindo para formação de camadas compactadas e para o aumento da RP nas camadas subsuperficiais, corroborando com os resultados observados neste estudo.

Tabela 2. Resumo estatístico descritivo da resistência do solo à penetração (RP, MPa), mensurada em 17 de novembro de 2018

Profundidade (cm)	Média (Mpa)	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
0-10	0,90	0,30	1,67	0,29	32,20
10-20	1,67	1,05	2,30	0,23	13,72
20-30	1,74	1,08	2,43	0,24	13,75
30-40	2,10	1,39	3,49	0,32	15,17

Não foi observada correlação da CEa com a RP, quando o solo apresentou maior umidade, ou seja, dois dias após chuva de 70 mm, independente da profundidade mensurada (Tabela 3). Este fato pode indicar que, para detecção indireta de zonas compactadas, a partir da mensuração da CEa do solo, é desejável um baixo teor de água no solo. Correlação negativa e significativa foi observada para as camadas mais subsuperficiais, estando o solo com menor teor de umidade. Em seus estudos, Freeland (1989) destacou que o principal fator condutor de eletricidade pelo solo é a água presente em seus poros. Portanto, em um solo com menor teor de água espera-se menor condução elétrica, em especial, nas camadas mais densas, onde os espaços de poros são reduzidos. Neste estudo observou-se que a correlação negativa significativa se deu justamente nas camadas de solo mais subsuperficiais, ou seja, aquelas mais compactadas.

Tabela 3. Correlação de Pearson entre a condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹) mensurada em duas condições de umidade e a resistência do solo à penetração (RP, MPa)

	CEa 13/11/2018	CEa 17/11/2018	RP 0-10	RP 10-20	RP 20-30	RP 30-40
CEa 13/11/2018	1,00					
CEa 17/11/2018	0,36*	1,00				
RP 0-10	-0,19	-0,01	1,00			
RP 10-20	-0,19	-0,17	0,50*	1,00		
RP 20-30	-0,35*	-0,19	0,12	0,50*	1,00	
RP 30-40	-0,35*	0,08	0,10	0,18	0,62*	1,00

*Coeficiente de Pearson significativo a 5% de probabilidade

Os mapas temáticos representativos da variabilidade espacial da CEa e da RP são apresentados na Figura 2. É possível observar maior relação do mapa da CEa medida em 13/11/2018 com os mapas de RP, em que locais de maior CEa correspondem a locais de menor RP, conforme já evidenciado na análise de correlação de Pearson. Outro fato evidenciado nos mapas é que a RP, na área de estudo, não é uniforme. De acordo com Richart et al. (2005), a compactação depende de fatores externos como o tipo, a intensidade e a frequência de carga aplicada, bem como de fatores internos do solo, destacando a umidade, textura, estrutura, teor de carbono, densidade inicial e o histórico de tensões aplicadas ao longo dos cultivos. Estes fatores influenciam não apenas a variabilidade espacial da RP, mas também, sua magnitude em função das diferentes camadas de solo estudadas.

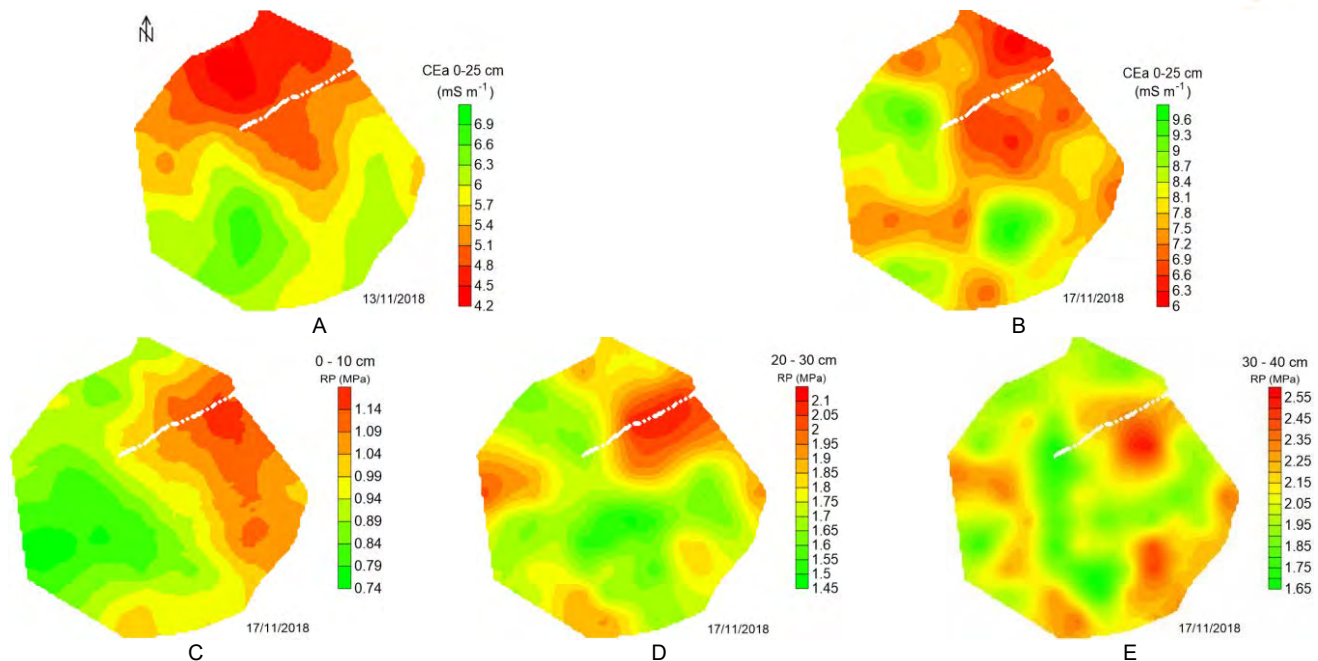


Figura 2. Mapas temáticos representativos da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa; mS m^{-1}) mensurada em 13/11/2018 (A) e em 17/11/2018 (B) e da resistência do solo á penetração (RP, MPa) nas camadas de 0-10 cm (C), 20-30 cm (D) e 30-40 cm (E).

CONCLUSÃO

A CEa apresentou variabilidade espacial na área de estudos, independente da umidade do solo no momento das mensurações. Foi detectada variabilidade espacial da RP do solo nas camadas 0-10 cm, 20-30 cm e 30-40 cm. Correlação significativa foi observada entre a RP e a CEa mensurada em condição de baixa umidade do solo, sendo negativa nas camadas subsuperficiais, mais compactadas.

REFERÊNCIAS

- Beutler, A. N., Centurion, J. F., da Silva, A. P., Roque, C. G., Ferraz, M. V. (2004). Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(6), 575-580.
- Cortez, J. W., Olszewski, N., Pimenta, W. A., Patrocínio Filho, A. P., Souza, E. B. de., Nagahama, H. de J. (2014). Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3), 1000-1010.
- Embrapa (2013) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 353 p.
- Embrapa (2007) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistemas de Produção: Cultivo do Milho*. 3 ed. Nov./2007. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35250/1/Economia-producao.pdf>. Acesso em 22 fev. 2022.
- Freeland, R. S. (1989). Review of soil moisture sensing using soil electrical conductivity. *Transaction of the ASAE*, 32(6), 2190-2194.
- Richart, A., Tavares Filho, J., Brito, O. R., Llanillo, R. F., Ferreira, R. (2005). Compactação do solo: causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, 26(3), 321-344.
- Roque, M. W., Matsura, E. E., Souza, Z. M. de, Bizari, D. R., Souza, A. L. de, (2008). Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1827-1835.
- Silva, R. B., Dias Junior, M. S., Silva, F. A. M., Fole, S. M. (2003). O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 973-983.
- Stone, L. F., Guimarães, C. M., Moreira, A. A. J. (2002). Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6, 207-212.

Cuantificación de la pérdida de superficie y productividad agrícola en suelos del sur de la provincia de Córdoba

Ercole Hilario; Altobelo María Florencia, Cavanagh Martin, Dali Diego.

hercole@silodata.com.ar Silodata - Río cuarto, Córdoba, Argentina; faltobelo@silodata.com.ar Silodata - Río cuarto, Córdoba, Argentina; mcavanagh@silodata.com.ar Silodata - Río cuarto, Córdoba, Argentina; ddali@silodata.com.ar Silodata – Río cuarto.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La degradación y pérdida de tierras agrícola es de gran importancia para los sistemas productivos en la provincia de Córdoba y un tema principal dentro del estudio del impacto ambiental del Siglo XXI. En este contexto el objetivo del trabajo es cuantificar zonas que hayan perdido su aptitud agrícola o estén disminuyendo su productividad, dentro de un campo localizado en el sur de la provincia de Córdoba. El análisis se realizó a partir de 15 años consecutivos de mapas de rendimientos normalizados y el uso del software Qgis. Se detectaron 248 ha de aptitud agrícola que representan el 9,29% de la superficie productiva, en las que, debido al efecto de ascenso de napa freática, al menos en alguna campaña no se logró cosechar cultivo. Además, a partir del cálculo de la pendiente de la regresión lineal de los rendimientos relativos de las últimas 15 campañas, se delimitaron 249 ha adicionales (9,33% de la superficie productiva) que han tenido como mínimo una pérdida de productividad promedio del 1% anual. El total de hectáreas afectadas (497) perdieron en promedio 2.4% del rendimiento relativo cada año. Creemos que el conocimiento y la cuantificación de dichas áreas nos permiten generar preguntas para la toma de decisiones de diferentes índoles como ser; ¿Cómo recuperar lo perdido? ¿Qué decisiones de manejo podemos llevar a cabo para evitar la pérdida de productividad? ¿Qué indicadores medir para seguir la evolución de la pérdida?

Palabras clave. Impacto ambiental, Degradación de los suelos, Mapas de rendimientos, Pérdida de superficie agrícola, Agricultura de Precisión,

Introducción

El incremento en la incorporación de tecnologías asociadas a la agricultura de precisión, permiten cuantificar diferentes variables. Una variable de gran interés dentro del estudio del impacto ambiental, es la pérdida de superficie agrícola y pérdida de productividad de la superficie asociada. La degradación de la tierra es un proceso en el que el valor del medio ambiente biofísico se ve afectado por una combinación de procesos inducidos por el hombre. Sus implicancias en la pérdida de tierras agrícolas son de principal importancia para el Siglo XXI, ya que se considera que un 40% de las tierras agrícolas del mundo están gravemente degradadas.

Entre las causas que generan la pérdida de productividad del suelo del Centro-Sur de la provincia de Córdoba se encuentra el ascenso y afloramiento de la napa freática. La presencia de napas demasiado cercanas a la superficie trae aparejada procesos de anoxia (con pérdida de plantas o reducción de rendimientos), que sumados a los problemas físicos de suelo (la falta de piso para sembrar, realizar labores intermedias y/o cosechar) y al ascenso de sales por capilaridad, provocan importantes pérdidas económicas en los sistemas productivos.

En el presente trabajo, se evaluó la pérdida de superficie agrícola y de productividad de los suelos, de un campo ubicado a 30Km al sur de la localidad de Uchacha, provincia de Córdoba. El establecimiento agrícola cuenta con 3.700 ha de las cuales 2.668 ha son de aptitud agrícola. A partir de un análisis de variabilidad espacial y temporal se clasificaron en 7 ambientes; Alta producción, Producción promedio, Baja producción, Muy baja producción, Influencia de Napa 1, Influencia de Napa 2, Bajo hidrohalomórfico. (Figura 1). A su vez, cuenta con un sistema de riego en pívot que conforman 6 círculos de riego.



Figura 1. Plano y Mapa de ambiente del establecimiento agrícola

A lo largo de los años, con el análisis de los mapas de rendimiento, se observó que ambientes de alto potencial estaban siendo degradados hasta llegar a ser improductivos. Esto se convirtió en el puntapié de la presente investigación.

Pérdida de superficie agrícola.

El procesamiento de datos se basó en 15 años consecutivos (2003/04 a 2018/19) de mapas de rinde normalizados con el software Qgis, e información obtenida de 3 frentímetros ubicados en el campo de estudio. Se observó que la tendencia de la napa freática en los últimos 8 años es la disminución de su profundidad influenciando en diferentes aspectos de la producción agropecuaria (Gráfico 1).

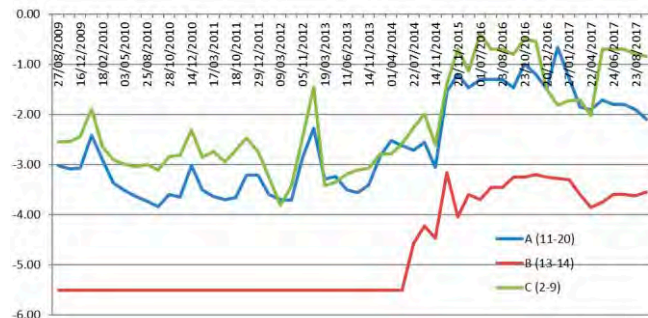


Gráfico 1. Profundidad de Napa freática de 3 lotes diferentes.

La pérdida de la superficie agrícola, entendida como la suma de la superficie que al menos en una campaña no fue cosechada, arrojó un valor de 248 ha en el período de estudio representando un 9,29% del área total. Cabe aclarar que las causas de la pérdida de superficie se asocian a la pérdida del cultivo o la imposibilidad de siembra o cosecha por impedimento de tránsito, debido a la influencia de napa con efecto negativo (< 1 metro de profundidad) (Figura 3). La evolución de la pérdida de superficie muestra un gran auge a partir de la campaña 2011/2012, con algunas oscilaciones debido a la variabilidad de las precipitaciones anuales (Figura 4).



Figura 2. Superficie total perdida en un período de 15 años.

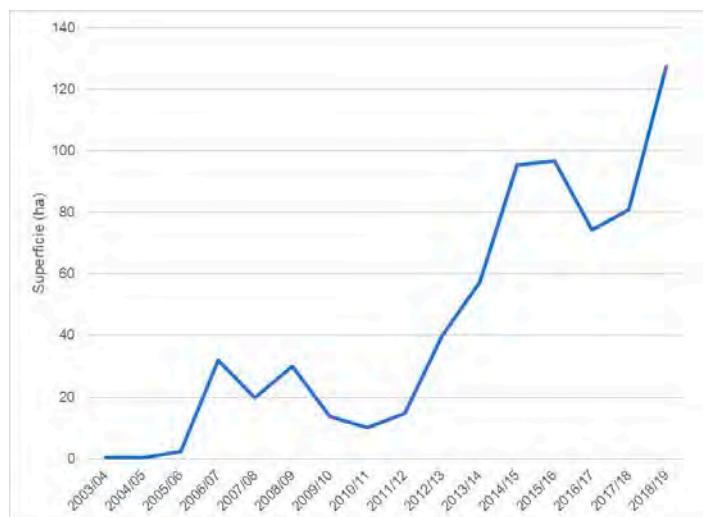


Gráfico 2. Evolución de superficie perdida.

Pérdida de la productividad.

Los rendimientos relativos, obtenidos de los mapas de rinde a lo largo de 15 años, nos permiten evaluar la tendencia de la productividad del resto de la superficie no perdida. Es decir, hay superficies que aumentaron su productividad y otras que la disminuyeron estando en peligro de ser improductivas al pasar los años.

Con fines prácticos se dividieron los mapas de rinde en pixeles de 25 m². Luego se calculó la pendiente de la regresión lineal de los rendimientos relativos de las ultimas 15 campañas por pixel. Este valor se traduce como el promedio de cambio en la productividad anual. A modo de ejemplo un valor de -2, significa que ese pixel perdió en promedio el 2% del rendimiento relativo cada año. Con el objetivo de delimitar zonas que disminuyeron su productividad, se tomó un valor arbitrario de -1. Es decir, en donde la pérdida de rendimiento relativo fue mayor al 1% promedio por año, lo que es lo mismo decir, que fue al menos del 15% a lo largo de los 15 años evaluados. Estas zonas suman una superficie de 249 ha, lo que representa el 9.33% del área total con aptitud agrícola del establecimiento (Figura 3). La suma de la superficie perdida y la superficie con una disminución promedio anual de rendimiento relativos mayores al 1% representan un 18,22% arrojando un valor de 497 ha (Grafico 3). Finalmente, el total de las hectáreas afectadas perdieron en promedio 2.4% del rendimiento relativo cada año (Gráfico 4). En contra parte, la superficie no afectada, aumento en promedio 0.5% el rendimiento relativo por año.



Figura 3. Superficie total afectada.

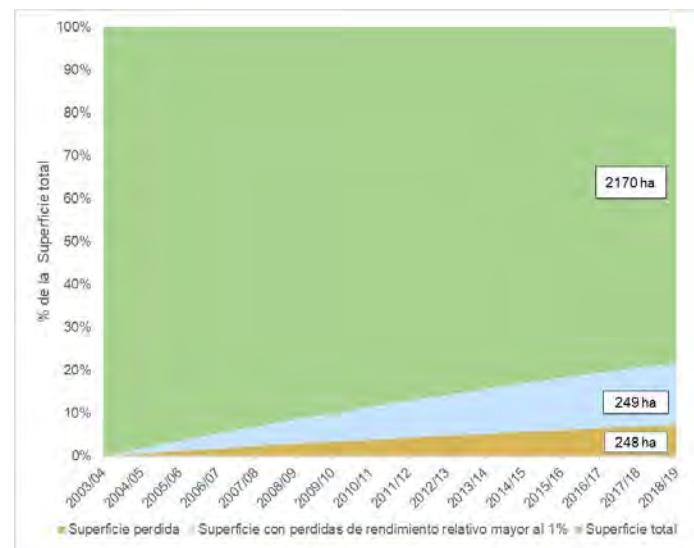


Gráfico 3. Porcentaje de la superficie total con aptitud agrícola de la zona afectada.

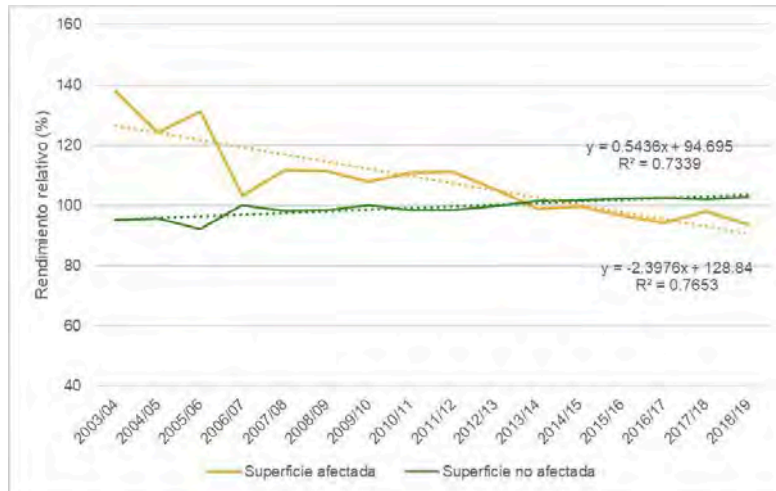


Gráfico 4. Pérdida promedio anual de rendimiento relativo de la superficie afectada (498 ha) y no afectada (2170 ha).

Conclusiones

A partir del análisis de mapas de rendimiento obtenidos por 15 años consecutivos, pudimos cuantificar la pérdida de superficie agrícola y la pérdida de productividad de un campo asociado a bajos hidro halo mórficos e influencia de napas. Los resultados arrojaron que 248 ha perdieron su aptitud agrícola por el ascenso de la napa freática. Por otra parte, 249 ha adicionales han perdido al menos el 15% de su productividad relativa en el periodo de estudio. Esto hace un total de 498 ha, que perdiendo en promedio 2.4% del rendimiento relativo por año. El resultado de este análisis es el puntapié para poder realizarse preguntas tales como ¿Cuánta superficie adicional se va perder? ¿Qué indicadores podemos medir para poder seguir la evolución de la perdida de la productividad? ¿Cuánta superficie se puede recuperar? ¿El riego agrava el problema? ¿Qué podemos hacer para que no avance? La identificación de las zonas afectadas nos permite realizar diagnósticos in-situ y poder dirigir las practicas de manejo que mitiguen la problemática actual.



APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE VARIABILIDADES FÍSICO-QUÍMICAS EN PROYECTOS AGROFORESTALES

Ing. Agr. Arturo Bisonó¹, MSc. Gabriel Gonzalez²

¹ CEO, Agroprecisión Dominicana; ² Asesor, Agroprecisión Dominicana

Trabajo presentado al Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2022) 30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

1. Resumen.

1.1 Problemática

Se ha considerado que la variabilidad espacial es el principal tipo de variabilidad que afecta a los suelosⁱ, por lo que en los últimos tiempos se ha trabajado intensamente en la adopción y adaptación de metodologías para estudiar dicha variabilidad, de modo que se pueda mejorar el manejo de este recurso para tener una mayor eficiencia y rentabilidad en la producción agropecuaria, así como prácticas más amigables con el medio ambiente.

Las metodologías tradicionales de muestreo del suelo tales como la de suelo dirigido, aleatorio simple y estratificada, sistemática, conglomerado y anidado son algunos de los descritos en la literaturaⁱ. Sin embargo, todos ellos tienen el inconveniente de estar fuertemente influenciados por el “azar”^{iv} donde la única forma de acercarse a conocer la variabilidad espacial de los parámetros físicos y químicos es aumentar la cantidad de muestras para promediar y de una manera muy optimista disminuir así el margen de error de los resultados. Esto no sólo no asegura la calidad de los datos, sino que el monto económico en muchos casos es imposible de costear.

Este estudio aborda los territorios de Barahona, Bahoruco, Independencia, Hondo Valle, Sabaneta, Los Fríos y Las Cañitas sumando un área de 42,000 ha, ubicadas en la región sur de la República Dominicana y una cantidad de 6438 unidades de producción con los cultivos combinados de café, aguacate, mango y cacao.

1.2 Objetivos del estudio

Implementar una estrategia metodológica basada en técnicas de teledetección que permita representar la variabilidad de suelos y factores ambientales modificadores para la determinación de **zonas homogéneas de manejo**.

1.3 Resumen de los métodos

Dada la extensión de las áreas de estudio, la principal herramienta metodológica que se utilizó para segmentar estas zonas de acuerdo a los criterios de suelo y vegetación, suelo y topografía, suelo y clima, es la teledetección y fue mediante estas técnicas que se llevó el análisis a un nivel geoestadístico que permitió establecer zonas de manejo homogéneo y especialmente optimizar la toma de muestras. Se recibieron por parte de la Unidad Técnica Ejecutora de Proyectos Agroforestales (UTEFDA) del Gobierno Dominicano, un set de polígonos vectoriales en formato

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022

INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

kmz georreferenciados de las 6 zonas generales de los proyectos agroforestales que atiende esta institución y 6438 polígonos de las unidades específicas de producción.

Estos archivos vectoriales se traspasaron a formato del tipo base de dato espacial, Shp, se organizaron sus tablas de atributos eliminando campos que no representen importancia para el estudio y agregando aquellos que si la tienen y no hayan agregado inicialmente.

Métodos de análisis de variables influyentes en la formación o expresión de la variabilidad de los suelos:

- Estudio topográfico, altimétrico y de pendientes:

Se utilizaron modelos digitales de elevación cuya resolución es de 12.5 metros por cada pixel de la plataforma Alos Palsar cuyo satélite ALOS fue lanzado en enero del 2006 por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial y su nombre japonés es "DAICHI". El resultado de este parte del estudio fue la delimitación de zonas homogéneas básicamente de acuerdo con criterios de altitud, exposición y pendientes.

- Estudio de la Vegetación: vigor y estado de desarrollo:

Para esta etapa del estudio se utilizaron técnicas de teledetección basándose en imágenes multiespectrales de la plataforma Sentinel 2A. Las misiones Sentinel incluyen satélites de radares y satélites de imágenes multiespectrales para la vigilancia terrestre, oceánica y atmosférica de la tierra.

Empleando técnicas de procesamiento big data se realizó un estudio multitemporal del vigor de la vegetación mediante índices de vegetación para caracterizar su condición ya sea nativa o cultivos. Estos indicadores son el índice de vegetación normalizado por diferencias o NDVI y el índice vegetal ajustado al suelo o SAVI.

Además, se caracterizó la vegetación predominante de acuerdo con la variación temporal del índice de área foliar o LAI y el factor de cobertura vegetal FCV que proporciona el grado de recubrimiento del suelo por parte de la vegetación.

- Estudio de la condición agroclimática – Precipitaciones:

Mediante técnicas de teledetección y procesando información del tipo big data se realizó un estudio del perfil climático de cada una de las zonas generales de estudio. Como principal parámetro medioambiental se realizó una caracterización multitemporal de la precipitación acumulada anual que determinó la sectorización de las áreas homogéneas de manejo.

- Etiquetado de fincas según variables evaluadas:

Una vez obtenidos los resultados de los puntos anteriores y conocidas las clases que determinarían las zonas homogéneas de manejo, se elaboró un análisis basado en el valor obtenido por variable para cada uno de los 6348 polígonos que representan a las diferentes unidades de producción de los 6 territorios.

- Selección de número de calicatas y muestras de suelo.

Para la determinación del número de muestras que serían necesarias obtener se realizó un análisis de

componentes principales. Principal Component Analysis (PCA) es un método estadístico que permite simplificar la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones a la vez que conserva su información. De esta forma se obtuvo un set de 32 puntos que mejor representaron el total de combinaciones que generaron las variables en las 6348 fincas.

- Análisis de suelos:

Para los efectos de este estudio se realizó la toma de muestras según la metodología descrita en el punto anterior y en cada uno de los puntos señalados se realizó una calicata para un análisis descriptivo in situ. Se realizaron calicatas de un metro de profundidad con su debida descripción edáfica, y análisis de en laboratorio físico y químico.

- Método de interpolación de resultados:

Dada la naturaleza del análisis geoestadístico, el método de interpolación utilizado fue el de Kriging. Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z que en este caso será el nivel del nutriente en el suelo.

Dada la envergadura de los resultados que en una hoja de cálculos acompañan a este informe se mostrará a modo de ejemplo la manera como interpretar la recomendación.

1.4 Resultados cuantitativos

Esta estructura metodológica permitió generar áreas homogéneas de manejo representadas en un formato de sistema de información geográfica (SIG) hacia las cuales dirigir los análisis de suelo respectivos que finalmente determinarían las decisiones de manejo. Esta metodología optimizó notablemente el trabajo en terreno y sobre todo los análisis físicos, hídricos y químicos de suelo.

Tabla 1. Información contenida en la tabla de atributos de cada agricultor.

Campo	Observación	Variable	Columna
Id	Identificador de la finca	FMLC068	A
Rubro	Cultivo que posee	Café	B
Altitud	Localización respecto al nivel del mar	1057,5	C
Nombre	Identificación del propietario	Milagros del Rosario	F
Apellido	Identificación del propietario	Alcántara	G
Municipio	Municipio al que pertenece la finca	Padre Las Casas	J
Lugar	Nombre local del lugar	El Córvano	K
Proyecto	Identificación del territorio	Las Cañitas	L
Hectárea	Superficie de la finca expresada en hectáreas	0,165	R

Nitrógeno	Contenido de nitrógeno en mg/kg	2,35	X
Fósforo	Contenido de fósforo en mg/kg	29,9	Y
Potasio	Contenido de potasio en mg/kg	0,19	Z
RNitrógeno	Recomendación de nitrógeno en Kg/ha	154,4	AA
RFósforo	Recomendación de fósforo en Kg/ha	0,0	AB
RPotasio	Recomendación de potasio en Kg/ha	152,6	AC
RTNitrógeno	Recomendación total de nitrógeno en Kg	24,1	AE
RTFósforo	Recomendación total de fósforo en Kg	0,0	AF
RTPotasio	Recomendación total de potasio en Kg	25,2	AG

Palabras clave. Agroforestería, Teledetección, Kriging, calicata, Índices de vegetación.

Conclusiones

- Esta estructura metodológica permitió generar áreas homogéneas de manejo representadas en un formato de sistema de información geográfica (SIG) hacia las cuales dirigir los análisis de suelo respectivos que finalmente determinarían las decisiones de manejo.
- Esta metodología optimizó notablemente el trabajo en terreno y sobre todo los análisis físicos, hídricos y químicos de suelo.
- Aunque los resultados han expuesto que la metodología propuesta puede segmentar muy bien la variabilidad de los parámetros analizados, es necesario realizar posteriores investigaciones para validar el manejo sitio – específico en proyectos agroforestales, utilizando esta metodología.

Referencia.

ⁱ Gregorich, E. G., & Carter, M. R. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.

ⁱⁱ Dane, J. H., Topp, G. C., & Campbell, G. S. (2002). *Methods of soil analysis physical methods* (No. 631.41 S63/4).

Uso de muestreos sistemáticos para estimar producción, curvas de calibre y mejoras en el manejo de huertos de Ciruelo Europeo (*Prunus domestica*).

Rodrigo Ortega¹, Hugo Poblete², María M. Martínez¹, y Consuelo Poblete².

rodrigo.ortega@usm.cl

¹ Universidad Santa María, Avenida Santa María 6400, Vitacura, Santiago, Chile. ² La Rosa Sofruco S.A., Coyancura 2283, Providencia, Santiago, Chile.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

El ciruelo europeo denominado popularmente en Chile ciruelo D'agen, ocupa actualmente una superficie de 12.000 hectáreas, con una producción estimada de 85.000 toneladas de las cuales 15.000 toneladas se exportan en fresco, mientras las 70.000 toneladas restantes se utilizan para deshidratado.

El uso de muestreo del tipo sistemático, con una intensidad adecuada, permite estudiar la variabilidad espacial de las variables de interés y estimar con mayor exactitud los parámetros de la población (promedio, desviación estándar). La estimación de rendimiento es compleja en ciruelo europeo, debido a la gran cantidad de frutos por árbol y la dificultad de identificar los frutos dentro de la canopia.

En un cuartel de 15 ha de ciruelo europeo se estableció una grilla sistemática alineada de 0,65 ha, con un total de 23 puntos de muestreo totales. En cada punto se determinaron propiedades del suelo como compactación, fertilidad de suelos y actividad microbiológica. Durante la temporada de crecimiento, semanalmente, se colectaron imágenes satelitales de 3 x 3 m de pixel para evaluar la evolución de la canopia de los árboles. Previo a cosecha en cada punto de la grilla se cosechó toda la fruta de cada árbol muestreado y se pesó. Además, se tomó una muestra aleatoria de la fruta cosechada para determinar la distribución de calibre en cada punto y en el total del cuartel. A partir de los datos de muestreo se estimó el rendimiento del cuartel y a pesar de la elevada variabilidad de los calibres de fruta (CV de 18-32%) y rendimientos por árbol (43%), se alcanzó un error de estimación < 6% en comparación al rendimiento real. Se desarrollaron distintos modelos de regresión para explicar el rendimiento del ciruelo en función de propiedades del suelo y canopia.

Palabras clave. *Ciruelo D'agen, muestreo sistemático, actividad biológica, compactación, estimación de rendimiento, NDVI.*

Evaluación y validación del sensor SoilOptix para caracterizar la variabilidad intralote en suelos de la provincia de Entre Ríos

Sabrina Ramírez¹, Santiago Hill², Alejandra Kemerer^{1,3}, Leonardo Novelli^{1,3,4}, y Ricardo Melchiori³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ²Asesor privado, San Salvador, Entre Ríos, Argentina; ³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ⁴CONICET

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Comprender la variabilidad espacial de los atributos químicos y físicos del suelo optimiza la gestión de recursos como agua y nutrientes dentro de los sistemas agroproductivos. El mapeo de suelos con sensores proximales permite conocer la heterogeneidad del mismo a una escala espacial detallada de manera eficiente y no invasiva. Una de las herramientas utilizadas para tal fin, son los sensores proximales pasivos basados en la emisión de rayos gamma como el SoilOptix, equipamiento no validado aún en Argentina. El objetivo de este trabajo fue evaluar y validar el sensor SoilOptix para caracterizar la variabilidad intra lote en suelos agrícolas de la provincia de Entre Ríos, para tres variables de suelo: potasio (K), conductividad eléctrica (CE) y pH. Se realizaron relevamientos de suelo a escala intra lote utilizando SoilOptix en lotes agrícolas ubicados en las localidades de Oro Verde y Jubileo, de la provincia de Entre Ríos. Para la validación de las estimaciones del equipo, se llevaron a cabo muestreos de suelo adicionales independientes y se analizaron medidas descriptivas, como así también la asociación existente entre las variables estimadas por el sensor y los resultados de análisis de suelo, por medio de regresión lineal. Los resultados mostraron que el mejor ajuste se logró para el contenido de potasio en el suelo, con un $R^2=0.6$. Esta evaluación preliminar sugiere la necesidad de mejorar las calibraciones.*

Palabras clave. *SoilOptix, variabilidad intralote, validación.*

Introducción

La agricultura de precisión es una estrategia de gestión que recopila, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada, con la finalidad de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (ISPA, 2018). Comprender la variabilidad espacial de los atributos químicos y físicos del suelo optimiza el uso de agua y nutrientes y, en consecuencia, la rentabilidad de los cultivos. El mapeo de suelos con varios tipos de sensores de suelo proximal brinda a los productores una gran oportunidad para conocer la heterogeneidad del suelo a una escala espacial inferior al metro de una manera eficiente y menos invasiva (Huang et al, 2018). Una alternativa económica que se ha sugerido podría ser la integración de varios sensores montados en plataformas en tiempo real (Kuang et al. 2012; Adamchuk et al. 2011). La calidad de la estimación lograda a través de la fusión de datos depende de una correcta selección de los sensores utilizados para estimar las propiedades de suelo (Mahmood et al. 2012). En este sentido, resulta fundamental conocer las prestaciones y bondades de cada uno de ellos en ambientes con diferentes características.

Entre los sensores proximales, existen diversas opciones como las rastras de conductividad eléctrica (Veris, EM 38, Dual m), las que se han probado y extendido ampliamente su uso en sistemas productivos de Argentina (Gambaudo et al., 2008; Pautasso et al., 2009, Paggi et al., 2013). Más recientemente se han comenzado a difundir sensores pasivos como SoilOptix, basados en la emisión de rayos gamma que miden la energía de los fotones emitidos por los isótopos radiactivos naturales de potasio (40), uranio (238) y torio (232). Estos, tienen alta vida media, son abundantes en el medio ambiente y producen rayos gamma de suficiente energía e intensidad para ser medidos. El sensor SoilOptix se ha comenzado a utilizar en Argentina, pero no se conocen publicaciones donde se valide la información de las estimaciones de propiedades del suelo por este instrumento. El objetivo de este trabajo fue evaluar y validar las estimaciones del sensor SoilOptix utilizado para caracterizar la variabilidad intralote en suelos agrícolas de la provincia de Entre Ríos, para tres variables de suelo: concentración de potasio (K), conductividad eléctrica (CE) y pH.

Materiales y métodos

Durante octubre de 2020 se realizaron estudios de suelo a escala intra lote utilizando el sensor proximal de emisión de rayos gamma SoilOptix en cinco lotes, ubicados en la localidad de Oro Verde (L1-CA; 31°49'32.48" S, 60°31'10.87" O) y en Jubileo (L2-U, L3-B, L4-C y L5-DM; 31°44'12.27" S, 58°38'19.93" O), provincia de Entre Ríos. Los lotes evaluados presentan suelos Argiudoles y Peludertes, en todos los casos bajo agricultura continua con una rotación trigo/soja/maíz en Oro Verde y soja/arroz en Jubileo. Los relevamientos se realizaron cubriendo la superficie de los lotes con transectas distanciadas entre 15 y 20 m. En cada lote, se extrajeron muestras de suelo cada 6 a 10 ha para realizar determinaciones en laboratorio y la calibración del equipo, siguiendo procedimientos estándar.

Adicionalmente al relevamiento con el sensor, se realizaron muestreos dirigidos para validar las estimaciones de SoilOptix. En Oro Verde, se realizó un muestreo al azar tomándose 30 muestras compuestas (0-20 cm de profundidad), en un radio de 10 m alrededor de cada punto georreferenciado, mientras que en los lotes en Jubileo se tomaron 47 muestras, distribuidas en los 4 lotes evaluados (figura 1). Las muestras se analizaron en el laboratorio de la Aceitera General Deheza S.A. (AGD). En este estudio las variables evaluadas fueron: potasio (K), pH y conductividad eléctrica (CE). Para la validación se utilizaron los datos estimados por el sensor que se encontraban en un entorno de 10 metros de diámetro alrededor del punto muestreado.

Los resultados obtenidos se procesaron con QGis, y se realizaron análisis de estadísticas descriptivas y de regresión lineal entre los valores estimados por SoilOptix y los analizados en laboratorio

utilizando R versión 4.1.0 (R Core team, 2021) y Microsoft Excel (2007).

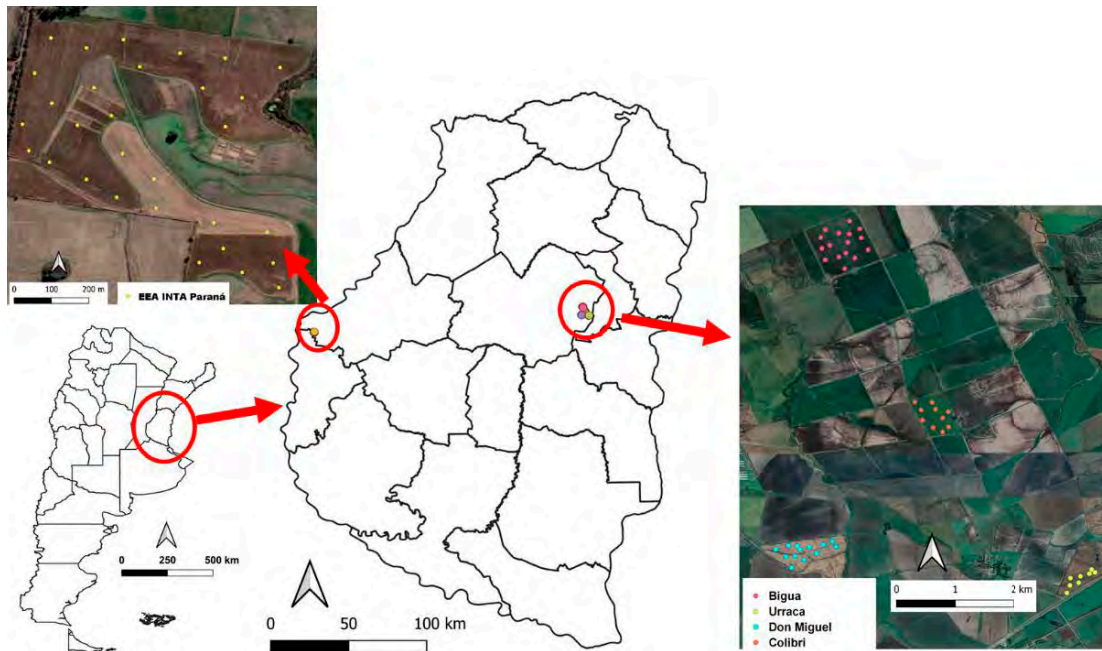


Figura 1. Ubicación de los sitios de relevamiento con el sensor SoilOptix, en Oro Verde (EEA INTA Paraná, L1-CA) y Jubileo (Lotes: Urraca L2-U, Biguá L3-B, Colibrí L4-C y Don Miguel L5-DM) indicando en cada caso la ubicación de las muestras tomadas para la validación.

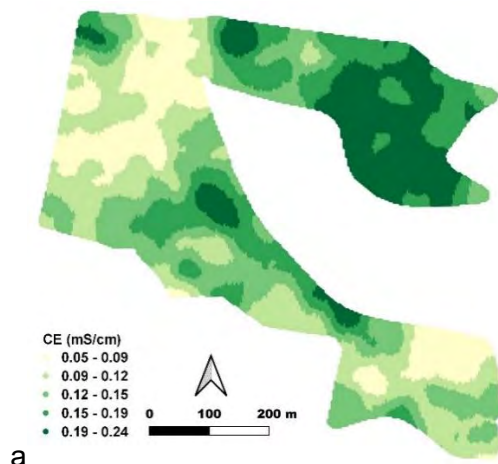
Resultados y discusión

Los valores medios de conductividad eléctrica estuvieron comprendidos entre 0.23 y 0.41 mS/cm. La mayor variación de éstos se detectó en el lote ubicado en la localidad de Oro Verde observándose un coeficiente de variación de 52.2%, estando los datos concentrados alrededor de la media (tabla 1). En lo que respecta a los datos estimados por el sensor para esta variable, el rango medio osciló entre 0.12 y 0.42 mS/cm pero con un desvío estándar máximo de 0.1 mS/cm para los lotes de jubileo. Los valores estimados en el lote de Oro Verde fueron muy inferiores a los determinados en laboratorio, siendo el máximo cercano al valor medio (figura 2a). El análisis de regresión lineal (figura 2b) indica que la relación entre estimado y medido es pobre, logrando un R^2 de 0.35 y la ecuación de predicción $y = 0.589x + 0.055$.

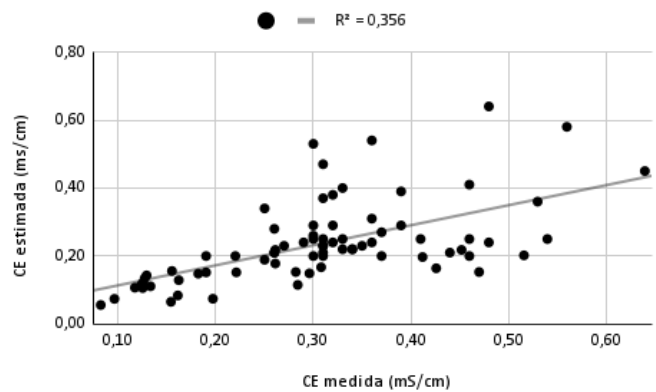
Tabla 1. Medidas descriptivas para las variables concentración de potasio (K), conductividad eléctrica (CE) y pH, analizadas en los 5 lotes evaluados.

Lote	n	Sup (ha)	CE			pH			K		
			Media	CV*	Sk**	Media	CV	Sk	Media	CV	Sk
L1-CA	30	33	0.23	52.2	-0.12	6.55	8.1	-0.16	0.94	25.0	2.88
L2-U	8	22	0.41	29.7	-0.99	6.62	4.8	-0.74	0.38	23.7	2.37
L3-B	16	100	0.34	14.9	2.28	7.03	1.9	1.1	0.54	8.8	-0.55
L4-C	10	42	0.31	27.3	-0.91	6.99	2.6	-0.96	0.45	19.5	0.49
L5-DM	13	55	0.38	23.9	-0.95	7.11	2.7	-0.14	0.43	16.9	-0.75

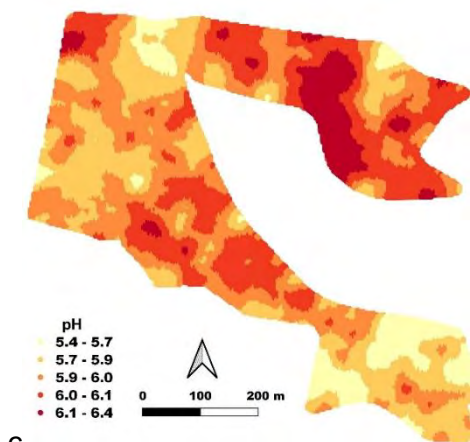
*C.V: coeficiente de variación; ** Sk: sesgo



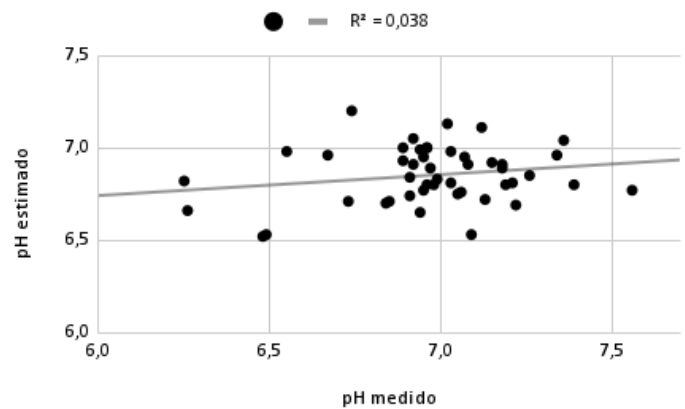
a



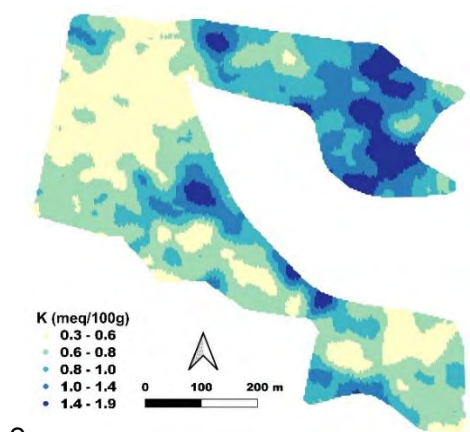
b



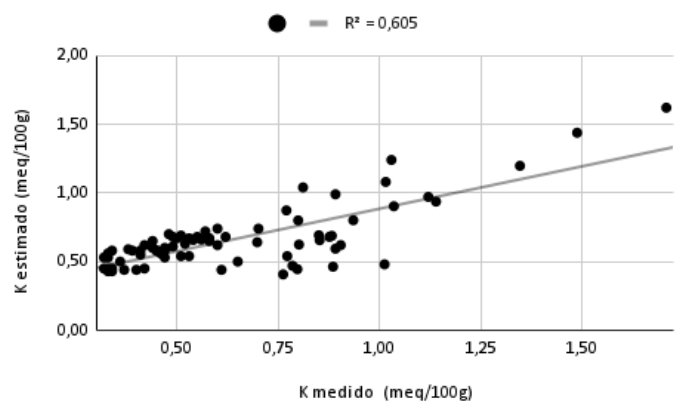
c



d



e



f

Figura 2. Mapa estimado por el sensor SoilOptix para la localidad de Oro Verde (L1-CA) (izquierda) y validación a través de regresión lineal simple incluyendo todos los datos evaluados (derecha) para a) conductividad eléctrica (CE), b) pH c) y potasio (K).

En cuanto al pH, los valores promedio se encontraron cercanos a la neutralidad (6.5 a 7.1) para todos los lotes evaluados. Los coeficientes de variación fueron bajos, no se detectaron dispersiones de magnitud. Para los valores estimados por el sensor, también los coeficientes de variación fueron bajos, de 2.7, 3.5, 1.8, 1.6 y 2% para los lotes L1-CA (figura 2c), L2-U, L3-B, L4-C y L5-DM,

respectivamente. La estimación de pH realizada por el sensor difirió de los valores obtenidos mediante el muestreo y análisis de suelo, ($R^2 = 0.03$; figura 2d).

Por último, en cuanto al contenido de potasio en suelo, se evidenció que los lotes de la localidad de Jubileo presentaron menor variabilidad en la concentración de este elemento y que la distribución del mismo fue levemente asimétrica. En los lotes L1-CA y L2-U, en cambio, los datos estuvieron ubicados en torno a los valores mayores de K. Estimaciones realizadas por el sensor, reafirman que la mayor variabilidad se observó en el lote de Oro Verde (figura 2e), mientras que para los lotes restantes el coeficiente de variación se encontró por debajo de 9%. La validación determinó el mejor ajuste entre todas las variables analizadas, con un $R^2=0.6$ y una ecuación de predicción $y = 0.61x + 0.26$. Este resultado podría deberse a que el potasio del suelo incluye el isótopo radiactivo K (40) que emite rayos gamma de principio de funcionamiento del sensor SoilOptix.

Consideraciones finales

El sistema funciona de manera práctica y expeditiva para mapear variables de suelo. Esta evaluación preliminar sugiere la necesidad de mejorar las calibraciones.

La validación determinó los mejores resultados para el contenido de K, variable relacionada con el principio de funcionamiento del sensor.

Referencias

- Adamchuk, V., Viscarra Rossel, R., Marx, D. & Samal, A. (2011) Using targeted sampling to process multivariate soil sensing data. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.004>
- Gambaudo, S., Fontanetto, H., Beccaría, G., Boretto, D., Albrecht, J. & Tron, L. (2008) Recuperación de suelos halomórficos mediante agricultura de precisión. 8^{vo} Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 3^{er} Expo de Máquinas Precisas (pp 57-61). Manfredi, Ediciones INTA.
- Huang, H., Adamchuk, V., Biswas, A., Ji, W. & Lauzon, S. (2018). Analysis of Soil Properties Predictability Using Different On the Go Soil Mapping Systems. In Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. Montréal. Canada
- ISPA (2018) Precision Ag Definition. <https://www.ispag.org/about/definition>.
- Kuang, B., Mahmood, H., Quraishi, M., Hoogmoed, W., Mouazen, A. & Van Henten, E. (2012). Chapter four - Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line. *Advances in Agronomy*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394275-3.00003-1>
- Mahmood, H.S., Hoogmoed, W.B., & Henten, E.J. (2012). Sensor data fusion to predict multiple soil properties. *Precision Agriculture*, 13, 628–645
- Paggi, M., Peralta, N., Calandroni, M., Cabria, F., Costa, J. & Aparicio, V. (2013). Identificación de series de suelos mediante el uso de sensores de conductividad eléctrica aparente en el sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 31(2), 175-188.
- Pautasso, J., Albarenque, S., Schulz, G., Kemerer, A., Bedendo, D. & Melchiori, R. (2010). Delimitación de zonas de manejo mediante variables de suelo y validación para maíz. 9^{no} Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4^{ta} Expo de Máquinas Precisas (pp 207-214). Manfredi, Ediciones INTA

Rendimientos de maíz a distintas densidades de siembra y su relación con la calidad de sitio a escala de lote en el Valle de Lerma.

Valdez Naval, G. *, Aciar, L.M. **, Cáceres Díaz, R. *, Patrese Resina, E.M. *, Cancinos, E.M.***., Ledesma, F*.**

* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Salta, Ruta 68, Km. 172 (4303), Cerrillos, Salta, Argentina. valdeznaval.gabriela@inta.gob.ar. ** Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Cátedra Manejo de suelos y topografía; Edafología. Sede Metán.

***Estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Los suelos del Valle de Lerma (Salta) presentan procesos de degradación que afectan la calidad edáfica como consecuencia del excesivo laboreo en el cultivo de tabaco. En los últimos años se registró el crecimiento de la superficie sembrada con maíz, producto de la intensificación pecuaria.

El rendimiento zonal de granos de maíz es de 5675 kg. ha⁻¹ (MAGyP), resultando no uniformes a escala lote. Esta variabilidad de rendimientos refleja las interacciones de factores bióticos y abióticos, que pueden agruparse en zonas clasificadas como de diferente potencial productivo. Estas zonas permiten establecer estrategias de manejo para hacer un uso eficiente de los recursos e insumos, para mejorar el rendimiento alcanzable y la rentabilidad. El paso previo a la elección de estrategias es identificar y caracterizar la variabilidad. En el Valle de Lerma hay escasos estudios que relacionen los rendimientos de maíz con la calidad edáfica, para salvar esta deficiencia, en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Salta (24° 53' 35,68" S – 65° 28' 26,02" O), se realizó un ensayo con cuatro híbridos de maíz sembrados a tres densidades de siembra (38.462; 57.693 y 76.924 plantas ha⁻¹) en tres zonas de diferente productividad. Las zonas fueron identificadas mediante tratamiento digital de imágenes satelitales (NDVI) y clasificadas como alta (AP), media (MP) y baja (BP) productividad. Se analizaron diferentes atributos edáficos: morfología del perfil, perfil cultural (% estados delta, Δ), clases texturales (% arena, % limo y % arcilla), materia orgánica (MO), potasio intercambiable (K) y fósforo extractable (P) y en relación al cultivo se midió el rendimiento de granos. El ensayo fue un diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA), con dos repeticiones por zona. El análisis estadístico consistió en ANAVA y componentes principales empleando el programa Infostat. Como resultados se observaron en relación a la calidad edáfica entre zonas, diferentes secuencias de horizontes en el perfil: BP=Ap-Bw-2C-3Bb-3Bcb -3Ckb, la zona MP=Ap-B-2Ck-3Ab-3Acb y en AP= Ap-Bw1-Bw2-BC, lo que indica la existencia de una variabilidad de génesis de suelo. El perfil cultural mostró la presencia de estructuras Δ en la siguiente proporción BP=83%, MP=50% y AP=73% en los primeros 30 cm. En cuanto a variables físico-químicas se observaron diferencias significativas en el contenido de limo ($p=0.023$), arena

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022

INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

($p=0.0001$), arcilla ($p=0.0054$), altamente significativas ($p<0.0001$) para MO y K y, el P ($p=0.1507$) no fue estadísticamente significativo. Los rendimientos de maíz en función de densidades e híbridos se relacionaron con la calidad edáfica. El rendimiento promedio de la zona BP=9477 kg. ha⁻¹, MP= 9754 kg. ha⁻¹ y AP=8383 kg. ha⁻¹. Los rendimientos obtenidos no respondieron de la manera esperada a la clasificación de productividad de las zonas, como consecuencia del particular comportamiento de las precipitaciones registradas durante la campaña (eventos de menos de 35 mm distribuidos cada 12-15 días). Los parámetros edáficos considerados resultaron acordes para caracterizar la variabilidad espacial. Se sugiere como propuesta a futuro continuar analizando la variabilidad ambiental sumando otros atributos edáficos, parámetros químicos ligados a la nutrición del cultivo y evaluación de eficiencias.

Palabras clave.

Maíz; zonas productivas a escala de lote; calidad edáfica; rendimiento.

Tratamiento Inteligente de Malas Hierbas a través de ISOBUS

Juan LOPEZ-CORREA¹, Dionisio ANDUJAR¹

¹ Centre for Automation and Robotics, CSIC-UPM, Arganda del Rey, 28500 Madrid, Spain

* d.andujar@csic.es

El número de tecnologías disponibles para la gestión de malas hierbas se ha visto ampliamente incrementado en los últimos años gracias a la disponibilidad de sensores y métodos para la detección y clasificación de malas hierbas en los cultivos. A ello se suma el desarrollo de nuevos actuadores para el control preciso, nuevas herramientas de adquisición de imágenes y aumento de la capacidad computacional de procesadores informáticos. Esto está permitiendo la reducción de insumos mediante aplicación diferenciada de productos químicos.

En la agricultura el principal problema asociado a los cultivos son las malas hierbas. El tratamiento localizado ya sea de manera química o mecánica reduciría significativamente el impacto de las tareas agrícolas de control. En el proyecto DACWEED desarrollan nuevos sistemas tecnológicos con aplicaciones agronómicas que permitan minimizar el consumo de herbicidas y maximizar el rendimiento y calidad de las cosechas. El proyecto EIT-Food DACWEED, es un proyecto europeo que integra la Inteligencia Artificial y aperos inteligentes controlados por ISOBUS para la mejora en el control de malas hierbas. Así este proyecto integra tres pilares básicos:

1. Un sistema de sensores para detectar la presencia y composición de estas en cada lugar del campo.
2. Un sistema de apoyo a la toma de decisiones.
3. Un implemento que puede ser controlado para la aplicación del tratamiento.

Las cámaras digitales como sensores y los algoritmos de *Inteligencia Artificial* han sido mejorados, proporcionando nuevos métodos y herramientas. En este proyecto se han utilizado tanto técnicas clásicas de aprendizaje de máquinas (*SIFT, Kmeans, Bag of Features, SVM*) como así también redes de aprendizaje profundo para la clasificación de malas hierbas en campo. Para ello se han entrenado modelos de predicción de probabilidades basado en “Deep Learning” como son las redes neuronales de *Detección de Objetos (RetinaNet, Faster, YOLO4)* pero en este caso la hemos utilizado para identificación de especies de malas hierbas problemáticas, incluso para identificar el estado desarrollo que éstas presentan. Con ello se busca lograr un ajuste de dosis de herbicida no solo teniendo en cuenta la especie de mala hierba sino también su estado de desarrollo. Sabiendo las especies de malas hierbas, sus estados de desarrollo y plantas de cultivo que se encuentran en un metro cuadrado debajo del aspersor pulverizador, un *Sistema de Apoyo a las Decisiones* puede decidir si es económicamente viable rociar ese metro cuadrado o no (basándose en la densidad y composición de las malas hierbas). Este sistema, a bordo de un tractor, transmitirá sus órdenes de manera estándar a un equipo de tratamiento químico o mecánico a través de señales de acuerdo al estándar ISOBUS. De esta manera se desarrolla un sistema completo de detección, toma de decisiones y actuación en tiempo real con una solución tecnológica de vanguardia y a un bajo coste que puede funcionar a bordo de cualquier tractor comercial. De este modo se dará respuesta a la búsqueda de una agricultura alternativa reduciendo el aporte de herbicidas. Con ello dar lugar a productos agrícolas más seguros para el consumidor y el medio ambiente aportando una agricultura más sostenible.

Keywords: *Artificial Intelligence, Weed Management, ISOBUS, DACWEED*



Automated Vigor Estimation on Vineyards

Maria Pantoja¹, Andrés Honeyman Lucchini², Cecilia Gutierrez³ and David Guerrero¹

¹ Computer Science Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA, USA. mpanto01@calpoly.edu ² Departamento de Agroindustria y Medio Ambiente, Instituto Profesional INACAP, Santiago sur, Región Metropolitana, Chile. andres.honeyman@inacapmail.cl ³ Nucitech SPA cguti@nucitech.cl

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Estimating the balance or vigor in vines, as the pruning weight or the yield to pruning weight relation (Ravaz Index), is a useful parameter that growers use to better understand the annual behavior of the vineyard and to establish specific management instructions in labors like pruning, debriefing, or budding. Traditionally growers obtain this parameter by first manually weighting the pruned canes during the vineyard dormant season and later averaging the measurements. Subsequently, during the harvest, collect the weight of the fruit for the vines evaluated in the first step and then correlate the two measures. Since this is a very manual and time-consuming task, growers usually obtain this number by just taking a couple of samples and extrapolating this value to the entire vineyard, losing all the internal variability present in their fields. In this paper we develop a computer vision-based algorithm that is robust to differences in trellis systems, varieties, and light conditions; to automatically estimate the pruning weight and consequently the variability of vigor inside the lot. The results will be used to improve the way local growers plan the annual winter pruning, advancing in the transformation to precision agriculture and specific site management. Our proposed solution doesn't require to weight the canes, just take georeferenced photos of a significant number of plants, creating interpolation maps based in an automatic estimated pruning weight. This estimated pruning weight is highly correlated with the vigor of the vineyard and the expected harvest. Results show that we can obtain basically equivalent interpolation maps between our method and the validation map obtained by manually weighting the pruning weight.*

Palabras clave. *Precision Agriculture, Machine Learning, Ravaz Index, Vigor Estimation*

Introduction

Recent advances in agricultural management have dramatically improved agriculture around the world with the incorporation of automated process of field data. These advances are partially due to the ability to adapt to local factors that influence crop yield such as climate, growing region and soil type. As a result, a wide range of plant densities and training/trellis systems are used by growers to optimize harvest practices. In viticulture a primary consideration when selecting the proper trellis system is the vine vigor. Highly vigorous vines require larger trellising systems, more space or a de-vigorating rootstock compared to low-vigor vines. Traditionally the vigor or also known as the vine balance value, is estimated using the RAVAZ Index [8], obtained by growers and researchers by manual weighing the pruning during the dormant state and correlating it to the harvest weight (around six months after pruning). Since the pruning happens at specific times, for example in California is in February and Chile in July, growers can only get a first estimate of these values after the pruning months. Another problem with this method is that it requires expensive manual labor, since to be effective many samples needs to be taken in different areas in the vineyard to capture all variations naturally occurring on every vineyard and therefore allow the management techniques to adapt to these variations.

Previous Work

One of the main challenges being studied by the scientific community in viticulture is early yield prediction. To obtain this value directly from images we need to do accurate segmentation of the vine. Tree segmentation is particularly difficult since trees usually contain lots of texture, the pixels colors of the background are like the foreground and usually grow in close groups, so it is difficult to differentiate where one tree ends. There are several papers that study tree segmentation. In [3] it is presented a solution for tree segmentation from a complex scene. The proposed algorithm is mainly composed of a preliminary image segmentation, a trunk structure extraction, and a leaf regions identification process. In [4], a trunk and branch segmentation method were developed using Kinect V2 sensor and deep learning-based semantic segmentation. Kinect was used to acquire point cloud data of the tree canopies in a commercial apple orchard. Depth and RGB information extracted from the point cloud data were used to remove the background trees from the RGB image. Then trunk and branches of the tree that shares the common appearance and features were segmented out using a convolutional neural network (SegNet) with an accuracy of 0.92. In [6], to obtain three-dimensional information of the apple branch obstacle, the binocular stereo vision localization method for apple branch obstacle is proposed. There are also several research areas in agriculture that are using computer vision techniques in general to boost productivity of different crops, [1]. There are several papers discussing Deep Learning (DL) implementations in semantic segmentation [9] where every pixel in the image gets a category label without differentiating between different objects of same category, and instance segmentation [2] where a segmentation of each object in the image is created. In our specific problem we do need instance segmentation since we take the images with only one tree on them. There are other implementations that use LiDAR and Ultrasound to capture the depth maps so is easier to segment the canes, but we wanted to keep the technology needed simple so is easily adapted by farmer.

Methodology

In this study rather than using manual methods to estimate vigor that require intensive labor we use algorithms based on computer vision. In our solution we will take images with a “regular” smart mobile phone camera and then perform image segmentation to evaluate in-situ the weight of the canes from the segmentation. Our method has several advantages over the methods currently in use. First, it doesn't destroy or affect the plant in anyway, and second, results will be available immediately after taking the picture. Since almost everybody has a smart phone with a camera and also a geoposition receiver inside the same smart phone, growers will be able to take a picture of the vine and get immediate feedback with the expected vigor for the plant without the need for expensive equipment. This will allow us to

create specific vigor maps, that can be used to adapt the local conditions of their vineyards to specific management and improve not only production but also the quality of the grapes harvested (Figure 1).

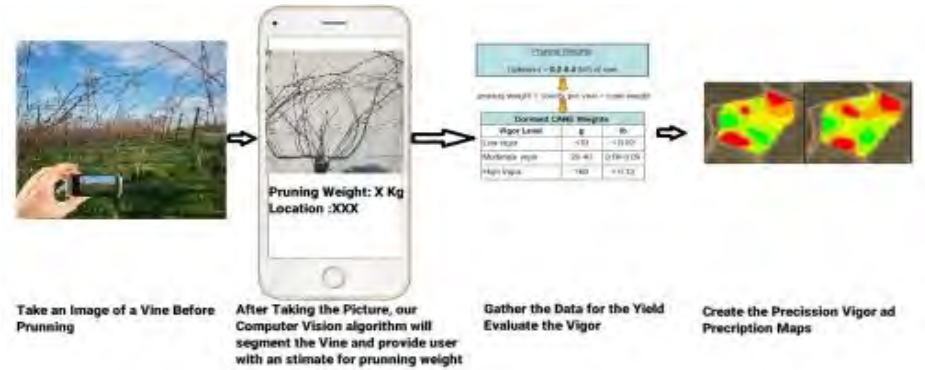


Figure 1. On-Site Vigor Estimation and Vigor Maps.

As it can be seen in Figure 2, when we capture the images with the phone, the background pixels contain very similar color pixels to the vine we are trying to segment, which makes the background subtraction difficult. Initially, to make sure we have reliable results and to be able to do validation, we took two pictures of each of the vines in the vineyards. One picture with a white background (Figure 3), and a second picture without the background. We did also obtain the pruning weight of each of the photographed vines manually.



Figure 2. Original Image taken on the Vineyard

In our proposed research we don't use expensive equipment, our experience with farmers especially the smaller ones are that they don't buy expensive or complicated software. We did talk to several local farms to perform validation of our research on real commercial locations, and they are very enthusiastic about the idea of being able to use their phones to obtain variability maps.



Figure 3. Vine Segmentation with artificial white background A) No Background B) With background

Segmentation with artificial background

These pictures with artificial background are clearly easier to segment since they have a big contrast between the vine and the artificial background. Nevertheless, since the pictures are taken outside with variable light conditions the solution was not as simple as just doing color segmentation, since we needed to first erase some of the shadows, poles and different artifacts that produce inaccurate results. After applying a histogram color correction to the original image, we then apply watershed [5] segmentation. Results can be seen on Figure 4, and with more details in Section Results.

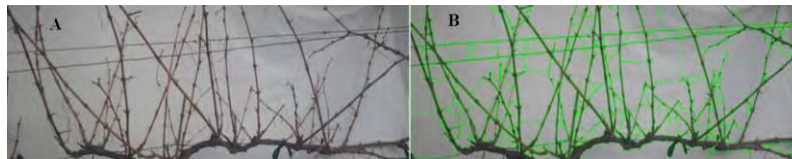


Figure 4. Vine Segmentation with artificial white background A) Original B) Segmentation

The accuracy of these segmentation compared with the manual weight is high but there is an obvious problem with this approach, it requires an artificial background which is at the very least inconvenient since needs two people to get pictures. The results have high accuracy, the problem with this method is that requires two people taking the images, one holding the artificial background and another taking images. We do want to also make the creation of the maps as easy as possible to the grower so in the next section we explore how to do the same but without the artificial background.

Segmentation without artificial background

Deep Learning solutions for image segmentation have been extensively studied in the past years, for applications that range from skin cancer detection to autonomous cars. There are several well know segmentation's models that are open source and free to use. We tested Mask R-CNN [2], the segmentation mask produced overestimated the cane weights significantly and was too rough of a segmentation to even be of any use.



Figure 5. A) Original B) Depth Map Calculated with Disparity or Depth Sensor C) Trimap

The problem is that tree branches are difficult to segment since background pixel color are very similar to the foreground. We need a more accurate segmentation like the ones used for image matting and in particular the solution proposed in [10], with the model composed of two parts. The first part is a deep convolutional encoder-decoder network that takes an image and the corresponding trimap (image with just three colors, background, foreground, and border) as inputs and predict the alpha matte of the image (Figure 5). The second part is a small convolutional network that refines the alpha matte predictions of the first network to have more accurate alpha values and sharper edges.

To be able to use this solution for segmentation we need to obtain the trimaps of the vines. Since we have a self-imposed limitation of only using smart phones to obtain the images, to create these trimaps we will use the depth map sensors that comes with most smart phone's cameras (for more info on this we have our full paper [11]). We set the phone resolution to 768*1024 pixels and take images in portrait mode (saving the depth information automatically).

Results

To validate our proposed computer vision implementation, for every image of the vine taken on the field with the smart phone, we collected GNSS location, and the manually obtained pruning weight. To obtain this data we did follow the pruning crew in the vineyard taking images before they pruned it and collecting and weighting the canes of each vine after pruning. We did use QGIS [7] software to create the pruning weight interpolation (IDW included with QGIS) maps for the entire vineyard. These maps are key in precision agriculture since they present a visualization of the data collected simplifying the identification of different variability areas (in our case pruning weight). These maps can later be used by the production manager or viticulturist to apply different management instructions for the distinct areas and to easily compare different years production methods effects on the vineyard. In this project we first create the interpolation map using the manual pruning weights, in Figure 6a. In this map we can see two very different areas in the vineyard, the top right one (lower forecast production) and the rest (higher forecast production); this difference may be due to soil variability. We want to make clear that in this project we are not giving or evaluating the reason for the difference in areas; we leave this part for a future project where we will also take samples of soil and other data. The main goal of the project is to create the map automatically and faster than the traditional (manual) way. Therefore, validation for our project consist of providing and equivalent map to the one shown in Figure 6 a) manual data, and as can be seen in Figure 6c) the map created automatically by the algorithm is equivalent to 6 a). We provide also a second map 6 b) which is created by giving just a visual score to each image, we wanted to make sure the variability on the map can be obtained just by visual inspection, if not any computer vision algorithm will be flawed but all three maps are equivalent which proves our approach is valid. Full data tables can be found in [11].



Figure 6 a) Pruning Weight Manual Evaluation b) Visual c) Automatic¹

All the vineyard that we collected data from are commercial facilities and they have some inconsistencies like pruning modifications due to specific vine problems (wood disease), sometimes they leave cordons and sometimes they take out entire branches instead of just the new growth canes. These doesn't mean the segmentation is wrong, the differences are due to the automatic segmentation only measuring the weight of new growth while manually the pruning crew will sometimes take more than weight of the vine. We collected this year data from other areas but due to COVID-19 restrictions we did miss some areas, we are processing more data, we do expect that if the phone used to take the images is same, the method will work fine on different farms, since we are robust to difference in lights and terrain. In the future we will make sure it also works with different phones and the difference on camera sensors on them.

Referencias

- K. Divilov, T. Wiesner, P. Barba, L. Cadle-Davidson, and B.I. Reisch. "Computer Vision for High Throughput quantitative phenotyping: A case study of grapevine downy mildew sporulation and leaf trichomes". *Phytopathology*, 107(12):1549-1555, 2017
- K. He, G. Gkioxari, P. Dollar, and R Grishick. *Mask R_CNN*. CoRR, abs/1703.06870,2017



- W. Ji, X. Meng, Z. Quian, B. Xu, and D. Zhao. "Branch Location Method Based on the Skeleton Feature Extraction and Stereo Matching for Apple Harvesting Robot". International Journal of Advanced Robotic Systems, 2018.
- J. Kirchener. "Automatic Image-Based Determination of Prunning Mass as Determinant for Yield Potential in Grape Vine Management". Journal of Science Food Agriculture, 94, 2017
- A. Kornilov and I Sefanov. "An Overview of WaterShed Algorithm Implementations" Jorunal of Imaging, 4:123, 10 2018
- Y. Majeed, J Zhang, X Zhang, L. Fu, M. Markee, Q. Zhang, and M. Whiting. "Apple tree trunk and branch segmentation for automatic trellis training using convolutional neural networks based semantic segmentation" IFAC-Papersonline, 51, 2018.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geoespatial Foundation, 2009
- L. Ravaz, Sur la brunissure de la vigne. Les Comptes Rendus de L'Academie des sciences, 136:1276-1278, 1903
- C Teng, Y Chen, W Hsu. "Tree Segmentation from an image". Proceedings of the IAPR Conference on Machine Vision Applications, 2005
- N. Xu, B. Price, S. Cohen, and T Huang "Deep Learning Matting", CoRR. Abs/173.03872,2017
- M. Pantoja, A. Honeyman and D. Guerrero-Pantoja "Automated Vigor Estimation on Vineyards Using Machine Learning". CARLA High Performance Computer Conference Latin America , September 15-18, Cuenca, 2020.

Respuesta del actuador hidroneumático Twin Force sobre calidad de siembra en el cultivo de maíz (*Zea maíz L*)

Fernando M Scaramuzza; Diego D Villarroel; Silvia M Olivo

INTA EEA Manfredi, Ruta 9 Km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Una buena calidad de siembra es aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación (plano horizontal) y profundidad (plano vertical) entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la velocidad y profundidad de siembra sobre la distribución espacial en diferentes planos y su impacto en el rendimiento final, con dos sistemas de estabilización de cuerpo de siembra directa, resorte (R) y twin force (TF) en la siembra de maíz. La siembra se realizó el 22 de diciembre de 2020 con una sembradora de siembra directa AGROMETAL con seis cuerpos equipados con R y TF con una densidad de siembra de 65 mil plantas/ha. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial con tres repeticiones. Los factores fueron: tres velocidades de avance, 6, 9 y 12 km/h y dos sistemas de estabilización de cuerpo de siembra, dos niveles; R y TF. Se determinó la distancia entre plantas y su coeficiente de variación. Según norma ISO 7256/1, cada individuo se clasificó de acuerdo a si está separado por distancias consideradas como Aceptable (A), Dobles (D) o Falla (F). La mejor calidad de siembra para R y TF en el plano horizontal y vertical se logró a 6km/h, disminuyendo conforme se incrementó la velocidad de avance, siendo esa caída más marcada en R que en TF.

Palabras clave. calidad de siembra; velocidad de avance; sistema de estabilización.

Introducción

En maíz (*Zea mays*, L.) el efecto de la desuniformidad de plantas sobre el rendimiento del cultivo está asociado a la disponibilidad de recursos por planta (Vega y col., 2001). En este sentido, el éxito de una buena siembra será aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación (plano horizontal) y profundidad (plano vertical) entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo (Maroni y Gargicevich 2006). Vélez y col. (2013) evaluando dos sistemas de copiado de terreno (resorte e hidroneumático) y dos profundidades de siembra (3 y 6 cm) encontraron que el sistema hidroneumático en siembras a 6 cm de profundidad, presentó un mayor rendimiento y mejor calidad de siembra tanto en el plano horizontal como vertical; sin embargo, se desconoce el impacto sobre la calidad de siembra y en consecuencia el rendimiento que se podría lograr a mayores velocidades de siembra (i.e. 9-12 km/h).

El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto de la velocidad y profundidad de siembra sobre la distribución espacial en diferentes planos y su impacto en el rendimiento final, con dos sistemas de estabilización de cuerpo de siembra directa, resorte y twin force, para un determinado material genético de maíz, en secano y siembra de segunda.

Materiales y Métodos

La siembra se realizó el 22 de diciembre de 2020 y se utilizó una sembradora de siembra directa AGROMETAL de 12 cuerpos a 52 cm de distancia con 6 cuerpos equipados con Resorte Tradicional (R) y 6 con actuadores hidroneumáticos Twin Force (TF). La sembradora se equipó con Tecnología Hi Rate Plus, se utilizó un tractor New Holland T7 215 de 191 CV equipado con pantalla Intelview IV, piloto automático y señal correctora Center Point. Se utilizó el híbrido P2089 VYHR con una profundidad de siembra propuesta de 5 cm y una densidad de siembra de 3,4 semillas/metro o 65 semillas/ha. El cultivo se mantuvo fertilizado.

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial con tres repeticiones. Los factores evaluados fueron: velocidad de avance, con tres niveles; 6, 9 y 12 km/h y sistema de estabilización de cuerpo de siembra, dos niveles; Resorte (R) y Twin Force (TF). Las variables evaluadas se analizaron estadísticamente con el software Infostat y las comparaciones múltiples *post hoc* fueron ajustadas, en el caso de haber sido necesario, mediante el método HSD de Tukey. Fijándose un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Distancia Entre Plantas y profundidad de siembra

En cada uno de los tratamientos evaluados, se cuantificó el número de semillas y su ubicación en 15 metros lineales de surco. Se evaluó la profundidad de siembra en 5 metros lineales de surco.

Determinaciones

Variables Explicativas por individuo

Distancia Entre Plantas (DEP): En función de las distancias que la separan de sus dos vecinas en la línea de siembra y de los criterios de la norma ISO 7256/1, cada individuo se clasificó de acuerdo a si está separado por distancias consideradas como Aceptable (A), o Dobles (D) o Falla (F).

Variables Explicativas por unidad de área

Coeficiente de Variación de la separación entre plantas (CV): es igual al desvío estándar de esa muestra dividido por la media y multiplicado por 100. En función a la norma ISO 7256/1 se calculó el

Índice de Semillas aceptablemente sembradas (A): esta medida de uniformidad en la distribución de semillas considera como A a toda aquella semilla ubicada en el surco a una distancia comprendida entre $0,5 X_{ref}$ y $1,5 X_{ref}$, siéndola distancia de referencia (X_{ref}) la DEP teórica entre semillas. **Índice de Duplicaciones (D):** Es el porcentaje de semillas ubicadas a distancias menores a las $0,5 X_{ref}$. **Índice de Fallas (F):** Corresponde al porcentaje de semillas ubicadas a distancias superiores a las $1,5 X_{ref}$

Resultados y Discusión

Variables explicativas por individuo. Distancia Entre Plantas

Todos los tratamientos presentaron una DEP superior a la teórica (> 29 cm) y se detectó una interacción (velocidad*sistema de estabilización) significativa ($p= 0,04$) para la variable DEP. Con velocidades de siembra de 6 y 9 km/h los sistemas de estabilización R y TF no presentaron diferencias en DEP (31 cm) mientras que con velocidades de siembra de 12 km/h el sistema TF presentó menor DEP que el sistema de R (33 vs 34 cm).

Variables Explicativas por unidad de área.

Coefficiente de Variación

En el Grafico 1, se observa que el CV aumentó conforme la velocidad de siembra se incrementa, presentando valores promedio para ambos sistemas de estabilización de CV de 29 y 37% para 6 y 9 km/h respectivamente. Mientras que, a 12 km/h el sistema R presentó un CV mayor a TF (47 vs 43).

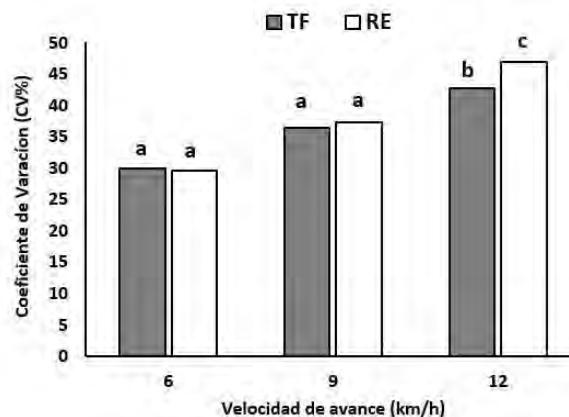


Grafico 1: Coeficiente de Variación (C.V.) de la transmisión (%) de dos sistemas de estabilización de cuerpo. Twin Force: TF (barra gris) y Resorte: R (barra blanca), para tres velocidades de siembra: 6, 9 y 12 km/h; a una densidad de siembra de 65 mil semillas/ha. Letras distintas denotan diferencias significativas entre los sistemas de transmisión y densidades evaluadas ($p<0.05$) Ensayo realizado en la EEA INTA Manfredi, campaña 20/21.

Índice de Semillas sembradas Aceptables, Fallas y Dobles

En las condiciones evaluadas, la mejor calidad de siembra (90%) para TF y R se logró a una velocidad de 6 km/h (Gráfico 2a) con un porcentaje de fallas totales y dobles de 7 y 3% respectivamente (Gráfico 2b)

Ahora bien, si se realiza la comparación en relación a la mejor calidad de siembra se observa que; a 9 km/h la calidad de siembra para ambos sistemas estabilizadores disminuye en un 4%; mientras que, a 12km/h, la misma cae en un 11%, y R disminuye 18% (Gráfico 2a). Lo anterior se pudo asociar a que; para 12 km/h en los dos sistemas de estabilización el aumento de fallas fue más del doble; 21 y 16% para R y TF respectivamente. A 9 km/h el porcentaje de fallas, para ambos sistemas fue de 9% y las duplicaciones 5 y 3% para R y TF respectivamente (Gráfico 2b).

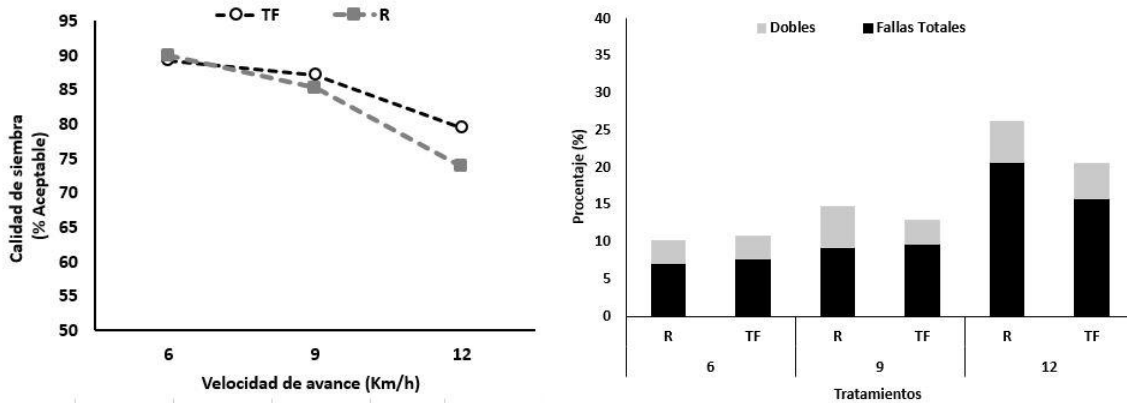


Gráfico 2: (a) Calidad de siembra expresada en porcentaje de aceptables (%) y (b) porcentaje fallas totales y duplicaciones de la media de la distribución de plantas emergidas de dos sistemas de estabilización de cuerpo. TF: Twin Force (circulo blanco), R: Resorte (cuadrado gris) para tres velocidades de siembra: 6, 9 y 12 km/h; a una densidad de siembra de 65 mil semillas/ha. Ensayo realizado en la EEA Manfredi, campaña 20/21.

Profundidad de siembra

En el Gráfico 3 se observa la frecuencia relativa expresada en porcentaje en función a los diferentes intervalos de clases generados para los sistemas de estabilización R y TF para cada velocidad de avance.

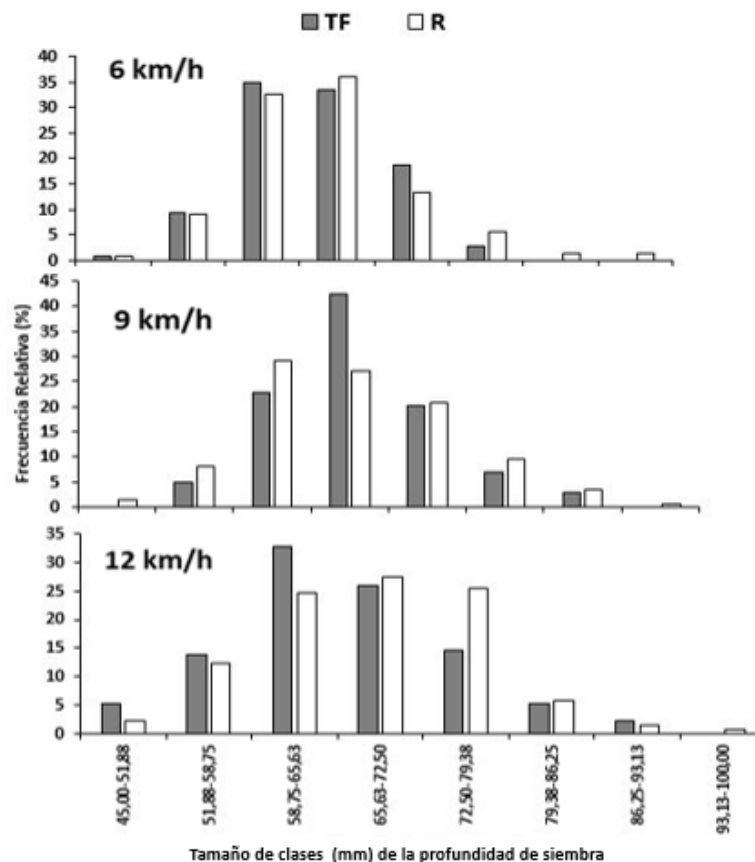


Gráfico 3: Frecuencia relativa (%) en función al tamaño de clases de la profundidad de siembra (mm) para dos sistemas de estabilización de cuerpo. TF: Twin Force (barra gris), R: Resorte (barra blanca) y tres velocidades de siembra: 6, 9 y 12 km/h; a una densidad de siembra de 65 mil semillas/ha. Ensayo realizado en la EEA Manfredi, campaña 20/21.

A una velocidad de siembra de 6 km/h, en ambos sistemas de estabilización el 78% de las semillas se encontraban a una profundidad óptima es decir entre 5 y 7 cm; a 12 km/h dichos porcentajes disminuyeron pasando a 72 y 65% para el sistema TF y R respectivamente. A 9 km/h con R y TF el 64 y 70% de las semillas se encontraban entre 5 y 7 cm, sin embargo, en TF de ese 70% el 40% de las semillas se encontraban entre 6,5-7 cm de profundidad, esto indicaría una mayor uniformidad en la profundidad de siembra. A medida que la velocidad de siembra se incrementó, la performance del sistema de estabilización TF logró mayor uniformidad en la profundidad de siembra, generando una siembra a un rango de profundidad más acotado, siendo este más notorio a 9 respecto de 12 km/h (Grafico 3).

Conclusiones

Con respecto a la calidad de siembra en el plano horizontal:

- La mejor calidad de siembra R y TF se logró a 6 km/h con 90% de aceptables. Para ésta velocidad las fallas totales fueron de 10%.
- A 9 km/h los valores aceptables de R y TF se encontraron en 85 y 87% respectivamente. Para esta velocidad las fallas totales fueron de 15% para R y 13% para TF.
- A 12 km/h los valores aceptables de R y TF se encontraron en 74 y 80% respectivamente. Para esta velocidad las fallas totales fueron de 26 y 21% respectivamente.

Con respecto a la calidad de siembra en el plano vertical, el porcentaje de semillas encontradas en la profundidad óptima (5 y 7 cm) de siembra fue de:

- 78% de las semillas en R y TF para la velocidad de 6 km/h.
- 64 y 70% de las semillas en R y TF para la velocidad de 9 km/h.
- 65 y 72% de las semillas en R y TF para la velocidad de 12 km/h.

Agradecimientos

El presente trabajo pudo ser realizado gracias al aporte de la empresa Agrometal, New Holland y la Cooperadora de la EEA INTA Manfredi. Se agradece la colaboración de los Ings. Agrs. Diego Mathier, Marcos Bragachini, Santiago Tourn, Pablo Abatte y el apoyo técnico de Víctor Oscar y Claudio Ovando.

Referencias

D'amico, J. P. (2012) Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata) 39 p.

International standard for organization. ISO 7256/1. Sowing equipment - Test methods - Part 1: Single seed drills (precision drills). Suiza: International Standard for Organization. 1984.

Maroni J.; Gargicevich A. (2006) Consideraciones para lograr una siembra de calidad: El caso Maíz. Programa de capacitación técnica y transferencia de Tecnología Argentina – Venezuela Modulo de Capacitación Siembra y Sembradoras Pergamino.

Vega, C. R. C.; Andrade, F. H.; Sadras, V. O.; Uhart, S. A.; Valentinuz, O. R. (2001) Reproductive partition and set efficiency in sunflowers, soybean and maize. *Field Crop Res.* 72: 163-175.

Vélez, J., Méndez, A.; Villarroel, D.; Scaramuzza, F.; Bragachini, M. (2013) Evaluación de sistema de copiado del terreno con carga constante hidroneumático respecto al tradicional resorte convencional en paralelogramo de sembradora de grano grueso Argentina. Curso Internacional de Agricultura de Precisión. 12. 2013 07 17-19, 17 al 19 de julio de 2013. Manfredi, Córdoba. AR.

Campero Fertilizadoras. App utilitaria para regulación de fertilizadoras por proyección

D´Amico, J.P.¹; Micheleto, M.²; Eggly, G.² Crocioni, S.

¹EEA-INTA Hilario Ascasubi. Buenos Aires. Argentina; ²Departamento de Ingeniería Electrónica y Computadoras Universidad Nacional del Sur. CONICET. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

El uso de fertilizantes es creciente en la agricultura desde hace décadas. En Argentina, el uso de productos nitrogenados sólidos aplicados con máquinas de proyección está generalizado. La gran difusión se sustenta en un aceptable equilibrio entre el costo del producto, la capacidad de trabajo de las máquinas, y la eficiencia en el uso de los nutrientes por parte de los cultivos. Recientes estudios muestran que la correcta calibración de los equipos puede reducir a la mitad la irregularidad de distribución de fertilizantes granulados. Estas mejoras pueden llegar a generar un incremento en el rendimiento del cultivo de hasta 8% en maíz y hasta 28% en trigo. El alto impacto en el resultado del proceso productivo requiere una mayor atención en la calidad de aplicación. Las acciones que contribuyan a facilitar la adopción de buenas prácticas de fertilización contribuirán directamente a la sustentabilidad y competitividad del sector. En este contexto, la tecnología de los dispositivos móviles es una gran base para el desarrollo de herramientas simples de apoyo para la agricultura. El alistamiento y control de las fertilizadoras, es una tarea fundamental para el éxito de la labor que requiere llevar adelante el procedimiento adecuado, realizar cálculos y comprobaciones con cierto nivel de complejidad. A fin de promover la calibración y verificación de los equipos, brindando herramientas para realizarla, se desarrolló una App que cuenta con tres utilidades principales. La primera permite establecer la dosis efectiva de fertilización en base al registro del aforo de descarga de producto. La herramienta brinda la posibilidad de realizar esta determinación en base a una distancia conocida; o un tiempo conocido de descarga y a la velocidad de avance establecida. La segunda utilidad brinda las herramientas para ajustar el ancho de labor siguiendo los criterios normalizados para la evaluación de estos equipos. Inicialmente determina con exactitud cuál es el perfil de distribución a partir del peso del material recolectado en las bandejas. Luego permite realizar ajustes en el ancho de labor indicando la dosis ajustada expresada en Kg/ha y el nivel de uniformidad de aplicación expresado en coeficiente de variación. Los resultados obtenidos se presentan en valores numéricos y en un gráfico. La tercera utilidad es el cálculo de la cantidad de producto para cada aprovisionamiento de la máquina y la cantidad total para realizar la aplicación en un área determinada. A medida que el usuario va completando las etapas, los resultados generados se pueden compilar en un reporte sistematizado que se almacena en el dispositivo. Para el desarrollo de esta aplicación se optó por un modelo híbrido, que combina componentes nativos con tecnologías de desarrollo web, lo que permite que el código fuente de los componentes de las aplicaciones con interacciones gráficas y de las librerías de cálculo implementadas, puedan reutilizarse para un amplio espectro de sistemas operativos e incluso permite a la aplicación ser alojada en sitios web para que sea accesible vía online. Campero fertilizadoras está disponible en GooglePlay

Palabras clave. Regulación de fertilizadoras. Fertilización. Calidad de aplicación de fertilizantes.

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022

INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE



DISEÑO DE UNA RED DE DRENAJE SUPERFICIAL EN UN HUERTO DE PALTOS UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE TERRENO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Mario Alegria Ayala¹

1.- malegria@avoamerica.com Departamento Técnico, Avoamerica, Santiago, Región Metropolitana, Chile.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

*Una de las causas principales del decaimiento en vigor, pérdida de rendimientos y afectación fitosanitaria en huertos de palto (*Persea americana* Mill.) es la asfixia radicular generada por un mal drenaje del suelo, un manejo inadecuado del riego o problemas de evacuación de las aguas lluvias. Los drenajes y el riego son las herramientas más utilizadas de la civilización humana para habilitar tierras, permitir el desarrollo de los cultivos e intensificar y diversificar la agricultura. El objetivo de este trabajo fue diseñar una red de drenaje superficial en un huerto de paltos con problemas de drenaje en la zona de Bucalemu, Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. Para el diseño de la red de drenaje se utilizó como insumo un modelo digital de terreno (DTM) realizado con un vehículo aéreo no tripulado (UAV) emparejado a una antena RTK (Real Time Kinematic Positioning). La red de drenaje superficial se simuló mediante el método de Dirección de flujo Determinístico de 8 nodos (D-8) con los softwares SAGA GIS y QGIS. De las líneas simuladas, se seleccionaron aquellas que tuvieron superposición con zonas anegadas o debilitadas en vigor. Las líneas de drenaje seleccionadas fueron rediseñadas en QGIS con una geometría del tipo Random, disminuyendo tanto el número de quiebres de las líneas como el número de plantas a eliminar en la ejecución de la red. Las líneas (zanjas) diseñadas fueron cargadas al software Qfield para realizar el trazado en terreno y se ejecutaron mediante el método del Perfil, para minimizar el movimiento de suelo y evitar la construcción de badenes.*

De una simulación de 54666 líneas de drenaje, se ejecutaron 117 en una superficie de 132 hectáreas, a una razón de 1 línea de drenaje por cada 1.13 hectáreas. El diseño de la red de drenaje superficial

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE



con la metodología aplicada fue rápido, de bajo costo y una herramienta eficaz tanto para drenar el exceso de aguas lluvias como para corregir los problemas de micro relieve acumulados desde la plantación a la fecha. Durante los fenómenos de precipitación registrados después de la realización de los drenajes, las zonas trabajadas no presentaron acumulación de agua, demostrando que el diseño cumplió con su objetivo de eliminar los excesos de aguas lluvias.

Palabras clave. *Modelo digital de terreno, Drenaje agrícola, Palto, Sistema de Información Geográfico, Asfixia radicular, agricultura de precisión, SAGA, QGIS, Drenaje superficial.*

Uso de plataforma Web para la gestión de datos

Kemerer, Alejandra^{1,2}, Melchiori, Ricardo¹;

¹INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Ruta 11 Km 10,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La oferta de tecnologías de agricultura digital en el mercado global, también denominadas 4.0, se ha incrementado considerablemente en los últimos años. La falta de especialización para el uso de tecnologías es una de las limitantes mencionada de manera reiterada entre los usuarios finales. Las plataformas Web hoy permiten subsanar en gran parte este inconveniente. El objetivo del trabajo fue evaluar la utilidad de la plataforma Web de Auravant para el monitoreo de los cultivos del campo experimental de la EEA Paraná del INTA. En la plataforma se digitalizaron los lotes del campo de la EEA Paraná del INTA y se está realizando el monitoreo de ensayos de manejos por ambientes, evaluando la evolución de los cultivos a través de índices espectrales. Se presentan dos ensayos, un ensayo en franjas para evaluar cultivares de soja tolerantes a carbonatos atravesando suelos con diferente Índice de Productividad Específico para Soja y áreas localizadas con presencia de carbonatos y un ensayo de refertilización variable por ambientes en trigo utilizando la extensión N-INTA disponible en la plataforma. Se utilizaron índices espectrales disponibles en la sección Estado del cultivo para evaluar la evolución temporal y espacial de los mismos. Se ha demostrado la utilidad de la plataforma Web para el seguimiento de la evolución de los cultivos y ensayos de campo. La misma es de uso sencillo y práctico por lo que se comprueba es una herramienta adecuada para usuarios finales sin adiestramiento en el manejo de datos espaciales.

Palabras clave.

Agricultura digital, imágenes satelitales, monitoreo de cultivos, manejo por ambientes.

Introducción

La oferta de tecnologías de agricultura digital en el mercado global, también denominadas 4.0, se ha incrementado considerablemente en los últimos años, con valores que rondan el 10 al 12% (Birner et al., 2021). Dichas tecnologías han puesto al alcance de los usuarios finales estrategias amigables para el manejo y gestión de la información (Eichler Inwood y Dale, 2019; Shepherd et al, 2020). La amplia disponibilidad de plataformas Web ha permitido facilitar el acceso a imágenes satelitales que permiten el monitoreo de la evolución de los cultivos, gestionar y aplicar prácticas de agricultura de precisión. Este contexto favorable ha determinado que en Argentina el incremento en el uso de plataformas Web superara el 35% entre los años 2013 y 2018 y que el 80% de los usuarios de agricultura de precisión utilice imágenes satelitales (Melchiori et al., 2018).

La falta de especialización para la gestión de datos, entre ellos los satelitales, fue una de las limitantes detectadas en encuestas (Melchiori et al., 2013, 2018), situación resuelta en gran medida por las plataformas web. Las herramientas y su potencial crecen rápidamente y por tal motivo, desde la Estación Experimental Paraná del INTA se pretende mostrar las posibilidades de aplicación de las plataformas Web para la gestión de datos en lotes de producción y el monitoreo y seguimiento de la evolución de lotes comerciales y experimentos con distintos cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar utilidades de la plataforma Web de Auravant (<https://auraview.auravant.com/>) para el monitoreo de distintas situaciones productivas en el campo experimental de la EEA Paraná del INTA.

Materiales y Métodos

Se digitalizaron todos los lotes del campo experimental y del campo anexo de la EEA Paraná del INTA en la plataforma Web de Auravant (figura 1). Se realiza el monitoreo de cultivos comerciales y de ensayos de manejos por ambientes evaluando la evolución de los cultivos a través de índices espectrales.

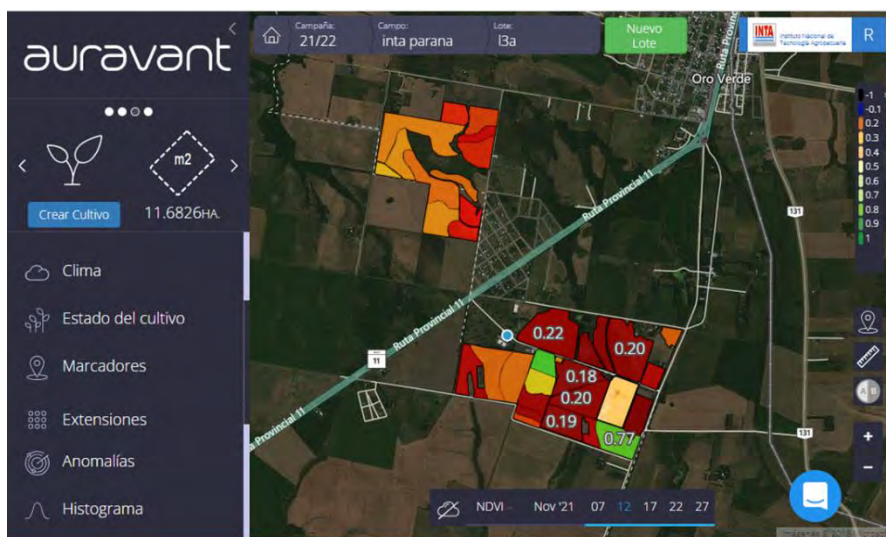


Figura 1. Distribución de los lotes del Campo Principal y Campo Anexo de la EEA Paraná del INTA visualizados en el entorno de la Plataforma Web de Auravant

Manejo por ambientes en el cultivo de soja

En el lote 11-12 del campo anexo (-31.83033; -60.54758) se está llevando a cabo un ensayo en franjas atravesando suelos con diferente Índice de Productividad Específico para Soja (IPESj). El IPESj es un índice que representa en base a una escala porcentual la potencialidad productiva de los suelos acorde a los requerimientos del cultivo (Tasi, 2009). Se conducen experimentos para evaluar la tolerancia de distintos cultivares de soja a condiciones de suelo estresantes para el cultivo. El área evaluada abarca

zonas localizadas con elevado pH y contenidos de carbonatos (figura 2). Se evalúan cultivares (cv1: 60E60 y cv2: y 62R63 del semillero Don Mario) seleccionados de ensayos anteriores por presentar distinto grado de tolerancia a la presencia de carbonatos en el suelo. El ensayo se sembró el 6 de diciembre de 2021. Se utiliza el módulo Evolución del cultivo disponible en la plataforma para evaluar los cambios en el cultivo a través de índices espectrales, así como también el monitoreo con imágenes HD, disponibles a pedido en la plataforma.

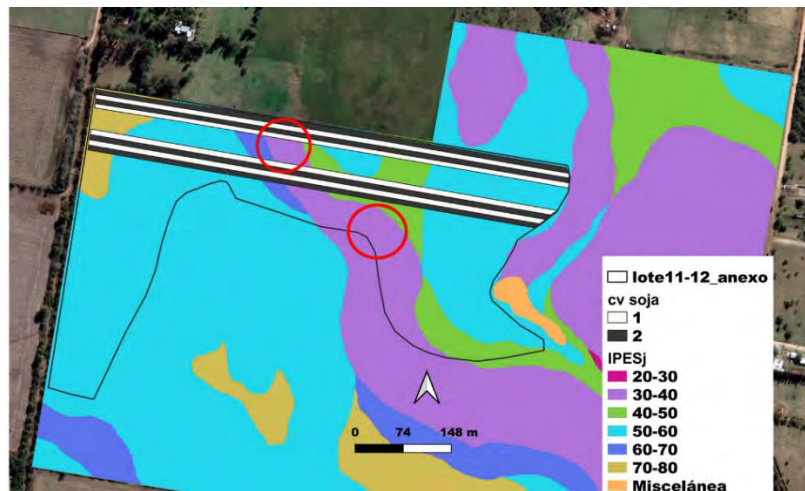


Figura 2. Disposición de un ensayo en franjas para evaluar cultivares de soja en el lote 11-12 del Campo Anexo de la EEA Paraná del INTA. Visualización sobre el mapa de índices de productividad específicos para soja. Los círculos rojos indican el área con presencia de carbonatos.

Manejo por ambientes en el cultivo de trigo

Mediante la extensión N-INTA disponible en la plataforma, que utiliza datos de NDVI de imágenes satelitales, se realizó la prescripción variable de re fertilización nitrogenada para el cultivo de trigo en el lote 5C del campo principal, considerando un rendimiento máximo de 5000 kg/ha y una eficiencia de uso del fertilizante del 50%. Las dosis prescritas y su distribución se muestran en la figura 3, todo el procedimiento se gestionó desde la plataforma en el módulo Mis Mapas. La re fertilización se realizó en el estadio de primer nudo del cultivo, el 5 de agosto de 2021. Se realizó el seguimiento del cultivo en diferentes fechas evaluando los cambios temporales en el NDVI y el valor medio del lote mediante el módulo Evolución del cultivo.

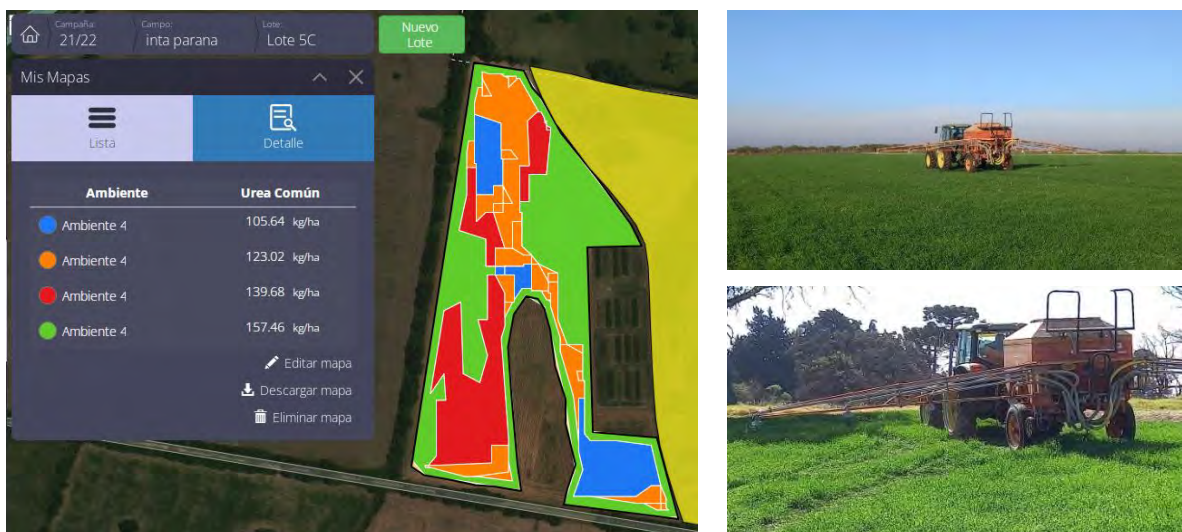


Figura 3. Ambientes y prescripción variable de N en trigo generada en base a la extensión N-INTA disponible en la plataforma. A la derecha se presentan fotografías de la fertilización variable.

Resultados

Manejo por ambientes en el cultivo de soja

Los cultivares de soja han mostrado una evolución acorde a las condiciones ambientales de la campaña. Se puede observar el incremento en biomasa y cobertura del cultivo visualizado en la plataforma en la sección Estado de cultivo, a través de índices espectrales. Tanto NDVI como MSAVI muestran una evolución similar a través del tiempo, con valores mayores para el MSAVI respecto al NDVI en todas las fechas (figura 4). Se puede visualizar claramente cómo las áreas con mayores presencias de carbonatos presentan en todos los casos menor cobertura del cultivo.

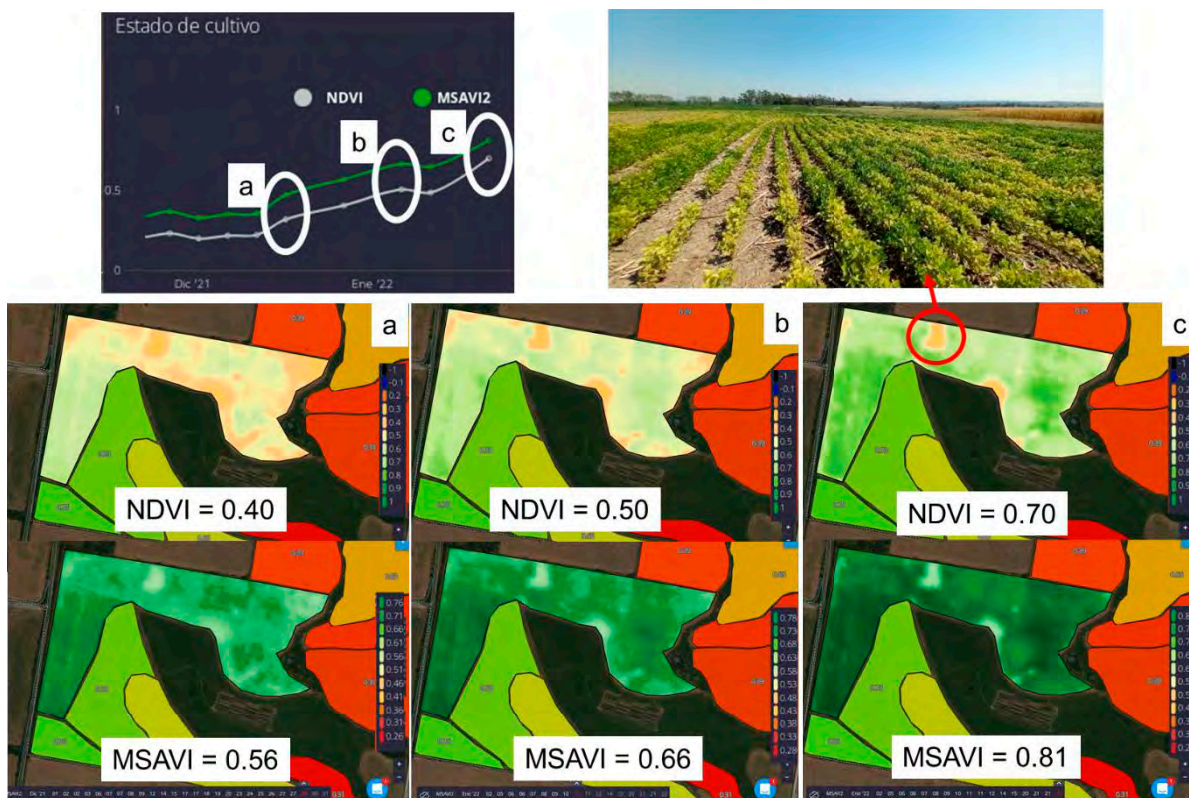


Figura 4. Evolución temporal del valor medio para los índices NDVI y MSAVI disponible en el módulo Estado del cultivo de la plataforma (imagen superior izquierda). Las imágenes inferiores muestran la distribución de los índices NDVI y MSAVI para tres fechas, 29 de diciembre de 2021 (a); 11 de enero (b) y 22 de enero de 2022 (c). La fotografía muestra el estado del cultivo en un sector con presencia de carbonatos.

Manejo por ambientes en el cultivo de trigo

En la plataforma se pudo observar la evolución de los valores de NDVI para el cultivo de trigo previo y post fertilización. En el mes de septiembre, los valores de NDVI alcanzaron el máximo, mostrando escasa variabilidad a nivel intra-lote. El rendimiento del cultivo fue elevado, superando el máximo esperado en una proporción extensa del área del lote (figura 5).

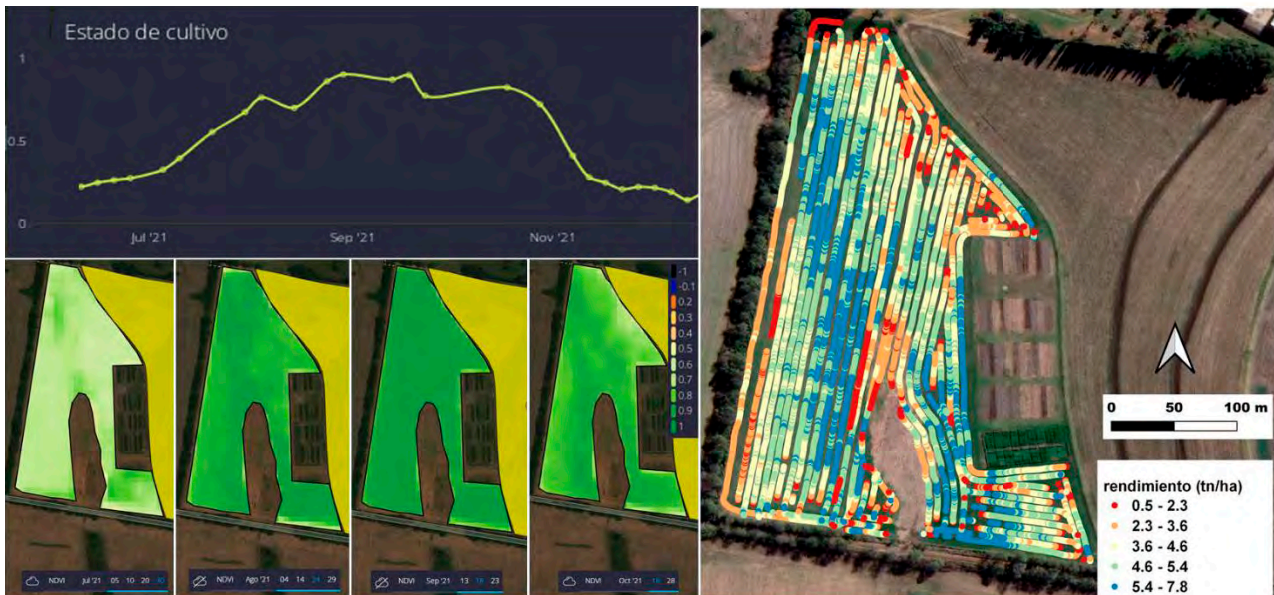


Figura 5. Evolución del NDVI durante el ciclo de crecimiento del cultivo de trigo: la imagen superior izquierda muestra el valor medio del lote, las figuras de la línea inferior representan la distribución espacial de los valores de NDVI. A la derecha se visualiza el mapa de rendimiento del cultivo.

Conclusiones

Se ha demostrado la utilidad de la plataforma Web para el seguimiento de la evolución de los cultivos y ensayos de campo. La misma es de uso sencillo y práctico por lo que se comprueba es una herramienta adecuada para usuarios finales sin adiestramiento en el manejo de datos espaciales.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto I177 del INTA.

Referencias

- Birner, R., Daum, T. & Pray, C. (2021) Who drives the digital revolution in agriculture? A review of supply-side trends, players and challenges. *Applied Economic Perspectives and Policy*. DOI: 10.1002/aepp.1314
- Eichler Inwood, S. & Dale, V. (2019) State of apps targeting management for sustainability of agricultural landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0549-8>
- Melchiori, R., Albarenque, S. & Kemerer, A. (2013) Uso, adopción y limitaciones de la Agricultura de Precisión en Argentina. 12º Curso de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas.
- Melchiori, R., Albarenque, S. & Kemerer, A. (2018) Evolución y cambios en la adopción de la agricultura de precisión en Argentina. En: 17º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas.
- Shepherd, M., Turner, J., Small, B. & Wheeler, D. (2020) Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture* DOI 10.1002/jsfa.9346
- Tasi, H. A. (2009) Aplicación de las cartas de suelos de Entre Ríos, Argentina, para evaluar índices de productividad específicos para los principales cultivos agrícolas. Tesis doctoral. Universidade Da Coruña. España. 592 p.

Los desafíos de la robótica en los cultivos intensivos para alcanzar la agricultura digital.

Edgardo Benitez Piccini

Grupo de Ingeniería en Biosistemas, INTA EEA Alto Valle, Guerrico, Río Negro, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Si hacemos un repaso de la evolución de la tecnología utilizada en las producciones agrícolas de las últimas décadas, podemos observar un claro desfase en el grado de avance de los distintos tipos de cultivos, pero a la vez podemos observar ciertas particularidades desde el punto de vista de la resolución de los problemas tecnológicos y en el grado de complejidad para tratar a cada cultivo. El presente trabajo toma diferentes casos para abarcar la diversidad de situaciones que plantea la agricultura, para aportar una mirada sobre las posibilidades de incorporar los concepto de agricultura de precisión, agricultura digital y agricultura 4.0, en los cultivos que se han visto menos beneficiados con estas tecnologías en el nuevo siglo. Por otra parte en el mismo período, la robótica y las áreas del conocimiento asociadas a ésta han mostrado significativos avances que parecieran indicar que esos desfases tecnológicos se cerrarán de la mano de estas nuevas tecnologías. Pero si lo analizamos con mayor detenimiento vemos que no implica que los cultivos más atrasados tecnológicamente podrán saltarse un paso en esta evolución del procesamiento de la información y el trabajo a campo, sino que deberán darlos en simultaneo.

Palabras clave. Fruticultura de precisión, Fruticultura digital, Mecanización, Fruticultura arbórea

Grados de evolución tecnológica en la agricultura

Si se hace un repaso de la evolución de la tecnología utilizada en las producciones agrícolas de las últimas décadas, podemos observar un claro desfase en el grado de avance para diferentes cultivos pero a la vez ciertas particularidades desde el punto de vista de la resolución de los problemas tecnológicos y el grado de complejidad para tratar cada tipo de cultivo. Esto genera desafíos desde el punto de vista de la mecanización, la agricultura de precisión y la robótica. Tratando de abarcar esta diversidad, se toman algunos casos representativos para luego detenernos en trabajos realizados en fruticultura en Argentina, en la zona del Alto Valle de la Norpatagonia.

Cultivos extensivos

En términos de desarrollo tecnológico, en este tipo de cultivos se dio origen a la agricultura de precisión (AP) y actualmente los principales fabricantes de maquinaria agrícola del mundo ya tienen sus modelos de concepto de tractores totalmente autónomos. Es el tipo de cultivos donde más se ha avanzado dentro del sector agrícola. Hace años se utilizan pilotos automáticos, se digitaliza la información y se automatizan tareas de manejo sitio-específico. Sin embargo la implementación de robots autónomos podría encontrar más dificultades que su implementación en pequeños invernaderos debido en parte a su diferencia de tamaños, costos, mantenimiento y algunos desafíos que aun resta resolver respecto a la seguridad para quienes conviven en el mismo ambiente. A pesar de que la tecnología prácticamente se encuentra disponible, la principal dificultad se podría deber a la falta de marcos legales y regulatorios (Lowenberg-DeBoer, 2021). Tecnológicamente hablando, continúa siendo el sector que dirige los últimos avances en términos de agricultura 4.0 y agricultura digital.

Cultivos intensivos

Una de las principales diferencias entre los anteriores y este tipo de cultivos, es la estructura leñosa de plantas o árboles que los caracterizan, lo que les otorga un grado de complejidad mayor en el manejo. Se deben extraer los frutos a mano en el caso de frutos para consumo en fresco o debería lograrse por sistemas robóticos muy avanzados. Y se debe contemplar la estructura para cualquier actividad como por ejemplo desplazarse dentro del cultivo, la interferencia en las señales de comunicación o la precisión del GPS. El riego también le otorga un factor de mayor complejidad a todo el sistema. Ya que además de ser un sistema de canales que abarca toda la zona cultivable, si se quiere realizar riego por sectores implica la instalación sistemas de bombeo y cañerías en todo el cultivo.

Viticultura

La viticultura de precisión se encuentra en desarrollo desde principios de este siglo en España, Australia y otras partes del mundo, desde entonces se cuenta con sistemas de mapeo de rendimiento y se analiza la variabilidad de los factores intervinientes y más recientemente el uso de índices extraídos de imágenes satelitales (Martinez-Casasnovas et al., 2012). La información que se puede extraer de éstas y las imágenes aéreas de este cultivo, hace un aporte significativo para el manejo variable, pudiendo optimizar el riego y la fertilización en función de esa variabilidad. Por otra parte, la maquinaria necesaria para la mecanización de estos cultivos, requiere un nivel de complejidad mayor a las utilizadas en los cultivos extensivos. Los equipos que se utilizan actualmente para cosechar y transportar las uvas conforman sistemas mecanizados que si bien el concepto fundamental es de similar complejidad a las cosechadoras utilizadas en los cultivos de granos, la disposición del cultivo y la necesidad de trabajar en forma individual cada fila, le otorga un nivel de dificultad mayor. Algo similar ocurre con los sistemas de dosificación variable utilizados.

Horticultura

En Australia se encuentran algunos de los desarrollos más vanguardistas en términos de robótica para la agricultura. El Sydney Institute for Robotics and Intelligent Systems (SIRIS) es uno de los institutos de investigación de robótica más grandes del mundo. Incorpora el Australian Centre for Field Robotics (ACFR) desde donde han surgido varias startups que comercializan robots y colaboran con los nuevos desarrollos. A diferencia de las grandes maquinarias utilizadas en los cultivos extensivos, su enfoque se centra en el desarrollo de robots livianos, de bajo costo y fácil mantenimiento, lo que los hace muy apropiados para la agricultura en general y para la horticultura en particular. Trabajan bajo los conceptos de la AP y cuentan con diversos desarrollos que se enfocan en diferentes actividades que incluyen algunas enfocadas a la fruticultura y la ganadería.

Fruticultura arbórea

Existen cultivos arbóreos como los cítricos, los olivos o los frutos secos, cuya cosecha puede ser mecanizada ya que sus frutos no son tan sensibles a los golpes. En el caso de los frutales de pepita, la mayor dificultad es que son sensibles a los golpes y su principal destino comercial es como fruta fresca, por lo que los trabajos mecanizados de cosecha requieren un trato que implique la menor cantidad de golpes. Incluso con las técnicas de cosecha manual utilizadas se presentan dificultades en este aspecto. Actualmente la mayor parte de su cosecha se realiza de manera manual mediante el empleo de escaleras y recolectores. Por otra parte las tareas culturales se realizan prácticamente sin tener en cuenta la variabilidad. La pulverización se realiza de forma homogénea para todo el cuadro, el riego en la mayoría de los casos también y de manera similar la fertilización, la poda y el raleo. En los últimos años han comenzado a implementarse manejos mecanizados, que reducen los tiempos y los costos de trabajo, pero en este caso los cultivos deben ser preparados de manera más uniforme. En cuanto a la cosecha se puede mencionar como uno de los casos que más se aproximó a resolver esta tarea de manera automática, al prototipo de cosechadora robótica de manzanas desarrollado por Abundant Robotics, Inc. que logra identificar el 95% de la fruta y cosechar el 80% a una velocidad de una fruta por segundo (Qin Zhang, 2018).

Por otra parte, bajo el concepto de AP en las últimas dos décadas se han estudiado gran diversidad de enfoques para determinar la variabilidad del cultivo, mediante la utilización de sensores tan diversos como cámaras de visión terrestres y aéreas, imágenes satelitales, sensores LIDAR, sensores de conductividad del suelo, imágenes multiespectrales y sensores de radiación entre otros. En todos los casos se trata de detectar la variabilidad de un aspecto particular del cultivo para generar mapas y sumar ese dato a los demás, detectar la causa de esa variabilidad y poder hacer un uso eficiente de los recursos. Sin embargo y aún si se contara con esos mapas que permitieran planificar estrategias de manejo de dosificación variable, no se cuenta con técnicas ni maquinarias que permitan implementar el manejo sitio-específico de manera generalizada en estos sistemas productivos. Qin Zhang (2018), detalla que se podría mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental, si se adaptan los métodos de la AP. Y que esto podría lograrse de forma automática y al mismo tiempo automatizar las tareas del campo si se desarrolla la robótica de la mano de los avances de las técnicas de mecanización, observación y medición mediante sensores, teniendo en cuenta las particularidades estructurales del cultivo y su manejo.

Para avanzar en ese sentido, en la EEA Alto Valle del INTA se estudia la mecanización, la AP para cultivos intensivos y se desarrolló un sistema de mapeo de rendimiento automático (Benitez Piccini et al., 2021). El sistema se probó durante la cosecha manual con ayudas mecánicas sobre una plataforma y carros de cosecha. Por otra parte se trabaja en vinculación con el Grupo de Investigación en Vehículos y Sistemas Inteligentes de la Universidad Nacional del Comahue en el estudio de diferentes técnicas de reconocimiento del ambiente para detectar variabilidad y técnicas de la navegación autónoma de

vehículos. Se pueden mencionar el reconocimiento de variabilidad con sensores LIDAR para estimar producción a partir del volumen foliar (Benitez Piccini et al., 2017), la evaluación de técnicas de navegación y construcción simultánea de mapas (SLAM) mediante visión estereo en entornos frutales (Raverta Capua et al., 2018) y reconocimiento objetos y patrones mediante el uso de una cámara de visión estereo (Sansoni et al., 2017), entre otros trabajos de geoposicionamiento y control de navegación que se llevan adelante. De este modo se apunta al desarrollo conjunto de la mecanización, la AP y la robótica para poder obtener mayor cantidad y calidad de información para mejorar la toma de decisiones y el manejo sitio-específico con mayor precisión. En la Figura 1 se muestran imágenes representativas de estos trabajos.

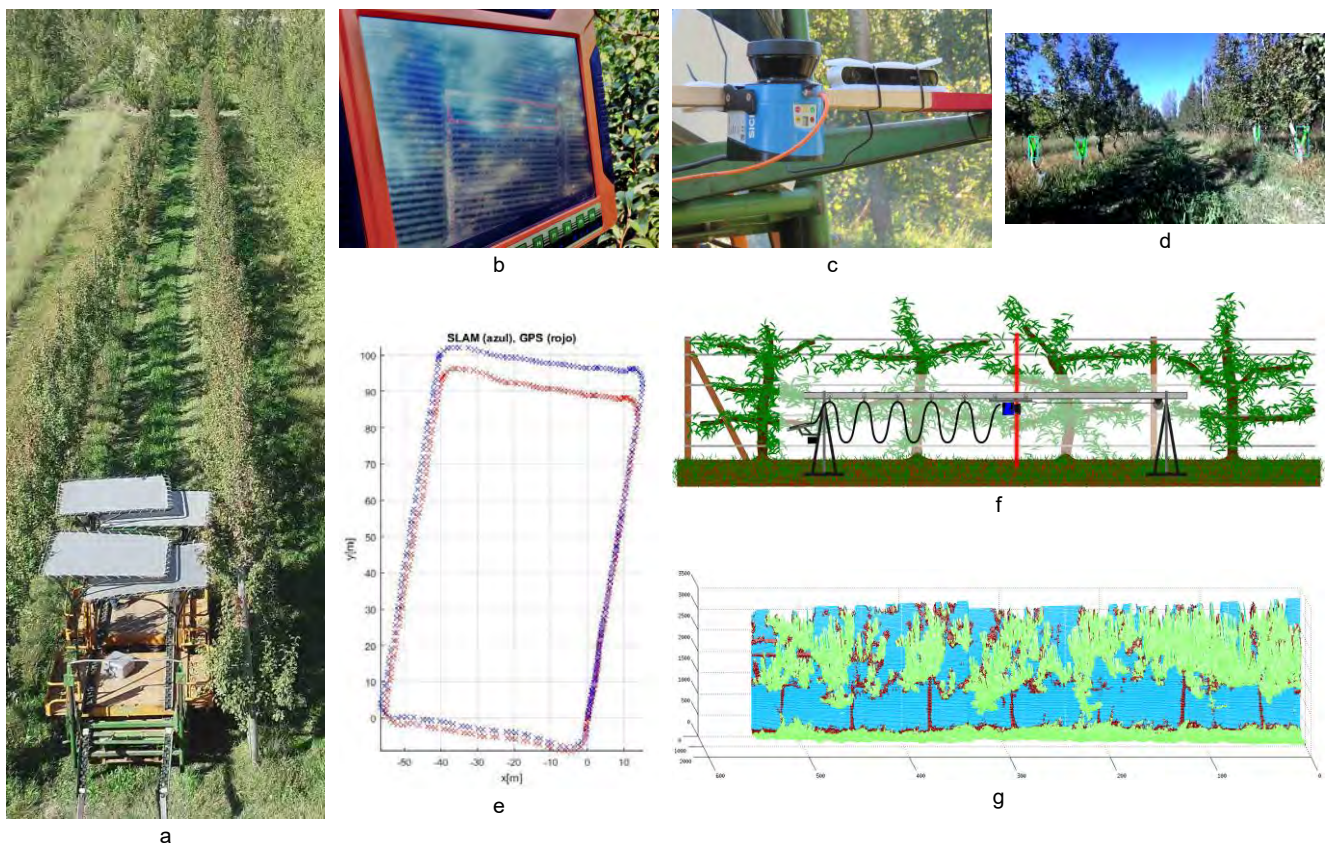


Figura 1. En las imágenes se puede observar los diferentes trabajos y resultados obtenidos entre la EEA Alto Valle del INTA y el GIVSI de la UNCo. a) Plataforma cosechadora sobre la cual se realizaron todos trabajos. b) Monitor de sistema de mapeo de rendimiento y geoposicionamiento. c) LIDAR y cámara de visión estereo utilizada en los ensayos. d) Reconocimiento de troncos por medio de visión estereo. e) Comparación de trayectoria estimada por técnicas de SLAM y GPS. f) Montaje de sensor LIDAR para escaneo de plantas. g) Reconstrucción 3D de planas para estimar la producción a partir de su volumen.

Conclusiones

En los cultivos extensivos la mecanización, la AP y actualmente la robótica evolucionaron cada una de manera ciertamente independiente y cada una alcanzó un determinado nivel de madurez antes del avance de la otra, como ocurre actualmente con la robótica que se está desarrollando luego de que la AP ha sido ampliamente desarrollada e implementada en todo el mundo. En los cultivos intensivos, los tiempos de adaptación y adopción de nuevas tecnologías que puedan dejar atrás los métodos clásicos del trabajo a campo, son muy extensos comparados al ritmo de avance de las tecnologías en otras áreas. Esto sumado a las exigencias del mercado, impulsa a que este tipo de desarrollo tecnológico

deba ser realizado paralelamente, pero no significa que bastará sólo con desarrollar la robótica para alcanzar el nivel de manejo tecnológico que no se pudo lograra hasta el momento. Será necesario estudiar y desarrollar tanto la mecanización de los cultivos y la agricultura de precisión de manera simultanea a la robotización, porque es de la fusión de los tres campos que se logrará el manejo preciso y la automatización de determinadas tareas. Lo que posibilitará al mismo tiempo alcanzar el nivel de manejo que se tiene en los cultivos extensivos y desarrollar la fruticultura 4.0 o la fruticultura digital. Como se señaló en este trabajo, por un lado existen mayores complejidades para desarrollar y adaptar las tecnologías, dependiendo del tipo de cultivos. Pero por otra parte el grado de maduración de estas tecnologías en otros sectores productivos, permite disponer de una gran cantidad de herramientas, técnicas y estudios que ahora sí posiblemente permitan acelerar el desarrollo tecnológico de los cultivos frutales. Los trabajos experimentales realizados por el INTA y la UNCo, permiten estimar que es posible generar desarrollos locales y adaptados a las necesidades propias del lugar. En regiones donde la disponibilidad de estas nuevas tecnologías es más limitada, el desafío consistirá en poder dominarlas lo más rápidamente posible.

Agradecimientos

Los trabajos desarrollados localmente mencionados en esta publicación, se realizaron en el marco del Proyecto de Desarrollo Tecnológico Social (PDTs) "Sistemas de Asistencia al Productor y Automatización de Máquinas para la Fruticultura de la Norpatagonia" (PDTs404) CIN-CONICET por el Grupo de Investigación de Vehículos y Sistemas Inteligentes de la Universidad Nacional del Comahue y el Proyecto - PRet-PATNOR 1281205-P.5111-A.13953 del INTA: Promoción del desarrollo territorial en el Alto Valle. Estudio y desarrollo de robótica y automatización en fruticultura de precisión, desarrollados en la EEA Alto Valle de INTA.

Referencias

- Benitez Piccini, E., Magdalena, J. C., Figueroa, J. L. & Masson, F. R. (2017). Early yield prediction in pear based on canopy LIDAR scanning. XVII Workshop on Information Processing and Control (RPIC), doi:10.23919/RPIC.2017.8214321
- Benitez Piccini, E., Romitelli, M., Ángel Muñoz, Muñoz, M., Fernandez, D., Curetti, M., Fonovich, P., Cabezas, F., & Magdalena, C. (2021). Yield maps in tree fruit production: an automatic system for implementing precision agriculture. *Acta Horticulturae*, doi:10.17660/ActaHortic.2021.1303.59
- Lowenberg-DeBoer, J., Behrendt, K., Ehlers, M.H., Dillon, C., Gabriel, A., Huang, I.Y., et al. (2021). Lessons to be learned in adoption of autonomous equipment for field crops. *Applied Economic Perspectives and Policy*, doi:10.1002/aepp.13177
- Martinez-Casasnovas, J. A., Agelet-Fernandez, J., Arno, J. & Ramos, M. C. (2012) Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, doi:10.5424/sjar/2012102-370-11
- Qin Zhang (2018). Tree fruit production automation. In Qin Zhang (Ed.), *Automation in Tree Fruit Production: Principles and Practice* (pp. 1–12). Washington: CAB International.
- Raverta Capua, F., Sansoni, S. & Moreyra, M. L. (2018) Comparative analysis of Visual-SLAM algorithms applied to fruit environments. *Argentine Conference on Automatic Control (AADECA)*, doi:10.23919/AADECA.2018.8577360
- Sansoni, S., Raverta Capua, F. & Moreyra, M. L. (2017) Estimación de la posición de una plataforma móvil en un ambiente frutícola basado en la detección de troncos con visión estéreo. IX Jornadas Argentinas de Robótica - JAR2017. Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2017

Sistema automático de mapeo de rendimiento como soporte para implementar la fruticultura de precisión

Edgardo Benitez Piccini

Grupo de Ingeniería en Biosistemas, INTA EEA Alto Valle, Guerrico, Río Negro, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *El avance en las técnicas de manejo y las tecnologías utilizadas para gestionar el campo en los cultivos extensivos han evolucionado durante las últimas tres décadas. Para este desarrollo han sido fundamentales los mapas de rendimiento como referencia de la variabilidad de los cultivos. Un desarrollo similar se ha logrado en el cultivo de la vid, en donde los mapas de rendimiento también permitieron desarrollar y comparar la variabilidad de distintos factores y adaptar las tecnologías para implementar la viticultura de precisión. Sin embargo, la diferencia tecnológica con los cultivos intensivos arbóreos es grande. No disponer de mapas que reflejen de manera simple y funcional la variabilidad del cultivo, no permite implementar por parte de los fruticultores las mismas técnicas de manejo sitio-específico basadas en el concepto de la agricultura de precisión. Basándose en los acontecimientos que dieron inicio a la agricultura de precisión, este trabajo propone un sistema de mapeo de rendimientos para cultivos frutícolas, como una herramienta que permita reducir esa brecha tecnológica e incorporar nuevas tecnologías para desarrollar la fruticultura de precisión. En el año 2014 se realizó un primer mapa de rendimientos automático en un cultivo de pera Williams. Desde entonces se trabajó en mejoras y la adaptación del sistema para obtener un modelo comercial y actualmente se cuenta con un prototipo del mismo. El sistema de mapeo propuesto se basa en el geoposicionamiento de la fruta cosechada, por lo tanto, puede adaptarse a diferentes métodos de cosecha manual o mecanizada.*

Palabras clave. *Agricultura de Precisión, Frutales de pepita, Pera Williams, Mecanización*

Introducción

La agricultura de precisión (AP) cuenta con más de tres décadas de desarrollo en el mundo desde que se incorporaron las primeras cosechadoras de grano con medidores de rendimiento y comenzó a estudiarse la variabilidad que presentaban los cultivos en diferentes sectores de las plantaciones. Luego de esos acontecimientos que marcaron el inicio, comenzó a estudiarse y adaptarse la tecnología en otro tipo de cultivos. En los intensivos y particularmente en frutales de pepita, el desafío es poder recorrer ese camino, aunque debe tenerse en cuenta que existen diferentes grados de avance y adopción de las tecnologías y las técnicas de gestión bajo el concepto de AP dentro de este tipo de cultivos. En el caso de la viticultura por ejemplo, en países como Australia y España estas tecnologías comenzaron a incorporarse desde finales de los '90 y principios de la década siguiente. Desde entonces se han realizado mapas de rendimiento y se los estudia y compara con mapas de variabilidad de diferentes factores como el vigor y los índices de NDVI obtenidos a partir de imágenes satelitales (Martinez-Casasnovas et al., 2012). Si bien se consideran fundamentales los mapas de rendimiento para la delimitación de zonas de manejo diferencial del cultivo, son de mucho interés los mapas generados a partir de imágenes, debido a su facilidad de obtención, menor costo y la alta relación que en muchos casos existe entre el vigor del cultivo, relacionado al NDVI y la cantidad y calidad de producción de uvas. Sin embargo, existen resultados controversiales sobre estos resultados entre los diferentes estudios en viticultura. En la fruticultura arbórea esa relación es menos directa por las características propias de cultivos con estructuras más grandes y leñosas en relación a la carga frutal. De acuerdo a esto y a la evolución de la tecnología en los casos anteriores, se puede ver al mapeo de rendimiento como el soporte para el estudio y la implementación de las prácticas de la AP, debido a que es una medición directa del resultado del manejo realizado sobre el cultivo. Diferentes autores coinciden en que adaptar las técnicas de la AP para cultivos arbóreos mejoraría la calidad y el rendimiento de sus cultivos al mismo tiempo que reduciría el impacto ambiental de la actividad (Qin Zhang, 2018) y como señala Alexandre Escolà, Coordinador del Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión de la Universidad de Lleida, sería importante disponer de mapas de rendimiento que reflejen la variabilidad de los cultivos para que el fruticultor pueda conocerla, cuantificarla y realizar un manejo diferenciado del riego, la fertilización o la poda, por ejemplo. De esta manera podría realizar un manejo más eficiente y sostenible (Revista de Fruticultura, 2021).

En Argentina, la AP comenzó a estudiarse e incorporarse a la producción de cultivos extensivos desde mediados de los '90. Según datos del INTA en el país se han incorporado desde el año 1998 hasta el año 2016, 24879 monitores de siembra, 19158 banderilleros satelitales en pulverizadoras, 12610 monitores de rendimiento y 9035 guías automáticas en la maquinaria agrícola, citando sólo los dispositivos que cuentan con mayor adopción (Scaramuzza et al., 2017). En el presente trabajo se propone el sistema de mapeo de rendimiento para cultivos intensivos, como alternativa para el estudio y la implementación de la fruticultura de precisión.

Sistema de mapeo de rendimiento para cultivos intensivos

En el año 2014 se realizó el primer mapa de rendimiento con registro automático de los datos mediante un sistema desarrollado ad hoc, en un cuadro de pera Williams dentro del predio perteneciente a la EEA Alto Valle del INTA. El sistema lleva a cabo el registro, mientras los operarios realizan la cosecha en forma manual sobre una plataforma cosechadora y carros de cosecha tirados por tractor (Benitez Piccini et al., 2021). Desde entonces se trabajó en mejoras del sistema, realizando mapas y estudiando de la relación con otros mapas de variabilidad como el de nivelación de suelo, lo que afecta al riego y la influencia de otros factores relacionados con el crecimiento de las plantas. El análisis de los datos y la información que se obtiene de los mapas de rendimiento en este tipo de cultivos se estudió de manera

simultánea (Fernandez et al., 2021). El trabajo actual se enfoca en la necesidad de mejorar la calidad con la que se registran los datos a campo y el desarrollo de una versión que pueda ser utilizada por los productores. Para ello se trabajó durante los últimos años en la fabricación de un prototipo comercial y junto con la fábrica de maquinaria Pazima S.A. en la adaptación del sistema a sus plataformas de cosecha que se muestra en la figura 1. En esta primera versión el sistema se instaló con una configuración de dos balanzas, adaptadas a la plataforma cosechadora, para registrar el peso en las dos alturas superiores del cultivo, a partir de 1,8 m. Por debajo de esa altura se podrá utilizar una configuración de dos carros cosechadores tirados por tractor, los cuales cuentan con el mismo sistema instalado, aunque está previsto que se puedan utilizar mayor cantidad de carros.



Figura 1. Plataforma cosechadora fabricada por la empresa Pazima S.A.

Esta versión cuenta con un monitor con pantalla táctil en el que pueden observarse los valores del pesaje, el estado del sistema y los datos del GPS. El sistema de rendimiento realiza el registro de los datos del peso y su geoposicionamiento de manera automática, sin modificar el método de cosecha ni el trabajo de los operarios, y almacena los datos para su posterior procesamiento. Actualmente se trabaja para que en las próximas versiones pueda visualizarse el mapa en el momento de la cosecha. En la figura 2 se muestra el monitor en su versión actual y un sector del primer mapa de rendimiento con un filtrado de los datos para el reconocimiento de segmentos de la trayectoria de cosecha y reconocimiento de los valores finales de peso de los bins llenos de fruta y las coordenadas donde se depositó cada uno. El análisis de los datos también fue realizado en forma automática por el software de posprocesamiento, que se desarrolla pensando en incorporarlo al monitor del sistema en el futuro.

Se pueden contemplar factores limitantes de la precisión en la medición, debido al método de cosecha manual con ayudas mecánicas que se utiliza. Se debe tener en cuenta que el pesaje se realiza en movimiento y con la dinámica de descarga de la fruta sobre las balanzas que imponen los operarios. Por lo tanto, el sistema debe hacer un filtrado y la información se procesa para eliminar los datos ruidosos. Parte de ese filtrado lo hace el software de análisis y otra parte el sistema de adquisición de las balanzas. Teniendo en cuenta todos estos factores y los métodos utilizados para minimizarlos, en las pruebas con el sistema experimental fue posible alcanzar resoluciones espaciales menores a los dos metros lineales a lo largo del interfilas, sujeto a las condiciones mencionadas. Esto es suficiente para poder conocer la variabilidad dentro del cuadro con una buena resolución. Por el propio método de cosecha y la imposibilidad de identificar de manera autónoma el árbol del cual se extrae la fruta, aún no es posible generar datos individualizados de cada planta. Sin embargo, sí es posible obtener mapas independientes en los tres niveles de altura con las limitaciones de resolución espacial mencionada.

Esto permite analizar la carga frutal de las plantas a tres niveles de altura diferentes.



Figura 2. Monitor de rendimiento donde se visualiza toda la información referida a los datos que se registran durante la cosecha como el peso, las coordenadas y el estado del sistema (izquierda), y mapa de rendimiento con identificación, en el posprocesamiento, de segmentos de trayectoria y localización de los bins llenos representados con cuadrados amarillos (derecha).

Con respecto a las adaptaciones mecánicas del nuevo prototipo, se trabajó en el diseño del montaje específico de las celdas de carga para la maquinaria utilizada, enfocándose en minimizar los factores que inducen ruido en la medición del peso. Durante los ensayos en los trabajos previos realizados con el sistema experimental se utilizaron montajes estándar, lo que generaba vibraciones y movimientos adicionales a los de la maquinaria por no estar diseñados para ese uso particular. El diseño que se utilizó en esta nueva versión, contempla la resistencia de los materiales y las particularidades que tiene el procedimiento de la cosecha realizado por los operarios y se espera que reduzca significativamente el ruido de las mediciones que actualmente se elimina mediante el filtrado por software.

Conclusiones

De acuerdo a las experiencias anteriores, a la evolución de la tecnología en otro tipo de cultivos y observando los estudios a través de los cuales se afianzaron las técnicas para implementar la AP, se evidencia la importancia del sistema de mapeo de rendimientos como referencia para evaluar la variabilidad. Esto se debe principalmente a que es una medición directa del resultado del manejo realizado sobre las plantaciones. El sistema de mapeo para frutales propuesto, demuestra que es posible obtener esos mapas de manera automática y sin alterar el proceso de cosecha que se realiza actualmente. Por otra parte, es un sistema que se ajusta fácilmente a las diferentes condiciones de la cosecha de cada productor. Si bien existen aspectos que mejorar desde el punto de vista de la precisión de las mediciones y la resolución alcanzada, el método propuesto es suficiente para conocer la variabilidad y poder identificar sectores con el fin de diseñar un manejo diferenciado, que permita maximizar la producción, mejorando la calidad y reducir el impacto ambiental. Disponiendo de este tipo de mapas en diversos cultivos frutales se podrá avanzar en ese sentido, por lo que señala la necesidad de continuar con el desarrollo de estos de sistemas para avanzar en la implementación de la fruticultura de precisión.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado en el marco del proyecto de INTA: Desarrollo y aplicación de tecnologías de mecanización, precisión y digitalización de la Agricultura. 2019-PE-E9-1177-001.P09.A005 y el Convenio 27369 de Asistencia Técnica y Transferencia de Tecnología entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y la fábrica de maquinaria Pazima S.A.

Referencias

- Benitez Piccini, E., Romitelli, M., Ángel Muñoz, Muñoz, M., Fernandez, D., Curetti, M., Fonovich, P., Cabezas, F., & Magdalena, C. (2021). Yield maps in tree fruit production: an automatic system for implementing precision agriculture. *Acta Horticulturae*, doi:10.17660/ActaHortic.2021.1303.59
- Fernandez, D., Curetti, M., Benitez Piccini, E., Romitelli, M., Del Brio, D., Ocampo, S., Bramardi, S., & Magdalena C. (2021). Yield maps in tree fruit production: analysis of spatial and temporal variability to establish homogeneous zones. *Acta Horticulturae*, doi:10.17660/ActaHortic.2021.1303.60
- Martinez-Casasnovas, J. A., Agelet-Fernandez, J., Arno, J. & Ramos, M. C. (2012) Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, doi:10.5424/sjar/2012102-370-11
- Qin Zhang (2018). Tree fruit production automation. In Qin Zhang (Ed.), *Automation in Tree Fruit Production: Principles and Practice* (pp. 1–12). Washington: CAB International.
- Revista de Fruticultura, Redacción (2021). Fruticultura de Precisión: luces y sombras. *Revista de Fruticultura*, 79(1), 58-72.
- Scaramuzza, F., Villarroel, D., & Vélez, J. P. (2017). Incremento de las herramientas de agricultura de precisión. Mayor automatismo y precisión para la sustentabilidad del ambiente productivo. In M. Bragachini (Ed.) *Curso internacional de Agricultura y Ganadería de precisión Expo de Máquinas Precisas* (pp 25-32). Manfredi: Ediciones INTA.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO RPAS EQUIPADO CON SENSOR RGB

Gilberto de J. López Canteñas, Juan J. Pérez Paredes

Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México, C. P. 56230, México. Email: alelopez10@hotmail.com.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Durante la preparación del suelo para establecer un cultivo agrícola, una de las labores más detalladas y que consumen bastante tiempo, es la nivelación de tierras, que implica el levantamiento topográfico, análisis de los datos y posteriormente, el proceso de nivelación. La obtención de datos topográficos de la parcela se ha realizado de forma manual o con maquinaria equipada, sin embargo, los Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia pueden ser de utilidad, incrementando la productividad y la calidad del estudio de campo. Debido a lo anterior, y a la necesidad de contar con cartografía de alta resolución, se realizó la evaluación de un dron para el levantamiento topográfico, a partir de imágenes RGB georreferenciadas, incluyendo puntos de control en tierra. Para ello, se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México, una misión de vuelo autónoma, a una altura de 20 m, con una velocidad de avance horizontal de 1 m/s y con vientos no mayores a 5 km/h, cubriendo un área de 2151 m² (0.23 ha). Las imágenes RGB obtenidas con el RPAS, se corrigieron mediante puntos de control en tierra y, la nube densa de puntos generada se comparó con un levantamiento topográfico GPS en postproceso, obteniendo errores absolutos y estándar de 0.020 y 0.024 m, respectivamente.

Palabras clave. Nivelación de tierras, levantamiento topográfico, posproceso, imágenes RGB

Introducción

En la agricultura moderna, el manejo del agua de riego y de drenaje, es fundamental para garantizar la cosecha de un cultivo y por tanto, maximizar sus rendimientos. Durante la preparación del suelo, una de las labores que debe incluirse es la nivelación de la parcela tanto en el sentido de la pendiente longitudinal como la transversal, garantizando de esta forma que el cultivo no se estrese por falta o exceso de humedad.

Tradicionalmente, el levantamiento topográfico para la nivelación, se realiza mediante el uso de estaciones totales y sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), los cuales, permiten medir puntos en el campo, de manera precisa, para reconstruir una superficie. Estos sistemas son eficientes para medir áreas que no utilicen una gran cantidad de puntos, en los casos, en donde se necesite reconstruir una superficie con una gran cantidad de puntos, se requerirá más tiempo en la medición y por lo tanto tendrá un mayor costo (Tucci et al., 2019; Pedraza, 2019; Cucchiario et al., 2020,).

Por otra parte, los sistemas de nivelación láser y GNSS-RTK aunque constituyen un importante avance tecnológico, requieren realizar un recorrido, por todo la parcela, tomando mediciones cada aproximadamente 20 m, lo que implica tiempo y un costo adicional, que pudiera reducirse utilizando datos aéreos.

En la actualidad, los Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), están transformando el campo de la topografía, una alternativa para las mediciones y procesamientos de datos, mediante imágenes aéreas georreferenciadas y técnicas fotogramétricas para obtener información topográfica (Pedraza, 2019). Tucci et al, (2019) mencionan que el uso de RPAS, permite realizar muestreos rápidos y densos, de superficies complejas sin necesidad de acceder directamente a los sitios, disminuyendo los costos operativos y asegurando modelos más precisos.

Debido a lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la precisión que se tiene al utilizar RPAS para el levantamiento topográfico, a partir de imágenes RGB georreferenciadas, incluyendo puntos de control en tierra.

Materiales y métodos.

Parcela experimental

El estudio se realizó en el campo experimental "Tlapeaxco", de la Universidad Autónoma Chapingo, en Texcoco, Estado de México, Latitud Norte 19°28'59".56, Longitud Oeste -98°53'16".19, con una superficie de 0.23 ha. El suelo de la parcela es franco arcilloso y se encontraba con dos pases de rastra y libre de malezas.

Prototipo de RPAS

Se utilizó un prototipo de RPAS, tipo cuadricóptero, desarrollado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, equipado con cámara RGB Hawkeye Firefly 8SE con el sensor Sony IMX117, que tiene resolución de 4608 x 3456 pixeles, tamaño de píxel de 1.55 μm y distancia focal de 4 mm.

Levantamiento topográfico GNSS

El levantamiento topográfico se realizó con un sistema GNSS Trimble R8 en modo postproceso, equipado con dos receptores y controladora TSC3. Para la corrección de las coordenadas de posición y la altitud, se utilizaron los registros de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) del Instituto Nacional

de Estadística y Geografía (INEGI), específicamente la estación ICMX ubicada en las coordenadas 19° 24' 20.30"N, 99°10' 15.06"O, con una altitud geodésica de 2267.252 m. En la Figura 1 se muestra el procedimiento seguido para la corrección de las coordenadas X, Y y Z medidas.

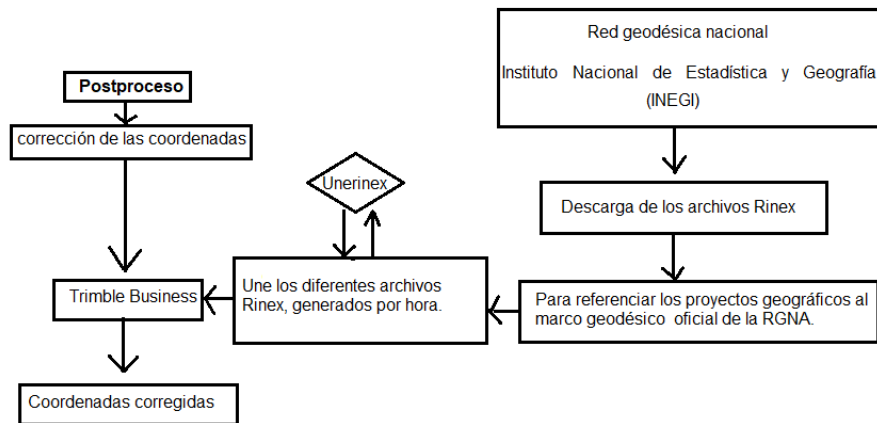


Figura 1. Diagrama de corrección de coordenadas en postproceso.

Con la estación GNSS se midieron 40 puntos en el área de estudio, de los cuales cinco se utilizaron para la georreferenciación de los puntos de control en tierra (GCP) y los otros 35, corresponden al muestreo aleatorio para la evaluación del procedimiento de levantamiento topográfico con RPAS.

Proceso fotogramétrico

Se realizó una inspección de campo, definiéndose una altura de vuelo de 20 m y una velocidad de vuelo de 1 m/s. Para la planificación del vuelo automática, se utilizó la aplicación móvil Qground Contol, ajustándose los parámetros de traslape de las fotografías, con un 80 % frontal y un 70 % lateral. Se ajustaron los parámetros de la cámara que se utilizó en el RPAS, con ancho de 6.20 mm, largo de 4.65 mm, y una distancia focal de 4 mm.

Procesamiento digital de las imágenes

Con las 32 fotografías georreferenciadas, obtenidas del vuelo de la Aeronave Pilotada a Distancia, se realizó el procesamiento fotogramétrico, utilizando el software PIX4D mapper versión 4.5.6. Con las imágenes cargadas en el software, se procedió a orientarlas mediante la generación de puntos de enlace, se añadieron los puntos de control en tierra para corregir las coordenadas y se generó la nube densa de puntos, finalmente, se generó la malla y textura. y el modelo digital de elevación. En la Figura 2, se muestra el procedimiento seguido para el procesamiento de las fotografías.

Evaluación

La evaluación del proceso fotogramétrico se realizó comparando la altura del modelo digital de elevación (MDE), obtenido con las fotografías aéreas, y el levantamiento topográfico GNSS corregido, siguiendo los criterios, gráfico y estadístico. Para la evaluación gráfica se compararon las alturas geodésicas, medidas con el sistema GNSS y con el prototipo de RPAS, realizándose una valoración cualitativa del ajuste entre ambos conjuntos de datos. El segundo criterio de ajuste fue cuantitativo, para ello, se realizó un análisis de frecuencia de los errores absolutos y se calcularon los parámetros estadísticos del error relativo, error estándar y error absoluto, que son un indicativo de la dispersión entre los valores de altura geodésica obtenidos con el prototipo de RPAS.

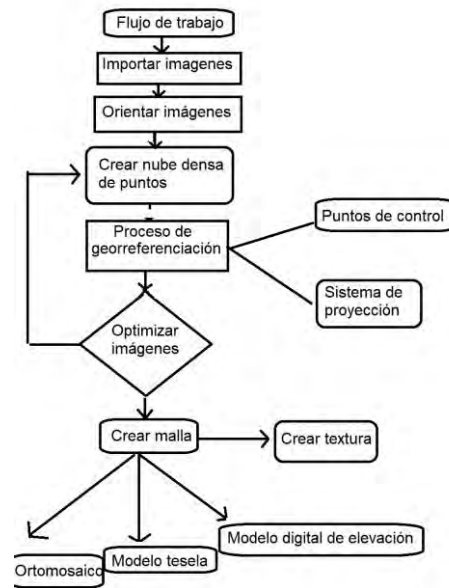


Figura 2. Proceso fotogramétrico.

Resultados y discusión

Se calcularon los valores residuales del modelo digital de elevación, es decir, la diferencia de la altura geodesia obtenida con el GNSS y la medida en el MDE. En la Figura 3, se observa que los valores residuales del modelo digital de elevación tienen una distribución aleatoria alrededor de 0, en los cuales, el 85 % de los valores, se encontraron entre -0.031 y 0.033 m, siendo los errores pequeños, lo que permite aseverar que el MDE puede utilizarse para la estimación de la altura geodésica de superficies. El 15 % de los errores absolutos entre 0.034 y 0.049 m, se deben a la presencia de canales de riego en el área de estudio que influyó en el procesamiento de las imágenes. Además, el 37% del valor residual es negativo, lo que indica que, la altura obtenida con el MDE fue superior a la medida.

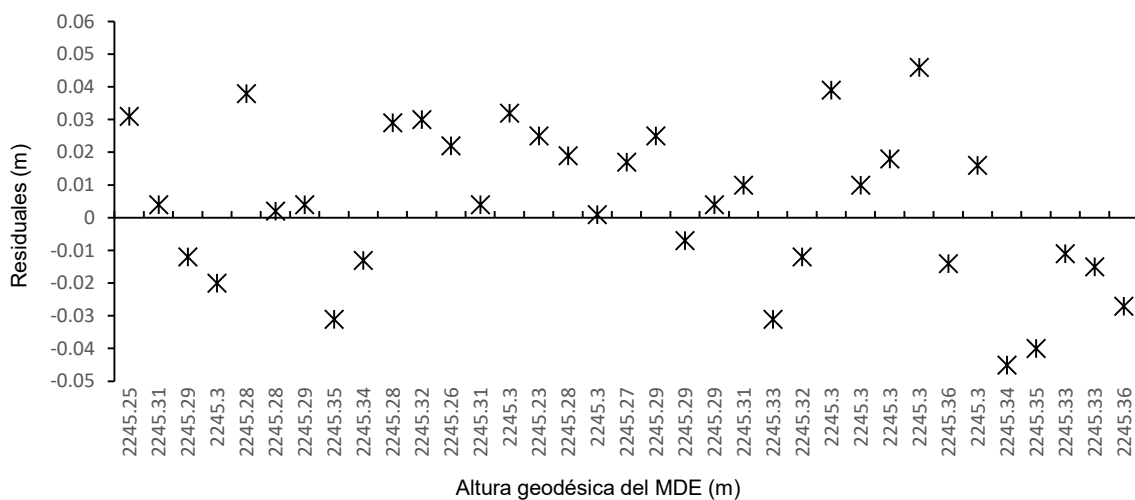


Figura 3. Residuales de la altura geodésica del MDE.

En la Figura 4, se observa que la altura geodésica del GNSS, en la mayoría de los casos (22 puntos), es superior a la del MDE. Por lo que, el 63 % de los puntos obtenidos a través del MDE subestima las

alturas geodésicas obtenidas mediante el levantamiento GNSS, resultado del procesamiento digital de las imágenes capturadas con el prototipo de RPAS.

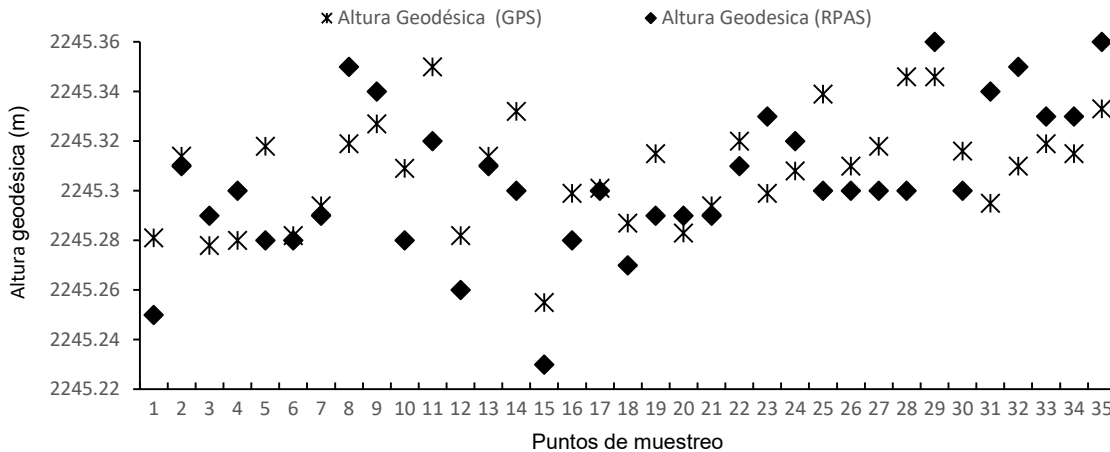


Figura 4. Altura geodésica medida con el GPS y el modelo digital de elevación.

En los errores calculados de puntos de muestreo del levantamiento topográfico, el valor promedio total del error absoluto fue de 2 cm, el error estándar de 2.3 cm y el error relativo de 0.00089 %. Lo que indica que la precisión es alta, muy similar a los valores que se obtienen con un sistema GNSS trabajando en tiempo real, en la geodésica.

Conclusiones

Se obtuvo el procedimiento para realizar el levantamiento topográfico de una parcela, mediante el prototipo de RPAS equipado con cámara RGB, con fines de nivelación de tierras.

Se minimizaron los errores en la altura geodésica, incorporando puntos de control en tierra para la generación de la nube densa de puntos y el modelo digital de elevación.

A partir del análisis de los datos de levantamiento topográficos mediante el procesamiento de imágenes del RPAS y el GNSS, se obtuvieron errores absolutos que fueron menores al 0.033 m en el 85% de los datos, por lo que pudiera considerarse como una alternativa para realizar los levantamientos topográficos de terrenos agrícolas.

Referencias

- Cucchiari, S., Fallu, D. J., Zhang, H., Walsh, K., Van Oost, K., Brown, A. G., & Tarolli, P. (2020). Multiplatform-Sfm and TLS data fusion for monitoring agricultural terraces in complex topographic and landcover conditions. *Remote Sens*, 12(12), 1-29. doi:10.3390/rs12121946
- Pedraza, A. (2019). Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos-2019. Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36819>
- Tucci, G., Gebbia, A., Conti, A., Fiorini, L., & Lubello, C. (2019). Monitoring and computation of the volumes of of photogrammetric surveying. *Remote Sens*, 11(12), 27. doi:10.3390/rs11121471

Automatización de aireación de granos para silos de productores y pequeños acopios

de la Torre D. A. (M. Sc.)¹ & Bartosik R. E. (Ph. D.)²

IPADS Balcarce (INTA-CONICET), Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce

RN. 226 Km. 73,5, Balcarce, Arg.

1- delatorre.diego@inta.gob.ar 2- bartosik.ricardo@inta.gob.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La automatización de la aireación es imprescindible para ser eficientes y eficaces en la conservación de los granos. La automatización minimiza las horas de uso del ventilador, el consumo energético el tiempo de aireación (días en llegar a la temperatura deseada) y el riesgo de sobre-secado. La oferta en el mercado local de controladores de aireación está orientada a equipos muy sofisticados y de alto costo, lo cual dificulta su incorporación en estructuras de acopios pequeñas y medianas. En el presente trabajo se desarrolló un controlador de aireación simple, de bajo costo, robusto y eficiente y se lo instaló en un silo de 500t de trigo en un campo productivo del SE Bonaerense (Arg). Se implementó una estrategia de enfriado del grano en etapas, acompañando la evolución de la temperatura ambiente a través del verano. En el primer ciclo de aireación el controlador se programó para encender el ventilador con temperaturas inferiores a 20°C, mientras que en el segundo ciclo la temperatura de encendido se bajó hasta los 10°C. Los resultados indicaron que se logró enfriar el trigo cosechado el 26 de diciembre de 2020 desde una temperatura máxima de 35°C hasta una temperatura máxima de 14°C el 1 de febrero de 2021, luego de 130 hs de ventilación, y sin sobre-secar el grano.

Palabras clave. Poscosecha, eficiencia, insectos plaga de granos almacenados, pérdida y desperdicio alimentos, automatización

Introducción

Mantener los granos secos y fríos durante el almacenamiento es fundamental para conservar su calidad y evitar la pérdida de alimentos causada por el desarrollo de hongos e insectos. Los granos almacenados por debajo de 15°C tienen muy bajo riesgo de ser dañados por insectos plagas de los granos almacenados (Fields, 2006).

Aireación es la técnica usada para bajar la temperatura de los granos con aire natural forzado. Para ello debe implementarse una estrategia de uso de los ventiladores (condiciones de encendido y apagado) dependiendo de la época del año, la condición y el tipo de grano, entre otros factores. Una vez definida la estrategia se debe proceder a su implementación, lo que puede hacerse de forma manual o automatizada.

La automatización de la aireación reduce el consumo energético, el tiempo de aireación y el riesgo de sobre-secado asegurando el cumplimiento del objetivo: enfriar la mercadería a la menor temperatura

posible (compatible con la condición climática) y en el menor tiempo posible.

La oferta en el mercado local de controladores de aireación está orientada a equipos muy sofisticados y de alto costo, lo cual condiciona su incorporación en estructuras de acopios pequeñas y medianas. Un estudio realizado recientemente en Argentina (Abadía *et al.*, 2019) reveló que solo el 9% de las plantas de acopio encuestadas cuenta con controladores de aireación. Este nivel de adopción es aún menor en plantas de acopio pequeñas (7.500 t), donde la adopción de este tipo de tecnologías es prácticamente nula. Controladores robustos, fáciles de usar por personal no calificado y de bajo costo permitirían una mayor adopción por parte de pequeños acopiadores y productores.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar un controlador de aireación simple y de bajo costo para enfriar los granos almacenados.

Materiales y métodos

Desarrollo del controlador

Se desarrolló un controlador de aireación con las funciones requeridas: un termostato (Marca NOVUS modelo N321), un contador de horas de funcionamiento (Marca AEA modelo ACH 8-6), un seleccionador de banda horaria (GE, GLX Q 21 W 70) y un gabinete plástico impermeable. Todos los componentes se encuentran disponibles en el mercado local y son fácilmente ensamblados por un electricista generalista.



Figura 1. Controlador de aireación utilizado en el ensayo. El detalle de componentes incluye un termostato (arriba a la izquierda), un contador de horas de funcionamiento (abajo a la derecha) y un temporizador (arriba a la derecha).

El controlador se instaló en un silo de chapa ubicado en un establecimiento productivo en la zona de Balcarce (Sudeste de la provincia de Buenos Aires). El 13 de enero de 2021 se cosechó trigo con 10,3% de humedad promedio y se llenaron 2 silos idénticos (Fig 2) de 10m diámetro y 5,7 m de altura y piso cónico, de 500 t de capacidad. En el silo A) se instaló el controlador de aireación y el B) se implementó un manejo manual de la aireación. Ambos silos contaban con termometría (3 cables por silo) y un sistema de aireación con ventiladores axiales (Marca J&G, modelo HP10-2015) y conductos de distribución de aire (con ductos perforados de 50 cm de diámetro dispuestos en forma de “Y”). En ambos silos se midió la velocidad del aire en 23 puntos del área de la boca del ventilador (anemómetro de vena caliente, Lutron, AM-4204) y se hizo un promedio ponderado de los datos de acuerdo a su ubicación (central, medio o periferia del área). Luego se estimó el caudal total de cada silo calculando el producto de la velocidad promedio y el área de la boca de los ventiladores (0,18 m²), para finalmente estimar el caudal específico dividiendo el caudal de cada silo por la cantidad de grano almacenado. De esta forma se estimó un caudal específico de 0,3 m³/min.t para el silo A y 0,4 m³/min.t para el silo B. Con dichos caudales se estimó, de acuerdo a lo propuesto en Abadía and Bartosik, (2013), que el ciclo de aireación demandaría 63 hs de ventilación en el silo A y 43 hs en el silo B.

Se midió la temperatura del grano con el sistema de termometría existente y se tomaron muestras con un calador de camión en la puerta de inspección ubicada en el techo y en la boca de descarga a nivel

del suelo de ambos silos. Luego se determinó el contenido de humedad de las muestras en el laboratorio de Poscosecha de la EEA Balcarce (D&J GAC2100).



Figura 2. Silos A y B de 500 t utilizados en el ensayo.

Estrategia

En el silo A se implementó una estrategia de 3 etapas con límites de temperatura descendentes, dos primeras etapas de enfriamiento progresivo y una tercera de mantenimiento.

En la primera etapa se programó el controlador para encender el ventilador con temperaturas inferiores a 20°C, con el objetivo de) bajar rápidamente la alta temperatura inicial del grano. Para definir el límite de temperatura de la primera etapa se tomó como guía la recomendación del Manual de Buenas Prácticas para esta locación (Abadía and Bartosik, 2013). Dicho límite permite un funcionamiento intenso del ventilador de entre un 30% y un 40% del tiempo (aproximadamente 8 horas diarias).

Una vez que se logró bajar la temperatura promedio por debajo del primer límite prescrito (20°C) se pasó a la segunda etapa, para la cuál se estableció un límite de 10°C. Finalmente, al alcanzarse el segundo límite prescrito en la temperatura del grano, se inició la tercera etapa denominada de mantenimiento con el objetivo de mantener la temperatura del grano fría y minimizar el funcionamiento del ventilador. Para esta etapa se programó una temperatura de funcionamiento igual o inferior 5°C.

En el silo B se realizó un control manual de la aireación por parte de un operario del establecimiento. En líneas generales el criterio seguido por el operario consistió en encender el ventilador al anochecer y apagarlo a la mañana, variando el horario de encendido y apagado de acuerdo a su propia valoración de las condiciones climáticas y su disponibilidad.

Monitoreo

Semanalmente se inspeccionaron ambos silos, se tomaron lecturas de termometría y muestras de grano. También se registraron las horas acumuladas de funcionamiento del ventilador del silo A.

Las muestras de grano se llevaron al laboratorio de Poscosecha de Granos de INTA Balcarce donde se observó presencia de insectos y se midió el contenido de humedad.

Resultados y discusión

La primera etapa de aireación se extendió desde el 13 de enero hasta el 22 de febrero (Figura 4). Durante este periodo el ventilador funcionó cada vez que la temperatura ambiente bajó de los 20°C lo que se puede observar en la Figura 4 cada vez que la línea azul (temperatura ambiente) se posiciona por debajo la línea punteada roja (límite de 20°C), graficado como barras verticales de azul translúcido, mientras que las horas acumuladas de ventilación se observan en la línea gris. Durante el monitoreo se detectó que entre el 15 y el 18 de enero el ventilador fue apagado manualmente por error. En este periodo se acumularon un total de 410 hs de ventilación con un funcionamiento del ventilador promedio del 43% del tiempo. A los 19 días de esta etapa, al sumar 130 hs de aireación, la temperatura del trigo bajó de los 31°C promedio y 35°C máximo iniciales a 12°C promedio y 14°C

máxima. A partir de ese momento la temperatura del grano se mantuvo estable por debajo de los 15°C, manteniendo el grano en condiciones de temperatura favorables para una adecuada conservación (por debajo del límite para el desarrollo de insectos plagas). En el silo manejado de forma manual (B) recién se logró bajar la temperatura máxima del trigo por debajo de los 15°C el 19 de marzo (Figura 3.), esto es a 65 días del inicio de la aireación, implicando que parte de la masa de granos estuvo expuesta al potencial ataque de insectos durante todo el verano.

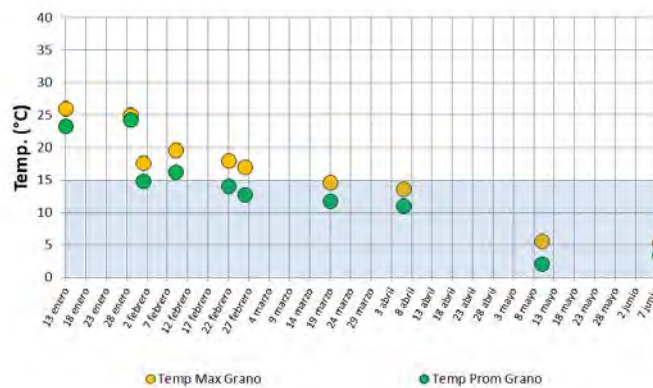


Figura 3. Evolución de la temperatura media y máxima del grano, durante todo el ensayo en el silo B (el sombreado azul destaca las temperaturas seguras para el almacenamiento).

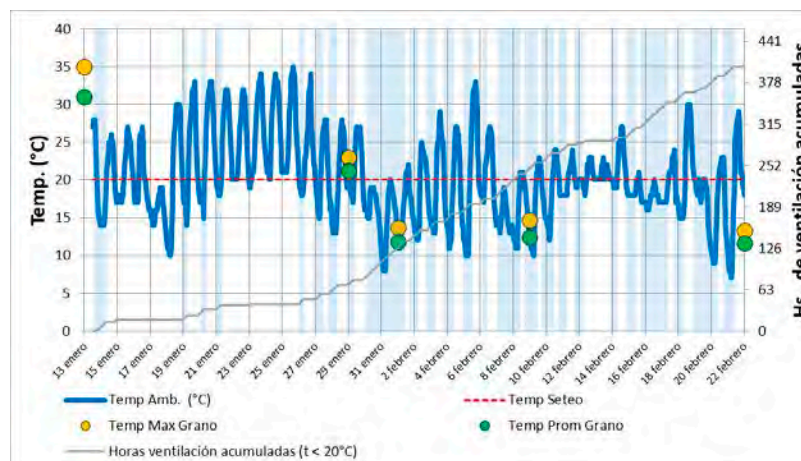


Figura 4. Evolución de la temperatura media y máxima del grano, la temperatura ambiente, las horas acumuladas de ventilación y el límite de temperatura programado en el controlador en la primera etapa de aireación (el sombreado azul destaca las horas en las que funcionó el ventilador).

El 22 de febrero se decidió bajar el límite de temperatura en el controlador a 10°C, dando inicio a una segunda etapa de aireación que se extendió hasta el 10 de mayo (Figura 5). En esta etapa el ventilador funcionó mucho menos, acumulando alrededor de 126 hs de ventilación con una intensidad de uso del ventilador de 7% del tiempo. Este escaso funcionamiento del ventilador se debió a que la temperatura ambiente en pocas ocasiones estuvo por debajo del límite de 10°C. Recién en el mes de Mayo, al finalizar la segunda etapa, la temperatura ambiente bajó sustancialmente permitiendo acumular horas de ventilación y bajar la temperatura del trigo por debajo de 5°C.

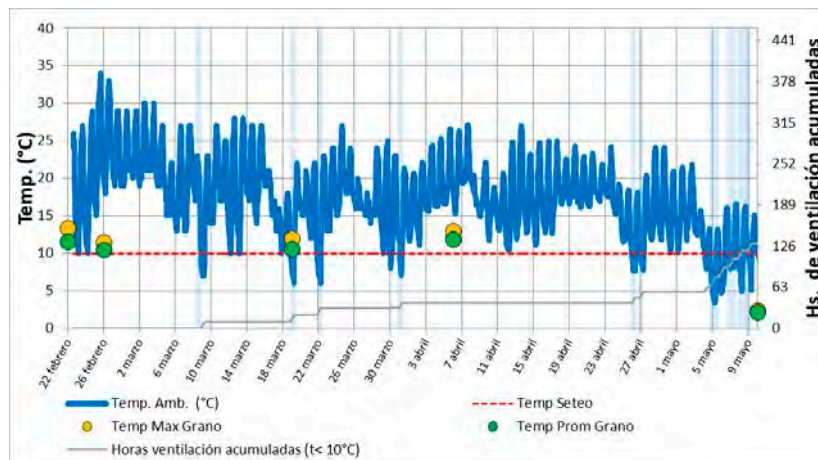


Figura 5. Evolución de la temperatura media y máxima del grano, la temperatura ambiente, las horas acumuladas de ventilación y el límite de temperatura seteado en el controlador en la segunda etapa de aireación (el sombreado azul destaca las horas en las que funciono el ventilador).

A partir del 10 de mayo y con el trigo con una temperatura inferior a 5°C se ingresó en la tercera etapa, denominada de mantenimiento (Figura 6). El objetivo de esta etapa fue mantener la temperatura cercana a 5°C y minimizar el uso el ventilador. Para ello se bajó la temperatura límite del controlador a 5°C logrando un funcionamiento muy esporádico del ventilador (33 hs en 29 días, 4,7% del tiempo), evitado incurrir en un consumo de energía innecesario y minimizando el riesgo de sobre-secado. En la Figura 6 se grafica la evolución de los parámetros medidos hasta principios de Junio, sin embargo esta etapa se extendió en el tiempo, logrando mantener baja la temperatura del trigo hasta diciembre.

El contenido de humeado del trigo en el último muestreo (mayo) fue de 13% en el silo A y 12% en el silo B, ambos superiores a la humedad inicial (10,3%) y por debajo de la humeado de comercialización del trigo (14%), considerada también la humedad segura de almacenamiento para evitar el desarrollo de hongos. Este dato confirma que la estrategia implementada fue adecuada y logro evitar el sobre-secado del trigo (mercadería por debajo de la humedad de recibo comercial) que tendría como consecuencia la pérdida de kilos comercializable.

La intensidad de uso del ventilador en la primer etapa del 43% del tiempo también indica que el límite de temperatura programado en el controlador fue el adecuado para esa locación y época del año, ya que permitió en pocos días bajar la temperatura de la masa de granos por debajo del umbral de actividad de los insectos. Un límite de temperatura superior seguramente hubiese aumentado la frecuencia de uso del ventilador logrando pasar el frente de enfriado en menor cantidad de días, pero la temperatura del grano al final de la etapa hubiese sido mayor (con posible riesgo de actividad de insectos), mayor consumo de energía eléctrica y riesgo de sobre-secar el trigo. La menor frecuencia de funcionamiento del ventilador en la segunda etapa (7%) no represento un inconveniente, dado que la temperatura máxima y promedio del trigo siempre estuvo por debajo de 15°C. Al igual que en la tercera etapa, donde el ventilador solo funcionó 4% del tiempo, el principal objetivo de la aireación fue mantener uniforme la temperatura dentro del granel.

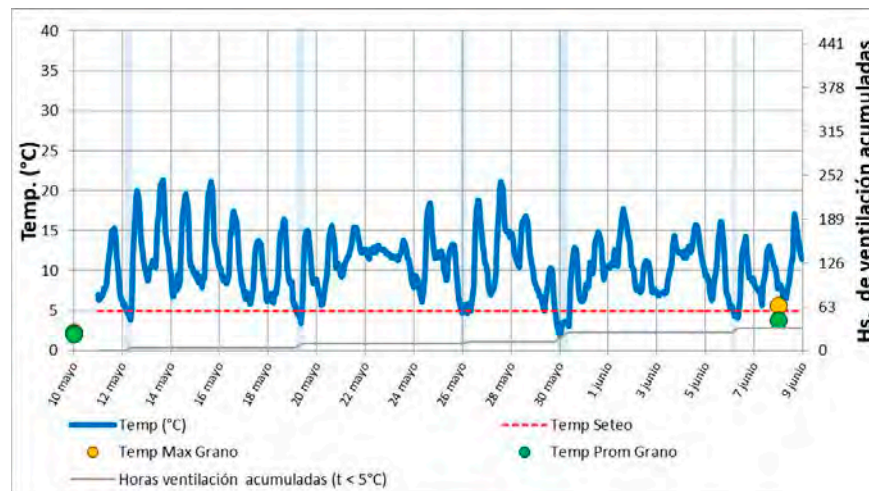


Figura 6. Evolución de la temperatura media y máxima del grano, la temperatura ambiente, las horas acumuladas de ventilación y el límite de temperatura seteado en el controlador en la tercera etapa de aireación (el sombreado azul destaca las horas en las que funcionó el ventilador).

Conclusiones

El controlador de aireación desarrollado por INTA logró implementar una estrategia de aireación exitosa, reduciendo la temperatura máxima del trigo desde 35°C iniciales a 14°C en solo 19 días de verano.

El controlador automático logró eliminar el riesgo de infestación de insectos de la mercadería almacenada durante la época más cálida del año (verano).

El silo testigo con aireación manejada de forma manual recién logro bajar la temperatura en el mes de marzo luego de 65 días desde el llenado del silo, dejando el grano expuesto al ataque de insectos durante todo el verano.

El silo automatizado no requirió un seguimiento diario del operario quien quedaría liberado para realizar otras tareas.

Con la elección de una estrategia adecuada y su implementación automatizada, se minimizó el uso del ventilador, evitando el consumo excesivo de energía eléctrica y minimizando el riesgo de sobre-secar el trigo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a El Mocerío S.A. por permitir realizar este ensayo en sus instalaciones. En particular agradecemos la buena predisposición del administrador, Lucas Kelly y al personal de campo. Se agradece además la colaboración del Sr. Leandro Cambareri en la conducción del ensayo.

Referencias

- Abadía, M. B. *et al.* (2019) 'Is the argentine postharvest system ready to handle more and better grains?', *Journal of Stored Products Research*. Elsevier Ltd, 83, pp. 218–226. doi: 10.1016/j.jspr.2019.07.012.
- Abadía, M. B. and Bartosik, R. E. (2013) *Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos*. Ediciones. Edited by M. B. Abadía and R. E. Bartosik. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Fields, P. (2006) 'Alternatives to chemical control of stored-product insects on small farms in the tropics', *9th International Working Conference on Stored Product Protection*, pp. 663–673.

Monitoring of the spatial variability of sugarcane quality from NIR spectroscopy

Lucas de Paula Corrêdo^{1,2}, José Paulo Molin²

^{1,*} Agronomy Department, Federal University of Viçosa, Brazil; ² Biosystems Engineering Department, 'Luiz de Queiroz' College of Agriculture, University of Sao Paulo, Piracicaba, Brazil. *Present address.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Site-specific assessment of profitability of sugarcane crops is not related only for biomass yield, but mainly of parameters related to product quality. There are different technologies for sugarcane yield sensors. However, they are still inexistent for product quality. This research aimed to investigate the potential of near-infrared spectroscopy (NIR) as a proximal sensor to predict and map the quality parameters of sugarcane crops. The research was divided into three studies. In the first, the spatial variability of quality attributes was evaluated in a commercial field, from manually collected samples. In the second, we sought to evaluate the potential to predict quality from different levels of sample preparation: without preparation (billets), defibrated cane, and raw juice. In the third study, a micro-spectrometer was embedded on the harvester elevator to collect NIR spectra in real time. In the three studies, results obtained from laboratory analyses following standard methods for sugarcane quality analysis were used to calibrate the models. In the first step, 350 samples collected in an industrial laboratory were defibrated for analysis by NIR, and predict models based on partial least squares regression (PLSR) were built. The models were used to predict 91 georeferenced samples of a commercial field. In the second study, 302 samples were collected under three preparation levels and analyzed by a spectrometer. PLSR-based calibration models were built for 70% of the samples. The models were validated for the rest of samples to assess the predictive potential comparatively. In the third study, real-time NIR spectra were collected during harvest in three fields. Also, 66 georeferenced samples were collected for laboratory analysis. Then, NIR measurements were taken from subsamples of defibrated sugarcane on the bench. From the spectra of these, and those collected in real time, calibration transfer (CT) models were built. The results allowed us to observe the existence of spatial variability of quality attributes such as soluble solids content, and apparent sucrose, with a significant correlation of 0.85 between maps interpolated from results obtained with NIR and conventional analysis. It was possible to obtain quality results with mean squared error of prediction (RMSEP) below 1% for most quality parameters from NIR analysis of defibrated cane and raw juice samples. Defibrated samples showed the best predictive performance, with lower RMSEP value and higher coefficient of determination (between 0.69 and 0.83). Finally, the use of the CT method allowed modeling some interferences inherent to the process of data acquisition from an on-board sensor during harvesting, and to proceed with the correction of spectra obtained in real time by post-processing. The models allowed the prediction of samples collected in real time with relative RMSE less than 0.51% and ratio of interquartile performance equal to or greater than the results obtained on the bench for prediction of defibrillated samples on the bench. The procedure allowed obtaining maps of spatial variability of sugarcane quality parameters from an on-board sensor. These informations should help guide site-specific sugarcane field management based on quality, as well as enabling advances in obtaining site-specific production profitability data.

Palabras clave. Proximal sensing; geostatistics; chemometrics; digital agriculture

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Respuesta del actuador hidroneumático Twin Force sobre el rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea maíz L*)

Fernando M Scaramuzza; Diego D Villarroel; Silvia M Olivo

INTA EEA Manfredi, Ruta 9 Km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Una buena calidad de siembra es aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación (plano horizontal) y profundidad (plano vertical) entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la velocidad y profundidad de siembra sobre el rendimiento final, con dos sistemas de estabilización de cuerpo de siembra directa, Resorte (R) y Twin Force (TF) en la siembra de maíz. La siembra se realizó el 22 de diciembre de 2020 con una sembradora de siembra directa AGROMETAL con seis cuerpos equipados con R y TF con una densidad de siembra de 65 mil plantas/ha. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial con tres repeticiones. Los factores fueron: tres velocidades de avance, 6, 9 y 12 km/h y dos sistemas de estabilización de cuerpo de siembra; R y TF. La cosecha se realizó el 8 de julio del 2021 y el cultivo presentaba en promedio un 15% de humedad. Se utilizó una cosechadora Don Roque 125 equipada con monitor de rendimiento Ag Leader. Los datos obtenidos se procesaron con GIS SMS Software, los cuales luego fueron analizados utilizando planillas de cálculos Excel para su posterior análisis estadístico a través del Software Infostat. Se detectó interacción (sistema de estabilización de siembra* velocidad de siembra) significativa $p < 0,0001$. El tratamiento 9-TF presentó el mayor rendimiento seguido por 12-TF (13 vs 11 t/ha), mientras que en 6-TF y R esta variable presentó valores similares (12,5 t/ha). Por su parte 9-R y 12 R alcanzaron los menores rendimientos, 11,5 y 12 t/ha respectivamente. Estos resultados mostrarían una mejor respuesta al rendimiento para el sistema TF que para R. De acuerdo al análisis realizado para calidad de siembra (en función del % de Aceptables), la variación en el rendimiento sería mejor explicada por la proporción de fallas y duplicaciones que por el desvío estándar de los distanciamientos en la línea de siembra. Bajo una condición normal de siembra de maíz de segunda en la zona centro de Córdoba, con una densidad de siembra de 65 mil plantas/ha y sembrando a una velocidad promedio de 6 km/h se registró una diferencia de rendimiento promedio de 136 kg/ha a favor del sistema de estabilización TF. Este sistema logró mantener estable la calidad de siembra conforme se incrementó la velocidad de siembra de 6 a 9 km/h, manifestando una mayor diferencia en rendimiento respecto de R para la velocidad de 9 km/h, siendo esta diferencia de 1540 kg/ha.

Palabras clave. rendimiento; velocidad de avance; sistema de estabilización.

Nuevo modelo espectral para detección de antracnosis en frutos de mango basado en análisis hiperespectral y técnicas de análisis discriminante

Carlos Velásquez^{1,2}, Flavio Prieto¹, Nuria Aleixos Borrás², Sergio Cubero³, José Blasco³

¹Universidad Nacional de Colombia, Carrera 45, Bogotá, Colombia

²Departamento de Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Valencia, Camí de Vera, s/n, 46022 Valencia, España

³Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), CV-315, km 10.7, 46113 Moncada (Valencia) España

Trabajo presentado al

**Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)**

30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. En la actualidad, la antracnosis es una de las enfermedades de mayor relevancia en cultivos de mango dada su alta incidencia y presencia en regiones productoras de clima tropical. Su detección se realiza en estadios tardíos y por inspección visual humana, razón por la cual se estima que esta enfermedad afecta al 40% de la producción de este fruto. Con el desarrollo de sistemas computacionales más potentes y sistemas ópticos espectrales más asequibles, la inspección de la calidad de la producción agrícola ha sufrido una revolución tecnológica. Estas tecnologías permiten desarrollar novedosas soluciones no destructivas para la inspección y control de calidad de frutos. El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema para detectar tempranamente la antracnosis en frutos de mango, mediante imagen hiperespectral VIS/NIR y análisis discriminante (AD). Se seleccionaron 60 frutos de mango Kent de una parcela comercial en Málaga (España) con una madurez fisiológica similar (tamaño y color) y sin lesiones visibles. La fruta se separó en dos grupos de frutos, control e inoculado, con 10 y 50 unidades respectivamente. Las frutas se desinfectaron y se almacenaron en cámara controlada a 23 °C por un periodo de 12 días. En todas las frutas se realizaron 6 lesiones con punzón quirúrgico en la región ecuatorial de una cara del fruto, cubriéndose con agua destilada las del grupo de control, mientras que las frutas del grupo inoculado se cubrieron con una suspensión de inóculo de *Colletotrichum gloeosporioides* sp. en una concentración de 1×10^6 esporas/mml. Se capturaron imágenes con una cámara hiperespectral con filtros sintonizables (LCTF) en el rango 450 – 980 nm situada en una campana de inspección con luz controlada y difusa. Se capturaron imágenes de todas las frutas durante 8 días desde el día 2 después de la inoculación. El registro de imágenes finalizó una vez que el 90% de los frutos del grupo inoculado presentaron síntomas visibles y característicos de antracnosis. Se extrajeron un total de 252.801 firmas espectrales de las imágenes y se etiquetaron por grupo y día de adquisición, resultando en 9 clases: 1 clase para el grupo de control y 8 para el grupo inoculado. Con estas firmas y clases, se realizó un modelo de clasificación basado AD y el estadístico de Tukey (para la selección de variables). El modelo se entrenó con el 70% de las firmas obtenidas y el 30% restante se utilizó para validación externa. Se obtuvo un modelo con precisión= 0,909%, Kappa= 0,897, especificidad= 0,987 y sensibilidad= 0,953 para discriminar entre las 9 clases definidas. Con el estadístico de Tukey, se seleccionaron 19 longitudes de onda importantes, logrando una precisión=0,798%, Kappa=0,772, especificidad=0,973 y sensibilidad=0,846, razón por la cual este modelo reducido podría ser la base de un potencial sistema de detección de antracnosis en frutos de mango con cámaras multiespectrales.

Palabras clave. *Mangifera indica* L, análisis de imagen, inspección automática, calidad de fruta

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Respuesta de los sistemas de accionamiento eléctricos y mecánicos en dosificadores MaterMacc sobre calidad de siembra y rendimiento en el cultivo de maíz (Zea maíz L)

Fernando M Scaramuzza; Diego D Villarroel; Silvia M Olivo

INTA EEA Manfredi, Ruta 9 Km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Actualmente, la siembra se encuentra realizada en un 60% por contratistas, quien para ser rentable debe realizar la mayor superficie sin impactar negativamente la calidad de siembra. Reemplazo de cajas mecánicas, sistemas de cadenas y engranajes para el comando del tren cinemático por motores eléctricos permitiría mejorar la calidad de siembra. Los objetivos del ensayo fueron cuantificar el efecto de la velocidad de siembra sobre la distribución espacial de la semilla y su impacto en el rendimiento final del cultivo de maíz. La siembra se realizó con una sembradora de siembra directa Crucianelli de 12 cuerpos a 52 cm de distancia entre cada uno equipada con dosificadores MaterMacc, 6 líneas con cajas mecánicas Garro y 6 líneas con motores eléctricos Bosch. Con diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones. Variables: velocidad de avance (5, 7 y 9 km/h); densidad de siembra (60 y 85 mil semillas/ha) y transmisión mecánica y eléctrica (ME y EL). La mejor calidad de siembra se logró con EL a 5 km/h con valores entre 95 y 93% para 60 y 85mil semillas/ha respectivamente, no obstante, la respuesta lograda por esta misma transmisión a 7 y 9 km/h se encuentra dentro de valores aceptables. ME, al incrementar la velocidad, se refleja una caída de la calidad de siembra (% de aceptables) de 9,3 y 18,5% respecto a la mejor calidad de siembra de 60 y 85mil semillas/ha respectivamente. El sistema EL presento mejor comportamiento frente a las variables ensayadas respecto a ME.

Palabras clave. Transmisión eléctrica, transmisión mecánica, velocidad de siembra, distancia entre plantas.

Introducción

En Argentina se siembran aproximadamente 37,5 millones de hectáreas de cultivos agrícolas extensivos de las cuales el 90% se realiza bajo el sistema de siembra directa (Rinaudo, M. 2019). Actualmente, la siembra se encuentra realizada en un 60% por contratistas (FACMA 2021), quien para ser rentable debe realizar la mayor cantidad de hectáreas en el menor tiempo posible, sin impactar negativamente en la calidad de siembra.

Bragachini y col. (2002), evaluaron con una sembradora neumática la respuesta del rendimiento a la velocidad de siembra y encontraron incrementos en el desvío estándar al pasar de 6 a 9 Km/h, con una reducción del rendimiento de 660 Kg/ha. Bragachini y col. en 2012 demostraron que, a una profundidad de siembra de 6 cm, pasar de una velocidad de 6 a 9 km/h significó una reducción en el rendimiento de maíz de 9790 a 8420 kg/ha. Pero a una profundidad de 3 cm cayó de 7280 a 7080 kg/ha al comparar la misma secuencia de velocidad de siembra.

El reemplazo de cajas mecánicas, sistemas de cadenas y engranajes para el comando del tren cinemático por motores eléctricos permitiría mejorar la eficiencia de siembra. Por lo tanto, el objetivo de este ensayo fueron cuantificar el efecto de la velocidad de siembra sobre la distribución espacial de la semilla y su impacto en el rendimiento final del cultivo de maíz.

Materiales y Métodos

La siembra se realizó el 22 de diciembre de 2020 y se utilizó una sembradora de siembra directa Crucianelli de 12 cuerpos a 52 cm de distancia entre líneas, equipada con dosificadores MaterMacc. Se acondicionó con 6 líneas con cajas de levas variables Garro y 6 líneas con motores eléctricos Bosch. Se utilizó un tractor NH T7 215 de 191 CV equipado con piloto automático y señal correctora Center Point. El híbrido utilizado fue P2089 VYHR y la profundidad de siembra propuesta fue de 5 cm una densidad teórica de siembra de 65 y 85 mil semillas/ha. El cultivo se mantuvo fertilizado.

Diseño experimental y análisis de datos

Diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial con tres repeticiones. Factores evaluados: velocidad de avance (5, 7 y 9 km/h); densidad de siembra (60 y 85 mil semillas/ha) y transmisión mecánica y eléctrica (ME y EL). Se evaluó estadísticamente con Infostat y las comparaciones múltiples post hoc fueron ajustadas mediante el método HSD de Tukey, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Variables explicativas por individuo

Se cuantificó el número de semillas y su ubicación en 15 m lineales de surco. Este procedimiento se realizó cinco veces al azar por repetición en cada tratamiento.

Distancia entre plantas (DEP): Distancia en centímetros que separan a una planta de sus vecinas más próximas en la línea de siembra. En función de las distancias que la separan de sus dos vecinas en la línea de siembra y de los criterios de la norma ISO 7256/1, cada individuo se clasificó de acuerdo a si está separado por distancias consideradas como Aceptable (A), Dobles (D) o Falla (F).

Variables explicativas por unidad de área

Coefficiente de Variación de la separación entre plantas (CV): El CV de una población determinada es igual al desvío estándar de esa muestra dividido por la media y multiplicado por 100.

Distancia entre plantas teórica (DEP teórica): Distancia en centímetros promedio que separan a la planta de sus vecinas más próximas en la línea de siembra, basado en la densidad teórica.

En función a la norma ISO 7256/1 se calculó el Índice de Semillas aceptablemente sembradas (A): éste considera como A toda semilla ubicada en el surco a una distancia comprendida entre $0,5 X_{ref}$ y $1,5 X_{ref}$, siendo la distancia de referencia (X_{ref}) la DEP teórica. Índice de Duplicaciones (D): es el porcentaje de

semillas ubicadas a distancias menores a las 0,5 Xref. Índice de Fallas (F): corresponde al porcentaje de semillas ubicadas a distancias superiores a las 1,5 Xref.

Determinación del rendimiento.

Se cosechó el 8 de julio de 2021 con una humedad de grano de 15%. Se utilizó una cosechadora Don Roque 125 equipada con monitor de rendimiento Ag Leader. Los datos se procesaron con Software GIS SMS y luego se analizaron con planillas de cálculos Excel y Software estadístico Infostat.

Resultados y Discusión

Variables explicativas por individuo. Distancia entre plantas

Todos los tratamientos presentaron DEP superior a la teórica (> 32 y 22,6 cm para 60 y 85 mil semillas/ha respectivamente) Se detectó interacción triple (velocidad*transmisión*densidad) significativa ($p=0,00017$) para la DEP. Con 60 mil semillas/ha la DEP fue similar (34,8 cm) mientras que para 85 mil semillas/ha el tratamiento ME 5 alcanzó una DEP significativamente mayor que el resto (28,9 vs 24,5 cm de DEP).

Variables explicativas por unidad de área. Coeficiente de variación

En el Gráfico 1 se observa que con 60 mil semillas/ha, incrementar la velocidad de siembra de 5 a 9 km/h, provocó un aumento del CV de ME respecto a EL en un 21.4%. Sin embargo, con 85 mil semillas/ha, incrementar la velocidad hasta 9 km/h, ME refleja un aumento del CV un 46.5% respecto a EL. Se interpreta que para altas densidades el dosificador eléctrico presenta una respuesta significativamente mejor en DEP, logrando una siembra más homogénea.

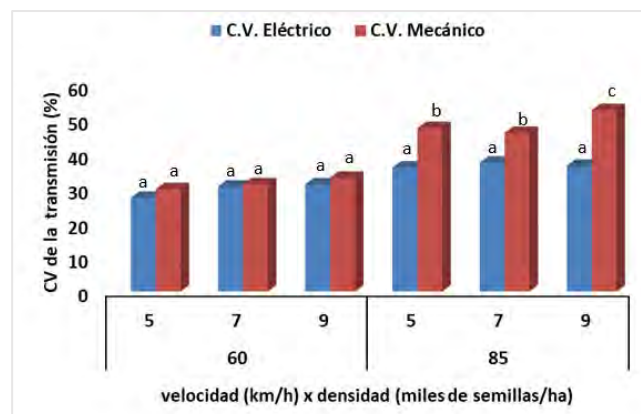


Gráfico 1: Coeficiente de Variación de la transmisión (%) de dosificadores de siembra. Comparación entre sistema eléctrico Bosch (EL) -en azul- y sistema mecánico de caja variable Garro (ME) -bordó-, para dos densidades de siembra (60 y 85 mil semillas/ha) y tres velocidades de avance (5, 7 y 9 km/h). Letras distintas denotan diferencias significativas entre los sistemas de transmisión y densidades evaluadas. Ensayo realizado en la EEA Manfredi, campaña 20/21.

Porcentaje de semillas sembradas. Aceptables, fallas y dobles

Con 60 mil semillas/ha (Gráfico 2 izq), la mejor calidad de siembra (95%) la expresó EL a 5 km/h, mientras que, ME reflejó una caída de calidad de siembra del 4,4% en relación a EL. Ahora bien, cuando la velocidad se incrementa de 5 a 9 km/h, EL expresa una disminución de la calidad de siembra de 7,3%, mientras que ME disminuye 9,5%, en relación a la mejor calidad de siembra (EL a 5 km/h).

La mejor calidad de siembra de EL a 5 km/h (Gráfico 2 izq) fue debido a un menor % de fallas y dobles (4,32 y 0,66%). A esta misma velocidad, ME presentó una diferencia superior en fallas de siembra de 2,5% en relación a EL (Gráfico 2 der). Sin embargo, cuando la velocidad fue de 5 a 9 km/h, EL demostró un aumento de fallas de siembra de 5,1%, mientras que ME fue de 6,3% respecto de EL a 5km/h.

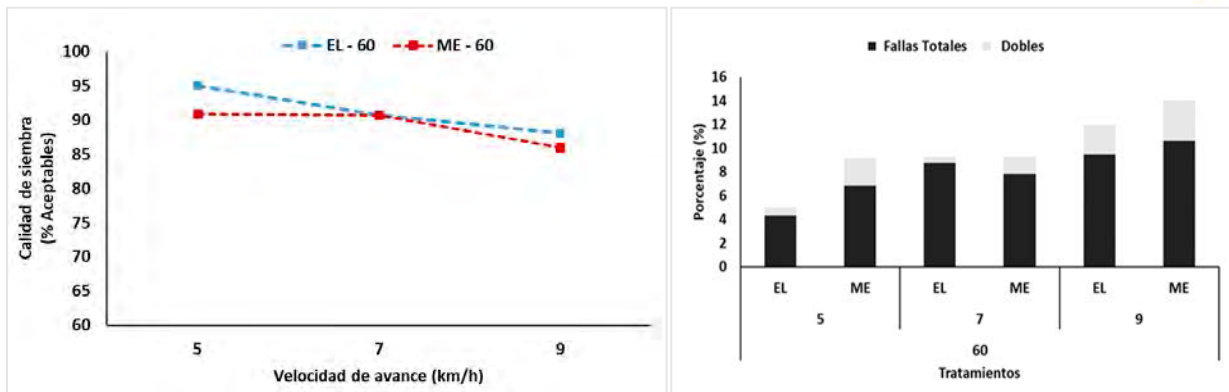


Gráfico 2: (izq) Calidad de siembra (%) y (der) porcentaje fallas totales y duplicaciones (%) de la media de la distribución de plantas emergidas, de dos sistemas de transmisión de dosificadores de siembra, eléctrico Bosch (EL) y mecánico Garro (ME) para velocidades de avance: 5, 7 y 9 km/h; a una densidad de 60 mil semillas/ha. Ensayo realizado en la EEA Manfredi, campaña 20/21.

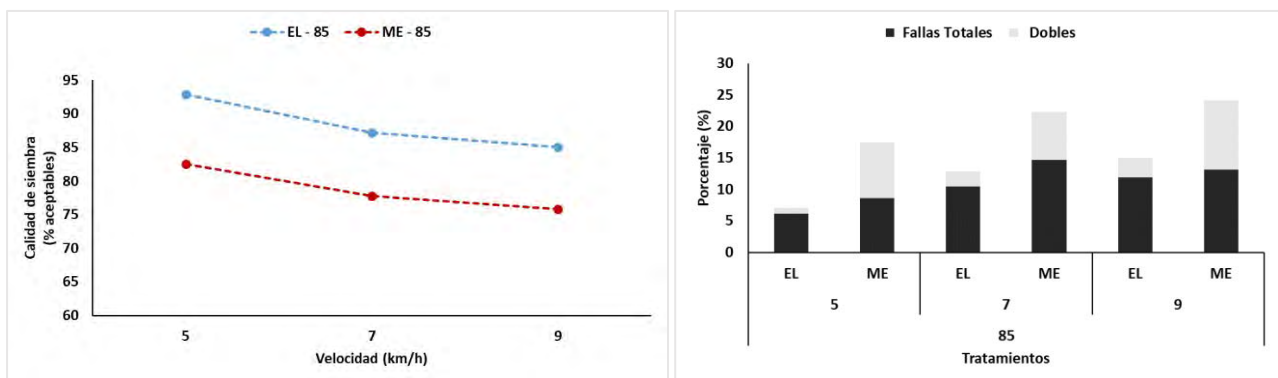


Gráfico 3: (izq) Calidad de siembra (%) y (der) porcentaje fallas totales y duplicaciones (%) de la media de la distribución de plantas emergidas, de dos sistemas de transmisión de dosificadores de siembra, eléctrico Bosch (EL) y sistema mecánico Garro (ME) para velocidades de avance: 5, 7 y 9 km/h; a una densidad de 85 mil semillas/ha. Ensayo realizado en la EEA Manfredi, campaña 20/21.

La mejor calidad de siembra (93%) la demostró EL a 5 km/h (Gráfico 3 izq) asociado a un menor % de fallas y dobles (6,96 y 0,95%). A la misma velocidad, ME expresó una diferencia superior en fallas de siembra de 2,4% en relación a EL (Gráfico 3 der). Al incrementar la velocidad de 5 a 9 km/h, EL refleja un aumento de fallas de 5,7%, mientras que ME 6,9%. En ME para 5 y 9 km/h, las duplicaciones (dobles) mostraron similar comportamiento, alcanzando valores de 9 y 11% respectivamente.

Se pudo apreciar que la calidad de siembra fue similar entre EL y ME a 60 mil semillas/ha (Gráfico 2 izq), mientras que, para ambos tratamientos con 85 mil semillas/ha, la calidad de siembra incrementa de 78 a 86% para ME y EL respectivamente (Gráfico 3 izq). Esta diferencia de la calidad de siembra se ve reflejada en una mayor proporción de fallas y duplicaciones (Gráfico 3izq) por parte de ME.

Respuesta del rendimiento

Para la variable rendimiento, se detectó interacción triple (velocidad*transmisión*densidad) significativa ($p=0,0001$) sin embargo, para facilitar la interpretación de los resultados, se evaluaron las respuestas del rendimiento a las diferentes densidades utilizadas (60 y 85 mil semillas/ha).

Para 60 mil semillas/ha se detectó una interacción (velocidad*transmisión) significativa ($p=0,00001$) (Gráfico 4 izq). En promedio, el rendimiento fue de 12,5 y 11,5 t/ha para EL y ME respectivamente. En el Gráfico 4 izq. se observa que conforme la velocidad de avance incrementa, el rendimiento tiende a disminuir. Por otro lado, para cada velocidad de siembra, la respuesta del rendimiento fue mayor en el sistema EL que en ME. En términos porcentuales, EL en relación a ME, superó en rendimiento en un 5, 3 y 20 % para las velocidades de avance 5, 7 y 9 km/h respectivamente.

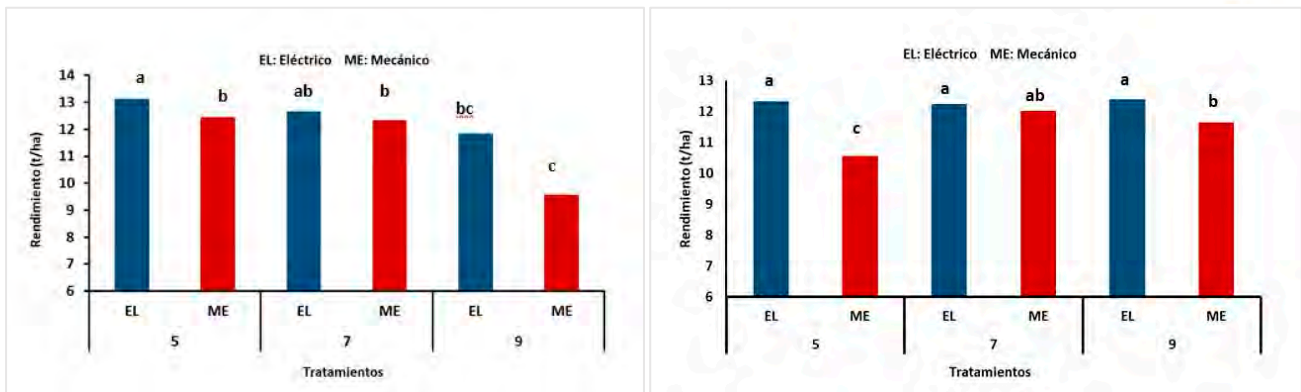


Gráfico 4: Rendimiento de maíz (t/ha) de dos sistemas de transmisión de dosificadores de siembra, eléctrico Bosch (EL) y mecánico Garro (ME), para velocidades de avance: 5, 7 y 9 km/h; a una densidad de 60 mil (izq) y 85 mil semillas/ha (der). Ensayo realizado en la EEA Manfredi, campaña 20/21. Letras distintas denotan diferencias significativas entre las variables.

Con una densidad de 85 mil semillas/ha se detectó una interacción (velocidad*transmisión) significativa ($p= 0,00001$) para el rendimiento (Gráfico 4 der). En promedio, fue de 12,3 y 11,4 t/ha para EL y ME respectivamente. En el Gráfico 4 der. se observa que, para cada velocidad de siembra, la respuesta del rendimiento fue mayor en el sistema EL que en ME. En términos porcentuales, EL en relación a ME superó en rendimiento en 17, 2 y 6 % para las velocidades de avance 5, 7 y 9 km/h respectivamente.

El menor rendimiento en el tratamiento 5-ME fue debido a errores imprevistos en el mapeo de rendimiento en dos de sus repeticiones. No obstante, es importante destacar que independientemente de la velocidad de siembra, todos los tratamientos con el sistema EL mantuvieron un rendimiento similar.

Conclusiones

- El sistema EL presentó mejor comportamiento frente a las variables ensayadas respecto a ME.
- La mejor calidad de siembra se logró con EL a 5 km/h con valores entre 95 y 93% para 60 y 85mil semillas/ha respectivamente, no obstante, la respuesta lograda por esta misma transmisión a 7 y 9 km/h se encuentra según bibliografía dentro de valores aceptables.
- ME, al incrementar la velocidad, se refleja una caída de la calidad de siembra (% de aceptables) de 9,3 y 18,5% respecto a la mejor calidad de siembra de 60 y 85mil semillas/ha respectivamente.
- Los rendimientos promedios fueron 8% mayores para EL respecto a ME.

Referencias

- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MÉNDEZ; F. PACIONI y M. ALFARO. 2002. Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano. Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, 17-19 diciembre 2002, Carlos Paz, Córdoba, Argentina. 9 pp
- BRAGACHINI M., MÉNDEZ A., SCARAMUZZA F., VÉLEZ J., D. VILLARROEL. 2012. Impacto de la velocidad y la profundidad de siembra sobre uniformidad en la emergencia y distribución de plantas en maíz. En: 1º Congreso de Valor Agregado en Origen. 11º Curso de Agricultura Internacional de Precisión y Expo de Máquinas Precisas. Ediciones INTA. E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina. pp 28-34.
- FACMA, 2021. 75% de las labores para la producción granaria del país son realizadas por el contratista rural. Disponible en: https://e.issuu.com/embed.html?d=edicion_n_65_agrocontratistas&u=agrocontratistas
- INTERNATIONAL STANDARD FOR ORGANIZATION. ISO 7256/1. Sowing equipment - Test methods - Part 1: Single seed drills (precision drills). Suiza: International Standard for Organization. 1984.
- RINAUDO, M. 2019. Informe de evolución de Siembra Directa en Argentina. AAPRESID Campaña 208/19. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/blog/evolucion-de-siembra-directa-en-argentina-campana-2018-19/>

Desempeño de cosechadora con sistemas de regulación automáticos

Tourn, S.²; Vazquez, J.M.¹ Platz, P.²; Merani, V.H.¹; Mur, M.¹; Larrieu, L.¹; Ferro, D.¹; Guillino, F.¹; Pereira, E.¹; Giambelluca, A.L.¹

¹CISSAF FCAYF UNLP, La Plata, Buenos aires, Argentina. ²Mecanización Agrícola, FCA Balcarce-UNMdP, Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La automatización del control de velocidad de las cosechadoras se basa en mantener un flujo de alimentación estable, liberando al operador. Los ajustes se realizan con una frecuencia mayor y en situaciones en las que el operador no podría detectar las variaciones de la condición del cultivo. Se puede definir si el ajuste automático se realiza para reducir las pérdidas o mejorar la calidad del grano. Existe escasa información que comparen los sistemas automáticos de las cosechadoras respecto al uso manual. El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de las cosechadoras en modo de trabajo automático y manual, en cuanto a pérdidas de cosecha y calidad de grano. Se realizó la evaluación de una cosechadora John Deere 780 con el sistema ICA2, en un cultivo de trigo de 4700 kg/ha, 50 km al sur de Tandil. Se fijaron 3 tratamientos, uso manual de la cosechadora (Manual7) y automático priorizando pérdidas (AutPer7) y priorizando calidad (AutCal7). Las pérdidas de grano fueron en promedio 3 veces menores cuando se utilizó la automatización. Además, AutCal7 generó la mejor calidad de grano, clasificándose en grado 1, mientras que AutPer7 tuvo grado 2 y Manual7 grado 3, explicado por % de materias extrañas. En el balance económico entre pérdidas y calidad de granos, el tratamiento AutCal7 fue el que menores pérdidas de ingreso bruto generó. Esto demuestra una mayor eficiencia de los automatismos ICA2 de John Deere respecto al uso manual, pero hay que seguir evaluando en otras condiciones y tipos de cultivos.

Palabras clave.

Cosecha ; Inteligencia Artificial; Trigo; pérdidas de grano

Introducción

Tradicionalmente una cosechadora se regula para minimizar las pérdidas de grano a un determinado valor de índice de alimentación, suficientemente elevado para lograr una buena capacidad de trabajo. Luego, para sostener ese nivel de pérdidas, se cosecha manteniendo el índice de alimentación mediante el ajuste de la velocidad, de acuerdo a las fluctuaciones de rendimiento del cultivo. La aparición de los sistemas automáticos de control de velocidad tienen por objetivo mantener un flujo o índice de alimentación estable, liberando al operador de la cosechadora de esta tarea a lo largo de la jornada de cosecha (*Kutzbach, 2004*). Además realizan los ajustes con una frecuencia mayor y en situaciones en las que el operador no podría detectar las variaciones de la condición del cultivo. El operador de la cosechadora debe definir si el ajuste automático de la velocidad se realiza para reducir las pérdidas de grano o maximizar la capacidad de trabajo de la cosechadora manteniendo una alta carga del motor. Además el sistema requiere definir algunos parámetros operativos en la consola de la cosechadora como, la velocidad máxima admitida, la sensibilidad al modificar la velocidad, el porcentaje de carga del motor con el que se desea trabajar. Aún en condiciones de cultivo en que los sistemas de control automático. En los últimos diez años se buscó automatizar los ajustes de las regulaciones de los sistemas de trilla y limpieza ante cambios del índice de alimentación u otros que se fueran produciendo en el cultivo cosechado (*Böttinger 2016*). Así, fue necesario el desarrollo de sensores que midieran de forma continua e instantánea, no solo las pérdidas de grano sino también la ocurrencia de daño mecánico al grano o la presencia de material no grano llegando a la tolva de grano limpio. De este modo ante cada ajuste automático que realiza la cosechadora releva inmediatamente si fue efectivo o debe ser corregido. Actualmente, las cosechadoras traen un modo de trabajo completamente automático, que cuando es activado realiza los ajustes sin consultar al operador de la cosechadora, aunque este puede retornar al modo manual en cuanto lo decida. Si bien un operador capacitado puede considerar innecesario un sistema automático ya que tiene la experiencia, para a lo largo de una jornada de cosecha, interpretar adecuadamente cuando hacer las regulaciones necesarias, los sistemas automáticos permiten realizar los ajustes con mayor frecuencia (*Wolfgang, 2019*). Se estima que se logra un incremento del 20% de capacidad de trabajo (*Mendieta, 2012*). Estos sistemas además permiten que operadores con poca experiencia logren optimizar el funcionamiento de la cosechadora desde el primer día. El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de las cosechadoras en modo de trabajo automático y manual, en cuanto a pérdidas de cosecha y calidad de grano.

Materiales y métodos

Para evaluar el desempeño de los sistemas de automatización de cosecha, se realizó la evaluación de una cosechadora John Deere 780 con el sistema ICA2, en un cultivo de trigo de 4700 kg/ha, 50 km al sur de Tandil. El trabajo se realizó el 4 de enero de 2022.

La cosechadora estaba equipada con el sistema de ajuste integrado de cosechadora 2 (ICA2), por lo que inicialmente se ejecutó la función de optimización mediante la cual la cosechadora comienza a trabajar con las regulaciones por defecto para el cultivo seleccionado y va realizando ajustes para mejorar la performance a partir de la información que releva de los sensores de pérdidas y calidad de grano. Al finalizar la optimización se realizan mediciones de pérdidas con la metodología del *INTA PRECOP (2011)* para comprobar el desempeño de la cosechadora.

Tratamientos

Para evaluar el funcionamiento del sistema de regulación automático de la cosechadora se definieron tres tratamientos:

- Control manual por parte del operador de la cosechadora con una velocidad ajustado por el operador pero en torno a los 7 km/h (manual7).
- Control automático de la cosechadora:
 - +ajuste automático de velocidad "HarvestSmart" (límite de 7 km/h) (AutPer7),
 - +función "Automantenimiento" activada,
 - +prioridad en la reducción de pérdidas de cosecha,

- Control automático de la cosechadora:
 - +ajuste automático de velocidad “HarvestSmart” (límite de 7 km/h) (AutCal7),
 - +función “Automantenimiento” activada,
 - +prioridad en la calidad de grano.

Parámetros evaluados

Se realizaron evaluaciones de pérdidas por cosecha mediante la metodología del *INTA PRECOP (2011)* y se tomaron muestras de grano de la tolva de la cosechadora para evaluar calidad de grano. El índice de alimentación de la cosechadora se calculó a partir de los mapas de rendimiento del cultivo. Como el monitor de rendimiento de la cosechadora registraba un dato por segundo y tenía un retardo de flujo aproximado de 5 segundos, para el índice de alimentación se tomó un valor medio de todos los registros de los 10 metros previos a las coordenadas donde se midieron las pérdidas de cosecha.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con 6 repeticiones por tratamiento.

Se realizó realizaron los test de normalidad y homocedasticidad y el análisis de varianza y test de comparaciones múltiples con los datos de índice de alimentación, pérdidas de cosecha y calidad de grano, además de un análisis de regresión con los datos de índice de alimentación y pérdidas de cosecha. Todos los análisis se realizaron con el software R 4.1.1 y la interfaz gráfica RStudio 3.5.1.

Resultados y discusión

Las condiciones ambientales medidas durante las mediciones cómo humedad relativa, temperatura y velocidad del viento tuvieron baja variación, 23° a 25°C de temperatura, 35 % a 40 % de humedad relativa y 20 a 25 km/h de viento. La humedad del grano durante el periodo de ensayo se mantuvo entre 10,5 % y 11%.

En las mediciones de pérdidas por cosecha no se registraron pérdidas por cabezal o fueron insignificantes y por ellos se muestran las pérdidas por cola que son las directamente afectadas por los sistemas automáticos de regulación.

Las pérdidas por cola presentaron valores por debajo de las tolerancias de pérdidas por cosecha en trigo de 80 kg/ha (*INTA PRECOP, 2011*) distribuidas aproximadamente 50 % por cola y 50 % por cabezal (Figura 1). Entre los tratamientos se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), así el tratamiento Manual7 registró los mayores niveles de pérdidas de granos y los menores AutPer7 y AutCal7, que no se diferenciaron entre sí. Sin embargo, AutPer7 registró valores muy bajos y que logran una eficiente de cosecha del 99.89 %.

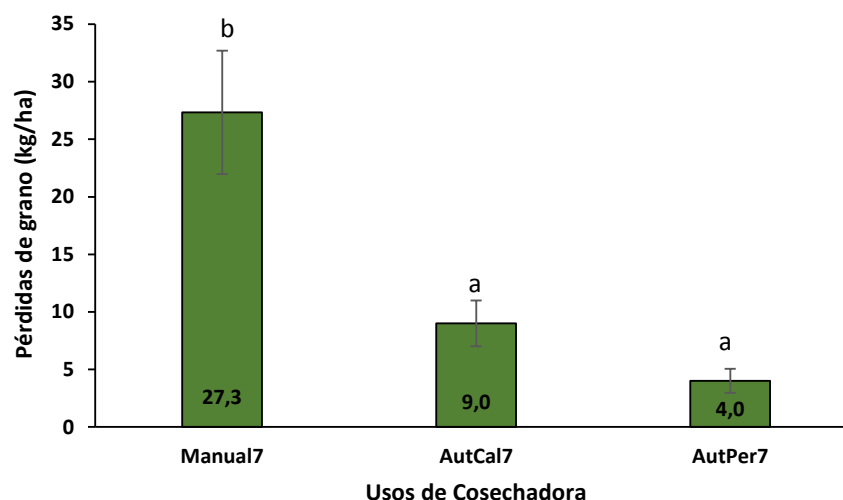


Figura 1 Análisis de varianza de las perdidas por cola.

En la figura 2 se presenta el comportamiento de las pérdidas de grano en función del índice de alimentación. Para que se pueda comparar velocidades máximas, se utilizaron los tratamientos de 7 km/h (*Manual7*, *AutCal7* y *AutPer7*). En esta figura se observa que partiendo de los índices de alimentación más bajos en torno a las 32 t/h, con la cosechadora trabajando en modo manual el índice de alimentación varía hasta un 26 % y en modo automático entre un 11 % y 18 %, lo que es consecuencia de una menor capacidad de adecuación de la velocidad a las fluctuaciones del rendimiento en el modo manual. El hecho de que los valores mínimos de índice de alimentación sean similares entre los modos de operación automático y manual, es compatible con el hecho de que con la función "HarvestSmart" se define un límite superior de velocidad para evitar que el incremento de velocidad en zonas de bajos rendimientos termine afectando a otros sistemas de la cosechadora como por ejemplo la recolección.

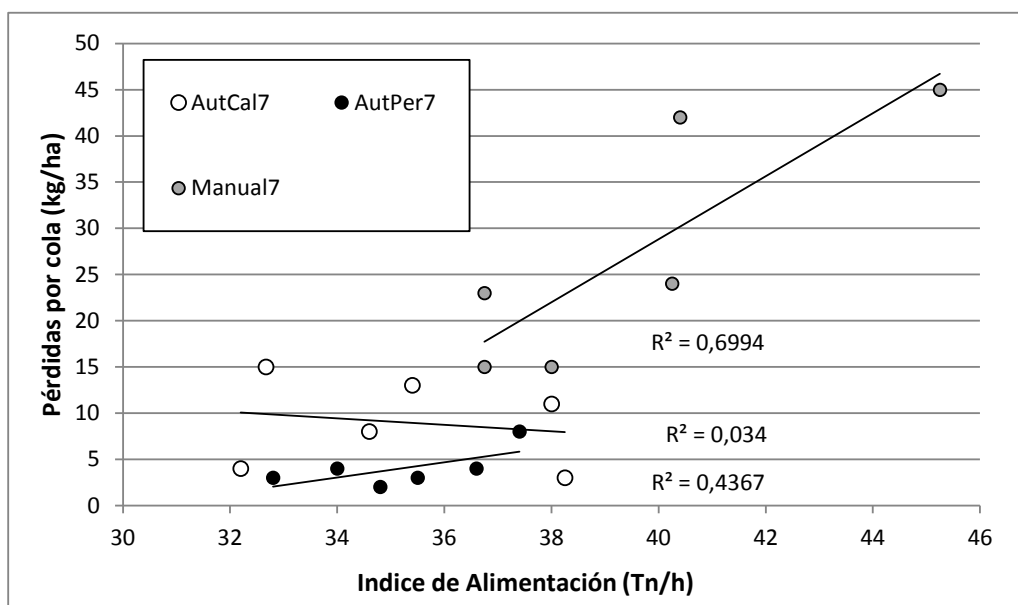


Figura 2. Comportamiento de las pérdidas por cola de trigo de la cosechadora en función del índice de alimentación para diferentes usos de los automatismos de una cosechadora John Deere S780.

Cuando la cosechadora trabaja en modo manual, las pérdidas por cola llegan a 45 kg/ha y tienden a aumentar 7 kg/ha por cada t/h que aumenta el índice de alimentación. Por el contrario, cuando la cosechadora trabaja de modo automático, las pérdidas por cola no superan los 8 kg/ha cuando se prioriza la reducción de pérdidas, ni los 15 kg/ha cuando se prioriza la calidad de grano y en ambos casos la relación entre el índice de alimentación y las pérdidas de cola es no significativa ($p < 0,05$). Esto es compatible con el hecho de que la cosechadora no solo contaba con el sistema de ajuste automático de velocidad, sino también con el ajuste automático de las regulaciones de los sistemas de trilla y limpieza. Por lo que cada vez que las variaciones del índice de alimentación afectan desfavorablemente a las pérdidas por cola o la calidad de grano, la cosechadora modifica las regulaciones para revertir estos cambios. Cuando la cosechadora trabaja de forma automática priorizando la calidad de grano, se registra un reducido incremento de las pérdidas por cola pero estas nunca superan los 15 kg/ha que es del 0,3 % del rendimiento.

Respecto a la calidad de grano, el análisis de grano quebrado y materias extrañas (relacionado al uso de la máquina), muestran comportamientos diferenciales entre tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1 .a) Parámetros de calidad de trigo pan para cada tratamiento. b) Valores de pérdidas de granos de trigo, costos que implican, grado de comercialización y los ingresos brutos y diferencia de ingresos entre tratamientos.

a)

Tratamiento	Parámetros de calidad afectado por la cosechadora		
	Granos quebrados (%)	Materias Extrañas (%)	Grado
Manual7	0.05 a	1.55 b	3
AutCal7	0.14 a	0.20 a	1
AutPer7	0.26 a	0.33 a	2

b)

Tratamiento	P. Cola Kg/ha	Costo P. Cola USD/ha	Total Costo USD	Grado	Bon/Desc USD/t	Ing. Bruto USD	Dif USD	Pérdida ing. Bruto USD/ha
Manual7	27.3	6	720	3	220.0	124.080	-1834	-21.2
AutCal7	9.0	2.0	240	1	223.3	125.914	0	-2.0
AutPer7	4.0	0.8	96	2	220.0	124.080	-1.834	-15.3

En la Tabla 1a, se observa que no hubo diferencias significativas en Granos Quebrados entre tratamientos y en ningún caso se superó la tolerancia de 0,5% para salir de grado 1. En cambio, para Materias Extrañas, los tratamientos que ajustaron por calidad, presentaron los menores valores, AutCal7 logró el % más bajo de Materias Extrañas y el mejor grado (1) Las materias extrañas en el tratamiento Manual7, hicieron que el grado caiga a 3, aplicándose descuentos a esa mercadería. Por otro lado, Manual7 presentó los mayores niveles de pérdidas de ingreso bruto en el sistema, en total: 21,2 USD/ha respecto a 2.0 USD/ha para el mejor tratamiento que fue AutCal7, que se diferenció fuertemente del resto debido a que fue el único grano que clasificó Grado 1 y las pérdidas de grano fueron muy bajas (Tabla 1b).

Conclusiones

Para las condiciones del ensayo, la automatización de los sistemas de control de calidad y de pérdidas de grano permitió aumentar la eficiencia del sistema, pero debería evaluarse en otras condiciones y tipos de cultivos.

Agradecimientos

El trabajo se realizó con aporte del PEi177 de INTA y de Rural Ceres-

Referencias

- Böttinger, S. (2016). Mährescher. In: L. Frerichs (Ed), Jahrbuch Agrartechnik 2015. 27, 158-170.
- INTA PRECOP (2011). Cosecha de Trigo con valor agregado en origen. Actualización técnica n° 68. INTA.
- Kutzbach, H. D. (2004). Combine Harvesters. In: Matthies, H. J. & Meier, F. (Ed.), Yearbook Agricultural Engineering 2004. Landwirtschaftsverlag, Múnster
- Mendieta, S. (2012). Más Lexion. Revista Agrotécnica, 9: 40-42.
- Wolfgang, R. (2019). Jedes Korn zählt. VDI nachrichten e-paper. <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automation/jedes-korn-zaehlt/>

Uso de Piloto automático en plantación de caña de azúcar (Saccharum Officinarum)

¹Ing. Agr. Ricardo Rodriguez INTA FAMAILLA ²Ing. Agr. Roberto Manzano ZAFRA
S.A.

¹ INTA Famaillá, ruta pcial. 301 km 32,5 Famailla, Tucumán. ² Zafra S.A. Área comercial de Agricultura de Precisión, Lavalle 3005 San Miguel de Tucumán, Tucumán.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen

Uno de los cultivos regionales de mayor importancia económica en el NOA y NEA, es el cultivo de la Caña de Azúcar (Saccharum Officinarum), especialmente en la provincia de Tucumán, por la superficie cultivada que ocupa y por la mano de obra genuina en materia de trabajo que genera de manera directa e indirecta todo el año. Dicho cultivo y su manejo, cada año requieren de una mayor eficiencia y eficacia en sus labores culturales y las mismas, se observan en aumento, por medio de la incorporación de Innovaciones Tecnológicas a través de herramientas como, la Agricultura de Precisión, por ejemplo, actuando de manera notable en los diversos eslabones de la cadena de valor y en las más de 265.000 has cultivadas anualmente, mostrando a través de su utilización, un correcto uso de los recursos disponibles, con una mirada sostenible y sustentable del sistema productivo. En cuanto a uno de estos eslabones fundamentales de la cadena, es la Plantación. Es por ello, que el objetivo de esta Experimentación, fue evaluar la equidistancia de los surcos (líneas/rayas) de plantación (promedio de 1,60mts entre sí), para ello, se utilizó el sistema de plantación convencional/manual (70% de la superficie total provincial), es decir, tractor con surcador simple (abre surcos) con y sin piloto automático manteniendo constante las demás variables, previa preparación y rastrado del terreno de 2,5has en Campo Monte Bello, localidad de Graneros, Tucumán. En cuanto al piloto automático, tractor, antena correctora de señal RTK, fueron de la Marca proporcionada por Zafra S.A. Con respecto a los datos obtenidos, por medio de la señal (telemetría) fueron analizados estadísticamente mediante el software utilizado por el piloto automático y corroborado de manera manual con el uso de ruleta y análisis estadístico de Excel, arrojando valores interesantes para con el uso de la tecnología de A.P., es decir, con el uso de A.P. (piloto automático) el CV% fue de 5,7 vs el 15,2% de la manera convencional, con ello, nos explica el porqué de los 61 surcos/ha alcanzados por el piloto automático vs los 58 surcos/ha logrados con el sistema convencional con marcadores hidráulicos. Con estos resultados no solo se demostraron el ingreso de 3 surcos/ha más, sino, el aumento de la productividad (en promedio de 3500kg/ha) y cualitativamente la importancia de la equidistancia entre surcos, que permite una mayor circulación sin pisoteo y sin compactación de las labores culturales frecuente y anuales que requiere el cultivo, como así también la versatilidad de dicha herramienta para trabajar con otros implementos y tareas como cultivadores, abonadoras, rastras, pulverizadoras y cosechadoras.

Palabras clave. Piloto Automático Caña, AP Caña de Azúcar, Caña AP.



Evolución y Tendencias en el uso de herramientas de Agricultura de Precisión en el cultivo de Caña de Azúcar en la provincia de Tucumán.

Ing. Agr. Ricardo Rodriguez. EEA INTA Famaillá Tucumán.

Ruta provincial n° 301 km 32,5 Padilla, Famailla, Tucumán, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *En el contexto de la 4° Revolución Agroindustrial que estamos transitando mundialmente. En Argentina, el uso de herramientas como agro-partes y/o agro-componentes vinculadas a la Agricultura de Precisión, nos posiciona a nivel mundial en los primeros puestos como usuarios de la Innovación Tecnológica, ello es un resultado, de las articulaciones público-privadas por regiones y cadenas de valores, teniendo el INTA un anclaje importante a nivel nacional, con participantes/profesionales/ técnicos/ asesores por medio de su Proyecto “Desarrollo y aplicación de tecnologías de mecanización, precisión y digitalización de la agricultura”, cumpliendo con los objetivos de la Institución y del proyecto en especial, a través del uso de herramientas estratégicas, siendo un instrumento fundamental en el medio productivo, para elaborar y contar con los diagnósticos precisos, que nos permitan conocer las tendencias, evoluciones y demandas en el uso de la A.P. a nivel país. (Villarreal, D. et.al. 2020), como así también a niveles regionales y locales. En cuanto al objetivo de este trabajo en particular, está vinculado directamente al uso y tendencia de herramientas de Agricultura de Precisión en el cultivo de Caña de Azúcar en la Provincia de Tucumán, en base a los datos obtenidos y verificados en conjunto entre instituciones públicas y empresas privadas comerciales vinculadas a la A.P., los resultados muestran una tendencia ascendente en el corto plazo (período 2017-2021) por ejemplo, en el uso de Pilotos automáticos (300), telemetría en cosechadoras y tractores (185), cortes por sección en pulverizadoras (85), Monitores de rendimientos en cosechadoras de caña de azúcar (27) y una evolución muy pronunciada entre el 2019 y 2021 de estaciones meteorológicas en pulverizadoras (8), mostrando incrementos paulatinos en el uso de otras herramientas de A.P. como, dosis variable en abonadoras de fertilizantes sólidos (15), control selectivo de malezas (8), sensores manuales de N en tiempo real (10) y el uso de drones (5) para la obtención de diversas capas de informaciones y análisis. En cuanto a las tendencias de A.P. observadas, las mismas muestran que vamos hacia la generación de sensores altamente entrenados, la automatización de las herramientas precisas, la autorregulación y calibración de la maquinaria agrícola, la gestión de la información a través de plataformas inteligentes, la trazabilidad, la segregación y BPA de la materia prima apuntando a productos de alto valor, la telemetría para adquisición, diagnóstico, toma de decisiones, atención al cliente y procesamientos de datos georreferenciados, esta última a nivel local y nacional con un salto exponencial importante en muy pocos años, es decir, muy buenas fortalezas y oportunidades, existiendo debilidades y amenazas de alto peso en la región, como la falta de conectividad y de Mano de Obra especializada en el manejo de la Información, análisis e interpretación, prescripción volcada al sistema productivo de la Caña de Azúcar, que condicionan directamente la incorporación de la A.P. en la provincia.*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE



Palabras clave. *Tendencia AP caña de azúcar, Caña de Azúcar Tucumán, Adopción AP Tucumán.*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Using Computer Vision and RGB images to quantify plant spatial distribution in corn

Vila, S¹; Toledo, A²; Lopez-Correa, J²; Peralta-Cuquejo, R¹, Balboa, G³

¹National University of Río Cuarto, Córdoba, Argentina; ²Center for Automation and Robotics, CSIC-UPM, Arganda del Rey, 28500 Madrid, Spain; ³Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, United States

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Abstract. *The spatial and temporal uniformity of the plants in maize crop (*Zea mays* L.) is a key factor in determining yield. Spatial non-uniformity can cause losses of the order of 80 to 100 kg ha⁻¹ for each centimeter of increase in standard deviation above a threshold. The development of precise and automated methods to characterize this non-uniformity at a specific site scale is essential. Computer vision allows automatic detection of plants in crops through RGB images analysis. The use of computational algorithms can allow the measurement of different crop traits. Until now, they have not been used to quantify the spatial uniformity at the specific site level with field validations of the ground truth distances such as those proposed in this work. To achieve this objective, two maize trials were implemented with three different planting densities: 4, 6 and 8 pl m⁻² in Río Cuarto and La Aguada (Córdoba, Argentina) in the 2020 growing season. In the development stages V₂ and V₄, a survey was carried out with an iPhone 6 video camera in a zenithal position of 200 consecutive plants per repetition. The same day, the distance between each consecutive plant was measured using a tape measure (ground truth distances). At the Lab, the videos were processed to obtain the sequence of images of the 200 plants surveyed in the field per plot. Deep learning models were trained with the RetinaNet Object Detection Network for plant detection. The distance between the centers of plants in each row was automatically and digitally measured. Measurements made in the field (ground truth distances) were compared with those obtained using the deep learning model. The error of the predictions was quantified through the mean average precision (MAE) metrics. The MAE results show values in a range of 1.2 - 2.6 cm for the evaluated densities. The prediction error increased with the increase in planting density. The present work shows promising results of automatic quantification of spatial uniformity in corn through computer vision methods that could be used in site-specific management approaches to evaluate the quality of corn crop planting*

Keywords. *Retina Net, Planting Uniformity, Deep Learning, Digital Agriculture.*

Uso de imágenes termográficas para establecer niveles de estrés hídrico en olivares con riego por goteo

Flavio Capraro ¹ – Facundo Vita Serman ² – Santiago Tosetti ¹ – German Babelis ³

¹ Instituto de Automática INAUT (UNSJ – CONICET)
Av. Lib. Gral. San Martín 1112 (o), Ciudad Capital, San Juan, ARGENTINA
fcapraro@inaut.unsj.edu.ar ; stosetti@inaut.unsj.edu.ar

² Instituto de Agricultura Sostenible del Oasis IASO (UNDEC)
9 de Julio 22, Chilecito, La Rioja, ARGENTINA
fvitaserman@undec.edu.ar

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – EEA San Juan
Calle 11 y Vidart, Pocito, San Juan, ARGENTINA
babelis.german@inta.gob.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen: En la provincia de San Juan, Argentina, se observa una transformación hacia olivares intensivos y super intensivos que son altamente dependientes del riego, dado a su alto consumo de agua y la escasez de lluvias. Se requiere una adecuada programación del riego para evitar deficiencias o exceso de agua que afecten a la producción y la detección oportuna de situaciones de estrés hídrico. El Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI) ha resultado ser una herramienta adecuada para conocer y analizar el estado hídrico de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta del CWSI para diferentes condiciones de hídricas en un olivar intensivo (cv. Arbequina) con riego presurizado por goteo. Para analizar la variabilidad del CWSI y el estado hídrico se realizaron siete tratamientos de riego con aplicaciones del 120% (T_{120}), 100% (T_{100}), 90% (T_{90}), 80% (T_{80}), 70% (T_{70}), 60% (T_{60}) y 40% (T_{40}) de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Se tomaron imágenes termográficas y multiespectrales en verano (27/12/2017 y 16/2/2018), a partir de estas imágenes se construyeron mapas termográficos del cultivo (Tc) para obtener un mapa de CWSI georreferenciado de alta resolución. Se correlacionaron los valores promedios de potencial hídrico xilemático de la hoja (Ψ_h), de Tc y de CWSI, concluyéndose que el CWSI es un indicador sensible y adecuado para identificar niveles de estrés en olivar. Mayores valores de Tc y CWSI se registraron en los tratamientos de riego deficitario en comparación con plantas bien regadas. La alta resolución de los mapas permitieron clasificar los niveles del CWSI e identificar condiciones de estrés hídrico a nivel de árbol.

Palabras clave: Riego de Precisión, Estrés Hídrico, Termografía, Agricultura Digital, Olivos.

Introducción

En la provincia de San Juan, ubicada en el centro oeste de la Argentina, los sistemas agrícolas son altamente dependientes del riego debido a la alta demanda de agua de los cultivos y al reducido aporte de agua de lluvia (90 a 110mm anuales) (Vita Serman *et al.*, 2021). Para afrontar esta situación, los productores han tecnificado los sistemas de riego, incorporando equipos de riego presurizado por goteo. Dentro de la gestión agrícola, el objetivo de maximizar la homogeneidad y productividad en cada parcela puede verse seriamente afectado por problemas en el manejo del riego. Esto se asocia con una inadecuada aplicación de riego, tanto en la cantidad como en el momento adecuado. También pueden sucederse daños en las tuberías de distribución de agua los cuales suelen ser difíciles de detectar.

En la actualidad se disponen de diversas herramientas digitales que proporcionan información sobre el estado hídrico y el crecimiento de los cultivos mediante el análisis de imágenes termográficas y multiespectrales. Las herramientas permiten determinar y analizar la variabilidad espacial mediante el cálculo de índices del cultivo que se representan en mapas donde se destacan determinados píxeles relacionados con los parámetros de las coberturas vegetales (estrés hídrico, densidad, clorofila, etc.).

Un método utilizado para conocer el estado hídrico del cultivo es el Índice de Estrés Hídrico en el Cultivo (CWSI, Crop Water Stress Index) (Idso *et al.*, 1981) el cual se determina en base a la medición de la temperatura del dosel vegetal (T_c), considerada como un indicador del estado hídrico de la planta. Las investigaciones de (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2013) y (Ballester *et al.*, 2018) reportan que la T_c y el CWSI manifiestan una alta sensibilidad a las condiciones de estrés hídrico en frutales; mientras que los otros índices de vegetación presentan niveles de mediana a baja sensibilidad. El uso de T_c y CWSI permitiría identificar zonas con estrés hídrico asociado a problemas en la aplicación del riego, mientras que el uso de otros índices de vegetación permitiría identificar diferencias en el desarrollo del cultivo.

En el presente trabajo se analizó el CWSI en una parcela de olivo, en la que se aplicaron siete dosis de riego diferentes con el objetivo de verificar su sensibilidad a distintas condiciones de estrés hídrico.

Métodos y materiales

El ensayo a campo se realizó en un olivar comercial de “Arbequina”, en un marco de plantación intensivo de 6 x 3 (555 árboles ha^{-1}) (Figura 1) y localizado en Cañada Honda (32° 2' 17" S; 68° 32' 10" O; 620 m.s.n.m.), provincia de San Juan, en el noroeste de Argentina. La estructura del olivar se la puede describir como un seto alto, con una altura promedio de los árboles de 4.4 m.

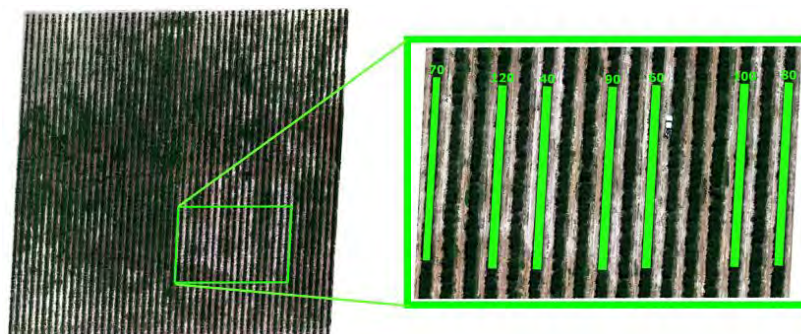


Figura 1. Cuadro de olivo intensivo con riego por goteo (9 has) y zona de experimentación de 7 tratamientos de riego diferenciados

El ensayo de riego consistió en establecer siete regímenes de riego, con aplicaciones de 120% (T_{120}), 100% (T_{100}), 90% (T_{90}), 80% (T_{80}), 70% (T_{70}), 60% (T_{60}) y 40% (T_{40}) de la evapotranspiración del cultivo

(ETc), determinada por la expresión $ETc = ET0 * Kc$. La ET0 fue calculada con la metodología Penman-Monteith modificada propuesta por FAO (Allen *et al.*, 1998). El Kc fue el coeficiente de cultivo estacionalmente constante ($Kc = 0.55$), teniendo en cuenta lo propuesto por (Villalobos *et al.*, 2000).

La parcela experimental se localizó dentro del olivar comercial (Figura 1). El diseño experimental utilizado fue el denominado “line-source desing” (Hanks *et al.*, 1976). Este diseño creó un gradiente de agua secuencial y variable con los tratamientos. Se seleccionaron 7 hileras con 24 plantas cada una. Se determinaron veintiocho parcelas experimentales que consistían en filas con 6 árboles.

Las imágenes se tomaron con una cámara termográfica Flir VueProR 640 y una cámara multispectral Micasense RedEdge montadas en un dron. Los vuelos se efectuaron los días 27/12/2017 y 16/2/2018, a la altitud de 40 m, solapamiento vertical y horizontal del 80%, con resolución de imagen de 3cm.

Para el cálculo del CWSI se siguió la metodología propuesta por Jones (1992), donde el CWSI se define entre las temperaturas límites superiores e inferiores, T_{dry} y T_{wet} , que representan una hoja en estado de no transpiración y una hoja en estado completamente transpirando (Ecuación 1). CWSI toma valores entre 0 y 1 indicando condiciones bien regadas o de déficit hídrico respectivamente.

$$CWSI = \frac{T_c - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}} \quad (1)$$

Para genera el mapa de CWSI se empleó la Ecuación 1. Las temperaturas de referencia T_{dry} y T_{wet} (Tabla 1) se determinaron por: $T_{dry} = T_{aire} + 5^{\circ}C$, T_{wet} fue estimada como el promedio del 5% de los pixeles más fríos dentro del mapa termográfico, y T_c se obtiene de cada pixel del mapa termográfico.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de CWSI para los días analizados

Día	Hr [%]	Taire [°C]	Tdry [°C]	Twet [°C]
27/12/2017	36	29,7	34,7	28
16/02/2018	37	33,8	38,8	32

El potencial hídrico del tallo o xilemático al mediodía (Ψ_h) se midió en dos árboles por repetición en las fechas donde se realizaron las imágenes, siguiendo la metodología descrita en Vita Serman *et al.* (2021)

Resultados y discusión

En la Figura 2 se presentan los mapas termográficos utilizados para calcular el CWSI. Con la obtención del mapa de CWSI de alta resolución (Figura 3) fue posible identificar las zonas con estrés hídrico de manera efectiva. Los valores promedios de la T_c y del CWSI obtenidos en los diferentes tratamientos de riego fueron calculados de los respectivos mapas y se indican en la Tabla 2. En la Figura 4 se representan relaciones entre el Ψ_h registrado para cada día versus los niveles de la T_c y el CWSI.

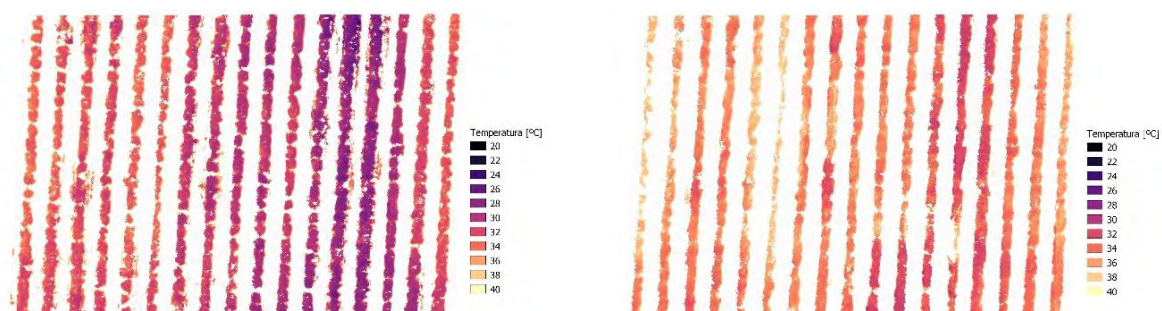


Figura 2. Mapa termográfico de alta resolución de la zona con vegetación para los días 27/12/2017 (izq) y 16/02/2018 (der).

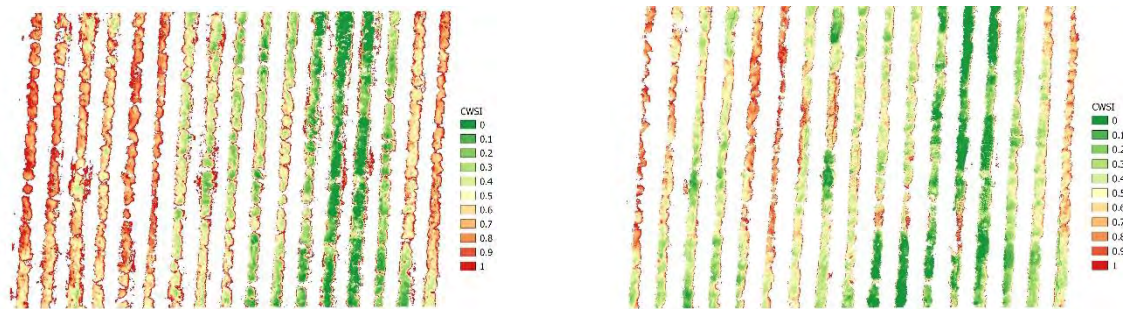


Figura 3. Mapas CWSI obtenidos a partir de imágenes termográficas de alta resolución en los días 27/12/2017 (izq) y 16/02/2018 (der).

Tabla 2. Valores promedio de temperatura de cultivo (T_c), CWSI y potencial hídrico del tallo (Ψ_h) registrados en 7 tratamientos de riego, en 2 días durante la campaña 2017/18, en un olivar Arbequina de alta densidad con riego por goteo, San Juan, Argentina.

Tratamiento de riego	Dia 27/12/2017			Dia 16/2/2018		
	T_c [°C]	CWSI	Ψ_h [Mpa]	T_c [°C]	CWSI	Ψ_h [Mpa]
T ₄₀	34,7	0,83	-2,17	38,3	0,85	-3,33
T ₆₀	31,8	0,53	-1,98	34,8	0,47	-2,92
T ₇₀	34,2	0,80	-1,74	37,7	0,83	-2,52
T ₈₀	33,5	0,74	-1,86	36,3	0,65	-2,22
T ₉₀	31,6	0,41	-1,61	35,4	0,49	-2,29
T ₁₀₀	30,4	0,29	-1,66	34,4	0,33	-2,06
T ₁₂₀	33,0	0,60	-1,50	35,1	0,45	-1,69

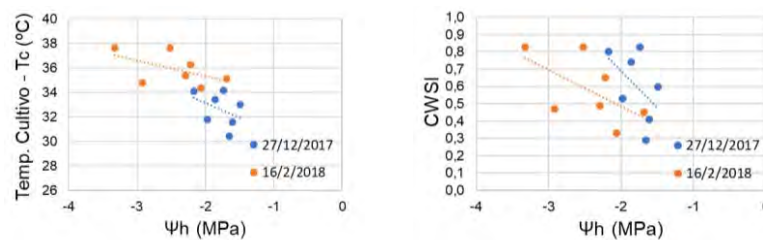


Figura 4. Relación entre el potencial hídrico de tallo (Ψ_h) y la temperatura del cultivo y CWSI en los días 27/12/2017 y 16/02/2018.

Una de las principales ventajas de disponer de un mapa de la T_c o del CWSI es que los valores se pueden traducir como un indicador de estrés hídrico (Idso *et al.*, 1981). Bajo este criterio, fue posible generar un mapa clasificado del estrés hídrico (Figura 5) que presente la variabilidad en la parcela.

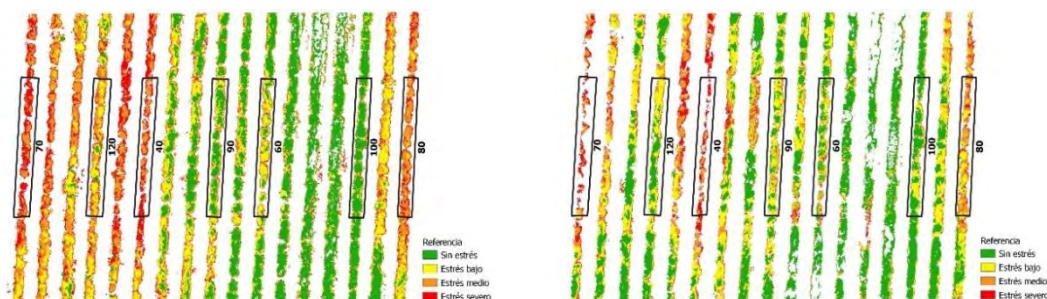


Figura 5. Clasificación del estado hídrico del olivar en base al CWSI para los días 27/12/2017 (izq) y 16/02/2018 (der). La clasificación de CWSI está dada por: <0,4 “sin estrés”; entre 0,4 a 0,6 “estrés bajo”, entre 0,6 a 0,8 “estrés medio”, y > 0,8 “estrés severo”

En la parcela donde el riego fue programado para cubrir la totalidad de la demanda hídrica del cultivo (T₁₀₀) no ocurrió estrés hídrico registrándose para los días 27/12/2017 y 16/2/2018 los niveles más bajo

de CWSI (0,29 y 0,33) y de Tc (30,4 °C y 34,4 °C). En el tratamiento con mayor déficit hídrico (T₄₀) se registraron los valores más elevados del CWSI (0,83 y 0,85) y de Tc (34,7 °C y 38,3 °C). Esto corresponde a un incremento aproximado en CWSI de 0,52 y Tc de 4 °C frente a los registros en T₁₀₀.

La metodología sugerida por Jones (1992) para el cálculo del CWSI ha resultado adecuada. Los resultados mostraron que el CWSI es sensible a los cambios del Ψ_h en similitud a los resultados reportados en Berni *et al.* (2009) donde el CWSI se calculó con modelos empíricos y utilizando imágenes termográficas de 2m de resolución. En coincidencia con el análisis de González-Dugo *et al.* (2013) el uso de imágenes termográficas de la alta resolución permitió calcular el CWSI a nivel de árbol.

En diversos estudios se observa que el análisis del CWSI se realiza en un día de la campaña (Berni *et al.*, 2009; González-Dugo *et al.*, 2013 y 2015; Ballester *et al.*, 2018) analizándose con ello la sensibilidad del CWSI en el periodo más sensible a las condiciones de estrés hídrico. En el presente trabajo se analizó la sensibilidad del CWSI en dos días, al inicio y avanzado el verano; los resultados presentados en la Tabla 2 y la Figura 4 indican que no es posible generalizar para toda la campaña la relación entre el Ψ_h frente a la Tc y el CWSI, ya que se observan diferencias entre los días analizados.

Conclusiones

Se ha presentado y analizado el cálculo del índice CWSI como herramienta para la detección de estrés hídrico en un olivar mediante el análisis de imágenes termográficas. La alta resolución espacial de las imágenes termográficas y multiespectrales, que fueron recopiladas con cámaras aerotransportadas en un dron, permitieron identificar espacialmente los efectos térmicos generados por el estrés hídrico ante diferentes condiciones de riego. El método presentado tiene aplicaciones en la detección del estrés hídrico y la programación del riego en el contexto de la agricultura de precisión.

Los resultados obtenidos demostraron que las variaciones de temperatura en la cobertura vegetal (Tc) asociadas a las condiciones de estrés hídrico se logran detectar a nivel de árbol, registrándose diferencias de temperatura mayores para los tratamientos de riego deficitario (T₇₀, T₆₀ y T₄₀) en comparación con plantas bien regadas (T₁₀₀), con diferencias de 2 °C en plantas con estrés moderado y entre 2,5 °C a 4 °C en plantas con estrés severo.

Referencias

- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper Vol 56. FAO, Rome, Italy.
- Ballester C., Zarco-Tejada P. J., Nicolás E., Alarcón J. J., Fereres E., Intrigliolo D. S., Gonzalez-Dugo V. (2018). Evaluating the performance of xanthophyll, chlorophyll and structure-sensitive spectral indices to detect water stress in five fruit tree species. *Precision Agric* 19, 178–193.
- Berni J., Zarco-Tejada P. J., Sepulcre-Cantó G., Fereres E., Villalobos F. (2009) Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol 113 (11), pp 2380-2388.
- Gonzalez-Dugo V., Zarco-Tejada P., Nicolás E. (2013) Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agric* 14, 660–678.
- Gonzalez-Dugo V., Goldhamer D., Zarco-Tejada P.J., Fereres E. (2015). Improving the precision of irrigation in a pistachio farm using an unmanned airborne thermal system, *Irrig Sci* 33:43–52; DOI: 10.1007/s00271-014-0447-z
- Hanks R.J., Sisson D.V., Hurst R.L., Hubbard K.G. (1980). Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 886–888.
- Idso S. B., Jackson R. D., Pinter Jr P. J., Reginato R. J., Hatfield J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*. 24, pp 45-55.
- Jones H. C. (1992). Crop water stress index (pp. 293–295), en: *Plants and microclimate*, 2nd ed.. Cambridge University Press.
- Villalobos F. J., Orgaz F., Testi L., Fereres E. (2000) Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Eur. J. Agron.* 13, 155–163.
- Vita Serman, F., Orgaz, F., Starobinsky, G., Capraro, F. & Fereres, E. (2021). Water productivity and net profit of high-density olive orchards in San Juan, Argentina. *Agricultural Water Management* 252: 106878.

Dispositivo IoT de bajo costo para la medición de variables agro-hidrológicas

Emiliano López¹, Jorge Prodoliet¹, Guillermo Contini², Carlos Vionnet^{1,3}, Victoria Paredes¹, German Dunger^{3,4}, José Maiztegui⁴, Jorge Giecco^{3,4}, Matias Blumenthal⁴

elopez@fich.unl.edu.ar, jprodo@fich.unl.edu.ar, gcontini@fich.unl.edu.ar, carlos.vionnet@gmail.com,
mvparedes@fich.unl.edu.ar, gdunger@fca.unl.edu.ar, josemaiztegui@gmail.com, matiasblumenthal@gmail.com

¹ Centro de Estudios HidroAmbientales, Facultad de Ing. y Cs. Hídricas (FICH),
Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina.

² Centro de Información Meteorológica, FICH, UNL, Santa Fe, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Santa Fe, Argentina.

⁴ Facultad de Cs. Agrarias, UNL, Esperanza, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Hay una serie de parámetros agro-hidrológicos que tienen incidencia directa en la estimación de la productividad de los cultivos. No obstante, su medición mediante el uso de instrumentos comerciales presenta, en ocasiones, ciertas desventajas. Por un lado, su elevado costo y la escasez de repuestos. Por otro, la escasa flexibilidad no permite adecuar el instrumento a las necesidades específicas del productor agropecuario. Las plataformas de hardware de código abierto surgen como una alternativa atractiva para el desarrollo de dispositivos flexibles y de bajo costo. En el presente trabajo se describe el diseño y desarrollo de un dispositivo datalogger basado en plataformas de hardware de código abierto utilizado para mediciones automáticas de niveles freáticos, humedad de suelo, crecimiento de cultivos y parámetros meteorológicos para pruebas realizadas en laboratorio y en campo con resultados alentadores.

Palabras clave.

Arduino, microcontroladores, estaciones de monitoreo, agricultura de precisión, hardware de código abierto

Introducción

El registro periódico de variables de interés para el agro demanda una considerable inversión en equipamiento especializado. La dificultad de contar con un único equipo que registre la totalidad de las variables implicaría contar con varios dispositivos. Esto incrementa los costos y dificulta el mantenimiento e integración de los datos, lo que repercute en una adecuada cobertura espacial y temporal de parámetros agro-hidrológicos.

En los últimos años, el rápido avance de las tecnologías electrónicas posibilitó el acceso a una nueva variedad de componentes de bajo costo para el monitoreo y control. Estas tecnologías emergentes permiten el acceso a microcontroladores y módulos programables que pueden ser fácilmente acoplados, simplificando de esta manera el diseño de dispositivos de medición.

Resulta incuestionable el predominio de Arduino como plataforma de hardware de código abierto. Las razones detrás de su popularidad no solo radican en su bajo costo, sino por ser un sistema de código abierto y ser el centro de intercambio de experiencias de una gran comunidad de usuarios y programadores (Fisher 2012, Morais 2021).

Se han desarrollado una gran variedad de equipos basados en Arduino, estaciones climáticas y para el registro de la zona de ablación de glaciares (Neto 2019), sistemas de control de irrigación (Ramadan 2018), y dispositivos determinan la concentración de contaminantes en la atmósfera (Ferrer-Cid 2019). Publicaciones más recientes muestran que el uso de estas tecnologías continúa expandiéndose (Fisher 2020, Rabault 2020, Morais 2021).

No obstante, a pesar de sus ventajas, uno de los principales obstáculos para el desarrollo de instrumentos basados en esta tecnología es su elevado consumo energético, que se incrementa al adicionarse módulos de comunicación inalámbrica. Una cualidad deseable de todo equipamiento destinado al agro es poseer la autonomía suficiente por largos períodos de tiempo con nulo o escaso mantenimiento.

En el presente trabajo se describe el desarrollo de dispositivos de bajo costo destinados a interconectar diversos sensores, operando con un bajo consumo y alimentados mediante energía solar. La plataforma, con sus módulos específicos, es capaz de registrar la profundidad de la napa freática, el crecimiento de alfalfa, la humedad del suelo, la precipitación, y la temperatura ambiente, entre otros parámetros de interés agro-hidrológico. En esta comunicación se exponen brevemente trabajos preliminares de calibración y validación tanto en laboratorio como en campo.

Materiales y métodos

Los equipos desarrollados se componen por un datalogger de bajo consumo, sistema de alimentación solar, sensores y dependiendo el caso, un módulo de comunicación.

Datalogger y sistema de alimentación

El datalogger constituye la placa principal, que para almacenamiento de datos utiliza un módulo de tarjetas micro SD Catalex. La fecha y hora se registra mediante el reloj de tiempo real (RTC) DS3231 y el microcontrolador es un Arduino Pro Mini 5v 16MHz. La alimentación del RTC y SD se realiza mediante un circuito electrónico que los desconecta cuando no son utilizados, con lo cual se reduce en parte el consumo energético. A su vez, el microcontrolador entra en modo *sleep* hasta el momento

Memorias del Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión

Manfredi, Argentina, 30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022.

en que debe realizar alguna medición o la transmisión de los datos. Cada datalogger cuenta con una pantalla Oled 0.96' para monitorear los parámetros medidos y el voltaje de las baterías en tiempo real. El datalogger fue montado sobre una placa de circuito impreso (PCB), tal como se observa en la Fig. 1.

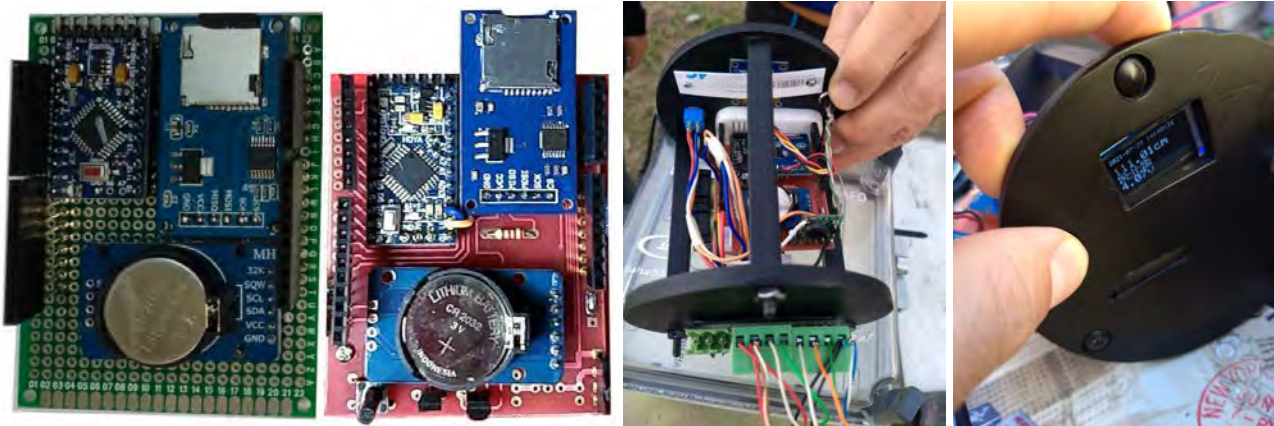


Figura 1. De izq a der.: Datalogger sobre protoboard; montado en PCB; estructura para campo; frente con pantalla.

El sistema de alimentación está formado por baterías 18650 Li-ion recargables de 3.7v y 2600 mAh, y celdas solares de 6v y 200 mA. Dependiendo la necesidad energética del equipo, se utilizan dos o tres baterías en serie, del mismo modo con las celdas solares. A la salida del panel se acondiciona la tensión con un regulador de voltaje y con las baterías se utiliza un controlador de carga, de este modo se asegura que cada batería reciba el voltaje necesario para su correcta recarga.

Equipos de medición

Al presente se han desarrollado cuatro tipo diferentes de equipos: estación meteorológica, humedad de suelo, freatígrafo y crecimiento de alfalfa. Además de los parámetros que mide cada equipo, se registra la fecha y hora de la medición y el voltaje de las baterías. La estación meteorológica registra humedad relativa (HR), temperatura ambiente, velocidad del viento y precipitación. El pluviómetro utilizado es de tipo cangilón, de mecanizado comercial, para lo cual se agregó una interfaz electrónica que envía un pulso al datalogger para contabilizar cada vuelco del cangilón. Este equipo guarda la lluvia acumulada durante un período preconfigurado, media hora por defecto. Para la velocidad de viento se utilizó un anemómetro analógico Adafruit, cuyo valor máximo de medición es 32.4 m/s. La HR y temperatura ambiente se mide con el sensor DHT22, de uso muy difundido (Park 2018).

El equipo de humedad de suelo utiliza los sensores comerciales Hydra Probe II de Stevens y el 10HS de Decagon. Para el primer caso se programó una biblioteca que dialoga mediante el protocolo SDI-12, para el otro caso la salida es un voltaje, de lectura directa con una entrada analógica.

La altura de la alfalfa se registra mediante distanciómetros acústicos Maxbotix. A tal fin se montaron cinco sensores sobre una estructura fija con sensores mirando el cultivo (*Down-Looking*). Cada sensor registra una ráfaga de lecturas cada media hora.

El freatígrafo consta de un sensor de presión diferencial Honeywell, cuya sonda se sumerge a una distancia conocida de modo que el registro almacena los centímetros de columna de agua por encima del sensor (López 2019). En la Fig. 2 se observa cada uno de estos equipos.



Figura 2. De izq. a der: estación de crecimiento alfalfa y humedad de suelo; estación meteorológica; freatígrafo.

Módulo de comunicación

El diseño modular del datalogger permite incorporar diferentes tecnologías de comunicación. A la fecha se ha probado con éxito, y sólo a escala de laboratorio, una transmisión bluetooth y conexión a una red WSN (Wireless Sensor Network) de cinco nodos. Para este último caso se utilizó placas Nordic NRFL24I01 de 2.4GHz. El diseño de las estaciones contempla casos el envío de datos a Internet mediante un teléfono celular o bien a través de un punto de acceso a Internet cercano. Para el primer caso los datos se transfieren desde la estación al celular usando bluetooth y para el segundo, se emplea un nodo gateway que recibe las mediciones y los retransmite hacia una base de datos en la nube.

Resultados

Los dispositivos fueron evaluados en dos instancias, en laboratorio, contrastados con equipos comerciales, y una vez superada la etapa de validación y calibración se instalaron en campo. Desde noviembre de 2020 la totalidad de los equipos se encuentran instalados en un campo ubicado en el centro de la Prov. de Santa Fe, cercano a la localidad de Humboldt. Los datos son descargados periódicamente en forma manual.

Para el caso de la alfalfa, se realizaron medidas manuales de su altura y se tomaron muestras de cortes periódicos, para luego calcular la biomasa. En la Fig. 3 se observan mediciones de algunos de los equipos.

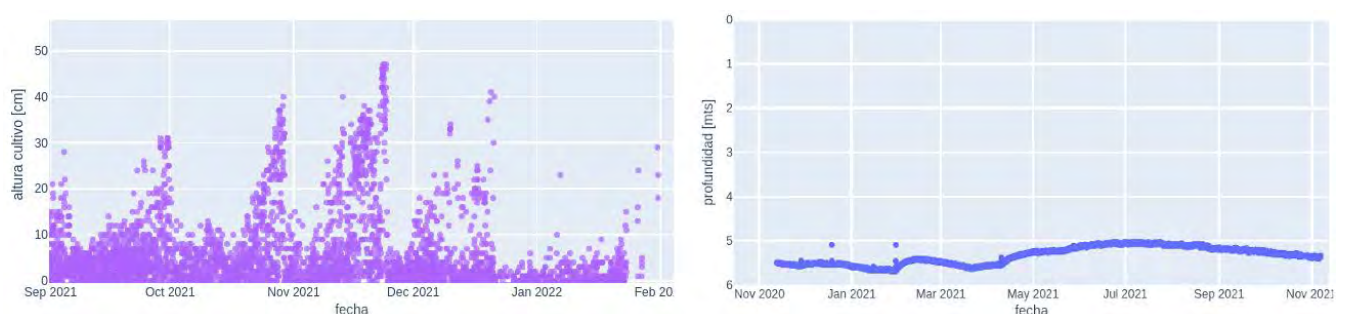


Figura 3. Crecimiento de alfalfa en altura (izq.), profundidad de la napa freática (der.).

Conclusiones

Es posible concluir, al menos preliminarmente, que las plataformas de hardware de código abierto facilitan el desarrollo de dispositivos de bajo costo para el registro de variables agro-hidrológicas de interés. La incorporación de sensores confiables y robustos posibilita el desarrollo de variados equipos de medición de sumo valor para el agro. Su bajo costo, flexibilidad y libre acceso a las especificaciones técnicas permite modificar y mejorar aquellos aspectos que originalmente dificultan el funcionamiento de los instrumentos desplegados en campo. El funcionamiento de los prototipos fue aceptable, superando etapas de evaluación en laboratorio y en campo con más de un año de funcionamiento ininterrumpido. Actualmente, se trabaja en forma asociada a una empresa de electrónica para la fabricación y comercialización del freatígrafo.

Hay dos aspectos a mejorar en trabajos futuros, uno concerniente al desarrollo del equipamiento, para lo cual se espera incorporar tecnologías de transmisión inalámbrica y un sistema web en la nube que colecte y visualice la información. Por otra parte, se trabaja con miras a calibrar modelos de crecimiento y rendimientos de cultivos sobre la base de la información recolectada en campo.

Agradecimientos

El presente trabajo fue posible gracias a los subsidios CAID 2019 50520190100249LI y Capital Semilla 2020 ambos financiados por la Universidad Nacional del Litoral.

Referencias

- Ferrer-Cid, P., Barcelo-Ordinas, J.M., Garcia-Vidal, J., Ripoll, A., Viana, M. (2019) A comparative study of calibration methods for low-cost ozone sensors in iot platforms. *IEEE Internet of Things Journal*. doi:10.1109/JIOT.2019.2929594
- Fisher, D. and Gould, P (2012). Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research, *Modern Instrumentation*. doi:10.4236/mi.2012.12002.
- Fisher, D.K., Fletcher, R.S. and Anapalli, S.S. (2020) Evolving Open-Source Technologies Offer Options for Remote Sensing and Monitoring in Agriculture. *Advances in Internet of Things*, doi:10.4236/ait.2020.101001
- López, E., Vionnet, C., Contini, G. (2019) Dispositivo hardware libre para medir niveles freáticos y altura hidrométrica. XI Congreso Argentino de AgroInformática - JAIIO 48 (pp. 233–236). ISSN 2525-0949,
- Morais, R.; Mendes, J.; Silva, R.; Silva, N.; Sousa, J.; Peres, E. A Versatile (2021). Low-Power and Low-Cost IoT Device for Field Data Gathering in Precision Agriculture Practices. *Agriculture*. doi:10.3390/agriculture11070619
- Netto, G.T. Arigony-Neto, J. (2019) Open-source Automatic Weather Station and electronic Ablation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers. *HardwareX*. doi: [https://doi.org/ 10.1016/j.ohx.2019.e00053](https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00053)
- Park, JK., Kang, TG., Kim, BH. et al. (2018) Real-time Humidity Sensor Based on Microwave Resonator Coupled with PEDOT:PSS Conducting Polymer Film. *Sci Rep*. doi:10.1038/s41598-017-18979-3
- Rabault, J. Sutherland, G. Gundersen O., Jensen, A. Marchenko, A. Breivik, O. (2020) An open source, versatile, affordable waves in ice instrument for scientific measurements in the Polar Regions, *Cold Regions Science and Technology*. doi:10.1016/j.coldregions.2019.102955
- Ramadan, K. Oates, M.J. Molina-Martinez, J. Ruiz-Canales, A. (2018) Design and implementation of a low cost photovoltaic soil moisture monitoring station for irrigation scheduling with different frequency domain analysis probe structures, *Computers and Electronics in Agriculture*, doi:10.1016/j.compag.2017.12.038.



ODAPES: Giving Access to in the Digital Transformation for All Farmers

Michael Rubin and Rodrigo Ortega

michael@aliacon.com.br; rodrigo.ortega@neoag.cl

Aliacon Consultoria e Tecnologia Ltda. Rua Raul Pompeia, 375, São Paulo, SP, Brasil.
Neoag Agricultura de Precisión, Rinconada 9139, Vitacura, Santiago, Chile.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Ninety four percent of the 540 million farmers worldwide are smallholders, who are typically not served by commercial digital agriculture platforms. Along with their entire upstream value chain, about 1 billion people are excluded from digital technologies. This deprives them of important tools in the fight against climate change and poverty, such as weather alerts, risk reduction and increased fertilizers efficiency.

ODAPES is a social impact venture with the mission of Democratizing Digital Agriculture. We are a service company, which provides companies in the agriculture value chain, such as chemical companies, agronomic consultants, cooperatives, and distributors the possibility to create their own Digital Agriculture App within a short time and for a 10x lower-than-traditional cost. Local agronomists or other actors within the production chain, will be able to build their own app and enrich it with their specific agronomic knowledge, which allows them to offer their services in the era of Digitization.

The ODAPES system is based on R-Shiny technology, an open-source framework which makes app development quick and easy. We extended this technology to the realm of agronomic science by adding are a total of 70'000 lines of code for algorithms such as interpolation, management zones, fertilizer application and weather forecasting, among others. We also integrate the client's own algorithms and Database, different third-party API's and sources of free data such as global weather models and satellite imagery.

We serve agronomic companies and communities of smallholder farmers in the countries of Brazil, Chile, Nicaragua, Guatemala, Peru, and some African countries.

Palabras clave. *Digital agriculture, open-source platform, agronomic algorithms, democratizing*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Estimación de la evolución en la adopción de componentes de Agricultura de Precisión en los últimos 10 años.

Villarroel, Diego¹; Scaramuzza, Fernando¹; Melchiori, Ricardo²

¹INTA EEA Manfredi, Ruta 9 Km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina. ²INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *El Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión del INTA, hoy reformulado como Proyecto Estructural "Desarrollo y aplicación de tecnologías de mecanización, precisión y digitalización de la Agricultura" realiza normalmente un relevamiento que data desde el año 1998, respecto a la evolución de la adopción de tecnologías de precisión en la maquinaria agrícola, el cual refleja un crecimiento sostenido y exponencial, principalmente en los últimos 10 años. Estos datos fueron estimados a partir de consultas realizadas a diferentes empresas líderes de agricultura de precisión de Argentina en el período 2018/19/20. Se analizaron tecnologías que se ven involucradas en actividades puntuales como cosecha, siembra, pulverización, fertilización y nuevas herramientas que son transversales a todas ellas como los pilotos automáticos y la telemetría de la maquinaria. El objetivo fue estimar el crecimiento que manifiesta la adopción de tecnologías de agricultura de precisión. Ante el crecimiento observado, la proyección prevé en general que la incorporación de tecnologías a la maquinaria agrícola se verá reflejada en un incremento sostenido interanual.*

Palabras clave. *Adopción de tecnología, maquinaria agrícola, crecimiento, eficiencia.*

Introducción

Durante la década del 90 la producción argentina de granos vivió una revolución de la mano de la incorporación de nuevas tecnologías que permitieron incrementar significativamente la competitividad de los productores argentinos, entre esos avances tecnológicos se destacaron la siembra directa, la incorporación de organismos genéticamente modificados como la soja RR y la disminución de los costos de los fitosanitarios. Todas estas tecnologías permitieron dar un salto de importancia en la producción de granos, llegando hoy a más de 140 millones de toneladas, con una superficie de casi 40 millones de hectáreas sembradas.

El Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión del INTA, hoy reformulado como Proyecto Estructural "Desarrollo y aplicación de tecnologías de mecanización, precisión y digitalización de la Agricultura" realiza normalmente un relevamiento que data desde el año 1998, respecto a la evolución de la adopción de tecnologías de precisión en la maquinaria agrícola, el cual refleja un crecimiento sostenido y exponencial, principalmente en los últimos 10 años.

Cosecha

Según cálculos del equipo de Mecanización Agrícola de INTA Manfredi en 2020, el país contaba con un parque de 24258 cosechadoras en general, con un promedio aproximado de 11 años de antigüedad. Se estima que un poco más de 70% de ellas (parque activo), cuentan con la posibilidad de registrar el rendimiento georreferenciando la información, es decir que hacia fines de 2020 un poco más de 16140 monitores equipaban a las cosechadoras del campo argentino (Gráfico 1). Es importante remarcar que, ese parque activo de cosechadoras correspondería a aproximadamente 17000 máquinas, responsables de trillar más del 85% de la producción nacional. Esto permite suponer que el 95% de las cosechadoras cuentan con monitor de rendimiento. También se observó que, hacia finales de 2019, aproximadamente un 38% de las cosechadoras correspondía a máquinas de menos de 5 años de antigüedad, las cuales ya cuentan con tecnologías de automatismo, autorregulación, robótica y telemetría total.

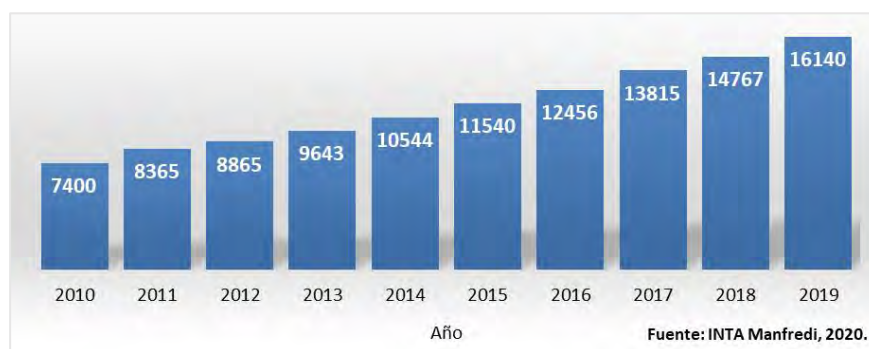


Gráfico 1: Estimación de la evolución anual de monitores de rendimiento en unidades acumuladas.

Los avances tecnológicos en el sistema de monitoreo de rendimiento de estos últimos años, hacen foco en el entrenamiento de algoritmos de autoregulación inteligente, en la utilización de cámaras de alta velocidad para detectar parámetros de calidad de cosecha y en la incorporación de celdas de carga en lugares estratégicos para realizar la autocalibración del peso de los granos varias veces durante la jornada de cosecha. Esto se traduce en mayor eficiencia en el uso del combustible, en un sistema de mapeo de rendimiento calibrado y altamente confiable, pero también en un sistema de trilla separación y limpieza correctamente regulado impactando en una reducción considerable de las pérdidas de grano.

Siembra

La tecnificación en siembra ya viene marcando un cambio significativo en los últimos años con el

incremento en la incorporación de motores eléctricos para comandar sistemas de dosificación de insumos, con una reducción en cantidad de piezas móviles como trenes cinemáticos, ruedas de mando, engranajes y cadenas, repercutiendo positivamente en la vida útil de los diferentes componentes que conforman la sembradora. A su vez, al incorporar estos motores eléctricos, también se ha mejorado la eficiencia de la labor accionando de manera instantánea los sistemas de cortes cuerpo a cuerpo de siembra, caños de bajadas de diferentes diseños para mejorar la distribución de la semilla y sistemas estabilizadores de carga para lograr una correcta uniformidad en la profundidad de la siembra.

Hacia finales de 2020 la venta de sembradoras reflejó una suba aproximada de 22% (en el tercer trimestre), siendo ésta un 90% de industria nacional. Este crecimiento significativo de nuevos equipos de siembra marca una sostenida adopción de tecnologías de dosis variable (DV) (Grafico 2).

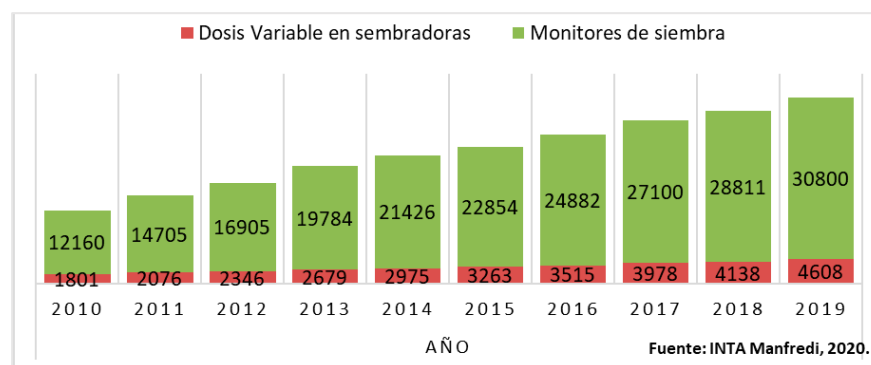


Gráfico 2: Estimación de la evolución anual de monitores de siembra y sistemas de dosis variable en unidades acumuladas.

Actualmente, desde fábrica un gran número de sembradoras salen con la tecnología de DV incorporada, incluso con tecnología de precisión de diferentes marcas. Las empresas mencionan una gran cantidad de sembradoras ya existentes en el parque de maquinaria, que son adaptadas y/o modificadas para incorporarles diferentes sistemas de DV. En este sentido, por ejemplo, la incorporación de sistemas de corte por tramo o cuerpo a cuerpo claramente creció más de 3 veces hacia fines de 2019 respecto a los números observados en 2015.

Pulverización

La pulverizadora, una de las máquinas más versátiles del sistema agrícola argentino cerró un 2020 con récord de ventas, un 70% (3er trimestre) respecto al mismo período del año 2019, de las cuales el 70% corresponde a industria nacional. En lo que corresponde a aplicación de fertilizantes, tanto líquido como sólido, se ha incrementado de manera significativa la incorporación de sistemas de DV.

Las pulverizadoras desde el punto de vista de la aplicación de fitosanitarios están equipadas con una tecnología completamente desarrollada y ampliamente adoptada (Grafico 3). En los últimos años ha aumentado la incorporación de pilotos automáticos, incluyendo también nuevas computadoras de aplicación, estaciones meteorológicas, como así también electroválvulas que reaccionan a la variación en la aplicación en fracciones de segundos y sistemas de modulación por pulso (PWM).

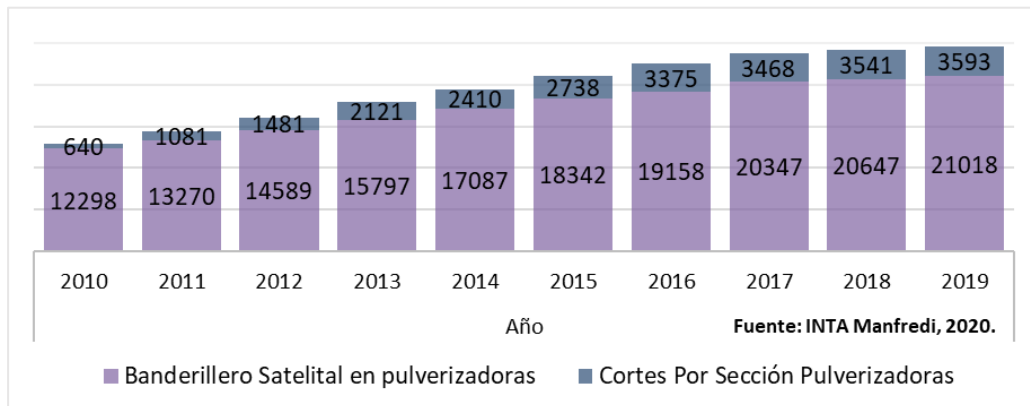


Gráfico 3: Estimación de la evolución anual de banderilleros satelitales y sistemas de corte en pulverizadoras en unidades acumuladas.

La pulverizadora es una de las maquinarias que realiza varias actividades durante el año, incluso sobre la misma superficie, por lo tanto, cada tecnología que se le incorpora suele amortizarse en el corto o mediano plazo. Esta situación se ve reflejada en el aumento de la incorporación de tecnologías de aplicación selectiva (Gráfico 4). Estos últimos años ha tenido un crecimiento promedio interanual que ronda el 20% en las ventas de esta tecnología, que trae aparejado un manejo más consiente de la aplicación de fitosanitarios, disminuyendo notablemente el volumen de aplicaciones de agroquímicos, con un manejo más sustentable. A su vez, en este rubro se proyecta un crecimiento en la oferta de incorporación de desarrollos nacionales, donde se observa una combinación de autonomía, automatismo, robótica e inteligencia artificial.

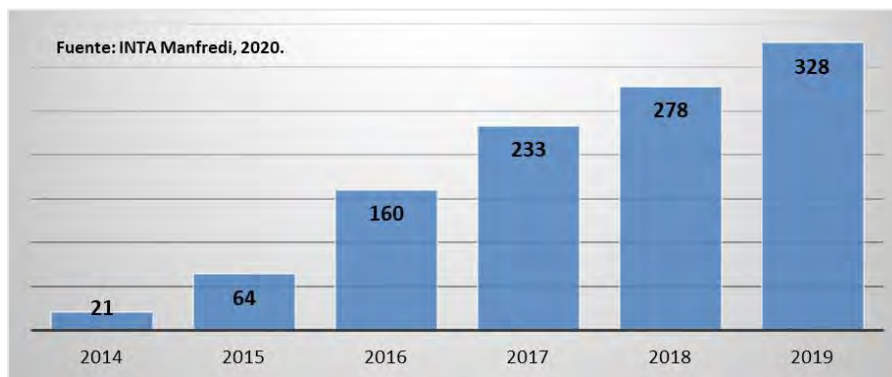


Gráfico 4: Estimación de la evolución anual de equipos de aplicación selectiva en unidades acumuladas.

Guía Automática

La incorporación de pilotos automáticos en la maquinaria agrícola, principalmente en tractores, unidades autopropulsadas y cosechadoras ha tenido un constante crecimiento, observándose un incremento promedio interanual del 20% en los últimos 5 años (Gráfico 5). El uso de banderilleros satelitales fue migrando a plataformas multifunción de guiado virtual con sistemas de piloto automático incorporado. La eficiencia en siembra, la extensión de la jornada laboral sin perder precisión a lo largo del día, incluso en horas de la noche, como así también la posibilidad de incrementar el ancho de labor en sembradoras, pulverizadoras y plataformas de cosecha es posible mediante la incorporación de esta tecnología.



Gráfico 5: Estimación de la evolución anual de pilotos automáticos en unidades acumuladas.

Telemetría

Esta es otra tecnología que creció fuertemente en los últimos años, detectando en 2019 un incremento 10 veces mayor a lo observado en el 2015 (Grafico 6).

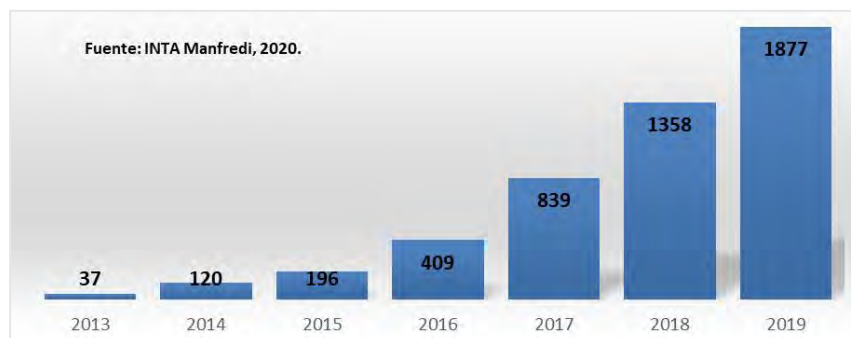


Gráfico 6: Estimación de la evolución anual de sistemas de telemetría en maquinaria agrícola en unidades acumuladas.

Es una tecnología ya incorporada a la maquinaria agrícola, pero también existen dispositivos que permiten tomar la información para reproducirla en plataformas de gestión o en una app. Siembra, pulverización, fertilización y cosecha son labores que actualmente se pueden seguir al instante a través de la telemetría.

Conclusión

Ante este escenario, la proyección prevé en general que la incorporación de tecnologías a la maquinaria agrícola se verá reflejada en un incremento sostenido en los rubros como siembra, pulverización/fertilización y cosecha, sobresaliendo la incorporación de tecnologías que impactan directamente en la eficiencia, como de pilotos automáticos, motores eléctricos en siembra, pulverización selectiva, telemetría de la maquinaria en general, automatismo y robótica en cosecha.

Referencia

SCARAMUZZA, F.; VILLARROEL, D.; VELEZ, J.P. 2017. Incremento de las herramientas de Agricultura de Precisión. Mayor automatismo y precisión para la sustentabilidad del ambiente productivo. En: 16 Curso Internacional de Agricultura de Precisión. Consultado en: <https://inta.gob.ar/documentos/recopilacion-de-presentaciones-pertencientes-al-libro-del-16o-curso-de-agricultura-de-precision>

VILLARROEL, D.; SCARAMUZZA, F.; VELEZ, J.P. 2018. El progreso en la tecnificación del agro. En: 17 Curso Internacional de Agricultura de Precisión. Recopilación de presentaciones técnicas

Datos estimados a partir de consultas a empresas líderes de agricultura de precisión de Argentina en el período 2018/19/20.

Desarrollo de Apps para Establecimientos Lecheros Climáticamente Inteligentes (ELCI)

Aimar M¹, Caridad del R J²., Mora Mora M. G³, García C⁴, La Manna A⁵, Deza C¹, Charlón V⁶, Mancuso W⁶, Costamagna D⁶, Giménez G⁶, Maekawa M⁶, Moretto, M⁶, Faverin C⁶., Tieri M. P⁶, García F¹, Salvador L¹, Godoy J¹, Tentor G¹, Olivo A¹, Cravero C¹, Pérez G⁷, Negri L⁶.

¹Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Argentina; ²Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), República Dominicana; ³Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica; ⁴Cámara Hondureña de la leche (CAHLE), Honduras; ⁵Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Uruguay; ⁶Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. Argentina; ⁷Ministerio de la Producción del Gobierno de Santa Fe, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Los sistemas ganaderos deben producir de manera sostenible, siendo cada vez mayores las exigencias del mercado en este sentido. La "agricultura climáticamente inteligente" es un enfoque que recientemente ha alcanzado gran relevancia, dados los desafíos de adaptación y mitigación al cambio climático (CC) que enfrenta la humanidad. En este sentido todo desarrollo tecnológico que facilite el trabajo en pos de ese objetivo es de importancia para el sector. En el Proyecto Fontagro RG-T3587 (2020-2024) "AgTech para lechería climáticamente Inteligente" (<https://www.fontagro.org/new/proyectos/lecheria-climaticamente-inteligente/es>) del que participan organismos de Costa Rica, Uruguay, República Dominicana, Honduras y Argentina, se plantea el desarrollo de apps para facilitar la implementación de las Buenas Prácticas (BP) como estrategia tendiente a acercar los modelos productivos al concepto de "Establecimientos Lecheros Climáticamente Inteligentes (ELCI)". Entendiendo como tales aquellos establecimientos productores de leche que estén realizando acciones tendientes a mejorar su productividad, lograr la adaptación y la mitigación al Cambio Climático (CC). Para ello se trabajó en cinco ejes sobre los que un conjunto consensuado de 156 BP de las áreas pasturas y cultivos, ambiente, sanidad animal, reproducción animal, alimentación, bienestar animal, ordeño e higiene, gestión socioeconómica y de inclemencias climáticas podrían impactar y se las categorizó en 8 grupos. Los ejes trabajados son Productividad (P), Calidad de Leche (CL), Adaptación (A), Mitigación (M) y Balance (B) entendiendo como tal el diferencial entre la emisión de gases con efecto invernadero y el secuestro de carbono. Este último aspecto se considera de suma importancia, ya que incorpora en su concepto el secuestro de carbono considerado fundamental en un ELCI. En la 1° categoría se agruparon las BP con muy alto impacto para lograr ELCI, las doce BP incluidas en esta categorización son las de mayor relevancia para lograr ELCI dado que tienen impacto en P, A, y M, siendo además las únicas que podrían mejorar el B. Nueve BP corresponden al área Pasturas y cultivos anuales y tres corresponden al de ambiente. En la segunda categoría se incluyen BP con alto impacto para lograr ELCI y con efecto directo en la CL y así sucesivamente con las otras categorías siendo la octava la que contiene otras BP de relevancia en la producción de leche, pero sin impacto en los 5 ejes planteados. De esta manera en la app se encontrará un listado de BP agrupadas por categorías según su impacto en ELCI las que deberán ser relevadas para conocer la situación de los establecimientos con respecto a ELCI. También la categorización propuesta facilitará la gestión, al permitir priorizar las BP, procurando empezar por las que no se cumplan de la 1° categoría: con muy

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022

INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE



alto impacto para lograr ELCI y así sucesivamente. De esta manera con esta app se estará facilitando la gestión y la toma de decisiones en los establecimientos en pos del logro de ELCI y generará una base de datos en la temática que ayudara a la mejora del sector del Latino América y el Caribe. Estas apps serán de libre disponibilidad en Android, IOS y en la web.

Palabras clave. Leche, cambio climático, sostenibilidad

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022

INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE



Natural and Fertilizer-Placement Induced Nutrient Variability

Fabián G. Fernández

Department of Soil, Water, and Climate, University of Minnesota, St Paul, Minnesota, USA

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *In production fields even with uniform applications of fertilizers, spatial distribution of nutrients can be variable. Further, fertilizer placement in the soil may also cause non-uniform nutrient distribution, making it difficult to determine whole-field fertility by traditional sampling strategies. Two studies were conducted to determine spatial distribution across the field and with soil depth with the objective to develop improved sampling procedures to correctly estimate soil N, P and K levels for corn and soybean production. Study-1 evaluated N distribution with uniformly-applied N in conventional tillage. Study-2 determined P and K distribution after repeated applications of broadcast and sub-surface band fertilizer in no-till and strip-till. Study-1 used a field divided into drained (open drainage tile) and undrained (closed drainage tile) blocks where corn received uniform N applications and the sampling area encompassed corn and soybean residue from the previous crop. Each sampling area was divided into 3 m² plots where 10 soil cores were randomly collected and composited into one point sample. Additionally, individual cores were collected every 15 cm along a transect across the area. Samples were analyzed for nitrate, ammonium, and TIN (ammonium plus nitrate). Geostatistical analysis was used to calculate sample semivariance. Exponential, Gaussian, or Spherical models were used for best fit. The number of samples needed in a composite to represent a given sampling area within a 10% error margin at a 95% confidence level was calculated. For study-2, three farmer fields received in two fall seasons, ahead of the next corn crop, various rates of P-K fertilizer blends either by broadcast in no-till and strip-till or deep-banded in strip-till 15 cm below the surface in the crop row (IR) using real-time kinematic (RTK) satellite navigation. Every year soil P and K was measured at 10-cm increments to a 30-cm depth at 0, 19, 38, and 57 cm from the IR. In study-1 previous crop, drainage, and their interaction significantly influenced soil N fractions. The drained soils had less N than the undrained soil regardless of crop or N fraction within the top 60 cm of the soil, and there was less variability for drained than undrained soils with corn residue while the opposite occurred for soils with soybean residue. Across previous crop and drainage, a 47-core composite for nitrate and a 20-core composite for ammonium and TIN would be needed to estimate N levels in a 1-ha point sampling density. In study-2, soil-tests showed no need to adjust fertilizer rate based on tillage or fertilizer placement. Broadcast applications increased surface P and K levels, while subsurface banding reduced them in the surface and increased them at the point of application, or deeper with the highest rate. At IR soil-surface K levels were greater likely because of K leaching from standing crops after senescence. Where the fertilizer band or planting row is maintained constant, a sampling ratio of 1:3 IR to between the crop rows (BR) seemed adequate to estimate soil fertility across a wide range of P- and K-fertilizer rates and soil test levels.*

Palabras clave. *Horizontal and vertical nutrient distribution, composite soil simple density, broadcast and banded fertilizer applications, nutrient distribution due to management.*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Análise e interpolação de dados espaciais de parâmetros químicos do solo e geração de mapas de interpretação em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta

Nicolle Laurenti¹; Josiane Rodrigues²; Edilson da Silva Guimarães³; José Ricardo Macedo Pezzopane³, Alberto Carlos de Campos Bernardi³

¹ Mestranda em Agricultura e Ambiente, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras, SP, Brasil;

² Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Socioeconomia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras, SP, Brasil;

³ Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *A coleta e análise de amostras de solo georreferenciadas geram dados que, após a interpolação, servem de base para a elaboração dos mapas de fertilidade do solo, úteis na interpretação e subsídio para a aplicação localizada de insumos e a taxas variáveis. A interpolação dos dados e geração dos mapas pode ser realizada por diversas técnicas ou métodos, as quais criam mapas de probabilidade, uma vez que essas superfícies são valores preditos e erros. Entre os métodos de interpolação, está o inverso da distância ponderada (Inverse Distance Weight - IDW). O expoente utilizado no processo de interpolação IDW atribui alguns efeitos, e sua escolha deve ser tomada em virtude de métodos estatísticos como a validação cruzada (Cross validation), sendo ela amplamente utilizada em situações em que o objetivo da modelagem é a predição. Um dos coeficientes que pode ser utilizado no processo de validação cruzada é a raiz quadrada do erro médio (Root Mean Square Error - RMSE), o qual é comumente usado para expressar a acurácia dos resultados numéricos. Para realizar o processo de interpolação espacial, entretanto, faz-se necessário o uso de softwares, dentre os quais pode-se citar os softwares R e QGIS. Entretanto, apesar de serem reconhecidas inúmeras vantagens da utilização destes softwares, sua utilização deve ser suportada por um conhecimento das*

técnicas estatísticas envolvidas, para alcançar o máximo de benefícios destas ferramentas. O objetivo do trabalho foi comparar o processo análise e interpolação de dados e geração de mapas de parâmetros químicos do solo pelos softwares R e QGIS. A área de estudo compreende um sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) da Embrapa Pecuária Sudeste, município de São Carlos, São Paulo, Brasil, e as variáveis químicas analisadas foram: $pH_{\text{Água}}$, pH_{CaCl_2} , matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, CTC, V% e sulfato nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4m. Os resultados indicaram que o software R é recomendado para o processamento de dados e geração de mapas, visto que permitiu detalhar os processos estatísticos, quando comparado ao software QGIS. A criação de um algoritmo no software R permitiu: i) antes da geração do mapa de predição, a validação cruzada (com base no menor valor de RSME), o que levou à escolha do melhor valor para o expoente a ser utilizado na interpolação; ii) permitiu a parametrização das escalas de interpretação; iii) detalhamento e individualização da análise geoestatística.

Apoio financeiro: Projeto Rural Sustentável - Cerrado, parceria do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Governo do Reino Unido, e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS), Rede ILPF e Embrapa Processos BID BR-T1409, e 002-SP-377.

Área: Análise de dados espaciais e/ou Econometria.

Palavras-chave: Interpolação Espacial, Mapas de Predição, Software QGIS, Software R, Validação Cruzada.

Minería Verde de Precisión Automatizada: Conveniencia de manejo por ambientes según el balance de nitrógeno simplificado para Maíz y Extracción nutricional de los cultivos

Ing. Agr. Corigliano José¹, Ing. Agr. Mg. Scs. Bongiovanni Marcos¹

Jcorigliano@ayv.unrc.edu.ar; mbongiovanni@ayv.unrc.edu.ar.

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

En los últimos 50 años la superficie agrícola en la Argentina se incrementó alrededor de un 50%, mientras que la producción de granos creció un 400% (Cruzate 2012). En promedio para una campaña productiva la reposición nutricional cercana al 24,5 % (Casas 2017), estos resultados califican al sistema productivo de “minería verde”.

El principal nutriente a tener en cuenta al momento de planificar el esquema de fertilización del maíz, es el Nitrógeno, esto se debe a la alta demanda requerida para la producción, el impacto económico que genera en el análisis productivo la utilización eficiente del mismo (Espósito 2011).

Mediante el procesamiento de información y automatización de cálculos, a través de algoritmos computacionales en QGIS, se logra estimar el impacto económico comparativo entre realizar esquemas de fertilizaciones por ambientes, respecto de manejos homogéneos, además, una vez completado el ciclo productivo, mediante otro algoritmo se logra obtener la cuantificación de macro y micro nutrientes extraídos por diferentes cultivos cosechados, brindando así precisión de las cantidades extraídas como soporte para la toma de decisión al momento de fertilizar, facilitando el manejo nutricional económico y físico balanceado que permita una actividad productiva sostenible en el tiempo.

Palabras clave. Nutrientes, Micronutrientes, GIS, Nitrógeno, Automatización.

OBJETIVOS

- Crear una herramienta que colabore con el proceso de planificación, asesoramiento y manejo nutricional del profesional;
- Facilitar la generación de información comparativa entre criterio de fertilización nitrogenada en maíz por ambientes y homogéneos a través de un resultado económico;
- Estimular la disminución de la brecha productiva potencial y real obtenida, mediante la generación de información propia de cada sitio;
- Incentivar la realización de análisis exploratorios que permitan un diagnóstico de la condición química del suelo más completo en sus diferentes ambientes;
- Destinar tiempo técnico en el análisis e interpretación de las variables e información disponible del técnico mediante la automatización de cálculos de nutrientes extraídos a partir de información disponible;
- Informar sobre los niveles extraídos de macro y micro nutrientes del suelo durante el proceso productivo de los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, capaz de dar respuestas a diferentes preguntas. El principal foco de atención en los sistemas productivos de la región, está centralizado en las tecnologías de insumos, siendo uno de los que mayor atención capta por su inmediata respuesta en incrementos de rendimiento, la fertilización, principalmente la nitrogenada y fosforada, mientras que el resto de los nutrientes se encuentran relegados, tanto en estudios y seguimientos, como en la fertilización que el productor realiza.

Con el software Quantum Gis (V3.16), se utilizará el proceso de modelador gráfico, pudiendo de esta manera crear una ruta de acciones que se deberán realizar de manera automática para la obtención de los resultados deseados. Estas rutas que definimos, son las mismas que realizaríamos de manera individual con la utilización de un sistema de información geográfico.

El primer paso a realizar, es la construcción lógica de la dinámica del modelo, definir las variables dinámicas, las estáticas y las categorías necesarias en la construcción del mismo para la obtención del resultado deseado. Una vez estructurado el mismo, deberemos organizar la información geográfica insumo (capas de rendimiento y capa de zonas de manejo) que poseemos, actualizamos las variables dinámicas y ejecutamos el modelo, una vez obtenido el resultado, analizaremos el mismo para la generación de las correspondientes conclusiones.

Una vez esquematizado el modelo, mediante el diseñador gráfico de QGis se puede dar inicio a la entrada de datos de las variables específicas de cada modelo, en un primer caso analizaremos la **extracción mineral de diferentes cultivos** (Figura 1), y para el segundo se realizará un **balance simplificado de nitrógeno para el cultivo de maíz** (Figura 2). Para cada uno de los modelos, deberemos poseer información previa como insumo del modelo para la obtención de resultados, estos datos deben obtenerse a campo mediante mediciones en cosecha (% humedad), valores de mercado o muestreos a campo (% Materia Orgánica, Densidad Aparente, NO^3 en el suelo, Factor de mineralización del suelo, rendimientos esperados con y sin manejo por ambiente).

Para la generación de un plan de fertilización, existen diferentes metodologías y criterios, dependiendo principalmente del tipo de nutriente a fertilizar. Mediante el método del balance simplificado de Nitrógeno, se logran resultados muy buenos y de manera muy simple y rápida. El mismo se explica mediante la siguiente ecuación de la Figura 3.

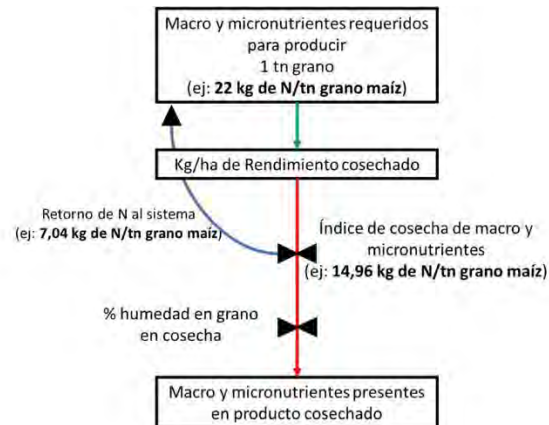


Figura 1: Esquema conceptual del modelo de extracción mineral de los cultivos.

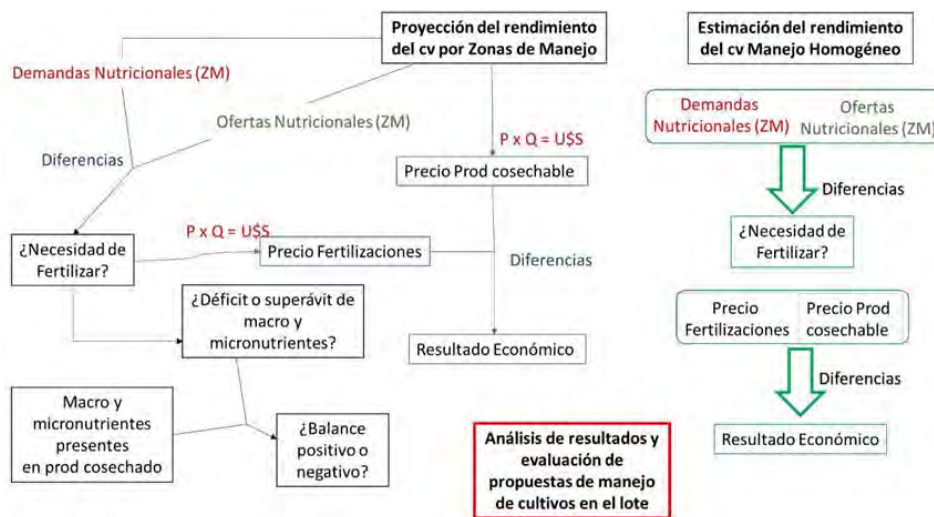


Figura 2: Esquema conceptual del modelo de balance simplificado de nitrógeno para el cultivo de maíz.

$$N_{fert} = \frac{(N_{abs} + N_{cos}) - (N_{sie} + N_{org} * fm)}{fe}$$

N_{fer}: indica la cantidad de N requerida por el cultivo mediante fertilización.

N_{abs}: es la cantidad de N que absorbe el cultivo.

N_{cos}: cantidad de N remanente en el suelo en poscosecha.

N_{sie}: cantidad de N disponible en el suelo a la siembra.

N_{org}: cantidad de N contenida en la Materia Orgánica del suelo.

f_m: factor de mineralización del suelo

f_e: indica el factor de eficiencia del uso del fertilizante.

Figura 3: Ecuación del balance simplificado de nitrógeno para los cultivos.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los primeros y más evidentes resultados son los modelos automatizados desarrollados, estos permiten ampliar el abanico y gama de acciones a desarrollar con los Sistemas de Información Geográfica, sin necesidad de recurrir a poseer habilidades de programación (calificadas como básicas por los expertos). Es comprensible que una vez resuelto y creado el/los modelos, se generen nuevas expectativas que permitan ampliar la frontera de aplicabilidad, logrando de este modo una nueva posibilidad de ampliación del conocimiento, abriendo puertas a que cada usuario cree y adapte modelos automatizados de procesos, o etapas de actividades laborales recurrentes, que permitan eficientizar su tiempo.

Se lograron crear modelos que permiten automatizar el proceso de cálculo de cantidades de kg/ha de macro y micro nutrientes extraídos para los cultivos de **Maíz, Trigo, Arroz, Cebada, Sorgo Granífero, Soja, Girasol, Maní, Colza, Algodón (fibra), Algodón (semilla) Caña de azúcar, Remolacha Azucarera, Tabaco y Alfalfa**, asociando la variabilidad de rendimiento con la variabilidad de extracción de nutrientes, mejorando así la precisión de la agricultura que realizamos (Figura 4).

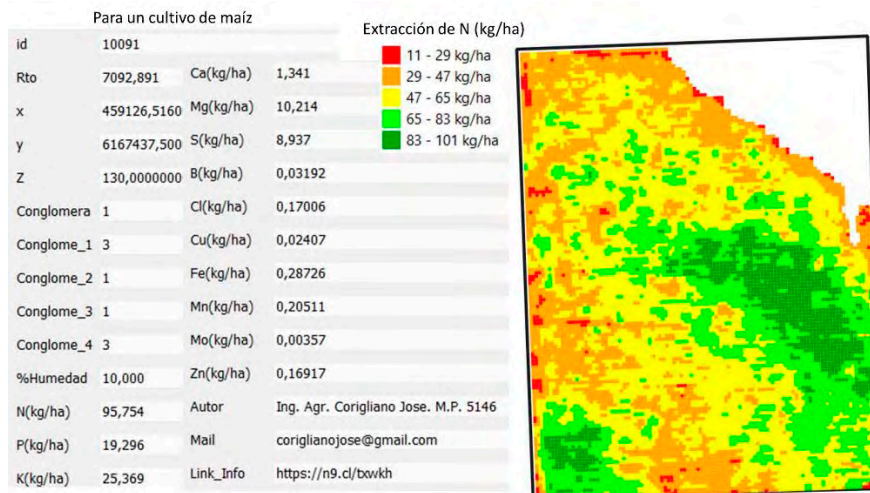


Figura 4: Resultado obtenido luego de ejecutado el modelo de extracción mineral, para un cultivo de Maíz con un rendimiento medido de 7092 kg/ha.

Se logró crear el modelo de balance de Nitrógeno para el cultivo de maíz de manera automatizada, permitiendo evaluar las posibles demandas nutricionales del cultivo según la oferta nutricional del ambiente en el que se encuentra, según el rendimiento objetivo a lograr. Este, ofrece una comparación de eficiencia del uso de los insumos de modo simple sobre el manejo del cultivo por ambientes respecto a un manejo homogéneo, a partir de un resultado económico comparativo (Figura 5).

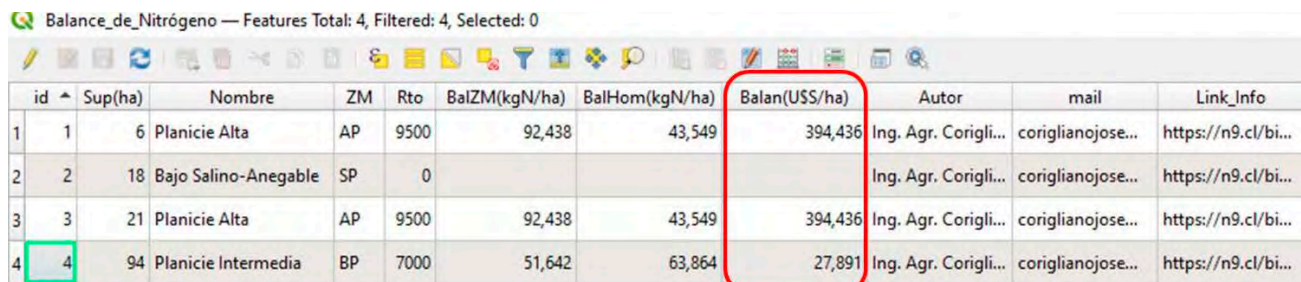


Figura 5: Resultado obtenido luego de realizada la ejecución del modelo y calculados los datos de entrada.

Conclusión

- La generación de los modelos de **extracción mineral para los cultivos y balance simplificado de nitrógeno para el cultivo de maíz**, permitieron una reducción de aproximada del tiempo total de generación de la información en el orden de las 10.000 veces respecto a la realización de estos procedimientos de manera manual. Permitiendo destinar el tiempo del técnico en el análisis de la información producida para la generación de los posibles esquemas de fertilización, y no en la obtención de la misma.

-Cabe destacar que, para generar un diagnóstico correcto, es necesaria la realización de relevamientos completos, responsables, correctos y con una visión agronómica completa del sistema, ya que, ignorar aspectos físicos, químicos y físico-químicos de los suelos puede desencadenar en resultados sesgados y recomendaciones deficientes.

-No existen nutrientes más o menos importantes en un sistema agro productivo, solamente existen nutrientes que limitan nuestra capacidad de producir, y nutrientes que no. Es de buen técnico asesor identificarlos y corregir estas restricciones.

Referencias

Cruzate, G y Casas R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. IAH. Vol 6. Junio 2012.

Cruzate, G y Casas R. 2017. Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16. IAH 28. Diciembre 2017.

ESPOSITO, G. P. 2011. Análisis de la variabilidad espacio- temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto (MEME). Tesis para optar por el grado de Doctor en ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Optimización de dosis de nitrógeno y densidad de plantas en el sudeste de Córdoba

Videla-Mensegue^{1*}, H., Caviglia, O.P.², Salafia¹, A. & Pietrantonio³, J.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Marcos Juárez, Laboulaye, Córdoba, Argentina. ² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos - CONICET, Ruta 11, Km. 10.5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. ³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Marcos Juárez, Bell Ville, Córdoba, Argentina.

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. *Para construir modelos de recomendación conjunta de fertilización con nitrógeno (N) y de densidad de plantas, para un determinado rendimiento esperado de maíz, es clave la optimización de ambos factores. El objetivo central fue determinar la cantidad de N requerido por planta (Npp) y el rendimiento por planta (RPP) para la combinación óptima de factores en el sudeste de Córdoba. Se realizaron ocho ensayos (campaña 2020/21) con diferentes dosis de N y densidades de plantas. El rendimiento promedio de los ensayos varió entre 7787 a 13530 kg ha⁻¹. La densidad óptima de plantas varió entre 40000 y 120000 pl ha⁻¹, mientras que la disponibilidad óptima de N varió entre 120 y 300 kg ha⁻¹. El RPP promedio fue 156 g pl⁻¹, mientras que la Npp promedio fue 3.51 g N pl⁻¹ variando un 33% y 59% entre sitios, respectivamente. En los sitios con antecesor soja el Npp fue 1.86 g N pl⁻¹, mientras que en los que tuvieron cultivo de invierno fue 5.17 g N pl⁻¹. Los valores de RPP fueron menos variables que los de Npp, lo que resulta promisorio para definir densidades de plantas a lograr para un determinado rendimiento esperado. La Npp presentó alta variabilidad entre los sitios evaluados con cierta relación con los cultivos antecesores. Los resultados obtenidos indican la necesidad de continuar estudiando los factores que gobiernan la variación de la Npp para ser utilizado como guía para definir dosis de fertilizante nitrogenado para la densidad de plantas decidida para un determinado rendimiento esperado.*

Palabras clave. *densidad de plantas, nitrógeno, maíz.*

Introducción

La brecha de rendimiento de maíz temprano (diferencia entre el rendimiento alcanzable solo limitado por agua y el obtenido en lotes de producción) en el sudeste de Córdoba es aproximadamente 39% (Beccari y Videla Mensague, 2018). Recientemente, se ha reportado que las variables de manejo que afectan de manera más importante el rendimiento de maíz temprano son la densidad de plantas y la disponibilidad de nitrógeno (N) y azufre (Vitantonio-Mazzini et al., 2020). Por lo tanto, para reducir la brecha de rendimiento es necesario disponer de modelos que permitan optimizar la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada para los genotipos más difundidos en la zona. Los modelos de respuesta a N suelen ser ajustados manteniendo constante la densidad de plantas y viceversa, sin embargo, se reconoce cada vez más la existencia de una combinación óptima de ambos factores que maximiza el rendimiento del cultivo para cada ambiente. En dicha combinación óptima es posible determinar la cantidad de N requerido por planta (Npp) y el rendimiento por planta (RPP), que pueden ser útiles para construir modelos de recomendación de fertilización y de densidad para un determinado rendimiento esperado en cada ambiente. Esto tendría un alto potencial para ser aplicado en el manejo zonas homogéneas dentro de lotes de producción. Los objetivos de este trabajo fueron: a) evaluar la respuesta del rendimiento de maíz a cambios en la disponibilidad de N y la densidad de plantas en ambientes contrastantes del sudeste de Córdoba, b) ajustar funciones polinomiales de respuesta combinada a la disponibilidad de N y a la densidad de plantas, y c) determinar Npp y RPP para la combinación óptima de disponibilidad de N y densidad de plantas.

Materiales y métodos

Área de estudio

La región sudeste de Córdoba abarca una amplia variedad de ambientes con un gradiente de productividad que se incrementa del sudeste hacia el centro-este de la provincia. En dicha transición se observan cambios en el régimen de precipitaciones y tipos de suelos (desde Haplustoles típicos y énticos hacia Argiudoles típicos). En la campaña 2020-21 se realizaron ocho ensayos en campos de productores cuyos detalles se presentan en Tabla 1.

Experimentos de campo

Los experimentos fueron realizados en macroparcelas divididas, con 2 repeticiones, en ambientes contrastantes del sudeste de Córdoba. Los factores evaluados fueron: disponibilidad de N (principal) y densidad de plantas (subparcela) resultando en un total de 16 tratamientos. Las disponibilidades N y densidades de plantas difirieron entre sitios. La disponibilidad de N se calculó como la cantidad de N disponible en el suelo a la siembra (0-60cm) más el N aportado por el fertilizante (urea). El rango de disponibilidad evaluado estuvo entre 73 y 375 kg ha⁻¹. La densidad de plantas, expresada como plantas logradas, varió entre 39000 a 122000 pl ha⁻¹. Las fechas de siembra fueron entre 01/09 a 10/10. La distancia entre líneas en todos los sitios fue 0.525 m y la fertilización fosforada fue entre 100 a 150 kg ha⁻¹ con fósforo monoamónico.

Análisis de datos

El efecto fijo de la disponibilidad N y la densidad de plantas sobre el rendimiento para cada sitio fue evaluado con ANAVA y las diferencias entre medias fueron comparadas mediante LSD de Fisher

($\alpha=0.05$). La respuesta del rendimiento a la disponibilidad de N y densidad de plantas fue evaluada ajustando una función cuadrática polinomial. El análisis de ANAVA y el ajuste de la función polinomial fue realizado con el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2011). A partir de la función polinomial se calculó la disponibilidad óptima agronómica (DOA) de N (DOAN) y la densidad de plantas óptima agronómica (DOAP) para cada sitio. Los cálculos de optimización fueron realizados con Solver de Excel®.

Tabla 1. Antecesor, híbridos y parámetros de suelo de los sitios de evaluación.

	Bell Ville	Santa Catalina A	Santa Catalina B	El Carmen	San Pedro	La Ramada	Ea. Vieja A	Ea. Vieja B
Antecesor	Soja	Soja	Soja	Soja	Trigo/Soja	Trigo/Soja	Avena cob.	Avena cob.
Híbrido	AX 7761	Dk 72-10	Dk 72-10	Next 22.6	Dk 72-70	Dk 72-10	Dk 72-70	Dk 72-70
Materia orgánica total (%)	2.42	2.76	2.23	2.04	-	2.52	-	-
Fósforo (ppm)	13.9	26.0	25.0	7.7	25.9	11.4	11.6	33.0

Resultados y discusión

Respuesta del rendimiento a la dosis de N y densidad de plantas

El rendimiento promedio de los ensayos varió entre 7787 a 13530 kg ha⁻¹, con valores mínimos de 1697 y máximos de 17795 kg ha⁻¹. La disponibilidad de N fue la variable con mayor impacto sobre el rendimiento, con efecto significativo en los ocho sitios ($p<0.0003$, Tabla 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En cuatro de los ocho sitios hubo efecto significativo de la densidad de plantas ($p<0.02$), mientras que en solo tres sitios hubo interacción significativa disponibilidad de N x densidad de plantas ($p<0.05$; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Las superficies de respuesta del efecto combinado de la densidad de plantas y la disponibilidad de N muestran diferencias notables entre sitios (Figura 1), aun cuando en varios sitios el genotipo utilizado fue el mismo y el rendimiento máximo alcanzado fue similar. La densidad óptima agronómica de plantas (DOAP) varió ampliamente entre sitios, siendo la mínima 40.000 y la máxima 122.000 pl ha⁻¹ (Tabla 2). La disponibilidad óptima agronómica de nitrógeno (DOAN) también varió en un amplio rango entre 120 y 300 kg ha⁻¹. El rendimiento en la DOA fue notablemente variable siendo 7682 kg ha⁻¹ el mínimo y 18869 kg ha⁻¹ el máximo. El rendimiento por planta (RPP) en la DOA promedio fue 156 g pl⁻¹ (± 51 g pl⁻¹) variando un 33% entre los híbridos y sitios evaluados. El N disponible por planta (Npp) promedio fue 3.51 g N pl⁻¹ (± 2.07 g N pl⁻¹). La variabilidad en Npp (59%) fue mucho más amplia que la de RPP. La Npp estuvo asociada con cultivo el antecesor ($p<0.01$), en los sitios con antecesor soja la Npp fue 1.86 g N pl⁻¹, mientras que los que tuvieron cultivo de invierno la Npp fue 5.17 g N pl⁻¹.

Tabla 2. Densidad óptima agronómica (DOA) de plantas (DOAP), Dosis óptima agronómica de N (DOAN), rendimiento en la DOA, rendimiento por planta en la DOA (RPP), disponibilidad de N planta (Npp) en la DOA. Se presentan los valores de p para los factores densidad (D), nitrógeno (N) y NxD para cada sitio. ns: no significativo.

	Bell Ville	Santa Catalina A	Santa Catalina B	El Carmen	San Pedro	La Ramada	Ea. Vieja A	Ea. Vieja B
DOAP (pl ha ⁻¹)	122 000	77 641	71 933	90 000	40 000	59 687	90 000	59 016
DOAN (kg ha ⁻¹)	259	171	128	120	290	300	300	300
Rendimiento a DOA (kg ha ⁻¹)	18 869	11 350	9 736	9 418	9 818	13 294	9 952	7 682
RPP DOE (g/pl)	155	146	135	105	245	223	111	130
Npp (g/pl)	2.12	2.20	1.78	1.33	7.24	5.03	3.33	5.08
Densidad (D)	<0.0001	<0.0001	<0.02	ns	ns	ns	<0.0001	ns
Nitrógeno (N)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001
NxD	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns

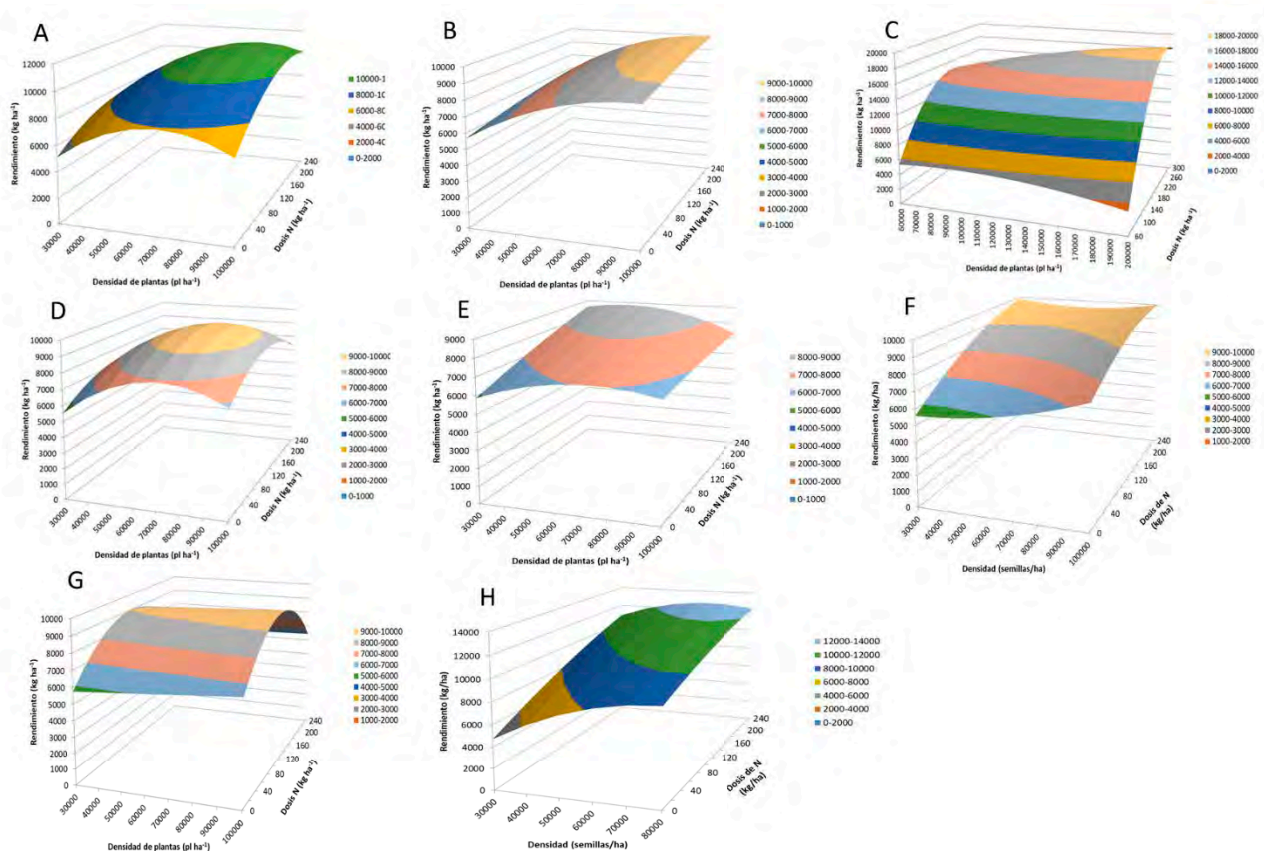


Figura 1. Superficies de respuesta mostrando el efecto de la dosis N y la densidad de plantas sobre el rendimiento en grano para Santa Catalina A (A), Estancia Vieja A (B), Bell Ville (C), Santa Catalina B (D), Estancia Vieja B (E), San Pedro (F), El Carmen (G) y La Ramada (H).

Los resultados obtenidos demuestran que, para cada ambiente, hubo una combinación de disponibilidad de N y densidad de plantas que permitió maximizar el rendimiento. Sin embargo, para ambientes con rendimientos máximos similares (e.g. Santa Catalina B y El Carmen con ca. 9000 kg ha⁻¹ de rendimiento máximo o Estancia Vieja A y San Pedro ca. 10000 kg ha⁻¹ de rendimiento máximo) las combinaciones de disponibilidad de N y de densidad de plantas para alcanzarlos resultaron muy diferentes. Por lo tanto, no puede afirmarse que existe una combinación de ambos factores para un determinado nivel de rendimiento, sino que las combinaciones óptimas parecen estar influenciadas por otros factores del ambiente entre los cuales podrían mencionarse la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo, la capacidad de mineralización de N de los suelos y la ocurrencia/éxito de control de adversidades, entre otros.

La obtención de un valor relativamente estable entre ambientes de RPP, con una variabilidad de 33% entre los ambientes y genotipos evaluados, resulta compatible con los resultados de Andrade et al. (1999), quienes reportan un número de granos por planta óptimo que permite maximizar el rendimiento por unidad de área para cualquier nivel de rendimiento considerado. Debido a que el RPP se compone por el número de granos por planta y por el peso de los granos, la variabilidad observada en nuestro trabajo en el RPP podría atribuirse a las variaciones en el peso de los granos y en menor medida a los diferentes genotipos utilizados. Estos resultados sugieren la posibilidad de utilizar el valor de RPP obtenido de 156 g pl⁻¹ para recomendar un rango de densidades para un rendimiento esperado en un ambiente dado. Así, para un rendimiento esperado de 6000 kg ha⁻¹, se podría recomendar una densidad lograda de ca. 38000 pl ha⁻¹, mientras que para un rendimiento de 10000 kg ha⁻¹ se podría recomendar una densidad lograda de ca. 64000 pl ha⁻¹.

La recomendación de la dosis de N para el rendimiento esperado en base al Npp encontrado debe realizarse con mucha precaución, en primer lugar porque la variación en Npp fue casi el doble de la encontrada para RPP, en segundo lugar porque la evidencia de que las variaciones en Npp son afectadas por el cultivo antecesor aún es insuficiente para realizar recomendaciones y en tercer lugar porque se ha establecido que la cantidad de N por planta requerido para alcanzar el máximo estatus nitrogenado varía según la densidad de plantas (Maltese et al., 2020), siendo más alto el valor de Npp para las densidades de plantas más bajas.

Resulta, en consecuencia, necesario aumentar el número de experimentos, la diversificación de ambientes y la respuesta de genotipos con caracteres de plasticidad contrastantes para mejorar los conocimientos de los factores que gobiernan la variabilidad del Npp. Asimismo, se considera necesario: i) evaluar los modelos generados a partir de la fuente de datos de este trabajo con datos independientes de las otras campañas agrícolas, ii) incluir aspectos económicos en la definición de dosis y densidad óptima y iii) evaluar la sensibilidad de los modelos generados a cambios en el rendimiento obtenido en relación al esperado.

Conclusiones

Se obtuvieron modelos polinomiales de respuesta combinada a la disponibilidad de N y a la densidad de plantas que permitieron obtener valores de Npp y RPP para el rendimiento máximo. Los valores de RPP fueron menos variables que los de Npp, lo que resulta promisorio para definir densidades de plantas a lograr para un determinado rendimiento esperado. La Npp presentó alta variabilidad entre los sitios evaluados con cierta relación con los cultivos antecesores. Los resultados obtenidos indican la necesidad de continuar estudiando los factores que gobiernan la variación de la Npp para ser utilizado como guía para definir dosis de fertilizante nitrogenado para la densidad de plantas decidida para un determinado rendimiento esperado.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren agradecer la colaboración de los productores y técnicos Mariano De Vergara, Pablo Chicco, Ricardo Carletti, Nicolás Marín Moreno, Pablo Cassol, flia. Prado y Pablo Cagnolo, Juan Silveyra, Ernesto Rasmussen, Carlos Ocampo, y Karen Orihuela por la colaboración para realizar los ensayos. También a los proyectos de INTA (2019-PE-E1-I011-001, 2019-PE-E2-I042-001 y 2019-PD-E2-I044-001) y PICT 2018-03584.

Referencias

- Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M. & Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39 (2), 453–459.
- Beccari, A., & Videla Mensegue, H., 2018. Brecha de rendimiento de maíz temprano y tardío en la región sudeste de Córdoba 49–53. *Actualización Técnica de Maíz*, INTA Marcos Juárez.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C.W., 2011. *InfoStat*.
- Maltese, N.E., Maddonni, G.A., Melchiori, R.J.M., Ferreyra, J.M. & Caviglia, O.P., 2020. Crop nitrogen status of early-and late-sown maize at different plant densities. *Field Crops Res.* 258, 107965.
- Vitantonio-Mazzini, L.N., Borrás, L., Garibaldi, L.A., Pérez, D.H., Gallo, S., & Gambin, B.L., 2020. Management options for reducing maize yield gaps in contrasting sowing dates. *Field Crops Research* 251. doi.org: 10.1016/j.fcr.2020.107779.

META, nuevo método para la comparación estadística de zonas en agricultura de precisión

Córdoba M., Paccioretti P., Balzarini M.

¹Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola (UFyMA), INTA – CONICET. Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La evaluación del proceso de delimitación de zonas de manejo (ZM) requiere de la comparación estadística de medias de zonas para rendimiento y otras variables georreferenciadas medidas intensivamente. Los modelos lineales con correlación espacial pueden usarse para comparar medias, pero su demanda computacional es alta en escenarios de muchos datos. Además, la especificación del modelo de correlación espacial requiere conocimientos estadísticos que dificultan su uso. En este trabajo desarrollamos un método, denominado META, que permite la comparación de dos conjuntos de datos espaciales sin necesidad de estimar correlación. META comprende tres pasos: 1) muestreo aleatorio de pares de celdas desde una grilla regular con varios datos por celda; las celdas del par provienen una desde cada zona a comparar, 2) ajuste de un modelo de ANOVA con efecto aleatorio de celda y estimación de medias ajustadas para cada zona, y 3) metaanálisis del cociente de medias, obtenido en cada ANOVA, con estimación del efecto global de ZM por intervalo de confianza. El protocolo propuesto se implementó en una base de datos de un lote agrícola zonificado con variables de suelo y rendimientos medidas intensivamente. La comparación de medias de rendimientos obtenidos luego de la zonificación mostró diferencias estadísticas entre las ZM. Cuando la comparación se realizó sobre los mismos datos luego de eliminar el efecto de ZM, el método no mostró diferencias significativas. META, permite su implementación rápida en bases de datos de gran dimensión y puede utilizarse también para comparar franjas que reciben tratamientos variables en ensayos sin repeticiones.

Palabras clave. Modelos Lineales Mixtos, Autocorrelación espacial, Metaanálisis, Comparación de medias.

Introducción

La delimitación de zonas homogéneas dentro del lote es un paso importante en la evolución del manejo uniforme del lote al manejo sitio-específico del mismo en agricultura de precisión (AP). En este proceso es importante determinar el número óptimo de zonas potenciales de manejo (ZM) que describe suficientemente bien la variabilidad espacial de múltiples variables medidas para la ambientación. La obtención de zonas espacialmente estructuradas y con diferencias agronómicas significativas, tanto en las variables usadas para la zonificación como en futuros rendimientos, orienta el manejo diferencial. La determinación del número de zonas suele realizarse de manera utilizando el conocimiento “experto”. Otra estrategia consiste en utilizar índices estadísticos como el coeficiente de partición y entropía de la clasificación (FPI, del inglés fuzziness performance index y NCE, del inglés normalized classification entropy) o los índices de Xie-Beni (Xie and Beni, 1991) o Fukuyama-Sugeno (Fukuyama, 1989) solos o combinados (Córdoba et al., 2016). La determinación de diferencias estadísticamente significativas entre las ZM también orienta la selección del número de zonas en que será dividido el lote. Sin embargo, la comparación estadística de medias de zona debe realizarse comprendiendo que gran parte de la información disponible en el conjunto de datos geoposicionados no es independiente y por tanto es necesario realizar la comparación bajo modelos/métodos que incluyan la correlación espacial. Las alternativas geoestadísticas incluyen la comparación de la varianza dentro de las zonas en relación con la varianza total del lote, ambas estimadas vía kriging, y la construcción de intervalos de confianza para la diferencia de media usando esta varianza kriging corregida por correlación espacial (Fridgen et al., 2000; Taylor et al., 2007). El uso de Modelos Lineales Mixtos (West et al., 2014) donde se especifica un modelo de correlación espacial en los errores también ha permitido evaluar zonas en escenarios de cientos de datos, pero su estimación se complica computacionales con miles de datos. En este trabajo se presenta un nuevo método de análisis para comprar medias de zonas dentro del lote que está basado en muestreos aleatorios repetidos, el ajuste de ANOVA más simples y el metaanálisis de los resultados obtenidos a través de los muestreos. La aplicación del protocolo propuesto se ilustra y valida en una base de datos de un lote bajo AP en el cual se evalúan las diferencias en rendimiento entre las ZM.

Materiales y Métodos

Datos

La base de datos corresponde a un lote agrícola ubicado en la pampa subhúmeda con una superficie de 98 ha. Los datos usados fueron provistos gentilmente por el Dr. Gabriel Espósito de la Cátedra de Cereales de la Universidad Nacional de Rio Cuarto. Se recopilaron datos de mapas de rendimiento de cultivo de soja (2009, 2011 y 2013), valores de NDVI correspondiente al año 2017 y datos de elevación del terreno. Para cada variable se realizó una interpolación espacial utilizando una grilla común de 10×10m. Posteriormente con los datos de la grilla se procedió a realizar una delimitación de ZM utilizando el algoritmo KM-sPC (Córdoba et al., 2013) incorporado en el software FASTMAPPING (Paccioretti et al., 2020). Los resultados de la clasificación fueron suavizados mediante un filtro de la mediana para disminuir el nivel de fragmentación de la clasificación, generando zonas más compactas. Para evaluar las diferencias entre las ZM se utilizaron datos de un mapa de rendimiento de soja que no fue usado en la zonificación. Los datos del monitor de rendimiento fueron previamente procesados para eliminar datos extremos siguiendo el protocolo de Vega et al. (2019).

Protocolo propuesto para la comparación de zonas: META

La implementación de META involucra las siguientes etapas:

- I. Utilizando como input la base de datos del mapa soja se generó una grilla regular de dimensión 10×10 m. Este valor puede redefinirse en función a la densidad de puntos georreferenciados de la capa de información que será usada para comparar las zonas. La grilla se superpone a los

datos puntuales del mapa de rendimiento para asociar a cada sitio georreferenciado un identificador de celda (ID). Es deseable que la dimensión de la celda permita alojar al menos cuatro puntos de datos.

- II. Se eliminan celdas vacías o que tengan un número de puntos menores al establecido por el usuario (por defecto 4 puntos), también aquellas que involucren sitios que tengan asignado más de una ZM.
- III. Considerando el número disponible de celdas y en función al número de repeticiones que serán requeridas para cada ANOVA (Rep=15) se determina la cantidad de ANOVA que pueden ser ajustados. El número 15 para la cantidad de pares muestrales que conforman cada muestra obtenida por muestreo aleatorio permite trabajar con potencia mayor al 75% para detectar diferencias del 10% de la media entre zonas. Luego de seleccionar en forma aleatoria las celdas (15 en cada zona) se ajusta un ANOVA heterocedástico con efecto fijo de zona y efecto aleatorio de celda. Para cada ANOVA se obtienen las medias de zonas y el o los cocientes de medias de zona para la variable de validación (en nuestro caso rendimiento de soja). La aleatoriedad del muestreo rompe dependencias espaciales entre celdas y el efecto aleatorio de celda permite inducir correlaciones entre puntos de la misma celda.
- IV. El procedimiento muestreo aleatorio-ANOVA se repita 15 veces. Esta información es usada como input de un metaanálisis del efecto global del cociente de medias. Si el intervalo de confianza del cociente de medias es 1, se inferirá la igualdad estadística entre zonas.

La evaluación del método propuesto fue realizada en dos escenarios, con y sin diferencias en rendimiento entre las ZM. Para ello el metaanálisis se llevó a cabo utilizando como variable respuesta el rendimiento medido (R_{to}) y el rendimiento que surge de un modelo que elimina el efecto de la zona (R_{to_h}), *i.e* a cada dato de rendimiento se le descontó la media de zona. Los análisis fueron realizados en el software R (R Core Team, 2021).

Resultados

En la Figura 1 se presenta el mapa con las zonas delimitadas en el lote bajo estudio. Los valores promedio de la variable R_{to} para las zonas 1 (zona más alta), 2 (altitud intermedia) y 3 (bajo) fueron de 3792, 4157 y 4444 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente. Para la variable R_{to_h} el rendimiento promedio en las zonas 1 y 3 fue de 4175 $kg\ ha^{-1}$ y para la zona 2 fue 4152 $kg\ ha^{-1}$, es decir que luego del ajuste de los datos de rendimiento eliminando el efecto zona los rendimientos medios de cada zona fueron prácticamente los mismos.

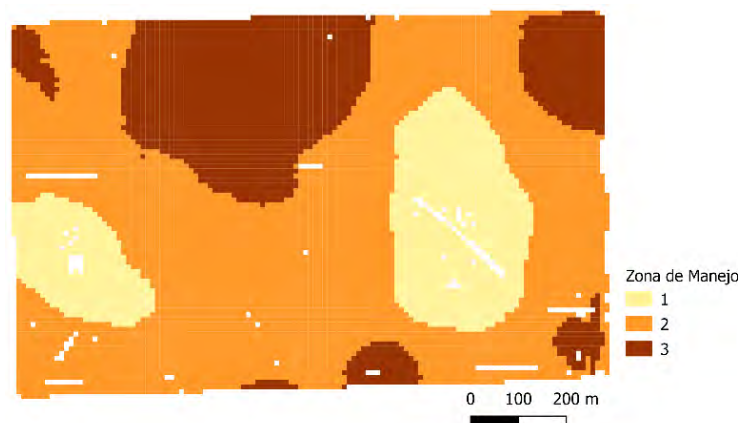


Figura 1. Mapa de las zonas potenciales de manejo delimitadas a partir de variables de rendimiento, topografía y NDVI.

En la Figura 2 se presenta el *forest plot* resultante del metaanálisis. La columna “Modelo” identifica cada uno de los resultados de los ANOVA individuales que se incluyeron en el metaanálisis. Los siguientes bloques corresponden a información de las dos zonas comparadas. Para cada una de ellas se incluye el tamaño de la muestra (*n*) con la que se ajustó cada ANOVA (15 repeticiones), la media y el desvío estándar (DE) ajustados. La columna “Cociente de Medias” permite visualizar las relaciones entre las medias de zona en cada Modelo mediante un intervalo de confianza para el cociente de medias. Los valores se centran en el valor uno, lo que implicaría “no efecto”, es decir las medias comparadas no son estadísticamente diferentes. El rombo representa el efecto global inferido desde el metaanálisis. El centro es el valor del efecto global y el ancho representa el intervalo de confianza a través de los Modelos. La columna CM contiene la estimación del cociente de medias, IC (95%) representa los valores del intervalo de confianza para las estimaciones de los CM y POND representa la ponderación o peso que se le asigna a cada modelo en el resultado global (cuanto más estrecho sea el intervalo de confianza, mayor será el peso del ANOVA al que hace referencia). En el caso de ilustración, se comparan los rendimientos del alto (Zona 1) y del bajo (Zona 3) del lote y se observa que, en todos los análisis individuales, el CM se sitúa a la izquierda de la línea vertical o por debajo de 1, indicando que las medias de la Zona 1 fueron menores a la Zona 3. En algunos ANOVA estas diferencias no fueron significativas como puede observarse en los modelos 6 y 14 donde los IC contienen el uno. Sin embargo, el efecto global muestra una diferencia estadísticamente significativa entre ambas zonas. El CM global es 0.86, es decir la Zona 1 tiene un rendimiento promedio del cultivo de soja que equivale a un 86% del cosechado en Zona 3. El IC 95% sugiere que el alto rendiría menos que el bajo (entre un 84 y un 88% del rendimiento del bajo)

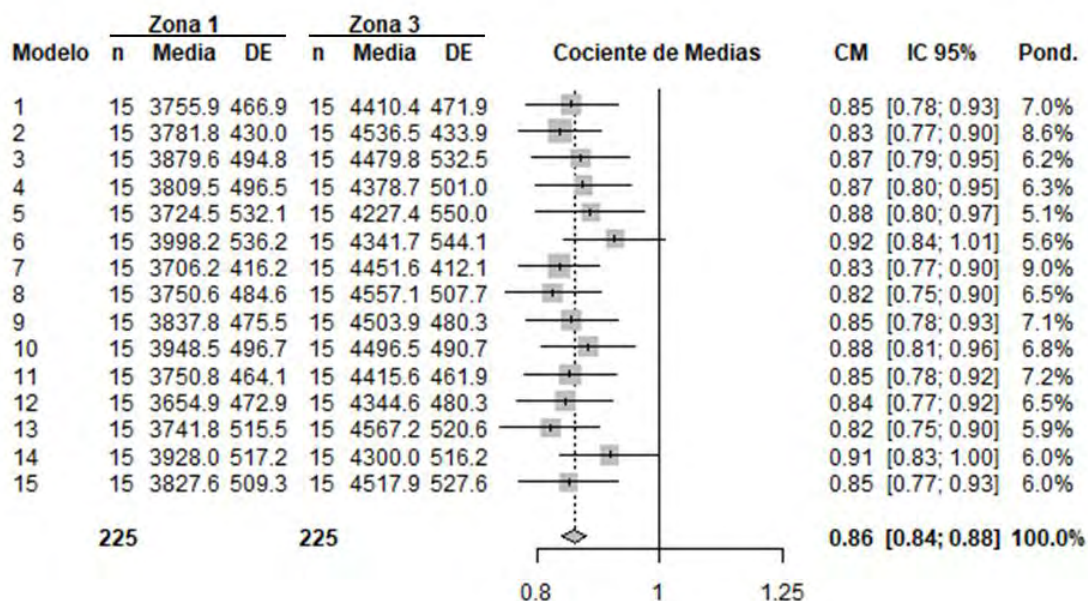


Figura 2. Forest plot resultante del metaanálisis utilizado para evaluar las diferencias entre zonas de manejo. Se presenta el tamaño de la muestra (*n*), media y desvío estándar de cada zona, así como el cociente de medias (CM) su intervalo de confianza y peso asignado de cada Modelo al resultado global (Pond.) del análisis.

En la Tabla 1 se presentan los cocientes de las medias de cada comparación de pares de ZM, los intervalos de confianza de las estimaciones de estos cocientes de medias y la significancia estadística de cada comparación. Para la variable Rto se observaron diferencias significativas entre todas las ZM. Las mayores diferencias se encontraron entre la zona 1 vs. 3 (14%), seguido por la 1 vs. 2 (8%) y 2 vs. 3 (7%). Para la variable Rto_h no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ninguna de las ZM. Este resultado muestra que el protocolo propuesto permite detectar diferencias y que no detecta diferencias cuando la zonificación no impacta en la variable de análisis.

Tabla 1. Cocientes entre medias de zonas de manejo (ZM), intervalos de confianza y p-valor para valores de rendimiento con efecto zona (Rto) y valores de rendimiento sin efecto zona (Rto_h).

Variable	Comparación entre ZPM	Cociente entre Medias	Intervalo de Confianza (95 %)	p-valor
Rto	1 vs. 2	0.92	[0.90; 0.94]	<0.0001
	1 vs. 3	0.86	[0.84; 0.88]	<0.0001
	2 vs. 3	0.93	[0.91; 0.95]	<0.0001
Rto_h	1 vs. 2	1.02	[0.99; 1.04]	0.1481
	1 vs. 3	1.00	[0.98; 1.02]	0.7875
	2 vs. 3	0.98	[0.97; 1.00]	0.2466

Conclusiones

El método propuesto para la comparación de medias de datos georreferenciados fue implementado rápidamente en una base de datos de más de 35000 datos. Detectó diferencias entre zonas y no generó falsos positivos cuando no existían diferencias. Puede utilizarse no solo para la comparación de medias de ZM sino también para la evaluación de tratamientos en ensayos realizados en franjas o sectores del lote de gran dimensión.

Referencias

- Córdoba, M., C. Bruno, J. Costa, and M. Balzarini. 2013. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Comput. Electron. Agric.* 97: 6–14. doi: 10.1016/j.compag.2013.05.009.
- Córdoba, M.A., C.I. Bruno, J.L. Costa, N.R. Peralta, and M.G. Balzarini. 2016. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosyst. Eng.* 143. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.008.
- Fridgen, J., N. Kitchen, and K.A. Sudduth. 2000. Variability of soil and landscape attributes within sub-field management zones. In: P.C. Robert, R.H. Rust, W.E.L., editor, *Precision Agriculture: Proc. 5th Int. Conf. on Precision Agriculture*, ASA, Madison, WI. p. 16
- Fukuyama, Y. 1989. A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-mean method. *5th Fuzzy Syst. Symp.* p. 247–250
- Paccioretti, P., M. Córdoba, and M. Balzarini. 2020. FastMapping: Software to create field maps and identify management zones in precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 175: 105556. doi: 10.1016/j.compag.2020.105556.
- R Core Team. 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Taylor, J.A., A.B. McBratney, and B.M. Whelan. 2007. Establishing Management Classes for Broadacre Agricultural Production. *Agron. J.* 99: 1366–1376. doi: 10.2134/agronj2007.0070.
- Vega, A., M. Córdoba, M. Castro-Franco, and M. Balzarini. 2019. Protocol for automating error removal from yield maps. *Precis. Agric.*: 1–15.
- West, B.T., K.B. Welch, and A.T. Galecki. 2014. *Linear mixed models: a practical guide using statistical software*. CRC Press.
- Xie, X.L., and G. Beni. 1991. A validity measure for fuzzy clustering. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 13(8): 841–847. doi: 10.1109/34.85677.

Índice de Digitalização de Sojicultores Brasileiros

Délis Moletta Dalbem¹, Telmo Jorge Amado², Thalia Alves Leão Glória³, José Alan Acosta⁴

¹Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil; delisdalbem7@gmail.com

²Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil; proftelmoamado@gmail.com

³Drakkar Solos Consultoria, Santa Maria, 97105-330, RS, Brasil; thalia@drakkar.com.br

⁴Drakkar Solos Consultoria, Santa Maria, 97105-330, RS, Brasil; alan@drakkar.com.br

**Trabalho apresentado a
Segundo Congresso Latino-Americano de Agricultura de Precisão
(CLAP2022)**

31 de março e 1º de abril de 2022 Manfredi , Córdoba, Argentina

Resumo

Com o crescente aumento populacional e a demanda por alimentos, torna-se cada vez maior a necessidade de aumentar a produção agrícola em um mesmo espaço produtivo ou com aumentos pouco expressivos de áreas cultivadas. Para isso, surge a indispensabilidade de utilizar novas tecnologias para ampliar a produtividade nas áreas já cultivadas. Dessa forma, o surgimento das técnicas de Agricultura de Precisão e novas tecnologias digitais tem contribuído expressivamente para tornar os sistemas produtivos mais eficientes. Em contrapartida, junto com a tormenta de inovações também se aumentaram as assincronias existentes entre as tecnologias existentes e grau de preparo dos produtores rurais. Essa discrepância resulta em mal uso das tecnologias e consequentemente baixa aderência, uma vez que altos investimentos resultam em baixos retornos. Sendo assim, este trabalho objetivou desenvolver uma plataforma digital que visa diagnosticar o nível de tecnologia e digitalização dos produtores de soja de todo Brasil, visando indicar caminhos sólidos rumo a adoção de tecnologias dentro das propriedades agrícolas. Logo, o produtor rural tem em mãos as orientações que respeitem a sua realidade dentro do cenário produtivo e que indiquem caminhos com menores riscos de insucesso.

Palavras chave

Digitalização; Tecnologias; Agricultura; Soja; Plataforma Digital;

Introdução

A agricultura tem passado por intensos desafios, principalmente relacionado ao aumento de produção agrícola sem ampliar significativamente a área plantada, com isso torna-se premente o uso cada vez mais intenso de novas tecnologias para permitir os ganhos de produtividade de forma sustentável. Nesse contexto, as técnicas e metodologias de Agricultura de Precisão (AP) têm colaborado para sistemas produtivos mais eficientes. Além disso, um novo fator de produção, segundo Massruhá et al (2020), trata-se da transformação digital, uma nova abordagem em que tecnologias de informação e comunicação desempenham um papel chave na transformação estratégica, da estrutura, da cultura e dos processos das organizações, utilizando o alcance e o poder da internet. Segundo Prins (2020), a Covid-19 está direcionando a transformação de dados agrícolas em três aspectos: 1) aumento da digitalização; 2) aumento da colaboração digital; e 3) visibilidade, principalmente devido às disrupções na cadeia de valor, que tornam o planejamento uma ferramenta fundamental no processo de suprimento de produtos agrícolas. Algumas tecnologias apontadas como críticas na transformação digital são: computação em nuvem, internet das coisas, mídias sociais, mobilidade, Big Data e ciência de dados, inteligência artificial, robótica, conectividade ubíqua, aprendizado de máquina, gêmeos digitais (digital twins, em inglês) e automação (Massruhá et al, 2020). Atualmente, os produtores rurais têm recebido o que os especialistas chamam de "tormenta de inovações" (Markestrat, 2020), na sua maioria, oferecendo ganhos de produtividade, eficiência no uso de insumos ou redução de custos. Entretanto, essas inovações combinadas com uma série de camadas de informações, tornam-se tecnologicamente inviáveis quando instaladas em momento inoportuno, acabando por serem rejeitadas, mal executadas ou caindo no desuso pela falta de eficiência ou retorno inicialmente previsto. Isto ocorre devido a falta de um processo decisório seletivo adequado alinhado com o nível tecnológico e o grau de informação que os produtores têm sobre tecnologias de Agricultura 4.0, levando a altos investimentos com baixo ou nenhum ganho de produtividade, eficiência ou redução de custos. Portanto, existe uma assincronia entre soluções tecnológicas muito avançadas como o uso de drones, robótica, sensoriamento de cultivos, plataformas digitais e o grau de preparo dos produtores rurais em absorver e incorporar essas inovações na rotina diária de suas atividades. Para isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta de diagnóstico do índice de digitalização dos sojicultores brasileiros, e assim orientá-los para o caminho de transformação digital de suas fazendas.

Metodología

Com o objetivo de realizar um diagnóstico do nível de digitalização dos sojicultores brasileiros foi desenvolvida a ferramenta chamada de Índice de Digitalização e Tecnologias (IDT). Este é uma ferramenta web que por meio de um formulário o respondente tem suas respostas convertidas em escala numérica pela escala Likert. A pesquisa está sendo realizada no Brasil para produtores de soja. Até o momento foram realizados 241 diagnósticos distribuídos nos estados de Bahia, Maranhão, Santa Catarina, São Paulo, Goiás, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Rio Grande do Sul, Distrito Federal, Minas Gerais, Piauí e Roraima.

Resultados

A amostra representa produtores de soja das diferentes regiões do país, no qual o perfil dos respondentes, em sua maioria, apresentam-se caracterizados por extensão de terra até 500 hectares (44%), sem sistemas de irrigação (84,6%) e produtores de sementes (87,9%), conforme Tabela 1.

Tabela 1 . Detalhamento do perfil dos respondentes do IDT.

Área da Propriedade	0 a 500 hectares	500 a 1000 hectares	1000 a 3000 hectares	Acima de 3000 hectares
	44,40%	17,80%	21,80%	16,20%
Possui Irrigação?	Sem Irrigação	Sim, <50% da área	Sim, > 50% da área	
	84,60%	11,60%	3,70%	
É produtor de sementes?	Sim	Não		
	87,90%	12,10%		

Analisando inicialmente o acesso a internet e o uso de smartphone por parte dos respondentes, podemos observar na Figura 1 que a internet já atinge 75,1% dos respondentes, e destes, 75,5% utilizam smartphone para a gestão da fazenda, além de reservar mais de 5 horas semanais para navegação na internet (72,6%).



Figura 1 . Dados de acesso a internet, uso de smartphone e tempo de navegação na internet dos respondentes do IDT.

Segundo Broto (2021), o controle da taxa de aumento da produção é o principal indicador agrícola e 58,9 % dos produtores brasileiros respondentes ainda não possuem um registro digital da produtividade conforme Figura 2. O registro de produtividade média ou rendimento médio é a medida do desempenho econômico de determinada cultura agrícola (CONAB, 2017) e compõe uma informação estratégica do Big Data de fazendas. Tratando-se de dados, 39,4% dos respondentes não possui uma backup de dados digitais da propriedade e 43,6% não possuem armazenamento de dados na nuvem (Figura 2), demonstrando a limitação de processos de composição de Big Data e ciência de dados.



Figura 2 . Dados de registro digital de produtividade, backup e armazenamento de dados na nuvem respondentes do IDT.

Se tratando do uso de tecnologias 4.0, podemos observar na Figura 3 a comparação entre uso das tecnologias disponíveis no mercado para os produtores de soja. Analisando a alocação temporal das tecnologias, o mapa de produtividade foi a tecnologia pioneira de AP que segundo Manfio et. al (2019)

é a principal ferramenta para a compreensão da variabilidade da unidade de massa ou de gestão a partir de técnicas de informação. Ainda, podemos observar que 41,10% dos respondentes não possuem a tecnologia e 12% possuem, mas não utilizam. Posteriormente a amostragem georreferenciada e mapas de fertilidade do solo são adotadas por 64,70% dos respondentes. A tecnologia de piloto automático, por sua vez, é utilizada por 71,80% dos respondentes, e isso se deve ao monitoramento operacional dos veículos agrícolas. O sistema Real Time Kinematic (RTK) é um método relativo de posicionamento em tempo real (Alves,2021) com alta acurácia, porém ainda no processo de aceitação visto que 66,40% não possuem essa tecnologia. As taxas variadas são o princípio básico do manejo de agricultura de precisão, e nesse sentido ainda há desafios na utilização dessa tecnologia, onde 32,40% dos respondentes ainda não possuem taxa variada de fertilizantes, 64,70% não possuem taxa variada de sementes e 66,40% não possuem taxa variada de defensivos. Essas tecnologias são as principais responsáveis pela redução de uso de insumos, aumento de produtividade e otimização dos recursos naturais. A crescente transformação digital da agricultura impulsiona a demanda por soluções que integrem informações de gestão da propriedade, da produção e da comercialização e que estejam disponíveis para acesso ao agricultor (Bolfé et. al, 2020). Nesse sentido podemos verificar que a adoção e utilização de softwares ainda é baixa dentre os respondentes, em que apenas 37,8% utilizam software de gestão financeira, 16,60% software de gestão de pessoas e 19,50% software de gestão de máquinas.



Figura 3 . Mensuração do uso de tecnologia 4.0 dos respondentes do IDT.

Conclusões

Os dados do trabalho permitem uma visão numérica demonstrando que a ausência de conhecimento por parte dos produtores e colaboradores das fazendas, restringe o uso efetivo das tecnologias disponíveis, que por muitas vezes o produtor possui e não utiliza. Como o avanço do número de respondentes pretende-se que aumente a acurácia do números e que avaliações estaduais e regionais possam ser realizadas para orientação de produtores, instituições e consultores dos pontos a serem melhorados dentro da transformação digital do Agro.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Projeto Aquarius e Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) pelo apoio e trabalho colaborativo para o desenvolvimento do Índice de Digitalização e Tecnologias - IDT.

Referências

- Alves, I. S. L.(2021). Sistema GNSS-RTK de baixo custo em veículos aéreos não tripulados para aplicações na agricultura. Dissertação Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2021.
- Bolfe et. al (2020). Agricultura Digital no Brasil: Tendências, desafios e oportunidades. Embrapa Informática Agropecuária, 2020.
- Broto (2021). Confira os 6 principais indicadores agrícolas para acompanhar em sua fazenda. Disponível em: <https://blog.broto.com.br/principais-indicadores-agricolas/>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- Conab, 2017. A produtividade da soja: análise e perspectivas. Compêndio de estudos Conab, V.10, 2017
- Prins, R. (2020). 3 ways COVID-19 is pushing Ag data transformation. 2020. Disponível em: <https://www.precisionag.com/digital-farming/3-ways-covid-19-is-pushing-ag-data-transformation/>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- Manfio E. S., Santi A. L., Cocco L. B., et. al, (2019). Utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo. 5º Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas precisas (pp 90-98).
- Massruhá S. M. F. S, Leite M. A. A., Junior A. L., Evangelista, S. R. M.(2020). A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. *Agricultura Digital: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nas Cadeias Produtivas*, 21-45, 2020.
- Markestrat (2020). Digital Transformation inAgribusiness: Challenges and Opportunities within the Value Chain. *Markestrat Agrobusiness, Analytical Report - Public Access Document*, 2020.

Detección temprana de antracnosis en almendro mediante parámetros espectrales

Ana I de Castro¹, Jorge Torres Sánchez², José M. Peña³, María Lovera⁴, Fco. Manuel Jiménez Brenes², Octavio Arquero⁴, Francisca López Granados²

¹Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, CSIC, Madrid (España). ²Grupo Imaping, Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC, Avda. Menéndez Pidal, s/n, 14004-Córdoba (España). ³Grupo tec4AGRO, Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC, Madrid (España). ⁴Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro Alameda del Obispo, Córdoba (España)

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

*El almendro es un cultivo típicamente mediterráneo y representa en España el segundo cultivo frutal en extensión después del olivar. Sin embargo, los rendimientos medios obtenidos son notoriamente inferiores a los de otros países con mayores producciones debidas principalmente a la selección de condiciones óptimas de cultivo, la tecnificación de las plantaciones y el control de la sanidad vegetal. Buscando mejorar los rendimientos obtenidos, el almendro está experimentando un amplio proceso de transformación hacia nuevas plantaciones intensivas, con elevado grado de tecnificación y en regadío, y de expansión a zonas no tradicionales que están propiciando la aparición y/o mayor incidencia de enfermedades, en especial de la antracnosis causada por *Colletotrichum spp*, que puede provocar pérdidas de cosecha de hasta el 70%. Dado el carácter emergente de esta enfermedad existen importantes lagunas en su conocimiento y resulta necesario avanzar en el desarrollo de métodos rápidos y eficientes de detección, siendo la teledetección con información hiperespectral y las técnicas de inteligencia artificial muy adecuadas en la identificación de individuos infectados, incluso antes de la presencia de síntomas.*

En este trabajo se muestra el potencial de la información hiperespectral en la detección, en condiciones de campo, de almendros con síntomas de antracnosis en estados iniciales de desarrollo y de almendros infectados y visualmente asintomáticos. Para ello, se utilizó un espectro-radiómetro de campo ASD FieldSpec HandHeld2 (Analytical Spectral Devices Inc., Co. USA), que adquiere información en el rango 325 - 1075 nm con una resolución de 1 nm, para tomar datos de árboles: a) infectados asintomáticos, b) infectados sintomáticos con diferentes niveles de desarrollo de la enfermedad, y c) sanos, en una parcela situada en Villamanrique de la Condesa (Sevilla, Andalucía, España). El análisis de los datos se llevó a cabo mediante un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) y técnicas de aprendizaje automático (machine learning), concretamente el modelo de redes neuronales Perceptrón Multicapa (MLP), de tipología back-propagation que utiliza información de los errores generados para calcular los pesos asociados a cada conexión y minimizar los errores cuadráticos de la red. Para los análisis se utilizaron los programas JMP 14.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC) y SPSS 28 (IBM® SPSS® Statistics, NY, USA).

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Los resultados probaron la posibilidad de discriminar almendros infectados por antracnosis en estados iniciales de la enfermedad, almendros asintomáticos y árboles sanos, e identificaron las bandas espectrales óptimas para permitir llevar a cabo la discriminación, permitiendo así escalar este objetivo hacia la utilización de plataformas aéreas con sensores multi y/o hiperspectrales. Esta metodología proporcionaría una herramienta útil para la identificación de los árboles infectados antes de que los síntomas sean visibles al ojo humano, permitiendo la aplicación de técnicas de control localizadas y mitigar así el desarrollo en el árbol y el avance geográfico de la enfermedad.

Palabras clave. enfermedades emergentes, análisis hiperspectral, teledetección, aprendizaje automático, redes neuronales

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN CULTIVOS EN AMBIENTES CON DIFERENCIA EN EL POTENCIAL DE HUMEDAD

Ing. Agr. M. Sc. Mauricio Farrell^{1,2}; Ing. Agr. M. Sc. Federico Kent^{1,3}

¹EEA Anguil INTA “G Covas” ²Facultad Agronomía UNLPAM ³AER Anguil EEA Anguil INTA “ G. Covas” Anguil, Argentina

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. La demanda creciente en el mundo por alimentos y bioenergía ha promovido un desplazamiento de la agricultura hacia sitios menos productivos, provocando una reducción constante de los periodos de captación y reposición hídrica. El uso de balances hídricos permite analizar las ofertas y demandas, exigiendo un conocimiento de todas las variables hídricas que lo integran. La parcela experimental se ubicó al NE de la Provincia de La Pampa durante las campañas agrícolas 2012-13, 2013-14 y 2014-15 con una rotación de maíz (*Zea mays*), girasol (*Heliantus annuus*) y sorgo (*Sorghun bicolor*). En el sitio se delimitaron distintos ambientes en función del potencial de humedad (PH) a partir de datos morfo-hidrológico derivados de un modelo digital de elevaciones. En el mapa de PH quedaron definidos 3 ambientes, clasificados como ambiente 1 de PH bajo, ambiente 2 con un PH medio y ambiente 3 con PH alto. En cada ambiente se estableció una transecta de 26 puntos de muestreo donde se obtuvo el contenido de agua útil del suelo (AUS) hasta los 140 cm en intervalos cada 20 cm en los momentos de estado de barbecho, emergencia-crecimiento, floración-llenado de granos y senescencia de los cultivos. Se estimaron las ofertas y demandas diarias de agua mediante un balance hidrológico a través de la confección de la serie de evapotranspiración ajustada al cultivo (ETaj). A continuación, se determinó el consumo de agua por parte del cultivo a partir del cual se determinó la eficiencia del uso del agua (EUA de los cultivos en cada ambiente. Los valores de AUS acumulados, en los estadios emergencia-crecimiento, fueron mayores para el ambiente 3 en las tres campañas evaluadas respecto a los otros ambientes. En la medida que el cultivo avanza con la extracción de agua, y sumado a nulas precipitaciones, en los ambientes 1 y 2 se produce un mayor ($p < 0.05$) descenso de los contenidos de AUS respecto al ambiente 3. En este último ambiente, de menor altimetría, los mayores contenidos de AUS son atribuidos al aporte de la napa freática que se encuentra a 50 cm de profundidad. La EUA para el maíz varió entre 8 y 9.8 kg mm⁻¹ sin diferencias ($p > 0.05$) entre ambientes. En girasol, la EUA varió entre 5.9 y 7.3 kg mm⁻¹. En este caso el ambiente 2 mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al ambiente 1 y 3. En cuanto al cultivo de sorgo, la EUA varió entre 13,5, 17,9 y 12.7 kg mm⁻¹ para los ambientes 1, 2 y 3 respectivamente mostrando diferencias significativas entre ellos ($p < 0.05$). Se pretendió con este trabajo contribuir a la mejora en la determinación de la dinámica hídrica, lo que aportara resultados precisos en tiempo y forma a la toma de decisiones referido al manejo aplicado a diferentes cultivos en la Región Subhúmeda y Semiárida Pampeana.

Palabras clave: Potencial de humedad, cultivos, evapotranspiración, dinámica hídrica.

UTILIZACIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES ESPACIALES COMO INDICADORES DE AMBIENTACIÓN PARA CULTIVO DE CEBADA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

Ferrero C, Gili A, Aimar D, Abascal S.

Facultad de Agronomía, UNLPam. Ruta 35 - Km. 334 CC 300,
Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. La utilización de índices espectrales es una práctica difundida para la ambientación de lotes y recomendación de fertilización de cultivos. El análisis multivariado suele ser muy útil para estimar el grado de asociación entre variables. La posibilidad de utilizar componentes principales espaciales (MULTISPATI-PCA) como herramientas para la ambientación podría ser de gran potencial cuando existen interacciones entre variables que definen el rendimiento de un cultivo. El objetivo del trabajo fue utilizar combinación de variables a partir de MULTISPATI-PCA para ambientar un lote cultivado con cebada. Se usó el análisis para estudiar en forma conjunta todas las variables. Los resultados muestran que las componentes obtenidas de la combinación de NDVI y NDRE en diferentes estadios del cultivo, la cota del terreno y los rendimientos pueden ser utilizados como indicadores de un lote para manejo por ambientes. Con las dos primeras componentes se explica 80% de la variabilidad. Observando el biplot se detecta que las variables rendimiento junto con los el NDVI y el NDRE obtenidos en septiembre están estrechamente correlacionadas y junto con la variable elevación definen las CP1. Esta última variable tiene una relación inversa con la componente, es decir, valores más altos de la componente se asocian con rindes y valores de los índices más bajos. La comparación de los valores medios de la CP1 permitió evaluar las estrategias de manejo utilizadas.

Palabras clave. NDVI, NDRE, Análisis multivariado, Componentes principales, Ambientación

Introducción

Los índices espectrales son ampliamente utilizados en la agricultura para recomendaciones de fertilización y estimadores de rendimientos de los cultivos. Uno de los más utilizados es el NDVI, sin embargo este se torna impreciso cuando los cultivos acumulan gran cantidad de clorofila. NDRE es un índice espectral que se construye a partir del Infrarrojo Cercano (NIR) y una banda que utiliza un estrecho rango espectral entre el Rojo visible y el NIR, y resulta más sensible que NDVI en determinados períodos de crecimiento del cultivo.

$$NDRE = \frac{IR-Redge}{IR+Redge} \quad (1)$$

donde IR=reflectancia en la banda infrarroja y Redge=reflectancia en la banda de borde rojo.

Los métodos de análisis multivariado apuntan a identificar y resumir las principales estructuras en bases de datos conteniendo observaciones para varias variables. Dos objetivos principales son relevantes en el análisis de datos espaciales multivariados: resumir las estructuras de covariación e identificar patrones espaciales en la variabilidad multivariada. El método PCA-MULTISPATI simultáneamente considera la estructura multivariada y la información espacial a través del cálculo del índice de Moran entre los datos de un sitio y el dato promedio de sus vecinos (Gili et al. 2011). La posibilidad de utilizar componentes principales como herramientas para la ambientación podría ser de gran potencial cuando existen interacciones entre variables que definen el rendimiento de un cultivo. El objetivo del trabajo fue utilizar combinación de variables a partir de componentes principales para ambientar un lote cultivado con cebada.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en un lote de la planicie medanosa de la región semiárida pampeana central (RSPC) en el establecimiento "La Julia" (-63.650618290067 -36.1672477297), ubicado sobre la ruta provincial N° 10, a 15 km al oeste de la localidad de Miguel Cané, La Pampa.

El suelo es de textura arenosa franca a franca arenosa. El análisis de suelo realizado con un muestreo dirigido, arrojó en la loma 51 kg.ha⁻¹ de fósforo de 0-20 cm y 32 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno de 0-60 cm. En la parte baja del lote los valores fueron 25,7 kg.ha⁻¹ de fósforo de 0-20 y 50 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno de 0-60 cm. Cada muestra de suelo está compuesta de 15 submuestras en un radio de 10 metros del punto de muestreo. Las muestras fueron tomadas con un calador SAMPLER 2000.

La Cebada Variedad Traveller Original, se sembró el 8 de junio de 2021, con antecesor girasol, la densidad de siembra fue de 107 kg.ha⁻¹. La siembra se realizó con una sembradora fabimag de 40 líneas a 17,5 cm, con un sistema de dosis variable de fertilizante marca Control Agro CAS 5100 T, con el cual se varió la densidad de fertilizante fosforado (Monoamónico) al momento de la siembra, aplicando 60 kg.ha⁻¹ de MAP en las partes bajas del lote y 30 kg.ha⁻¹ de MAP en la parte alta, además se aplicó una franja de 100 metros de ancho con densidad fija cruzando los dos ambientes con 100 kg.ha⁻¹ de MAP. Previo a la siembra se incorporó la urea con un incorporador marca Chalero, con equipo de dosis variable marca Agrotax modelo AG fusión con el cual se aplicó 165 kg.ha⁻¹ de urea en las partes bajas del lote y 115 en las partes altas.

Los índices espectrales NDVI y NDRE se determinaron en dos fechas diferentes 22/08/2021 y 16/09/2021 en concordancia con diferentes estados fenológicos del cultivo de cebada. Las bandas para los cálculos de los índices se extrajeron de la página LandViewer, la descarga se realizó a nivel de lote y se utilizaron bandas del satélite Sentinel 2A L2A. Una vez calculados los índices con el programa libre QGIS 3.16 Hannover, los mismos fueron transformados a puntos con la herramienta Raster Values to

Points de SAGA. Se confeccionó una grilla de 20 x 20 metros, y mediante la herramienta selección por localización se confeccionó la tabla de atributos de todos los valores con la que se realizaron los análisis. Los valores de elevación (cota del terreno) y masa de rendimiento se obtuvieron del mapeador de la cosechadora, John Deere STS 9660, con piloto automático y señal corregida. El mapa se descargó de la plataforma digital FieldView en formato dat, se abrió con el programa SMS, y se transformó a formato shapefile (shp) para luego ser trabajado con QGis.

Se usó el análisis MULTISPATI-PCA, Las componentes principales se construyeron a partir de la combinación de NDVI y NDRE en diferentes momentos del cultivo (22/08 y 19/09), la cota del terreno y los rendimientos. Una vez aplicado este método se obtuvieron las variables sintéticas (CP1 y CP2) que serán utilizadas para ver su distribución en el espacio y para contrastar si existen diferencias entre las distintas dosis de fertilizantes usadas. Este análisis se realizó bajo un modelo de lineal mixto considerando las correlaciones espaciales entre las observaciones vía un modelo esférico (Schabenberger y Pierce, 2002). Luego se realizaron pruebas de diferencias de medias LSD de Fisher. Se usó el programa R (R Development Core Team, 2021) y las librerías ade4 (Chessel et al., 2004), spdep (Bivand et al., 2012), nlme (Pinheiro et al., 2021) y emmeans (Russell, 2022).

Resultados y Discusión

Con las dos primeras componentes del análisis MULTISPATI - PCA se explicó el 80% de la variabilidad. La representación en el plano fue mayor al 70% para todas las variables, la correlación de cada variable con las componentes se encuentran en la Tabla 1. Observando el biplot se detecta que las variables rendimiento junto con el NDVI y el NDRE obtenidos en septiembre están estrechamente correlacionadas y junto con la variable elevación definen las CP1 (Figura 1a). A la vez se observa que esta última variable presenta una relación positiva con la CP1 y el resto de las variables una relación inversa. Esto indica que valores más altos de la CP1 se asocian con valores altos de elevación y bajos de los rindes y los índices. La CP 2 presenta una alta correlación con los índices NDVI y NDRE obtenidos en un estadio más temprano del cultivo (agosto).

En la Figura 1 b), los sitios más oscuros son los que tienen valor más alto en la CP1 lo que se relaciona con mayor elevación, y los puntos con color más claro, se relaciona con menor valor de la componente es decir más rinde y mayor valor de los índices.

Al observar las medias de los valores de la CP1 se detecta que para la misma dosis de N no se detectaron diferencias entre la dosis de P utilizada (Tabla 1. Los tratamientos con menores medias son los que presentaron mayor rinde y mayores valores de NDVI y NDRE, diferenciándose de los sitios con mayor altimetría (menor potencial).

Tabla 1. Comparación de los valores medios de la CP 1 en los distintos estrategias de fertilización

Fertilización	30P_115N	100P_115N	60P_165N	100P_165N
CP1	2.70 a	1.25a	-0.45b	-1.26 b

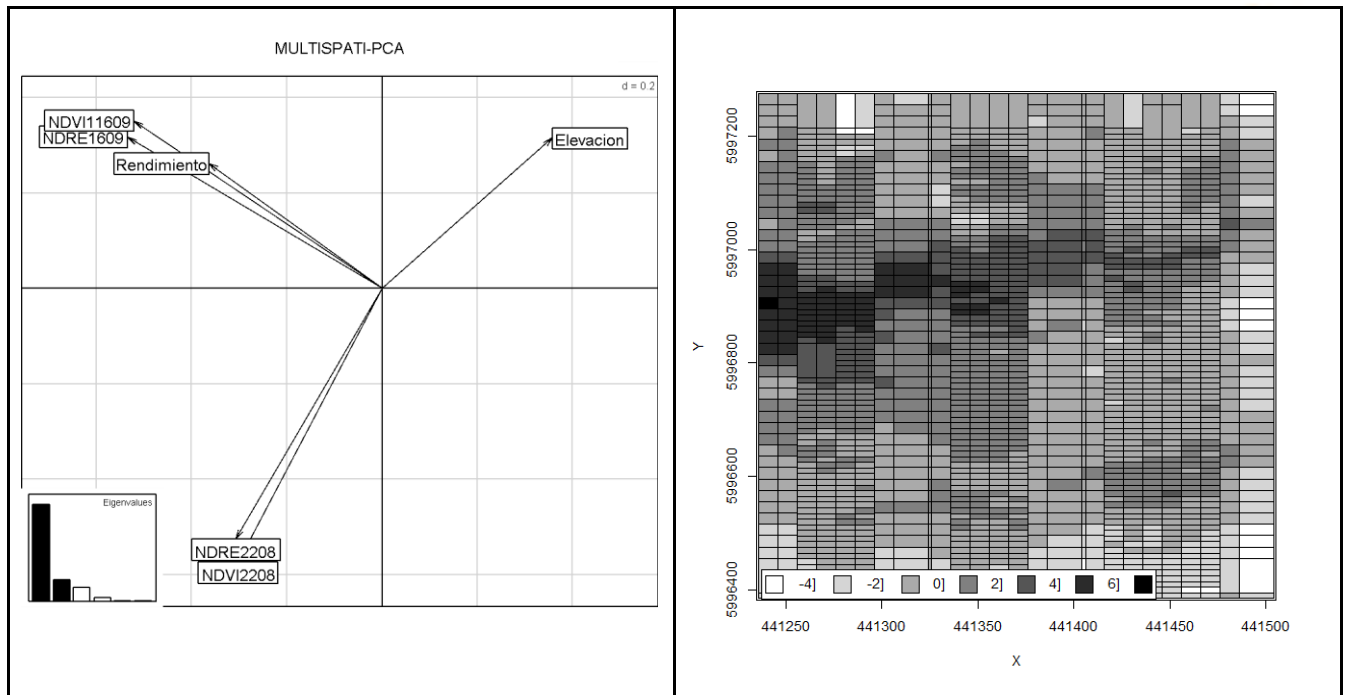


Figura 1. a) Biplot de la CP 1 y 2 obtenidas del análisis MULTISPATI-PCA. b) Representación espacial de la CP1 (a). NDVI1609: NDVI para la fecha 16/09, NDRE1609: NDRE obtenido para la fecha 16/09. NDVI 2208: NDVI para la fecha 22/08, NDRE2208: NDRE obtenido para la fecha 22/08.

Conclusión

Se puede concluir que la combinación de índices de verdor, elevación y rendimiento de cultivos explican un alto porcentaje de la variabilidad y permiten comparar los resultados de las distintas estrategias de manejo aplicadas.

Puede resultar una alternativa confiable y precisa para la realización de recomendaciones agronómicas.

Agradecimientos

A la empresa cereales Quemú por la colaboración en el trabajo.

Referencias

- Gili, A. A., Buschiazzo, D.E., Balzarini, M. G. 2011. **Análisis de datos de suelo: restricciones espaciales en el análisis de componentes principales**. XVI Reunión Científica del grupo Argentino de Biometría. Salta, Salta, Argentina 12-14 de octubre de 2011.
- Bivand, Roger S. and Wong, David W. S. (2018) Comparing implementations of global and local indicators of spatial association TEST, 27(3), 716-748. URL <https://doi.org/10.1007/s11749-018-0599-x>
- Chessel D, Dufour A, Thioulouse J (2004). "The ade4 Package - I: One-Table Methods." *_RNews_*, *4*(1), 5-10. <URL: <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>>.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2021). *_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models_*. R package version 3.1-153, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Russell V. Lenth (2022). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. R package version 1.7.2. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>

Impacto económico de la fecha de siembra variable en maíz

Espósito, Gabriel¹; Cerliani, Ceclia¹, Fissore, Matías¹ y Rafael Naville¹

¹ gesposito@ayv.unrc.edu.ar. Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen

El cultivo de maíz en el Sur de Córdoba (Argentina) presenta una ventana de siembra entre fines de septiembre a fin de diciembre. La selección de la fecha correcta se basa en la oferta climática en la cual se desarrollará el periodo crítico del cultivo (alrededor de la floración). La variabilidad ambiental registrada en esta región como consecuencia del relieve regional indica la presencia de al menos dos zonas de manejo (ZM), loma (L) y bajo (B) con menor y mayor oferta hídrica. Por estas características resulta pertinente evaluar el impacto de la fecha de siembra variable sobre el rendimiento y el resultado económico del maíz. Durante la campaña 2019/20 se realizaron dos ensayos en los que se probó una siembra variable entre ZM (temprana en el bajo y tardía en la loma) respecto de las siembras uniformes tardías o tempranas. Se utilizó un diseño en franjas y cuatro repeticiones espaciales por tratamiento. Los resultados indican que el rendimiento de la siembra variable fue entre un 5 y un 6% superior a la uniforme tardía y temprana, respectivamente y entre el 12 y 25% en el ensayo dos para las mismas comparaciones. En términos económicos las diferencias fueron entre 91 y 313 USD/ha a favor de la siembra variable sobre las uniformes según ensayo y ZM. Se concluye que en ambientes contrastantes es conveniente económica y productivamente variar la fecha de siembra de maíz según zonas de manejo intralote.

Palabras clave: Siembra tardía, siembra temprana, zonas de manejo.

Introducción

El cultivo de maíz presenta una marcada respuesta a cambios en la fecha de siembra como consecuencia de exponer al periodo crítico del mismo a diferentes condiciones ambientales (Andrade *et al.*, 1996)

En el sur de Córdoba (Argentina) el periodo de siembra comienza hacia finales del mes de septiembre y finaliza hacia fines de diciembre, con un lapso sin sembrar entre el 20 de octubre y el 30 de noviembre para evitar la floración en enero y una elevada presión del Mal de Río Cuarto Virus (Espósito *et al.*, 2015). La conveniencia de una u otra fecha de siembra se asocia a la oferta ambiental alrededor de la floración y la variabilidad en la oferta ambiental incide en la mejor fecha de siembra para cada sitio específico (Espósito, 2013).

En virtud de la variabilidad ambiental presente en los suelos del Sur de Córdoba, generalmente asociada a un paisaje ondulado, cabe pensar que se debería modificar la fecha de siembra entre ambientes en la medida que las operaciones de siembra y cosecha sean factibles. Por ello, se propone evaluar el impacto económico de modificar la fecha de siembra entre ambientes presentes dentro de lotes comerciales de producción.

Materiales y Métodos

Durante la campaña 2019/20 se realizaron dos experimentos en cercanías a las localidades de Chaján y Elena, ambas del Dpto. Río Cuarto (Córdoba, Argentina). En ambos sitios se identificaron y delimitaron zonas de manejo (ZM) asociadas a su posición en el relieve entre Lomas y Bajos, para ello se emplearon mapas digitales de elevación generados mediante el método Thin plate spline de SAGA GIS.

En ambos ensayos se sembró maíz en dos fechas de siembra Temprano y Tardío en franjas atravesando ambientes en forma uniforme y variable en la cual la siembra temprana fue en la posición de bajo mientras que la tardía en la zona de loma, de esta forma los tratamientos fueron 1- uniforme temprano (UTE), 2- uniforme tardío (UTA) y 3- variable (VAR), en forma factorial con la ZM, bajo (B) y loma (L), se recolectaron cuatro repeticiones por tratamientos en forma de bloques completos.

Una vez obtenidos los rendimientos de cada tratamiento se procedió a establecer los márgenes económicos de cada uno, cabe considerar que los costos directos de implantación del cultivo fueron los mismo para cada tratamiento puesto que la densidad (65000 semillas/ha), la fertilización de arranque (80 kg/ha de NPKSZn-12/16/0/10/1) y la refertilización (60 kg/ha de N) fueron las mismas en cada ensayo y en cada FS, además los controles químicos fueron los mismos entre FS y similares entre

ensayos. Por esta razón, el único efecto cuantificable en los márgenes fueron los rendimientos obtenidos. No se consideraron variaciones entre el precio de venta de maíz por FS, empleando el valor de 160 USD/ha. Se asumió una proporcionalidad del 50% entre ZM a los efectos de eliminar esta característica del paisaje.

Al momento de la cosecha se recolectaron los granos de maíz mediante máquina cosechadora con monitor de rendimiento y posicionamiento mediante GPS. El mapa de rendimiento obtenido fue procesado mediante los protocolos de limpieza de mapas descritos por Balboa (2014). Los resultados fueron procesados mediante ANAVA empleando el paquete INFOSTAT (Di Renzo, 2018).

Resultados y Propuesta de manejo

Los resultados encontrados indican efectos significativos entre FS y ZM en el ensayo 1, mientras que en el ensayo 2 se detectó interacción significativa entre la FS y la ZM. Estos resultados reflejan el efecto de la diferencia productiva entre las ZM sobre los resultados encontrados, en el ensayo 1 el bajo produjo un 7,2% más que la loma (11055 vs 10315 kg/ha, respectivamente), mientras que en el ensayo 2 la diferencia entre las ZM fue del 32,7% (10062 vs 7581 kg/ha, B y L, respectivamente). No obstante, en ambos experimentos la FS variable fue la que maximizó la producción de maíz por encima de la FS uniforme, tardía o temprana, entre éstas últimas en el ensayo 1 no se detectaron diferencias entre las FS uniforme tardía o temprana, mientras que en el ensayo 2 la FS uniforme tardía superó a la temprana (Figura 1).

El efecto interactivo detectado entre la FS y la ZM en el ensayo 2 se explica porque la diferencia entre el bajo y la loma se incrementa desde la siembra variable sobre la uniforme tardía y temprana a razón del 15, 26 y 45%, respectivamente, es decir que la siembra temprana en L en este ensayo deprime el rendimiento muy significativamente.

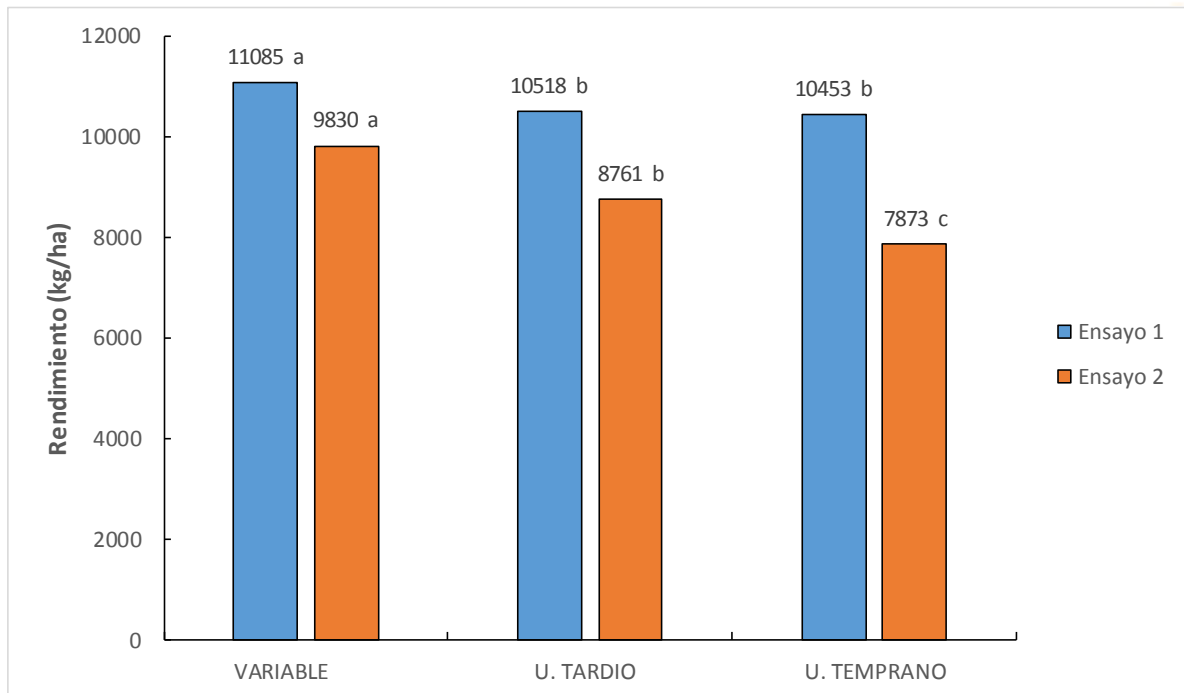


Figura 1: Rendimiento de granos de maíz en ensayos de fecha de siembra. VARIABLE (temprano en bajo, B y tardío en loma, L), U. TARDIO y U. TEMPRANO (franjas de siembra tardía y temprana entre B y L)

Resultado económico

Se determinó para cada ensayo un valor de costos directos que considere o no el valor de alquiler de la tierra, el mismo se estableció de acuerdo a los costos directos de la condición de mercado de Río Cuarto puesto en chacra, los mismos ascendieron a 787 y 473 USD/ha, respectivamente para la situación con y sin alquiler. El valor de alquiler fue el aportado por las empresas donde se realizaron las experiencias.

En la Tabla 1 se pueden apreciar los márgenes económicos de cada tratamiento, donde la FS variable generó un aumento del MB de 91 y 101 USD/ha en el ensayo 1, respecto de la uniforme tardío y temprano, respectivamente, mientras que en el ensayo 2 las mismas fueron de 171 y 313 USD/ha en las mismas comparaciones. En términos porcentuales estas diferencias explican el 11 y 66% de aumento del MB, según tratamiento y sitio. El mayor impacto del ensayo 2 respecto del 1 se puede explicar por la mayor diferencia entre ZM del ensayo 2.

Tabla 1: Resultados económicos de tratamientos de fechas de siembra en maíz. VARIABLE (temprano en bajo, B y tardío en loma, L), U. TARDIO y U. TEMPRANO (franjas de siembra tardía y temprana entre B y L)

	VARIABLE		UNIFORME TARDIO		UNIFORME TEMPRANO	
	1	2	1	2	1	2
Ensayo	1	2	1	2	1	2
IB (USD/ha)	1774	1573	1683	1402	1673	1260
CD (USD/ha)	473/787	473/787	473/787	473/787	473/787	473/787
MB (USD/ha)	1301/987	1100/786	1210/896	929/615	1200/886	787/473

IB, Ingreso bruto. CD, Costos directos y MB, Margen bruto. En CD y MB, números separados por barra indican valores sin y con alquiler del campo, respectivamente.

Conclusiones

En ambientes contrastantes en la oferta hídrica de maíz como las diferencias entre loma y bajo en el paisaje del sur de Córdoba la modificación de la fecha de siembra entre ZM permitió incrementar el rendimiento medio de maíz y el MB del cultivo. La magnitud de la diferencia productivo entre zonas explica la mayor o menor conveniencia económica de variar la fecha de siembra entre ZM.

Referencias

- Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S. A. y Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Dekalb Press. CRBAS/FAC-UN Mar del Plata. 292 p.
- Balboa, G. 2014. Validación de un modelo econométrico mixto espacial para la dosificación de nitrógeno a nivel sitio específico maíz en la Provincia de Córdoba. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Río Cuarto. <https://www.produccionvegetalunrc.org/ampliar2.php?id=140>.
- Espósito, G.; G. Balboa; C. Cerliani; R. Balboa y C. Castillo. 2015. Rendimiento potencial de maíz. En: El cultivo de maíz en san Luis. Ed. Juan Cruz Colazo Jorge Alberto Garay y Hugo Veneciano. Ediciones INTA Centro Regional La Pampa - San Luis. INTA Anguil. Argentina. ISSN 0327-425X.: 32-52.
- Espósito, G. 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto espacial (MEME). Tesis Doctoral en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Río Cuarto. <https://www.produccionvegetalunrc.org/ampliar2.php?id=197>



Zonificación de lote y análisis de datos de monitores de rendimiento con FastMapping

Paccioretti P.¹, Córdoba M.¹, Balzarini M.¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba – CONICET. Córdoba Capital, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *FastMapping es una aplicación web interactiva, de código libre, con una interfaz amigable que hemos desarrollado en lenguaje R. La primera versión del software incluyó procedimientos para la interpolación espacial que permiten ajustar y seleccionar automáticamente variogramas para mapear la variación espacial de una variable de interés. En posteriores versiones se agregaron herramientas para la depuración de bases de datos espaciales y para la zonificación uni y multivariada. Estos procedimientos utilizan protocolos diseñados específicamente para el análisis de bases de datos provenientes de agricultura de precisión utilizando técnicas estadísticas que contemplan la espacialidad de los datos. El código de FASTMAPPING fue reescrito para permitir su instalación y ejecución en una computadora personal sin necesidad de contar con conexión a internet. En su versión actual se agregaron herramientas para la validación de zonas de manejo a partir de capas de información espacializada, también se incluyeron nuevas facilidades para la carga de archivos por parte del usuario y más herramientas de visualización y análisis. FASTMAPPING permite ahora cargar archivos en formatos espaciales de tipo vectorial, como así también descargar resultados en formatos tipo ráster o vectorial. La validación de zonas se puede hacer desde las variables usadas para la zonificación pero también desde un nuevo archivo de datos espacializados. En esta presentación se ilustra el uso de FASTMAPPING para la delimitación de zonas de manejo a partir de múltiples capas de variables y su posterior validación con datos de monitores de rendimientos no usados en la zonificación. A FastMapping se puede acceder de manera gratuita desde cualquier navegador web conectado a internet mediante el enlace <http://fastmapping.psi.unc.edu.ar>. En esa página también se encuentran las instrucciones para ejecutar FastMapping de manera local en la computadora personal del usuario.*

Palabras clave. *Software, Aplicación Web, datos georreferenciados, agricultura de precisión*

Métodos estadísticos para el ajuste de curvas de respuesta desde ensayos de tasa variable de insumos

Paccioretti P.¹, Giannini-Kurina, F.¹, Bruno, C.¹, Córdoba M.¹, Bullock, D.S.², Balzarini M.¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba – CONICET. Córdoba Capital, Argentina. ²Universidad de Illinois, Illinois, Chicago, Estados Unidos.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Numerosos ensayos en campos de productores son llevados a cabo para evaluar la respuesta del cultivo ante cambios de dosis de insumos agrícolas. Estos ensayos son impulsados desde las tecnologías de precisión que facilitan la variación de dosis de insumos de manera automática y sin labores extras por parte del productor. A su vez, estos ensayos son cosechados con monitores de rendimiento generando grandes bases de datos georreferenciados asociados a las parcelas del ensayo. Diferentes métodos estadísticos han sido usados para estimar la respuesta del cultivo en estos ensayos conducidos en campos de productores con tecnología de precisión y cada uno de éstos presenta particularidades. En este trabajo se comparan, desde aspectos cuantitativos y cualitativos, tres métodos estadísticos para el ajuste de curvas de respuesta desde ensayos con datos espacializados: 1) modelo de regresión lineal para datos correlacionados espacialmente (RL) estimado por el método de máxima verosimilitud restringida (REML), 2) regresión Bayesiana con efecto aleatorio de sitio estimado por el método aproximación integral de Laplace anidada (INLA) y 3) regresión por aprendizaje automático mediante el método bosques aleatorios (RF) con kriging sobre los residuos. La comparación se realizó en ocho lotes bajo agricultura de precisión que incluían ensayos de dosificación variable. En cada lote se calibraron los modelos de regresión con los tres métodos y se evaluaron los ajustes mediante validación cruzada. La regresión bayesiana estimada vía INLA produjo los mejores resultados cuantitativos en términos de capacidad predictiva del modelo ajustado.*

Palabras clave. *Aprendizaje automático, modelos bayesianos jerárquicos, regresión lineal, ensayos en campos de productores*

Introducción

La tecnología de precisión ha facilitado la instalación de ensayos de dosificación variable de insumos en campos de productores. En la experimentación en campos de productores (OFPE, del *inglés on-farm precisión experimentation*) que usan aplicadores de dosificación variable los productores pueden variar la dosificación de insumos en distintos sitios del lote de manera precisa y automática (Panten et al. 2010; Piepho et al. 2011). Distintos tratamientos, generalmente equivalentes a distintas dosis de insumos, son asignados aleatoriamente a parcelas de manera automática, lo que permite no sólo implementar diseños experimentales efectivos sino también proveer resultados específicos para cada lote. En este sentido, la agricultura de precisión (AP) ha posibilitado el desarrollo de nuevas estrategias para la experimentación agronómica que son usadas para ayudar a los productores a tomar decisiones de manejo (Alesso et al. 2019). Las investigaciones en campos de productores motivan el uso de AP permitiendo la adopción de nuevas técnicas agronómicas (Kyveryga 2019) como el manejo sitio-específico de la fertilización (Panten et al. 2010). Este tipo de investigación está reemplazando a los ensayos agronómicos tradicionales, donde se trabajaba con pocas parcelas pequeñas y pocas covariables de sitio. Las nuevas maquinarias de AP permiten la asignación de tratamientos sobre numerosas parcelas de mayor tamaño a un costo mucho más bajo que los ensayos tradicionales. Al estar automatizada la asignación de los tratamientos, no existe una demanda de trabajo extra en las operaciones de siembra, fertilización ni cosecha. Tanto los ensayos como las parcelas de los ensayos pueden ser más grandes y los tratamientos pueden repetirse más veces dentro del lote.

En los últimos años la experimentación agronómica en campos de productores está siendo extensamente aplicada (Kyveryga 2019; Trevisan et al. 2020) dado que aumenta el interés de los productores en la adopción de AP. Los datos recolectados luego de conducir un ensayo de dosificación variable son usados para estimar una función de productividad del rendimiento en función de los insumos agropecuarios, como nitrógeno y/o densidad de siembra (Bullock et al. 2019, 2020). La información espacial sobre la respuesta del cultivo es crucial en AP. Dada la distribución espacial de las parcelas georreferenciadas dentro del lote, la estimación de la magnitud de los efectos de los insumos en el rendimiento del cultivo puede verse limitada por un modelado incompleto de la correlación espacial subyacente.

Los objetivos claves en el análisis de datos de ensayos de dosificación variable conducidos en campos de productores, son estimar la función de productividad o de respuesta al insumo que manifiesta el cultivo sembrado y explorar su relación sitio-específica para relacionarla con covariables de sitio, identificar limitantes del rendimiento y prescribir futuros manejos del lote. Los ensayos OFPE permiten desarrollar conocimiento científico acerca de dosis óptimas de insumos para tratar cada lote con los mejores beneficios económicos y ambientales. Numerosas investigaciones han estudiado la variabilidad espacial del rendimiento a escala de lote, pero menos tratan la predicción de patrones espaciales de rendimiento intralote (Maestrini y Basso 2018). El modelado estadístico para datos de ensayos de dosificación variable puede incluir múltiples variables de sitio correlacionadas espacialmente con el rendimiento. Usualmente, se ajustan funciones de regresión que contienen coeficientes que relacionan el rendimiento con los insumos, pero también pueden incluirse covariables de sitios y las interacciones entre éstas y los niveles de insumos. La correlación espacial es considerada en los términos de error con modelos de correlación para los errores o a través de la inclusión de uno o más términos aleatorios que explican la autocorrelación espacial subyacente y la variabilidad residual que no se debe a esta autocorrelación. Para estimar estos modelos de regresión del rendimiento en función de tratamientos (dosis de uno o más insumos agropecuarios) y otras covariables de sitio, pueden utilizarse diferentes aproximaciones estadísticas ya sea de naturaleza frecuentista (West et al. 2014) como Bayesiana (Blangiardo y Cameletti 2015) e incluso algoritmos de aprendizaje automático (Efron y Hastie 2016). El objetivo de este trabajo es comparar el desempeño estadístico de estos distintos tipos de modelos de regresión para la estimación de la función de productividad y la predicción del rendimiento sitio-en OFPE.

Materiales y métodos

Datos

Se analizaron cuatro OFPE realizados en Estados Unidos cultivados con maíz y cuatro ensayos en cultivo de trigo conducidos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Argentina. En los OFPE de maíz usando tecnologías de precisión se aplicó tanto dosificación variable de fertilizante nitrogenado (N) como de densidad de siembra (S). Para los ensayos en trigo, los tratamientos fueron dosificación variable de fertilizante nitrogenado (N). Todos los ensayos fueron conducidos bajo un diseño en bloques completos al azar, con diferentes dimensiones de parcelas y cantidad de repeticiones. Cada parcela contiene entre 100 a 200 valores de rendimiento. Los datos de rendimiento de cada parcela fueron pre-procesados para eliminar valores atípicos globales y valores atípicos espaciales siguiendo el protocolo propuesto por Vega et al. (2019). Los OFPE tenían una o más de las siguientes covariables de sitio: elevación (ELV), profundidad del suelo (PS) y electroconductividad aparente medida en superficie y en profundidad. Para todas las covariables de sitio se calcularon correlaciones con el rendimiento, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y prueba t modificada para datos espaciales. Se calibraron modelos para el rendimiento de parcela en función de la dosis de insumo recibida y de aquellas covariables de sitio correlacionadas con rendimiento (utilizando un nivel de significación de 0,15).

Modelos estadísticos ajustados

El rendimiento en grano fue modelado en función de la dosificación variable de insumos y de las covariables de sitio correlacionadas usando tres métodos: 1) modelo de regresión lineal para datos correlacionados espacialmente (RL) estimado vía máxima verosimilitud restringida (REML) (West et al. 2014), 2) regresión Bayesiana con efecto aleatorio de sitio estimado por el método aproximación integral de Laplace anidada (INLA) y 3) regresión por aprendizaje automático mediante el método bosques aleatorios (RF) con kriging sobre los residuos. Cada tipo de modelo fue ajustado con y sin covariables de sitio. Como referencia a cada estrategia de modelado además de los modelos que contemplan la correlación espacial, se ajustaron los modelos análogos asumiendo errores independientes. Para comparar modelos de RL con y sin correlación espacial en el término del error se utilizó AIC. Para todos los modelos ajustados, se evaluó la disminución del error de predicción entre modelo con y sin correlación espacial.

Criterios de comparación

Las tres estrategias de modelado (RL, RB y RF), ajustadas con y sin covariables de sitio y a su vez, contemplando o no la correlación espacial de los datos, fueron comparadas en función de las siguientes métricas de desempeño cuantitativo: 1) promedio de varianza explicada (AVE, del inglés average variance explained) (Yigini et al. 2018), índice que cuantifica la fracción de la variación de la variable respuesta que es explicada por el modelo ajustado, 2) coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los valores observados promedios de parcela y predichos de rendimiento para la parcela, 3) error de predicción (EP), calculado por validación cruzada con 10 grupos de entrenamiento y validación (k-fold con $k=10$). Para cada tipo de modelo, la incertidumbre en los valores predichos fue obtenida por bootstrap. La amplitud del intervalo predicción fue expresada como porcentaje del valor predicho por parcela. Otra medida de incertidumbre de predicción calculada fue el porcentaje de veces que el valor de rendimiento de la parcela estuvo incluido dentro del intervalo de predicción bootstrap del 95%.

Resultados y discusión

En la mayoría de los ensayos se observaron mejores ajustes (menores valores del criterio de información de Akaike, AIC) en modelos que contemplaban la correlación espacial comparados con los modelos que no la contemplaban. Los modelos RL que incluían correlación espacial mostraron una caída del EP mayor al 10% con respecto a aquellos modelos que no contemplaban la correlación espacial.

Los valores de los criterios utilizados para comparar los modelos que contemplan correlación espacial de los datos se muestran en la Tabla 1. Según el AVE y el coeficiente de correlación de Pearson entre los valores observados y los predichos de los modelos, la bondad de ajuste de los modelos espaciales RB y RF fue mayor que la del modelo RL. Sin embargo, los errores de predicción global no variaron mucho entre modelos, todos ellos produjeron bajo error de predicción (<5% del rendimiento). Sólo en un lote (Ensayo 1), el error de predicción fue mayor al 5%, pero menor al 15%, de la media del rendimiento. La mediana de los valores de EP sugiere que el modelo RB produjo los menores errores de predicción. Para todos los ensayos conducidos en maíz, se observó un incremento de la capacidad predictiva del modelo RB comparado con RL en función de la correlación entre los valores observados y predichos. Para campos sembrados con trigo, a pesar de que el mayor valor de AVE se obtuvo para RB, el modelo RL obtuvo una mejor capacidad predictiva (menor error de predicción). El modelo RB mostró valores de AVE y coeficiente de correlación entre valores observados y predichos mayores que los otros modelos (Tabla 1).

Tabla 1: Capacidad predictiva de modelo de regresión lineal espacial (RL), regresión espacial Bayesiana (RB) y modelo de bosques aleatorios (RF).

Cultivo	Modelo de regresión	Sin covariables de sitio		Con covariables de sitio			
		AVE	r	AVE	r	Precisión %	Amplitud %
Maíz	RL	0,32 a	0,60 a	0,39 a	0,65 a	36a	6,6 a
	RB	0,45 a	0,70 a	0,46 a	0,72 a	69b	6,7 a
	RF	0,46 a	0,69 a	0,43 a	0,70 a	89b	18,1 b
Trigo	RL	0,67 b	0,86 b	0,72 b	0,89 b	50a	8,1 a
	RB	0,76 b	0,93 b	0,75 b	0,90 b	69b	7,7 a
	RF	0,72 b	0,91 b	0,68 b	0,87 b	99c	23,2 b
<i>Media</i> [†]	<i>RL</i>	<i>0,50</i>	<i>0,72</i>	<i>0,55</i>	<i>0,77</i>	<i>43,0</i>	<i>7,3</i>
	<i>RB</i>	<i>0,61</i>	<i>0,81</i>	<i>0,60</i>	<i>0,81</i>	<i>82,5</i>	<i>7,2</i>
	<i>RF</i>	<i>0,60</i>	<i>0,80</i>	<i>0,56</i>	<i>0,79</i>	<i>94,0</i>	<i>20,6</i>

[†]Media general entre ocho ensayos; AVE: Promedio de varianza del rendimiento explicada, r: correlación entre valores observados y predichos. PE: error de predicción promedio expresado como porcentaje de la media de rendimiento obtenido por validación cruzada. Por columna, letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a un nivel de significancia del 5%.

Conclusión

El modelo de regresión bayesianos que contemplan la espacialidad a través de la incorporación de un efecto aleatorio de sitio fue el de mejor desempeño cuantitativo para la estimación de función de productividad desde OFPE. La incorporación en el modelo de covariables de no produjo una mejora significativa en los lotes analizados.

Agradecimientos

Esta investigación fue subsidiada por Proyecto Agrícola Coordinado del Programa de Seguridad Alimentaria USDA-NIFA-AFRI, titulado “Using Precision Technology in On-farm Field Trials to Enable Data-Intensive Fertilizer Management”, (Número 2016-68004-24769), y también un subsidio para la

innovación en la conservación del USDA-NRCS del Programa de ensayos en campos de productores, titulado “Improving the Economic and Ecological Sustainability of US Crop Production through On-Farm Precision Experimentation” (número de subsidio NR213A7500013G021).

Referencias

- Alesso, C. A., Cipriotti, P. A., Bollero, G. A., & Martin, N. F. (2019). Experimental Designs and Estimation Methods for On-Farm Research: A Simulation Study of Corn Yields at Field Scale. *Agronomy Journal*, 111(6), 2724–2735. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0142>
- Blangiardo, M., & Cameletti, M. (2015). *Spatial and Spatio-temporal Bayesian Models with R-INLA*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118950203>
- Bullock, D. S., Boerngen, M., Tao, H., Maxwell, B., Luck, J. D., Shiratsuchi, L., et al. (2019). The Data-Intensive Farm Management Project: Changing Agronomic Research Through On-Farm Precision Experimentation. *Agronomy Journal*, 111(6), 2736–2746. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0165>
- Bullock, D. S., Mieno, T., & Hwang, J. (2020). The value of conducting on-farm field trials using precision agriculture technology: a theory and simulations. *Precision Agriculture*, 21(5), 1027–1044. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09706-1>
- Efron, B., & Hastie, T. (2016). *Computer Age Statistical Inference. Computer Age Statistical Inference: Algorithms, Evidence, and Data Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316576533>
- Kyveryga, P. M. (2019). On-farm research: Experimental approaches, analytical frameworks, case studies, and impact. *Agronomy Journal*, 111(6), 2633–2635. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.11.0001>
- Maestrini, B., & Basso, B. (2018). Predicting spatial patterns of within-field crop yield variability. *Field Crops Research*, 219, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.028>
- Panten, K., Bramley, R. G. V., Lark, R. M., & Bishop, T. F. A. (2010). Enhancing the value of field experimentation through whole-of-block designs. *Precision Agriculture*, 11(2), 198–213. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9128-y>
- Piepho, H. P., Richter, C., Spilke, J., Hartung, K., Kunick, A., & Thöle, H. (2011). Statistical aspects of on-farm experimentation. *Crop and Pasture Science*, 62(9), 721–735. <https://doi.org/10.1071/CP11175>
- Trevisan, R. G., Bullock, D. S., & Martin, N. F. (2020). Spatial variability of crop responses to agronomic inputs in on-farm precision experimentation. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09720-8>
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., & Balzarini, M. (2019). Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*, 20(5), 1030–1044. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09632-8>
- West, B. T., Welch, K. B., & Galecki, A. T. (2014). *Linear mixed models: a practical guide using statistical software*. Chapman and Hall/CRC.
- Yigini, Y., Olmedo, G. F., Reiter, S., Baritz, R., Viatkin, K., & Vargas, R. (2018). *Soil organic carbon mapping: cookbook* (2nd ed.). Rome: FAO.

Variación del efecto de insumo dentro del lote. Modelos de regresión con coeficientes espacialmente variables.

Paccioretti P.¹, Giannini-Kurina, F.¹, Córdoba M.¹, Bullock, D.S.², Balzarini M.¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba – CONICET. Córdoba Capital, Argentina.

²Universidad de Illinois, Illinois, Chicago, Estados Unidos.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. El estudio de la respuesta del cultivo a tasas variables de insumos en la experimentación en campo de productores con tecnología precisas (OFPE) provee información para el manejo intralote. Sin embargo, los datos OFPE son frecuentemente analizados con modelos de regresión lineal que estiman una respuesta global del cultivo ante cambios de insumos, pero no una respuesta sitio-específica. El objetivo de este trabajo fue explorar el uso de modelos Bayesianos para estimar la respuesta del cultivo en distintos sitios del lote y mapear la variabilidad espacial del efecto de un insumo. Se ajustó un modelo de regresión Bayesiano con efecto de sitio y coeficientes aleatorios en un lote de maíz donde se llevó a cabo un ensayo de tasa variable de fertilización nitrogenada con urea y densidad de siembra. Se desarrolló un código en R-INLA para ajustar el modelo de regresión bayesiana con coeficientes variables. El modelo ajustado permitió mapear la respuesta sitio-específica del cultivo proveyendo información que mejor se adapta al concepto de agricultura de precisión que el modelo de regresión de efectos fijos.

Palabras clave. Ensayos de tasa variable, Modelo jerárquico Bayesiano, Coeficientes aleatorios, Efecto sitio-específico, Manejo variable de insumos

Introducción

Favorecidos por nuevas tecnologías de agricultura de precisión, los ensayos en campos de productores (OFPE del inglés, *on-farm precisión experimentation*) son cada vez más frecuentes. Un tipo de OFPE de los más difundidos en cultivos extensivos es el que se lleva a cabo con la finalidad de estudiar la respuesta del cultivo ante cambios de dosis de insumos, como pueden ser fertilizantes y/o semillas (Bullock et al. 2020). Las nuevas tecnologías permiten recolectar más y más cantidad de observaciones dentro del lote agrícola y asocian cada dato a su posición en el terreno (georreferencia). Los datos espaciales, demandan análisis estadísticos que no sólo tengan en cuenta factores de diseño, sino también la correlación espacial (grado de parecido entre observaciones según su distancia en el terreno) en los mismos datos (Piepho et al. 2011).

La estimación de efectos de tratamientos, usualmente dosis de insumos suministrados en distintos sitios del lote, que contempla la correlación espacial generada por la presencia de variabilidad espacial en los datos representa un desafío estadístico-computacional. Los objetivos de análisis, en ensayos de tasas variables conducidos con tecnologías precisas, son la obtención de estimaciones de efectos de tratamiento globales (para todo el lote) pero también la estimación de efectos sitio-específicos los cuales son a la vez cruciales para mejorar las predicciones espaciales y prescribir manejos futuros.

Los modelos lineales mixtos han sido ampliamente utilizados para estimar la respuesta global del cultivo para datos de ensayos de AP. Pero este método no es eficiente computacionalmente para estimar la respuesta sitio-específica en grandes bases de datos. Con estos modelos la correlación espacial subyacente es tenida en cuenta al momento de realizar el ajuste del modelo, pero no al momento de realizar las predicciones.

Alternativamente, se pueden usar modelos de regresión Bayesianos estimados mediante aproximaciones anidadas integradas de Laplace (INLA) que incluyen, además de los efectos globales, efectos aleatorios de sitio que permiten mejorar las predicciones sitio específicas. La regresión Bayesiana espacial, es un modelo jerárquico Bayesiano que incluye varias variables distribuidas espacialmente (Franco-Villoria et al. 2019). La adición de un efecto aleatorio de sitio permite la obtención de una distribución completa del efecto del insumo sobre los rendimientos de cada. La desviación estándar de esta distribución es una medida directa de la incertidumbre de predicción. El algoritmo utilizado por el paquete INLA del software R (Lindgren y Rue 2015) está optimizado computacionalmente para estimar modelos jerárquicos Bayesianos. Cuando los efectos del tratamiento pueden depender de otras covariables como por ejemplo el sitio o la ubicación espacial de la aplicación, se pueden extender estos modelos con el agregado de efectos aleatorios sobre los coeficientes de regresión. En contextos de ensayos conducidos con tecnologías de AP, el efecto de sitio puede ser utilizado como un efecto modificador del efecto del tratamiento. INLA también puede ser usado como método para estimar estos modelos con coeficientes variables de manera computacionalmente eficiente. El objetivo de este trabajo es explorar las aproximaciones estadísticas Bayesianas para estimar la variabilidad espacial intra-lote de la respuesta del cultivo ante cambios de insumos agrícolas en ensayos conducidos con tecnologías de AP en campos de productores.

Materiales y Métodos

Se analizaron datos de un ensayo de dosificación variable de densidad de siembra y dosis de fertilizante nitrogenado realizados en un lote de maíz de USA. El ensayo se realizó en un diseño en bloques donde se evaluaron seis densidades de siembra y seis dosis de fertilización (36 tratamientos). La base de datos de rendimiento previo a la depuración contó con 53317 observaciones. Previo al análisis, y para cada parcela, se realizó una depuración de la base de datos (Vega et al. 2019). Se eliminaron valores que estuvieron por fuera de la media de cada parcela ± 3 DE y se eliminaron datos diferentes a su vecindario según el Índice de Moran Local y Moran Plot (Anselin 1995). Previo a la depuración, la cantidad promedio de observaciones por parcela fue de 148, mientras que luego del proceso de

depuración, la cantidad de observaciones por parcela fue 118 en promedio. Luego de la depuración, la base de datos resultante contó con 42497 observaciones.

Ajuste del modelo Bayesiano de la función de productividad

Con la base de datos depurada se realizó el ajuste de modelo Bayesiano, primero para estudiar la respuesta del cultivo a cambios de insumo. El modelo incluyó un efecto aleatorio de sitio:

$$Y_i \sim N(\eta_i, \sigma_e^2) \quad [1]$$

$$\eta_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j + \xi(s_i)$$

$$\xi(s_i) \sim N(0, \Sigma_{n \times n})$$

donde Y_i es el rendimiento de la parcela i ; β_0 es la ordenada al origen; β_j es el coeficiente de regresión asociado con la dosis de insumo j para el sitio i , x_{ij} ; los términos de la regresión incluyeron los efectos de primer y segundo orden de cada insumo, y los efectos de las interacciones entre densidad de siembra y dosis de fertilizante de primer y segundo orden; $\xi(s_i)$ es el efecto aleatorio de sitio que se asume una realización de un proceso gaussiano latente $\xi(s_i) \sim MVN(0, \Sigma)$, siendo Σ la matriz de varianzas y covarianza de los efectos de sitio definidos por la función de covariación espacial de Matérn (Matérn 1986), estimada mediante aproximación por integral de Laplace anidada (INLA). La estimación de la inversa de Σ (matriz de precisión) se resolvió por SPDE (suavizado mediante el método de ecuaciones diferenciales estocástica) usando R-INLA. Luego se ajustó el mismo modelo, pero con coeficientes variables como sigue:

$$Y_i \sim N(\eta_i, \sigma_e^2) \quad [2]$$

$$\eta_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j(z_i) + \xi(s_i)$$

$$\xi(s_i) \sim N(0, \Sigma_{n \times n})$$

donde $\beta_j(z_{ij})$ es el coeficiente de regresión aleatorio, que puede ser considerado como un proceso estocástico que actúa sobre el espacio y el resto de los términos se definen como en [1].

Con el modelo ajustado se realizaron predicciones sitio-específicas del rendimiento para una dosis de fertilizante y densidad de siembra promedio. Utilizando el modelo de coeficientes aleatorios espaciales, se realizaron mapas de la respuesta sitio-específica de densidad de siembra y dosis de fertilización.

Resultados

Se observó interacción significativa entre densidad de siembra y dosis de fertilización nitrogenada. En densidades bajas de siembra (próximas a 65.000 semillas ha^{-1}) no se observó una respuesta cuadrática para la dosis de fertilizante, a medida que la densidad de siembra fue aumentando, la respuesta cuadrática fue más notoria (Figura 1). Los efectos de sitio sumados a la variación de los coeficientes de regresión permitieron obtener un mapa de respuesta sitio-específica. La respuesta sitio-específica a cambios en urea fue más variable que la respuesta a cambios en densidad de siembra. Los mapas de respuestas son comparables ya que las variables fueron estandarizadas.

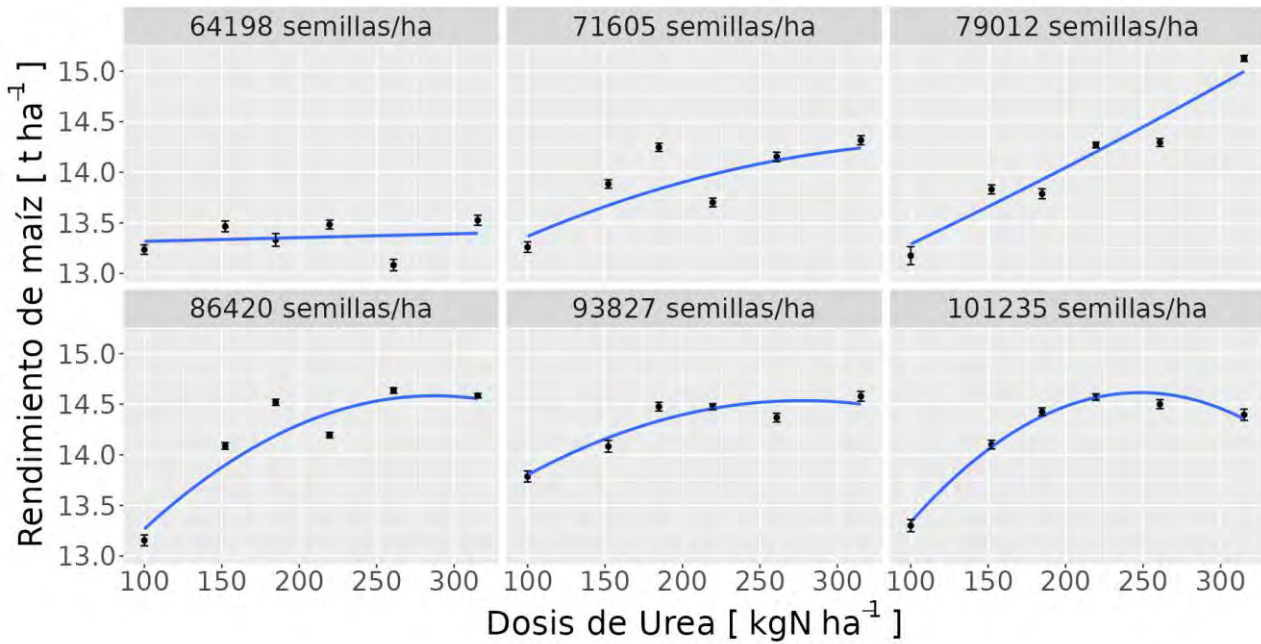


Figura 1 Respuesta del cultivo ($t\ ha^{-1}$) a cambios de dosis de fertilizante para diferentes densidades de siembra.

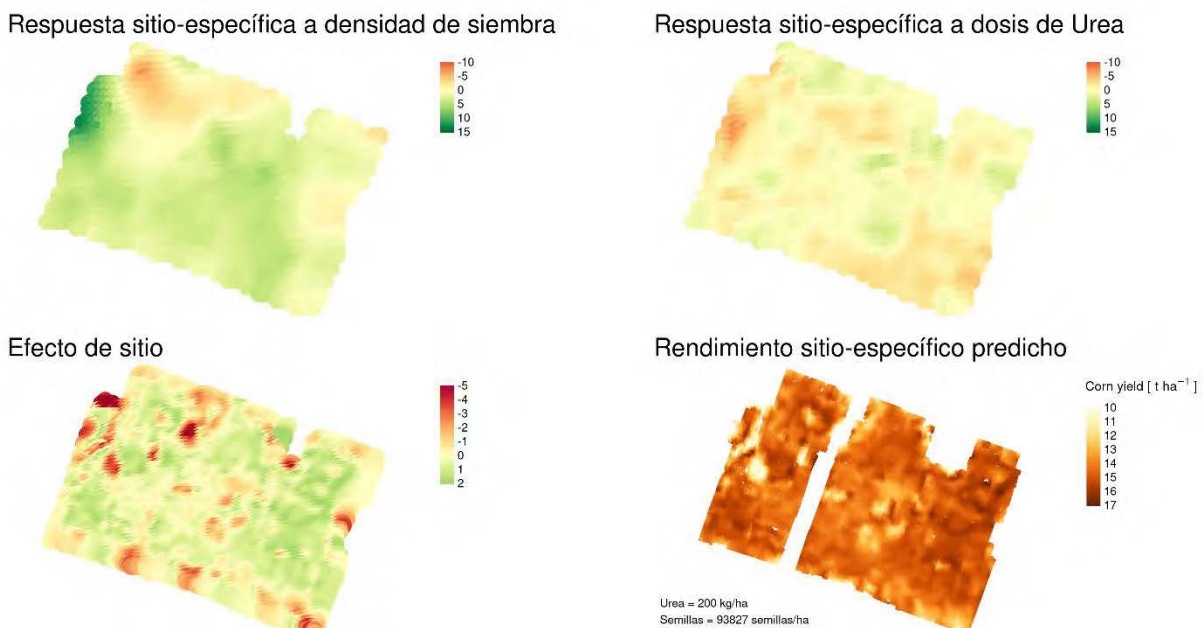


Figura 2 respuesta sitio-específica a) a la densidad de siembra y b) a la fertilización nitrogenada, c) efecto de sitio predicho, d) rendimiento predicho para una densidad de siembra y dosis de fertilizante fija.

Conclusiones

Los modelos Bayesianos de coeficientes variables, no usados previamente en AP, constituyen una herramienta estadística potente para analizar ensayos de dosis variable. El ajuste de este modelo a datos de un ensayo de dosis variable permitió capturar la respuesta sitio-específica del cultivo a cambio de dosis de insumo y obtener mapas de respuesta espacializada. Así, el modelo bayesiano de

coeficientes aleatorios permitió mapear la respuesta esperada del cultivo para una densidad de siembra y dosis de fertilizante fija de manera sitio-específica. Futuros trabajos son necesarios para explorar diferentes distribuciones a priori en el ajuste de estos modelos bayesianos para evitar el sobreajuste.

Agradecimientos

Esta investigación fue subsidiada por Proyecto Agrícola Coordinado del Programa de Seguridad Alimentaria USDA-NIFA-AFRI, titulado “Using Precision Technology in On-farm Field Trials to Enable Data-Intensive Fertilizer Management”, (Número 2016-68004-24769), y también un subsidio para la innovación en la conservación del USDA-NRCS del Programa de ensayos en campos de productores, titulado “Improving the Economic and Ecological Sustainability of US Crop Production through On-Farm Precision Experimentation” (número de subsidio NR213A7500013G021).

Referencias

- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Bullock, D. S., Mieno, T., & Hwang, J. (2020). The value of conducting on-farm field trials using precision agriculture technology: a theory and simulations. *Precision Agriculture*, 21(5), 1027–1044. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09706-1>
- Franco-Villoria, M., Ventrucci, M., & Rue, H. (2019). A unified view on Bayesian varying coefficient models. *Electronic Journal of Statistics*, 13(2). <https://doi.org/10.1214/19-EJS1653>
- Lindgren, F., & Rue, H. (2015). Bayesian Spatial Modelling with R - INLA. *Journal of Statistical Software*, 63(19). <https://doi.org/10.18637/jss.v063.i19>
- Matérn, B. (1986). Spatial variation, vol. 36. *Lecture Notes in Statistics*, 2.
- Piepho, H. P., Richter, C., Spilke, J., Hartung, K., Kunick, A., & Thöle, H. (2011). Statistical aspects of on-farm experimentation. *Crop and Pasture Science*, 62(9), 721–735. <https://doi.org/10.1071/CP11175>
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., & Balzarini, M. (2019). Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*, 20(5), 1030–1044. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09632-8>

Comparación de métodos de aprendizaje automático para el mapeo de la variabilidad intralote

Suarez F.¹, Paccioretti P.¹, Córdoba M.¹, Balzarini M.¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba – CONICET. Córdoba Capital, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Para la implementación de prácticas de manejo diferencial de lotes agrícolas es clave el conocimiento de la variabilidad espacial de los rendimientos en el lote. Para el mapeo espacial del rendimiento se usan técnicas geoestadísticas de interpolación, entre ellas el método kriging ordinario (KG), es el de mayor difusión. Sin embargo, KG presenta ciertas limitaciones para procesar bases de datos de gran dimensión y requiere del cumplimiento de supuestos estadísticos poco flexibles. Como alternativa se están empleando métodos de aprendizaje automático (ML) computacionalmente más eficientes y que no requieren de supuestos distribucionales. No obstante, los métodos de ML más usuales no tienen en cuenta, de manera directa, la autocorrelación espacial de los datos. El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño predictivo de cuatro métodos de ML basados en árboles; Random Forest (RF), Quantile Random Forest (QRF), Generalized Boosted Regression Models (GBM) y Extreme Gradient Boosting (XGB) con el método geoestadístico KG para el procesamiento de mapas de rendimiento. Se utilizaron 1050 mapas de rendimiento de los principales cultivos agrícolas de la región pampeana argentina. Para incorporar la información espacial en los algoritmos de ML se calcularon como covariables, datos de rendimiento observado en sitios cercanos y las distancias entre éstos y el sitio para el cual se predice el rendimiento. Los métodos de ML probados demostraron tener un mejor desempeño que KG, siendo los de menor error de predicción los algoritmos RF y QRF con una reducción del error respecto a KG del 8 y el 7%, respectivamente.

Palabras clave. *Interpolación espacial, Árboles de regresión, Kriging Ordinario.*

Introducción

El mapeo de la variabilidad espacial del rendimiento de cultivos agrícolas es un punto crucial para la implementación de prácticas de manejo sitio-específico. Diversas técnicas de interpolación en un dominio espacial continuo han sido propuestas para el mapeo del rendimiento intralote. Este procedimiento consiste en estimar el valor de la variable de interés en un punto no observado a partir de datos circundantes. Para esto se tiene en cuenta la autocorrelación espacial positiva, característica que determina que las observaciones medidas en sitios más cercanos sean más parecidas entre sí respecto a aquellas que están más distantes.

La técnica llamada kriging ordinario (KG), es un método de interpolación espacial geoestadístico ampliamente utilizado en la agricultura de precisión para el mapeo de datos georreferenciados. KG intenta expresar las tendencias sugeridas por los datos y puede adaptarse a un conjunto de datos especificando un modelo de semivariograma adecuado para modelar la autocorrelación espacial subyacente en los datos y usarla para empoderar la predicción. Sin embargo, el ajuste del semivariograma no es una tarea trivial y consume alto tiempo de cómputo en bases de datos grandes como las derivadas desde monitores de rendimiento. Además, KG requiere del cumplimiento de supuestos estadísticos poco flexibles, entre ellos, la distribución normal de la variable respuesta y estacionariedad del proceso espacial que genera los datos recolectados (Córdoba & Balzarini, 2021).

En los últimos años han surgido herramientas predictivas basadas en algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*, ML). Las técnicas de ML se refieren a una clase de algoritmos no lineales basados en datos que se emplean principalmente con fines de extracción de información y reconocimiento de patrones mediante la implementación de modelos de regresión y clasificación. Con estas técnicas, además, es posible contemplar las correlaciones entre variables cuando se implementan modelos de regresión múltiple (Wadoux et al., 2020). Dentro de los algoritmos de ML los de mayor uso para implementar modelos predictivos son aquellos basados en árboles de regresión, entre ellos se destaca el método de bosques aleatorios (*Random Forest*, RF) (Breiman, 2001). Sin embargo, estos métodos de ML no tienen en cuenta, de manera directa, la naturaleza espacial (autocorrelación) de los datos en el análisis. Recientemente Córdoba y Balzarini (2021) utilizaron una variante de RF, denominada bosques de regresión cuantílica (*Quantile Regression Forest*, QRF) (Meinshausen et al., 2006) como método de base en la implementación de un algoritmo de interpolación espacial que incorpora la autocorrelación espacial presente en datos geoposicionados. Otros algoritmos como Generalized Boosted Regression Models (GBM) (Ridgeway, 1999) y Extreme Gradient Boosting (XGB) (Chen & Guestrin, 2016) han mostrado una alta capacidad predictiva en el mapeo de variables de suelo y ambiente a escala regional (Wadoux et al., 2020) pero sus versiones que contemplan la estructura de correlación espacial no han sido evaluadas para el mapeo del rendimiento de cultivos agrícolas a escala de lote. El objetivo del presente trabajo fue comparar el desempeño predictivo de cuatro métodos de ML basados en árboles; RF, QRF, GBM y XGB con el método geoestadístico KG para el mapeo de la variabilidad intralote.

Materiales y Métodos

Los ajustes se realizaron sobre 1050 mapas de rendimiento, depurados según protocolo propuesto por Vega et al., 2019. Los datos provinieron de diversos cultivos agrícolas sembrados de manera extensiva. Según el cultivo cosechado los archivos de los monitores de rendimiento usados se clasifican en: soja (48%), maíz (24%), trigo (13%), cebada (9%) y girasol (6%). La cantidad de observaciones promedio de las bases de datos fue de 9847 y los lotes tenían una superficie media de 50 ha. Para incorporar la información espacial en los algoritmos ML se calcularon como covariables datos de rendimiento observado en los n sitios más cercanos y las distancias de éstos a los sitios puntuales donde se realiza la predicción. Se utilizó la función *near.obs* del paquete *meteo* (Kilibarda et al., 2014) del software R (R

Core Team, 2021) para calcular las covariables espaciales. La predicción espacial para el valor de rendimiento (Y) se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}(S_0) = X_{(s_1)} + d_1 + X_{(s_2)} + d_2 + X_{(s_3)} + d_3 + \dots + X_{(s_n)} + d_n \quad (1)$$

donde $\hat{Y}(S_0)$ es el valor de rendimiento predicho en la celda S_0 de la grilla de predicción, $X_{(s_n)}$ son las observaciones de rendimiento de los n sitios más cercanos y d_n son las distancias de las n observaciones más cercanas al sitio objetivo. Los valores de n evaluados fueron fijados entre 2 y 30 observaciones.

Los métodos RF y QRF se entrenaron con el paquete *ranger* (Wright et al., 2017) utilizando como hiperparámetro *mtry* (número de covariables utilizadas para construir cada uno de los árboles de regresión) igual a un tercio de las covariables, y por otro lado se fijó el hiperparámetro *ntree* (número de árboles) en 200. GBM fue ajustado utilizando el paquete *gbm* (Greenwell et al., 2019) y para XGB se utilizó la función *train* del paquete *caret* (Max Kuhn, 2021). En estos métodos los hiperparámetros utilizados fueron los que se encuentran por defecto en las funciones.

Para la implementación de KG se ajustaron modelos de semivariogramas experimentales y teóricos (esférico, exponencial y gaussiano), mediante la función *autofitVariogram* del paquete *automap* (Hiemstra et al., 2009), la cual permite seleccionar el modelo que presenta una menor suma de cuadrados residual. La interpolación con KG se realizó en un contexto local y al igual que en los algoritmos de ML se probaron distintos vecindarios variando el número de vecinos (n = entre 2 y 30).

Para evaluar el desempeño de los métodos comparados, para cada uno de los valores de n , se realizó una validación cruzada del tipo k-fold (Hastie et al., 2009) con $k = 10$. Esta validación se implementó en cada una de las 1050 bases de datos. Las métricas resumen para la evaluación de la capacidad predictiva fueron: raíz del error cuadrático medio relativo a la media observada (nRMSE), coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC). Todos los análisis se llevaron a cabo con el software R (R Core Team, 2021).

Resultados

Los rendimientos promedios de las bases de datos fueron de 3.97 tn ha⁻¹, 2.96 tn ha⁻¹, 8.95 tn ha⁻¹, 2.62 tn ha⁻¹ y 3.79 tn ha⁻¹, para cebada, girasol, maíz, soja y trigo, respectivamente. En cuanto a la variabilidad promedio del rendimiento dentro del lote, en maíz se obtuvo un valor de CV del 33%, cercano al del resto de los cultivos, cebada (32%), soja (31%), girasol (28%) y trigo (26%). En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de nRMSE de cada método y la diferencia relativa que presentaron con KG como método de referencia. Para todos los cultivos la nRMSE fue menor para RF, seguido por QRF, XGB, GBM y KG. Este comportamiento se observó independientemente del valor de n utilizado (Figura 1). Comparando los métodos de aprendizaje automático con el KG se observó que el error de predicción se redujo en un 8% al usar RF, 7% con QRF, 4% con XGB y 2% con GBM. En cuanto a la cantidad de mapas en los que un método presentó mejor desempeño predictivo, se observó que RF obtuvo el menor nRMSE en el 85% de los mapas, seguido por QRF y KG (7% cada uno), GBM y XGB (1%).

Tabla 1. Errores de predicción relativo a la media observada (nRMSE, %) de cinco métodos de interpolación espacial: Random Forest (RF), Quantile Regression Forest (QRF), Generalized Boosted Regression Models (GBM), Extreme Gradient Boosting (XGB) y Kriging ordinario (KG)

Cultivo	nRMSE					Diferencias relativas de nRMSE			
	RF	QRF	XGB	GBM	KG	RF-KG	QRF-KG	XGB-KG	GBM-KG
Cebada	13.4	13.6	14.1	14.3	14.7	-8	-7	-4	-3
Girasol	12.7	12.9	13.4	13.7	13.9	-8	-7	-3	-1
Maíz	14.8	14.9	15.5	15.8	15.8	-6	-5	-2	0
Soja	14.4	14.6	15.2	15.4	15.9	-9	-8	-4	-2
Trigo	10.7	10.9	11.2	11.6	12.1	-11	-10	-7	-4

En cuanto a la evaluación del valor del número de vecinos a usar (n), se observó que para todos los métodos de interpolación los valores de nRMSE permanecieron casi constantes a partir del uso de 5 o 6 sitios vecinos (n) (Figura 1). Los valores de n que con mayor frecuencia presentaron menor nRMSE fueron de entre 4 y 6 para RF, QRF, XGB y KG y de 15 para GBM. En el 80% de los mapas el n óptimo fue menor a 11 para los métodos RF y QRF.

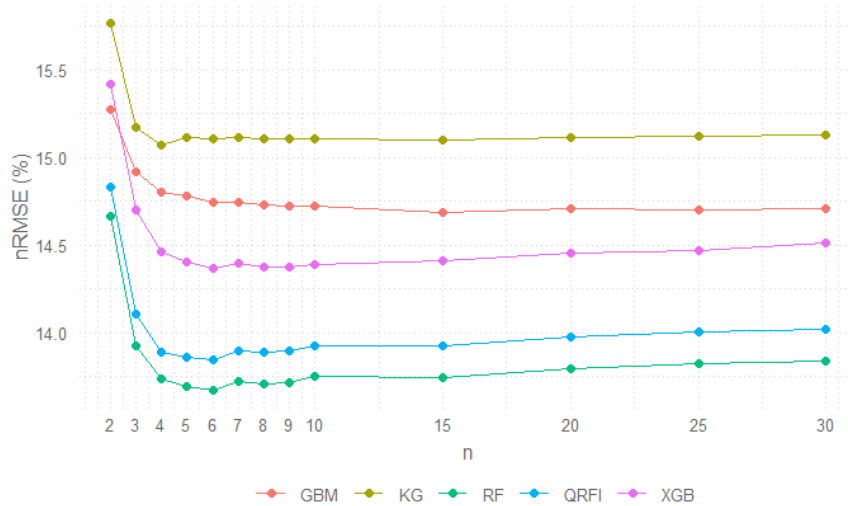


Figura 1. Errores de predicción relativo a la media observada (nRMSE, %) de cinco métodos de interpolación: Random Forest (RF), Quantile Regression Forest (QRF), Generalized Boosted Regression Models (GBM), Extreme Gradient Boosting (XGB) y Kriging ordinario (KG), según el número de vecinos (n) usados como covariables.

En la Figura 2 se presentan los valores de rendimiento de una base de datos de cultivo de trigo ($n = 5601$) y los mapas de predicción del rendimiento intralote para los cinco métodos de interpolación espacial evaluados. Se observa que el patrón espacial del rendimiento fue similar en todos los métodos. KG permite también obtener un mapa la varianza o incertidumbre de predicción que suele ser usado para acompañar al mapeo con una medida de incertidumbre. QRF es el único, entre los métodos de ML comparados, que también permite obtener este tipo de mapa, lo que se puede considerar como una ventaja con respecto a RF que no produce medidas de incertidumbre.

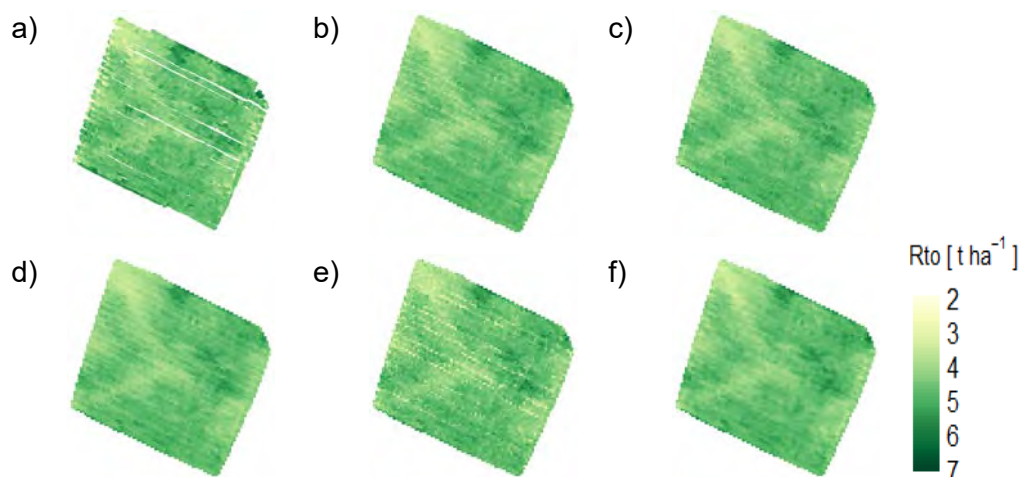


Figura 2. Datos de rendimiento de trigo (a) y mapas de predicción obtenidos con cinco métodos de interpolación espacial: Random Forest (b), Quantile Regression Forest (c), Generalized Boosted Regression Models (d), Extreme Gradient Boosting (e) y Kriging ordinario (f).

Conclusiones

Los métodos de ML en su versión espacial tuvieron un mejor desempeño que KG. Los algoritmos RF y QRF fueron los que presentaron un menor error de predicción, con una reducción del error entre el 5 y 11% respecto KG. El método QRF tiene además la ventaja de derivar un mapa de incertidumbre de predicción para valorar la calidad de predicción en cada sitio del mapa de rendimiento generado. Estos métodos facilitan la automatización del procesamiento de datos proveniente de monitores de rendimiento.

Referencias

- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 13-17-August-2016*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Córdoba, M., & Balzarini, M. (2021). A random forest-based algorithm for data-intensive spatial interpolation in crop yield mapping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106094>
- Greenwell, B., Boehmke, B., Cunningham, J., Developers, G. B. M., & Greenwell, M. B. (2019). Package ‘gbm.’ *R Package Version*, 2(5).
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The elements of statistical learnin. *Springer Series in Statistics*, 33.
- Hiemstra, P. H., Pebesma, E. J., Twenhöfel, C. J. W., & Heuvelink, G. B. M. (2009). Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch radioactivity monitoring network. *Computers and Geosciences*, 35(8), 1711–1721. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.10.011>
- Kilibarda, M., Hengl, T., Heuvelink, G. B. M., Gräler, B., Pebesmatadić, E. P., & Bajat, B. (2014). Spatio-temporal interpolation of daily temperatures for global land areas at 1 km resolution. *Journal of Geophysical Research*, 119(5), 2294–2313. <https://doi.org/10.1002/2013JD020803>
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *Ijcai*, 14(2), 1137–1145.
- Max Kuhn. (2021). *Package “caret” Title Classification and Regression Training*.
- Meinshausen, N., Research, G. R.-J. of M. L., & 2006, undefined. (2006). Quantile regression forests. *Jmlr.Org*, 7, 983–999. <https://www.jmlr.org/papers/volume7/meinshausen06a/meinshausen06a.pdf>
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. In *R Foundation for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Ridgeway, G. (1999). The state of boosting. *Computing Science and Statistics*, 31, 172–181. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.22.276&rep=rep1&type=pdf>
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., & Balzarini, M. (2019). Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*, 20(5), 1030–1044. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09632-8>
- Wadoux, A. M. J. C., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2020). Machine learning for digital soil mapping: Applications, challenges and suggested solutions. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 210, p. 103359). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103359>
- Wright, M., arXiv:1508.04409, A. Z. preprint, & 2015, undefined. (2017). ranger: A fast implementation of random forests for high dimensional data in C++ and R. *Arxiv.Org*, 77(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v077.i01>

Uso de índices de vegetación multiespectrales para el fenotipado del desarrollo fenológico en soja [*Glicine max* (L.) Merrill]

Peirone, L.S.¹⁻⁴⁻⁵, Cicconi, E.², Ogando, F.¹⁻⁴, Raspa, F.A.⁴, Ovando, G.³, Vega, C.R.C.⁴

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); ²Asesor Privado; ³Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC; ⁴EEA INTA Manfredi; ⁵UNVM

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. El desarrollo genético de cultivares adaptados es clave como parte de las estrategias para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos ambientales en una región. Sin embargo, el fenotipado de materiales genéticos a campo presenta complejidad por su alto costo en recursos y tiempo. El objetivo de este trabajo fue evaluar cambios en la reflectancia multiespectral de canopeos de soja mediante sensoramiento remoto y a través de cuatro índices de vegetación (IV). Se evaluaron cuatro genotipos de longitud de ciclo contrastante (GM III al VI) en un experimento a campo conducido en seco durante la campaña 2020-21. Todos los IV, y en particular, GRVI y NDRE mostraron capacidad discriminante de los genotipos evaluados. El índice NDRE mostró la máxima capacidad para detectar cambios en la reflectancia durante el estadio fenológico R6 cuando inicia la fase rápida del llenado de granos en soja. Los resultados obtenidos indican que es posible caracterizar materiales genéticos por su duración de fases mediante índices de vegetación. Dicha herramienta puede incrementar la eficiencia del fenotipado de alto caudal en soja.

Palabras clave. Genotipos, fenología, sensoramiento remoto, NDVI, GNDVI, NDRE, GRVI, TDVI

Introducción

Actualmente, el manejo agronómico de sistemas de cultivo debe enfocarse a maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, aún en el contexto de anomalías climáticas que promueven condiciones de estrés abiótico (van Oort et al., 2017; Andrade, 2020). El desarrollo de cultivares más adaptados a través de la mejora genética es clave para dicho propósito, en particular para regiones con alta variabilidad climática (i.e. subhúmedas y semi-áridas). En soja, por ejemplo, cambios en los patrones de desarrollo (i.e. fenología) han explicado una parte importante de la mejora genética para la adaptación del cultivo e incremento del rendimiento (Slafer et al., 2015; de Felipe et al., 2016). Sin embargo, el fenotipado a campo de altas cantidades de materiales genéticos es una fuerte limitante en el mejoramiento (Araus and Kefauver, 2018) debido, entre otros aspectos, al alto costo en términos de tiempo y recursos en la medición de caracteres asociados con la adaptación (i.e. fenología) y el rendimiento. Nuevas tecnologías, como la del uso de sensores proximales o remotos montados en drones que permiten el seguimiento de la reflectancia de los cultivos a través de imágenes multiespectrales, pueden contribuir para el fenotipado de alto caudal. La reflectancia de los cultivos es la base de la construcción de distintos índices de vegetación que pueden asociarse con variables como el desarrollo, crecimiento y estado fisiológico de los cultivos (Xue and Su, 2017). El objetivo de este trabajo fue evaluar distintos índices de vegetación multiespectrales (IV) en su habilidad para discriminar genotipos de soja con fenología contrastante.

Materiales y métodos

El experimento a campo fue conducido en condiciones de secano en Manfredi (31°49'S, 63°46'O), Córdoba (Ar) durante la campaña agrícola 2020-2021. El tipo de suelo fue un Haplustol éntico, serie Oncativo, con capacidad de almacenaje de agua útil de 313 mm (2 m). Cuatro genotipos de soja de diferentes grupos de madurez (GM III al VI) fueron sembrados el 26/octubre/2020 con una densidad poblacional objetivo de 35 plantas m⁻². Se usó semilla curada con fungicidas e inoculada con *Bradyrhizobium japonicum*. El cultivo se mantuvo libre de plagas, enfermedades y malezas. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental consistió en seis surcos de 10 m de longitud distanciados a 0.52 m.

Determinaciones

- Fenología: se utilizó la clave de Fehr et al., (1971) para relevar los estadios de desarrollo de emergencia del cultivo (E), R3 (inicio del desarrollo de vainas), R6 (tamaño máximo de semilla en vaina e inicio de la senescencia foliar) y R7 (inicio de madurez fisiológica).
- Fotografías aéreas: imágenes multiespectrales fueron relevadas durante el ciclo del cultivo mediante un vehículo aéreo no tripulado (drone modelo Phantom 4 con cámara sequoia multiespectral). Los vuelos fueron realizados durante el período entre el 04/01/2021 y 30/03/2021.
- Índices de vegetación: se calcularon cuatro índices multiespectrales (Tabla 1) a partir de lecturas de reflectancia de canopy en el rango de longitudes de onda de bandas rojo (R), borde rojo (RE), verde (G) e infrarrojo cercano (IR)

Tabla 1. Fórmulas de cálculo matemático de índices de vegetación multiespectrales

Nombre del índice de vegetación	Abreviatura	Fórmula
Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$(\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})$
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$(\text{NIR}-\text{G})/(\text{NIR}+\text{G})$
Normalized Difference 790/720 Normalized difference red edge index	NDRE	$(\text{NIR}-\text{RE})/(\text{NIR}+\text{RE})$
Simple Ratio NIR/G Green Ratio Vegetation Index	GRVI	NIR/G

Resultados y discusión

En este estudio, se realizó una siembra temprana para maximizar las diferencias en los patrones de desarrollo fenológico de cuatro cultivares que difieren en su respuesta fotoperiódica (i.e. grupos de madurez). La duración de cada una de las tres etapas evaluadas (Tabla 2) fue siempre mínima en el genotipo del GM III y máxima en el GM VI.

Mediante seis vuelos de relevamiento de imágenes multiespectrales fue posible caracterizar adecuadamente la variabilidad temporal de todos los IV. Los índices TDVI y GNDVI exhibieron una menor variabilidad temporal en comparación a los IV restantes (Figura 1). A diferencia de estudios previos que valoraron la reflectancia de los canopeos en etapas tardías cuando los IV ya disminuyen marcadamente (Lindsey et al., 2020), en este trabajo se evaluó la capacidad de los IV para detectar cambios en la reflectancia en etapas reproductivas más tempranas. El índice NDRE mostró mayor habilidad (Tabla 3) que los restantes para detectar tempranamente el momento de inicio de la senescencia foliar que ocurre alrededor del estadio fenológico R6 cuando inicia la fase rápida del llenado de granos en soja. Por el contrario, el índice NDVI exhibió la menor capacidad para discriminar genotipos en R6. En línea con estos resultados, Lindsey et al., (2020) encontraron que NDVI puede detectar diferencias entre cultivares cuando su valor es reducido en 85% respecto al observado en el estadio R5 (cuando casi se alcanza la altura final del cultivo).

Tabla 2. Duración de etapas de desarrollo (en días desde la emergencia del cultivo) en cuatro genotipos de soja de distinta longitud de ciclo (GM III al VI). E-R3, duración a estadio R3 (vaina de 0.5 cm), E-R6, duración a estadio R6 (tamaño máximo de semilla en vaina) y E-R7, duración a estadio R7 (madurez fisiológica). Experimentos sembrados el 26/10/2020 en seco, en Manfredi, Córdoba.

Genotipo	E-R3	E-R6 (días)	E-R7
DM3312	60 d	95 d	116 d
DM4612	68 c	104 c	130 c
DM53i53	79 b	119 b	136 b
CZ6505	97 a	129 a	150 a
Genotipo (G) ¹	***	***	***

¹ Letras distintas indican diferencias significativas entre genotipos a p-value < 0.0001

Todos los IV, aunque en diferente magnitud, mostraron capacidad discriminante de los genotipos evaluados, particularmente durante las etapas más tardías de desarrollo. Los índices GRVI y NDRE exhibieron mayor capacidad discriminante de genotipos durante todo el ciclo. Los GM más cortos exhibieron IV tempranos y máximos menores que los GM más largos (Figura 1; p<0.0001), probablemente debido a su menor crecimiento foliar resultante de un ciclo de crecimiento más corto (Tabla 2). Aunque en este estudio, el objetivo se centró en el fenotipado de la variación genotípica en el desarrollo, los cambios en la reflectancia de los canopeos capturados por los IV también reflejarían procesos relacionados con diferencias en la captura de la radiación solar (i.e. velocidad de avance y senescencia de la cobertura vegetal; Ma et al., 2001; Craft et al., 2019; Yuan et al., 2021) y otros asociados con la condición hídrica de los canopeos.

Tabla 3. Valores estimados y desvío standard de cuatro índices de vegetación (IV) para el día de ocurrencia del estadio fenológico de R6 (tamaño máximo de semilla en vaina e inicio de la senescencia foliar) en cuatro genotipos de soja de distinta longitud de ciclo (GM III al VI). Pearson (R6-IV) indica el valor del coeficiente de correlación de Pearson estimado para el valor de IV y el día de R6 (estimado como días desde la emergencia; Tabla 2). Experimentos sembrados el 26/10/2020 en seco, en Manfredi, Córdoba.

Genotipo	NDVI	GNDVI	GRVI	NDRE
DM3312	0.861 (0.008)	0.845 (0.007)	12.406 (0.442)	0.192 (0.008)
DM4612	0.851 (0.048)	0.836 (0.029)	12.023 (1.735)	0.191 (0.021)
DM53i53	0.859 (0.015)	0.836 (0.017)	11.897 (1.485)	0.178 (0.026)
CZ6505	0.845 (0.076)	0.840 (0.016)	12.050 (1.358)	0.177 (0.027)
Pearson (R6-IV)	-0.66	-0.41	-0.69	-0.95

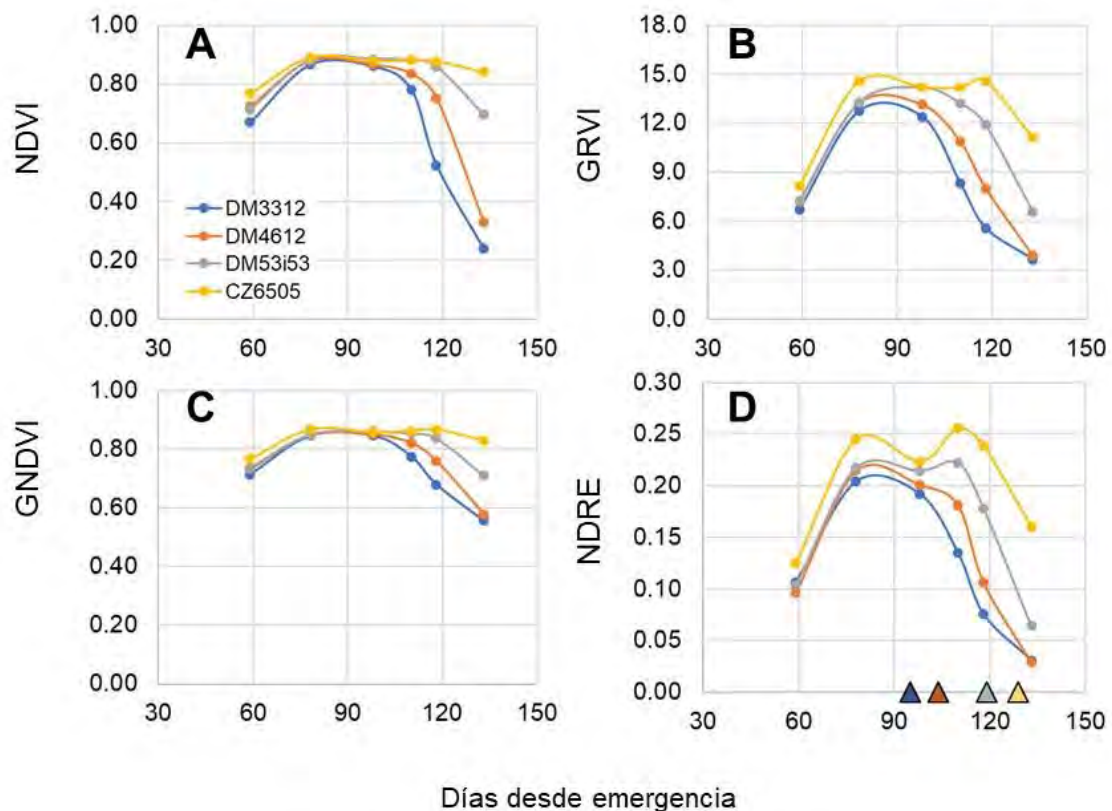


Figura 1. Evolución temporal de índices de vegetación (A-D) calculados en cuatro genotipos de soja cultivados en seco en Manfredi, Córdoba, Argentina. DDE indica días desde la emergencia del cultivo. DDE 30 corresponde al día 05/12/2020. Triángulos en D indican el día de ocurrencia del estadio R6 en cada genotipo (▲, GMIII; ▲, GMIV; ▲GM V; ▲ GM VI).

Conclusiones

En soja, la variación genética en caracteres asociados con la fenología y el desarrollo es uno de los aspectos claves y más relevantes para la mejora de la adaptación de los cultivos en múltiples ambientes. En este estudio, se evaluó la capacidad discriminante de cuatro índices de vegetación multispectrales para detectar la variación genotípica en los patrones de desarrollo. Los índices GRVI y NDRE exhibieron la mayor capacidad discriminante de genotipos durante todo el ciclo. Y NDRE fue

el IV que mejor correlación exhibió con el momento de ocurrencia del estadio R6. Los resultados obtenidos constituyen un primer paso para ajustar técnicas de fenotipado de alto caudal que, haciendo uso de tecnologías basadas en el sensoramiento remoto, pueden incrementar significativamente la velocidad y eficiencia de selección por caracteres de desarrollo. Puesto que en soja, la duración de etapas de desarrollo varía fuertemente debido a la interacción entre el genotipo, la fecha de siembra y la condición hídrica, nuevos estudios utilizando dichas fuentes de variación deberían realizarse para validar la potencia discriminante de los índices evaluados.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado mediante los siguientes proyectos: INTA 2019-PE-E1-I011-001. Intensificación Sustentable de la Agricultura en la Región Pampeana; INTA 2019-PD-E3-I060-001. Adaptación de los cultivos al cambio climático: Bases ecofisiológicas para el manejo y la mejora genética; PROCISUR-BID. Bases fisiológicas y genéticas de las respuestas de trigo y soja a limitantes bióticas y abióticas: estudios orientados a la identificación de caracteres de tolerancia o adaptación de utilidad en el mejoramiento genético y la selección de genotipos adaptados en el Cono Sur.

Referencias

- Andrade, F.H., 2020. Los desafíos de la agricultura global. INTA Ediciones, Ciudad Autónoma de Buenos.
- Araus, J.L., Kefauver, S.C., 2018. Breeding to adapt agriculture to climate change: affordable phenotyping solutions. *Current Opinion in Plant Biology* 45, 237-247.
- Craft, J.C., Lindsey, L.E., Barker, D.J., Lindsey, A.J., 2019. Quantification of soybean leaf senescence and maturation as impacted by soil- and foliar- applied nitrogen. *Crop Forage Turfgrass Manag.* 5.
- de Felipe, M., Gerde, J.A., Rotundo, J.L., 2016. Soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. *Crop Science* 56, 3066-3077.
- Fehr, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T., Pennington, J.S., 1971. Stage of Development Descriptions for Soybeans, Glycine Max (L.) Merrill1. *Crop Science* 11.
- Lindsey, A.J., Craft, J.C., Barker, D.J., 2020. Modeling canopy senescence to calculate soybean maturity date using NDVI. *Crop Science* 60, 172-180.
- Ma, B.L., Dwyer, L.M., Costa, C., Cober, E.R., Morrison, M.J., 2001. Early Prediction of Soybean Yield from Canopy Reflectance Measurements. *Agronomy Journal* 93, 1227-1234.
- Slafer, G.A., Kantolic, A.G., Appendino, M.L., Tranquilli, G., Miralles, D.J., Savin, R., 2015. Genetic and environmental effects on crop development determining adaptation and yield. In: Sadras, V.O., Calderni, D.F. (Eds.), *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy: Second Edition*, pp. 285-319.
- van Oort, P.A.J., Saito, K., Dieng, I., Grassini, P., Cassman, K.G., van Ittersum, M.K., 2017. Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation? *Global Food Security* 12, 109-118.
- Xue, J., Su, B., 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *J. Sensors* 2017.
- Yuan, M., Burjel, J.C., Martin, N.F., Isermann, J., Goeser, N., Pittelkow, C.M., 2021. Advancing on-farm research with UAVs: Cover crop effects on crop growth and yield. *Agronomy Journal* 113, 1071-1083.

Manejo variable de fósforo en trigo: ajuste de la dosis mediante el muestreo de suelo en grilla

Sainz Rozas, HR¹; Angelini, HP¹; Larrea GE¹; Avila, O¹; Eyherabide, M¹; Perez Marino, T²; Reussi Calvo, N¹; Carciochi, WD¹; Crespo, C¹; Barbieri, P¹; Wyngaard, N¹.

¹Grupo de Recursos Naturales y Gestión Ambiental, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Unidad Integrada Balcarce. Ruta 226 km 73,5 (7620), Balcarce, Argentina. ²Establecimiento Agropecuario "El Bonete", Ruta 227 Km 30 (7635), Lobería, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. En el sudeste bonaerense la rotación tradicional incluye cereales y oleaginosas y, ocasionalmente, el cultivo de papa. Este último se realiza bajo riego y por lo general mediante pivote central, aumentando la variabilidad espacial del fósforo (P) extractable (P-Bray) dentro del lote, por las elevadas dosis aplicadas. El objetivo de este trabajo fue cuantificar y caracterizar la variabilidad espacial de P-Bray y generar recomendaciones variables de P para un cultivo de trigo. En un lote de 100 ha del partido de Lobería con una rotación de papa (2017/18), trigo (2018/19), maíz (2019/20) y girasol 2020/21 con un pivote de 63 ha (37°52'28.31"S, 58°41'18.96"O), se realizó en la campaña 2021 un muestreo en grilla georreferenciado con una densidad de una muestra compuesta por ha (0-20 cm), con 8 submuestras tomadas en cruz desde el centro de cada celda, cubriendo un radio de 25 m. En cada muestra compuesta se determinó la concentración de P-Bray y, a partir de los datos puntuales, se utilizó el proceso de interpolación Kriging Ordinario para generar una capa continua. El mapa se realizó fijando 5 rangos de P-Bray: 0-10, 11-15, 16-20, 21-25 y > 25 mg kg⁻¹, que ocuparon el 11,1; 20,2; 9,5; 10,2 y 49,0%, respectivamente. El rango más alto fue coincidente con la zona que ocupó el pivote. Las dosis prescriptas de fosfato monoamónico (MAP; 11-52-0) de acuerdo al criterio de reconstrucción y mantenimiento fueron de 132, 114, 68, 22 y 0 kg ha⁻¹ respectivo a los rangos mencionados de P-Bray. A su vez, se aplicó una dosis fija de 130 kg ha⁻¹ de MAP del ancho de la fertilizadora que atravesó todos los rangos de P-Bray (franja de suficiencia). Al estadio de hoja bandera se analizó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), tomado de la imagen satelital Sentinel-2, y se verificó que tanto la franja como el resto del lote presentaron valores superiores a 0,9. Este resultado sugiere que el P no limitó el crecimiento del cultivo en los diferentes rangos de P-Bray. A partir de los resultados de P-Bray del lote, probablemente el valor promedio sería de aproximadamente 23 mg kg⁻¹. Este valor sugiere no aplicar P o aplicar una dosis de aproximadamente la mitad de la reposición (40-50 kg ha⁻¹ de MAP). Esta dosis es limitante en zonas con valores de P-Bray menores a 15 mg kg⁻¹ (32% del lote) y excesiva en zonas con valores superiores a 25 mg kg⁻¹ (49% del lote). Si bien el muestreo en grillas es más costoso que el muestreo por ambiente (24 vs 2 u\$s ha⁻¹), en muchos casos donde hay variabilidad natural (por relieve) y antrópica, permite una mejor caracterización del P-Bray. Además, no es necesario repetirlo todos los años, ya que en el caso de contar con mapas de rendimiento se puede ajustar la dosis en los cultivos siguientes mediante balances simplificados de P. Este manejo permite disminuir la variabilidad espacial del P-Bray, cuestión que genera muchos problemas a la hora de obtener un valor representativo del lote.

Palabras clave. Fertilización, Variabilidad espacial de P-Bray, Dosis variable, Franja de suficiencia, Trigo.

Rendimiento alcanzable de híbridos de maíz destinados a la elaboración de silo de planta entera en el Valle de Lerma.

Valdez Valdez, Gabriela¹, Alanís Ana Karina², Chávez Patricia Gabriela², Carrizo Manuel Javier², Silvestre Olguín Marina del Diego², Pereyra Rosario²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Salta, Ruta 68, Km. 172 (4303), Cerrillos, Salta, Argentina; ²Estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica. Ciencias Agrarias. U.N.Sa.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. El Valle de Lerma, ubicado en la provincia de Salta, caracterizado por la producción de leche, en los últimos años, experimentó un fuerte proceso de intensificación de la actividad pecuaria: la terminación de animales en corral y la producción intensiva de cerdos y pollos lo cual repercutió en una mayor demanda de alimentos en cantidad y calidad. Coincidentemente, se observó el incremento de la superficie sembrada con maíz (MAGyP, 2021), ya que las características del cultivo permiten satisfacer los requisitos en la demanda de alimentos. En tal sentido el maíz se siembra con doble propósito: grano y forraje. Se desconocen el rendimiento silero alcanzable por los híbridos, sembrados en ambientes de distinta productividad a escala de lote y a distintas densidades poblacionales, y la calidad de material para silo que se obtiene. El ensayo se realizó en Estación Experimental Agropecuaria INTA Salta, Cerrillos (24° 53' 35,68" S; 65° 28' 26,02" O), durante la campaña 2021. Se evaluaron tres híbridos sembrados para la producción de granos, los cuales se sembraron en un DBCA, en tres densidades de siembra (38462, 57693 y 76924 plantas ha⁻¹) y en tres ambientes diferentes definidos por la serie de suelo, propiedades inherentes del perfil y la calidad de sitio. La humedad de corte osciló entre 62 y 78%, adecuadas para la elaboración de silo de planta entera. El incremento de la producción de materia seca respondió significativamente al cambio de densidad ($p < 0,0149$), detectándose diferencias promedio de 3.74 t ha⁻¹ y 1.06 t ha⁻¹ al cambiar a la segunda y tercera densidad respectivamente. El efecto del ambiente no fue significativo para la producción de materia seca, aunque dentro de cada ambiente se observó una tendencia diferencial en el comportamiento de los híbridos, que estarían en relación con la plasticidad de los mismos. Otro factor positivo para la producción de materia seca es la duración del ciclo, aumentando en los ciclos más largos. En cuanto a la calidad, el aporte promedio de las espigas a la MST fue del 51 %, y, entre los distintos ambientes y densidades osciló entre 36-62 % (no significativa). Se podría concluir que la producción de MST de los híbridos evaluados responde a la densidad poblacional, y no así a ambientes, por lo cual se seguirá experimentando.

Palabras clave. Maíz, rendimiento, silaje, Materia Seca Total, Valle de Lerma.

Evaluación de la variabilidad de la floración en cerezos (*Prunus avium*) mediante índices vegetacionales especializados, utilizando imágenes multiespectrales

Andrés Honeyman L.¹ Andy Rubio M. Bastian Seguel M.

¹Departamento de Agroindustria y Medio Ambiente, Instituto Profesional INACAP, Santiago sur, Región Metropolitana, Chile. andres.honeyman@inacapmail.cl

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Ante la necesidad de determinar tempranamente la variabilidad de los parámetros productivos y conocer con mayor precisión los manejos necesarios para lograr el máximo rendimiento y calidad en huertos de cerezo de exportación, se estableció un área de estudio de 15 hectáreas (5 cuarteles con variedades Bing, Lapins y Santina), en la VI Región de O'Higgins, Chile. El objetivo de este estudio fue la validación del índice vegetacional de floración mejorado EBI, como alternativa para evaluar la variabilidad de la floración en huertos de cereza. Utilizando imágenes satelitales y de drones, combinado con mediciones de parámetros productivos en terreno como número de centros frutales por planta y flores por centro frutal, se establecieron correlaciones entre el vigor vegetativo y el índice de floración, además de la estimación de flores por planta. La variabilidad encontrada de parámetros productivos fue alta e inversamente proporcional entre ellos. Se encontró una buena correlación entre el índice de floración de la temporada actual con el NDVI de la temporada anterior. El índice de floración mejorado EBI es capaz de distinguir correctamente las flores, de otros elementos del huerto, por lo que es posible establecerlo como una confiable estimación de la cantidad total de flores presentes en un huerto de cerezo y por ende en una estimación temprana de la productividad potencial de ese huerto.

Palabras clave. Centros frutales, conteo de dardos, índice de floración, teledetección.

Introducción

La producción y exportación de cerezas en Chile ha experimentado un crecimiento sin precedentes en los últimos 10 años, constituyéndose en el frutal más plantado, con aproximadamente 45.000 hectáreas en 2020. Se estima que al 2024 Chile superaría las 60.000 ha. plantadas y los 70 millones de cajas exportadas. El fuerte desarrollo de las exportaciones de cereza ha generado también una importante necesidad de desarrollar herramientas tecnológicas de evaluación fenológica del huerto, que permitan tomar decisiones respecto a labores clave para el cultivo y su productividad, como son la evaluación de estructuras productivas o centro frutales y la evaluación de la cantidad de floración que, consecuentemente, se manifiesta cada temporada. Reconociendo estos parámetros se establecen manejos tan relevantes para la futura productividad y calidad, como la poda o el raleo de frutos.

El uso de índices vegetacionales especializados para la evaluación de la floración de frutales de carozo, es algo que se está comenzando a utilizar, basándose en el hecho de que, por un lado estos frutales florecen antes de brotar, por lo que exhiben su volumen floral sin interferencia de la masa foliar y por otro, que la reflectancia de la luz por parte de las flores, es alta en casi todas las bandas utilizadas normalmente en el establecimiento de dichos índices (Horton, 2017; Fang, 2016). De hecho, Chen et al. (2019) desarrolló un índice de floración que, utilizando las bandas visibles del espectro, reconoció los niveles de floración de huertos de almendros, pudiendo seguir el desarrollo de esta etapa fenológica y establecer áreas específicas de variabilidad de este parámetro.

Por otra parte, Xian et al (2014) utilizando algoritmos de clasificación no supervisada, evaluó el nivel de flores de un huerto de manzanos mediante imágenes multiespectrales, lo que le permitió reconocer el nivel de floración para establecer necesidades de raleo, así como también estimaciones de cosecha.

Objetivos

- Recolectar datos georreferenciados en terreno del número de dardos, flores y frutos de un huerto de cerezos.
- Correlacionar índices de floración obtenidos, a partir de imágenes satelitales multiespectrales en período de plena flor con los datos obtenidos en terreno.
- Correlacionar datos obtenidos a partir de una fotografía multiespectral de un dron en plena flor con los datos de terreno.
- Establecer métodos tecnológicos para determinar áreas de manejo diferenciado de prácticas de poda y raleo de cerezos.

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en dependencias de Agrícola El Molino, San Vicente de Tagua Tagua, Chile (UTM: 6194715 m N 308864 m E 19H). Se realizaron muestreos en 5 cuarteles de distintas variedades, cuartel 1 Lapins, cuartel 2 Santina y Lapins, cuartel 3, 4 y 5 Bing, totalizando 18,4 hectáreas. Todos los cuarteles están formados en eje central con densidad de plantación de 800 pl/ha y riego por goteo.

Método

Establecimiento de puntos de muestreo

Se establecieron 33 puntos de muestreo entre los cinco cuarteles del área de estudio, basados en el índice de vegetación normalizada (NDVI), para asegurar que los puntos de muestreo representen todas las realidades de expresión vegetativa observada satelitalmente.

Parámetros evaluados en terreno

Los parámetros a evaluar en los puntos de muestreos fueron; número de centros frutales por árbol (medido como dardos + ramillas por árbol), número de flores por centro frutal, número de flores totales por árbol y número de frutos cuajados por árbol.

Imágenes multiespectrales

Se obtuvieron imágenes satelitales desde la plataforma Sentinel-2 del día 30 de Septiembre, fecha en la que el huerto se encontraba entre 80 y 100% de flor en todos los cuarteles en estudio. Por otra parte el día 26 de septiembre se realizó un vuelo de dron con cámara multiespectral Sentera Double 4K (NDVI + NDRE), a 80 y 120 mt de altura, portada en dron DJI

Índices multiespectrales de floración

Para la evaluación multiespectral de la floración del área de estudio, se utilizaron; el índice de diferencia normalizado de vegetación (NDVI), índice de diferencia normalizado del rojo límite (NDRE) e índice de floración mejorado (EBI)(Ecuación 1)

$$EBI = \frac{A+V+R}{\frac{V}{A}*(R-A+1)} \quad (1)$$

Donde: A=reflectancia en banda azul, V=reflectancia en banda verde y R=reflectancia en banda roja.

Análisis de datos e imágenes

Los datos e imágenes obtenidas fueron procesadas mediante el software libre QGIS, por otro lado la zonificación fue ejecutada mediante el software libre GeoFIS

Resultados

Durante el período de receso invernal del huerto, se establecieron puntos de muestreo en los cuarteles del área de estudio, asignados en forma aleatoria con buffer de 5 mt, los que posteriormente fueron relocalizados para representar en cada cuartel, todos los niveles de vigor determinados por el índice NDVI de la temporada anterior a la de realización del estudio. (Figura 1)



Figura 1: Distribución de puntos de muestreo en el área de estudio modificada por NDVI temporada anterior en máximo desarrollo vegetativo (29 de Noviembre 2020)

Los muestreos iniciales de centros frutales, posterior a la poda, se realizaron en período de receso invernal y mostraron una variabilidad muy alta del parámetro. Los dardos por planta, considerando como equivalente a un dardo, toda ramilla productiva, se movieron entre 180 y 1200 dardos por planta, con una media de 583 dardos por planta. Todos los cuarteles presentaron una alta variabilidad, excepto el cuartel variedad Santina, la que tuvo niveles significativamente más bajos de dardos por árbol, debido a la poda aplicada en esta variedad, previo al conteo de centros frutales (Figura 2 A).

Posteriormente, en los mismos puntos de muestreo, se evaluó la cantidad de flores por dardo (o ramilla)

de todos los cuarteles, observándose una variabilidad media de este parámetro, el que fluctuó entre 11 y 26 flores por dardo con una media de 17,3 flores por dardo (Figura 2 B).

Aunque es esperable la relación inversa observada, donde plantas con menor número de centros frutales, en general muestran una mayor cantidad de flores por dardo. Esta correlación no se dio, en 4 zonas detectadas como anómalas, donde esta correlación fue totalmente inversa a lo esperado (Figura 3 C).

Multiplicando ambos datos anteriormente obtenidos, se llegó al valor de flores totales por planta en el rango de 4.000 a 18.000, con una media de 9.793 flores por planta. Estos valores pueden ser también expresados, según la densidad de plantación, en flores por hectárea, un estándar normalmente ocupado por la industria y que se correlacionó con imágenes satelitales más adelante (Figura 3 C).

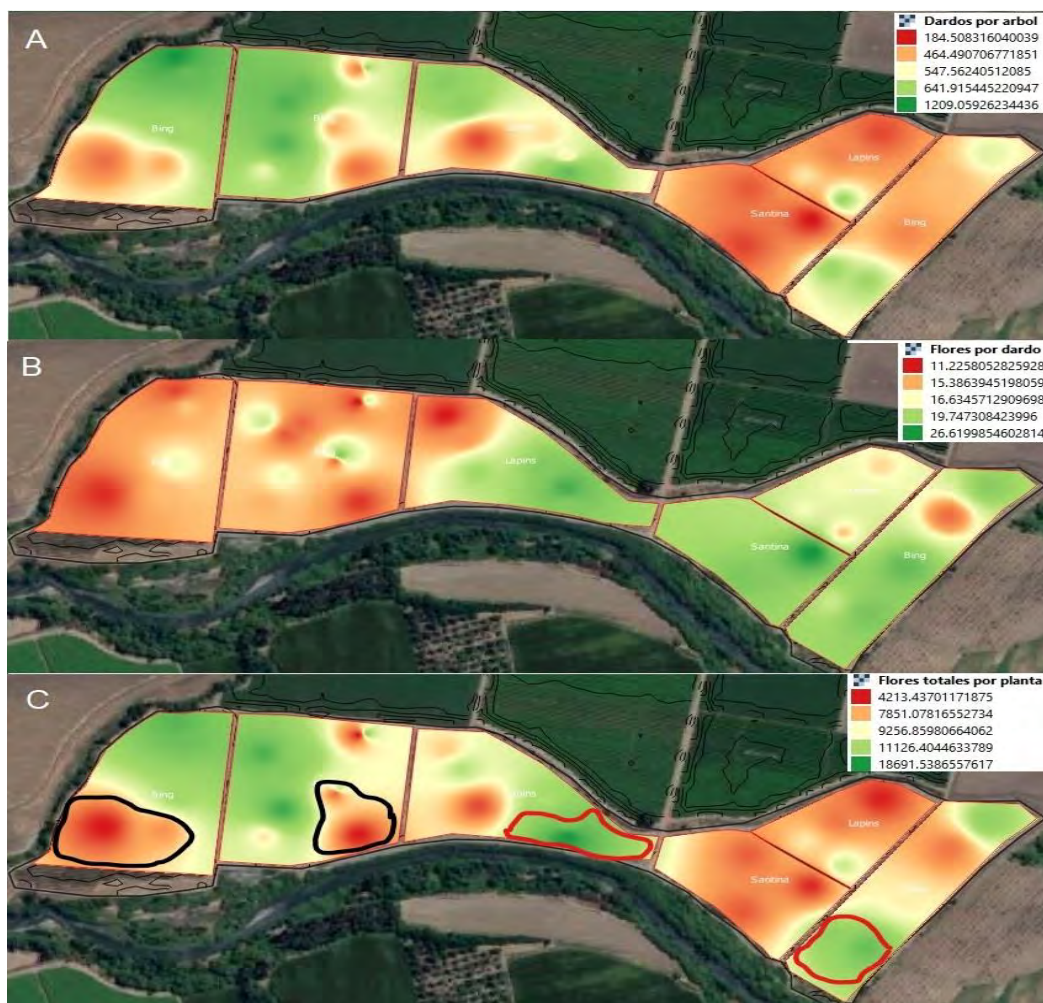


Figura 2. Variabilidad detectada en terreno para los parámetros; Dardos por planta, Flores por dardo y total de flores por planta. Áreas destacadas señalan zonas de comportamiento anómalo. Negro: bajo número de dardos y bajo número de flores por dardo
Rojo: alto número de dardos y alto número de flores por dardo

En plena flor se obtuvieron imágenes satelitales, para generar el índice mejorado de floración (EBI), obteniéndose una alta correlación de este índice con el NDVI de la temporada anterior (Figura 3)



Figura 3: Índice de floración mejorada (EBI) obtenido de imágenes satelitales Sentinel-2 el 30 de Septiembre de 2021 y su correlación con el NDVI obtenido el verano anterior (29 Noviembre 2020)

Al mismo tiempo se generó una segmentación de las imágenes de alta resolución obtenidas con dron, las que se utilizaron para establecer la capacidad de distinguir las flores y su índice de discriminación con elementos del suelo y árboles sin floración (Figura 4). Además, se encuentra en estudio la posibilidad de correlacionar la segmentación de píxeles de cada cuartel con los datos obtenidos en terreno (rendimientos) y generar un índice expresado en flores por hectárea, el que generará una estimación de cosecha temprana.



Figura 4: Comparación de discriminación de flores, a la derecha imagen RGB y a la izquierda EBI (fotografía dron)

Conclusiones

La variabilidad de centros frutales encontrada es alta y justifica la realización de agricultura de precisión para realizar manejos diferenciados tanto en poda como en raleo de frutos.

Aunque en general, existe una relación inversa entre el número de dardos por planta y el número de flores por dardo, en esas mismas plantas, existen áreas anómalas que requieren manejo diferenciado.

El índice mejorado de floración EBI, resultó ser un buen indicador del vigor de las plantas y discriminó correctamente elementos de suelo y plantas sin floración presente.

Se espera generar un modelo predictivo basado en segmentación de índices de floración, que prediga, basado en la intensidad de floración, el rendimiento en etapas tempranas del cultivo

Agradecimientos

Agradecemos a Agrícola El Molino y su subadministrador Cristian Aravena por facilitar el área de estudio y a Pollen Systems Chile (filial Pollen Systems Corp USA) y su director Cristian Escudero por donar el vuelo de dron multiespectral.

Referencias

- Chen, B., Jin, Y., Brown, P. (2019). An enhanced bloom index for quantifying floral phenology using multi-scale remote sensing observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing*, 156, 108-120.
- Fang, S., Tang, W., Peng, Y., Gong, Y., Dai, C., Chai, R., Liu, K.(2016). Remote estimation of vegetation fraction and flower fraction in oilseed rape with unmanned aerial vehicle data. *Remote Sensing*, doi: 10.3390/rs8050416
- Horton, R., Cano, E., Bulanon, D., Fallahi, E. (2017). Peach flower monitoring using aerial multispectral imaging. *Journal of Imaging*, doi:10.3390/jimaging3010002
- Xiao, C., Zheng, L., Sun, H., Zhang, Y., Li, M. (2014). Estimation of the apple flowers based on aerial multispectral image. In *ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting Paper*. Montreal, QC Canada.

Refertilización en trigo basada en el modelo N-INTA vs zonas de manejo

Melchiori, Ricardo¹; Kemerer, Alejandra^{1,2}; Faccendini, Nelson³; Bracco, José Luis³

¹INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Ruta 11 Km 10,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ³Asesor privado Establecimiento Las Acacias, Nogoyá, Entre Ríos, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La adopción de prácticas agronómicas como el manejo de fertilización requiere la disponibilidad de métodos de fácil implementación. INTA desarrolló una propuesta de diagnóstico y prescripción de re fertilización de cultivos basada en el uso de imágenes satelitales disponibles en la plataforma Web de Auravant. El objetivo fue comparar los resultados de la re fertilización nitrogenada obtenida por el método N-INTA vs. la recomendación por zonas de manejo en base a muestreo dirigido de suelos. El trabajo se realizó en dos lotes de trigo en Nogoyá, Entre Ríos. En base a valores de NDVI para inicios de encañazón, se re fertilizó según lo recomendado por el modelo N-INTA, con una dosis de 200 kg urea/ha en el lote 1 y de 160 y 190 kg urea/ha en el lote 2. En el lote 1 se consideraron dos zonas de manejo y las dosis aplicadas fueron de 100 y 150 kg de urea/ha. En el lote 2 se aplicó una dosis única de 90 kg de urea/ha. Los rendimientos medios obtenidos fueron algo superiores para la re fertilización por N-INTA respecto a las zonas de manejo (5424 vs 5210 kg/ha en el lote 1 y 3780 vs 3481 kg/ha en el lote 2). Las dosis recomendadas por N-INTA fueron en todos los casos superiores al manejo por zonas, lo que se tradujo en menores eficiencias de uso del fertilizante a pesar que se obtuvieron mayores rendimientos. Se demuestra la utilidad de la aplicación del modelo N-INTA a escala de lotes.

Palabras clave. Trigo, re fertilización, nitrógeno, manejo sitio específico

Introducción

La agricultura de precisión es una estrategia de gestión de información para respaldar decisiones de manejo de los cultivos y mejorar la eficiencia de uso de los recursos (ISPA, 2018). En este contexto, la instrumentación y tecnologías en la mecanización han tenido un crecimiento mayor y más rápido que las prácticas de manejo variable en cultivos, según encuestas realizadas en Argentina (Melchiori et al., 2018a). Las prácticas agronómicas, como el manejo de la fertilización, requiere de metodologías específicas, o la aplicación de las existentes en escalas de manejo intra lote con mayor requerimiento de esfuerzo y tiempo. Es probable que la escasez de métodos de fácil implementación, así como la respuesta a la fertilización condicionada a factores externos no controlables (Morris et al., 2018), sean causas que explican los bajos niveles de adopción del manejo con dosis variable de fertilización en los cultivos, tanto en Argentina (Melchiori et al., 2013, 2018a) como en países con más desarrollo (Lowenberg-DeBoer y Erickson, 2019).

A partir de la última década la disponibilidad y acceso a imágenes satelitales para el monitoreo de cultivos ha crecido fuertemente. Hoy existe una amplia oferta de plataformas de adquisición y gestión de datos que facilitan el acceso, procesamiento y uso de esta información a muy bajo costo. En este contexto, INTA desarrolló una propuesta de diagnóstico y prescripción de re fertilización de los cultivos basada en el método propuesto por Raun et al. (2005), integrando modificaciones como el uso de referencias virtuales (Holland y Schepers, 2013) utilizando ecuaciones con ajustes locales (Melchiori et al., 2007, 2018b). Mediante una articulación público-privada entre INTA y Auravant, se incorporaron algoritmos de prescripción para trigo integrados como una extensión dentro de dicha plataforma (<https://auraview.auravant.com/>). La herramienta permite generar de forma semiautomática prescripciones de re fertilización con N en trigo utilizando imágenes satelitales como fuente de información.

El objetivo del trabajo fue comparar los resultados de la re fertilización nitrogenada obtenida por el método de re fertilización basado en imágenes satelitales disponible en la plataforma Auravant (N-INTA) vs. la recomendación por zonas de manejo en base a muestreo dirigido de suelos.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en dos lotes de trigo (lote 1: -59.6976; -32.3247 y lote 2: -59.6701; -32.2941) del Establecimiento Las Acacias ubicados en cercanías de la localidad de Nogoyá, Entre Ríos. El cultivo fue sembrado el 1 de junio de 2021, la variedad utilizada en el lote 1 fue Basilio y en el lote 2 Ceibo, sembradas con una densidad de 130 y 150 Kg/ha, respectivamente. Se aplicó una fertilización de base de 100 Kg de urea a la siembra. A inicio de encañazon se re fertilizó según lo recomendado por el modelo de fertilización N-INTA disponible en la plataforma Auravant (figura 1). Las prescripciones se realizaron para un rendimiento alcanzable de 5000 kg/ha en el lote 1 y 4500 kg/ha en el lote 2 y la eficiencia de uso del fertilizante considerado fue del 50%.

En cada uno de los lotes, en la parte central se aplicó una franja según el manejo del productor que consistió en la delimitación de zonas de manejo, muestreo de suelos dirigido por zonas y recomendación de N mediante la aplicación de un modelo desarrollado para la región que determina la dosis de N requerida en función del N disponible ($N_{\text{suelo}} + \text{fertilizante}$) para alcanzar los rendimientos medios zonales (Melchiori y Barbagelata, 2001). En el lote 1 se consideraron dos zonas de manejo, los niveles de $N\text{-NO}_3$ determinados fueron 10.75 y 13.17 pmm, y las dosis aplicadas fueron de 100 y 150 kg de urea/ha para las zonas 1 y 2, respectivamente. En el lote 2, con menor variabilidad los niveles de $N\text{-NO}_3$ determinados fueron 8.7 ppm y se aplicó una dosis única de 90 kg de urea/ha.

La cosecha del lote 1 se realizó el 24 de noviembre y del lote 2, el 13 de noviembre de 2021. La misma se realizó con una cosechadora CASE 8230 equipada con monitor de rendimiento. El mapa de

rendimiento obtenido fue filtrado y acondicionado para eliminar valores erróneos.

Resultados

Los valores de NDVI alcanzados a inicio de encañazón en el cultivo de trigo en el lote 1 fueron elevados y con escasa variación lo que se tradujo en una única dosis recomendada por el modelo N-INTA (figura 1). A su vez, los rendimientos alcanzados superaron levemente los estimados como rendimientos máximos, tanto para la recomendación generada en base a imágenes satelitales como para el manejo por zonas (tabla 1). En el lote 2 los valores de NDVI mostraron diferencias asociadas a distintos cultivos antecesores, lo que determinó variaciones en las dosis prescritas por el modelo N-INTA. Asimismo, se observaron diferencias en el rendimiento alcanzado, siendo más elevado para la dosis más baja prescrita por el modelo N-INTA (tabla 1).

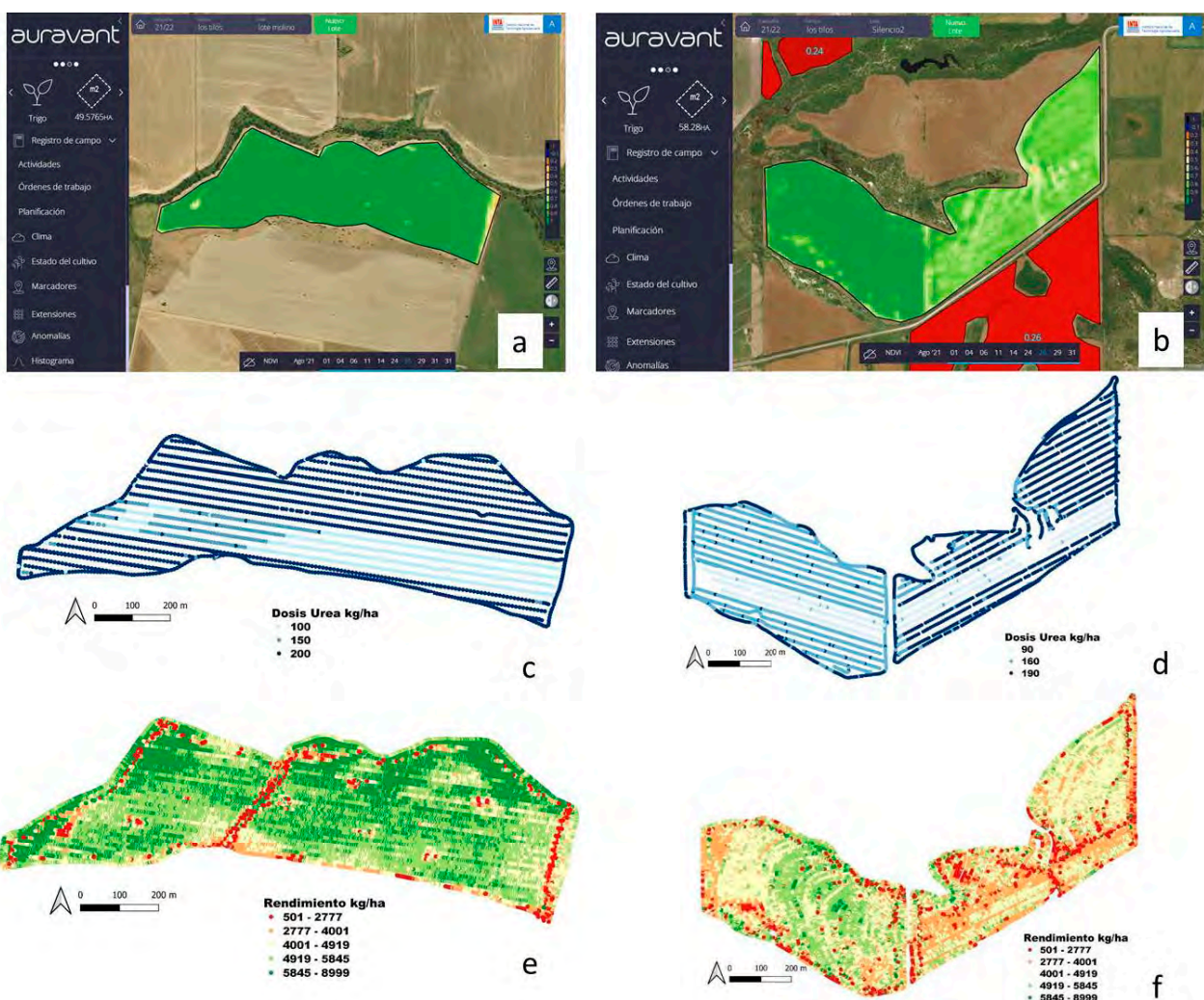


Figura 1. Imagen de NDVI correspondiente al 26 de agosto de 2021 utilizada para la recomendación de re fertilización estimada mediante el modelo N-INTA disponible en la plataforma de Auravant correspondiente al lote 1 a) y al lote 2 b); mapa de prescripción de re fertilización aplicado en el lote 1 c) y lote 2 d); y mapa de rendimiento del cultivo de trigo del lote 1 e) y lote 2 f).

En ambos lotes los rendimientos medios obtenidos fueron algo superiores para la re fertilización generada con el modelo N-INTA respecto al obtenido con el manejo por zonas del productor (5424 vs 5210 kg/ha en el lote 1 y 3780 vs 3481 kg/ha en el lote 2). Los valores mínimos fueron coincidentes, la distribución de los datos de rendimiento estuvo más concentrada en torno al valor medio para el manejo del productor en el lote 1, probablemente debido a que la franja de manejo del productor estuvo

localizada en un área más homogénea dentro del lote (figura 1c). Mientras que, en el resto de los casos el rendimiento se distribuyó en todo el área del lote y el rango de valores explorados fue mayor (figura 2).

Tabla 1. Rendimiento según re fertilización basada en el modelo N-INTA disponible en la plataforma de Auravant y recomendación por zonas de manejo en base a muestreo dirigido de suelos (ZM).

Lote	Sistema de prescripción	Dosis (kg urea/ha)	Rendimiento (kg/ha)		
			Medio	Mínimo	Máximo
1	N-INTA-polígono1	200	5424	502	8998
	ZM -Zona 1	100	5233	514	8761
	ZM-Zona 2	150	5158	500	8562
2	N-INTA - polígono1	160	3993	506	8444
	N-INTA - polígono2	190	3568	501	8480
	ZM-Zona 1	90	3481	502	8308

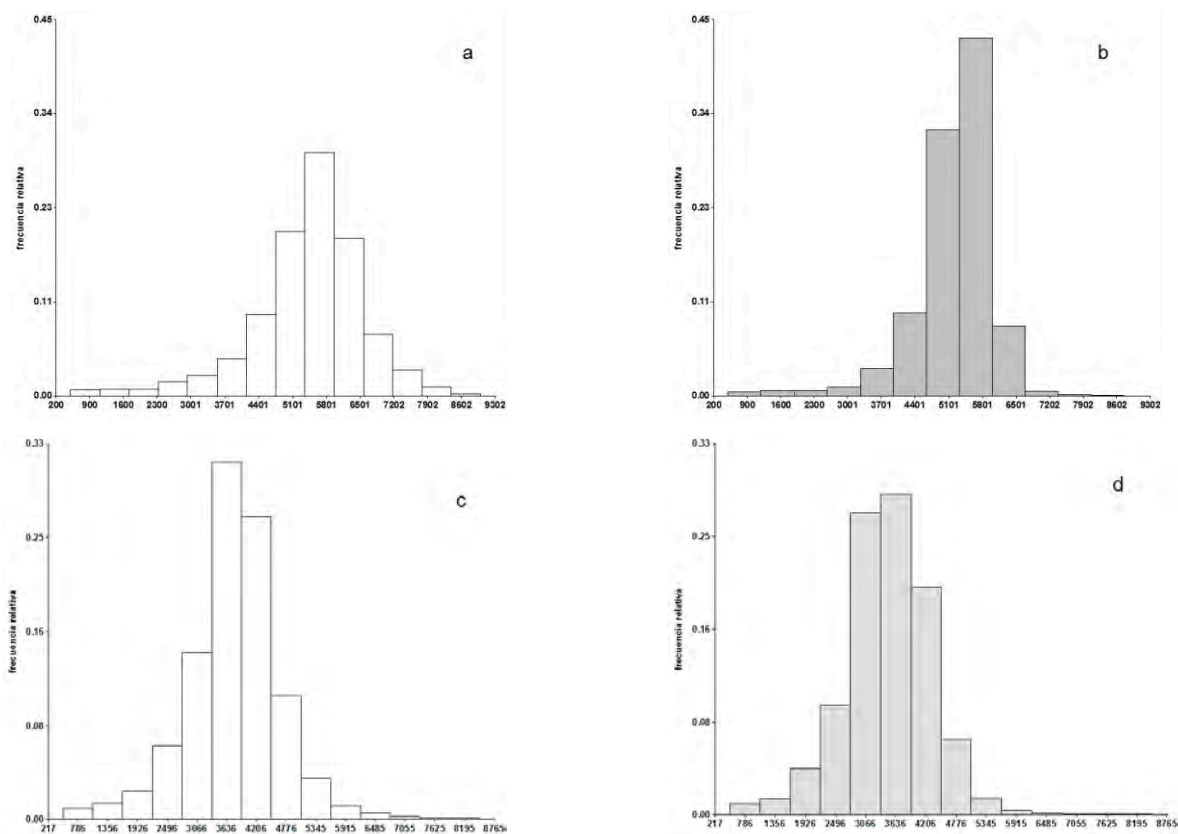


Figura 2. Distribución del rendimiento para la re fertilización estimada mediante el modelo N-INTA disponible en la plataforma de Auravant a) y c); y recomendación por zonas de manejo b) y d), de los lotes 1 y 2, respectivamente

En función de los rendimientos y la cantidad de N aplicado en cada tipo de manejo, se calcularon las eficiencias de uso de nitrógeno (EUN), las que fueron mayores para el manejo del productor respecto a la re fertilización basada en el modelo N-INTA, principalmente debido a las menores dosis de N aplicadas en el primer caso. En el lote 1 la EUN para la zona 1 fue de 57 kg grano/kg de N aplicado, en la zona 2 fue de 45 kg grano/kg de N y para la re fertilización generada en base al modelo N-INTA fue de 39 kg de grano/kg de N aplicado. En el lote 2 la EUN para el manejo del productor fue de 40 kg de grano/Kg de N aplicado y en la recomendación de re fertilización generada en base al modelo N-INTA fue de 34 kg de grano/Kg de N en el sector donde se aplicaron 160 kg de urea y de 27 kg de grano/Kg de N donde se aplicaron 190 kg de urea.

Las dosis recomendadas en el manejo basado en imágenes fueron en todos los casos superiores a las recomendadas en base a muestreo de suelos y manejo por zonas, lo que se tradujo en menores eficiencias de uso del fertilizante a pesar que se obtuvieron mayores rendimientos.

Conclusiones

En el presente trabajo se demuestra el monitoreo y la aplicación a escala de lotes de producción del método de re fertilización basado en imágenes satelitales realizado mediante la utilización de la extensión N-INTA disponible en la plataforma Auravant.

Los resultados obtenidos mostraron rendimiento superiores a los del manejo del productor, aunque con menores eficiencias de uso del N.

Agradecimientos

Queremos agradecer al personal del Establecimiento Las Acacias por su colaboración en la ejecución del trabajo. Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto I177 del INTA.

Referencias

- Auravant. <https://auraview.auravant.com/>
- Holland, K. & Schepers, J. (2013) Use of a virtual-reference concept to interpret active crop canopy sensor data. *Precision Agriculture*. DOI: 10.1007/s11119-012-9301-6
- ISPA (2018) Precision Ag Definition. <https://www.ispag.org/about/definition>.
- Lowenberg-DeBoer, J. M. & Erickson, B. (2019) Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption. *Agronomy Journal*. doi/10.2134/agronj2018.12.0779
- Melchiori, R. & Barbagelata, P. (2001) Diagnóstico de fertilización nitrogenada para trigo en el oeste de la provincia de Entre Ríos. *Serie extensión. EEA Paraná* (22).
- Melchiori R., Caviglia, O., Faccendini, N. & Albarenque, S. (2007) Utilización de sensores remotos para manejo de nitrógeno en trigo. *Serie de Extensión. EEA Paraná* (42). Actualización Técnica Cultivos de Invierno. ISSN 0325 – 8874. P 32 - 37.
- Melchiori, R., Albarenque, S. & Kemerer, A. (2013) Uso, adopción y limitaciones de la Agricultura de Precisión en Argentina. 12° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas.
- Melchiori, R., Albarenque, S. & Kemerer, A. (2018a) Evolución y cambios en la adopción de la agricultura de precisión en Argentina. En: 17° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas.
- Melchiori, R., Melchiori, A., Albarenque, S. & Kemerer, A. (2018b) Generación de mapas de prescripción variable de nitrógeno utilizando imágenes de sensores remotos. En: 17° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas.
- Morris, T., Murrell, T., Beegle, D., Camberato, J., Ferguson, R., Grove, J... & Yang, H. (2018) Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal*. doi: 10.2134/agronj2017.02.0112.
- Raun, W., Solie, J., Stone, M., Martin, K., Freeman, K., Mullen, R... & Johnson, G. V. (2005) Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(19-20), 2759-2781.

MONITOREO SATELITAL DEL ESTATUS NITROGENADO EN MAÍZ

A.M. Lapaz Oliveira^{1,2*}, M. Castro-Franco³, H.R. Saínz Rozas^{1,4}, W.D. Carciochi^{1,4}, M. Balzarini^{4,5}, O. Ávila^{1,2}, G. Larrea¹, S. Tovar Hernández¹, M.P. Rodríguez^{1,2}, N. Reussi Calvo^{1,4,6}.

¹UIB (EEA-INTA Balcarce) - FCA (UNMdP). ²FONCyT. ³FCAyRN (Unillanos, COL). ⁴CONICET. ⁵FCA (UNC). ⁶FERTILAB. * Ruta 226 km 73,5 (Balcarce, AR), mail: adrianlapaz2010@gmail.com

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. Las herramientas de teledetección satelital están siendo utilizadas para obtener información del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a escala de lote. El objetivo de este trabajo fue modelar el estatus nitrogenado desde datos multiespectrales, radar de apertura sintética en banda C (C-SAR) y determinaciones de suelo durante los estadios de 6, 10, 14 hojas desarrolladas y floración (V_6 , V_{10} , V_{14} , R_1 , respectivamente). Durante la campaña 2020/21 se realizaron 11 experimentos cada uno con distintas dosis de fertilización nitrogenada en maíz en la Región Pampeana Argentina. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con tres repeticiones y cinco dosis de Nitrógeno (0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹) aplicadas a la siembra del cultivo. En V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1 se cortaron 12 plantas por unidad experimental para determinar el índice de nutrición nitrogenada (INN), que asumió valores de 0,431 a 1,536. Sobre seis experimentos, se calibraron modelos de regresión lineal, relacionando al INN con datos satelitales de distintos tipos solamente o acompañados por determinaciones en suelo, que se validaron en los cinco experimentos restantes. En la calibración el coeficiente de determinación (R^2) varió según el modelo desde 0,409 hasta 0,829. Durante la validación la predicción del INN tuvo un cuadrado medio del error (RMSE) que varió entre 0,068 a 0,152 y un RMSE relativo (RRMSE) desde 6,4 hasta 18,9%. Los modelos más precisos fueron los que integraron datos multiespectrales, C-SAR y determinaciones de suelo. Las herramientas de teledetección permiten monitorear el INN de manera precisa.

Palabras clave. Índice de nutrición nitrogenada, Nitrógeno, Índices de vegetación, Banda C, Radar de Apertura Sintética, Multiespectral, Sentinel 1, Sentinel 2, Sensores remotos.

Introducción

El manejo del nitrógeno (N) en maíz (*Zea mays L.*) plantea la necesidad de contar con herramientas que permitan monitorear el estatus nitrogenado del cultivo para reajustar la dosis de N inicial (Saínz Rozas et al., 2019). Se ha propuesto para tal fin el índice de nutrición nitrogenada (INN) (Plénet & Lemaire, 2000) que se calcula como el cociente entre la concentración actual de N y la concentración crítica para una biomasa determinada por lo que valores menores a uno indican deficiencia y mayores suficiencia de N. Sin embargo, las determinaciones por muestreo no captan la variabilidad espacial total del N a escala de lote (Pagani, 2014) y, además, requieren un elevado costo (Wyngaard et al., 2018). Se hipotetiza que el uso de tecnologías emergentes de teledetección satelital podría ser apropiado para estimar la variación espacial del INN en cultivos de maíz de manera rápida, económica y no destructiva.

Las herramientas de teledetección satelital han demostrado tener potencialidad para monitorear distintos parámetros biofísicos en maíz (Morris et al., 2018). Según la forma de relevamiento y la energía terrestre observada, los sensores satelitales se clasifican en pasivos (multiespectrales) y activos (radar de apertura sintética, SAR) (Reuter, 2009). Los primeros realizan observaciones en el espectro visible e infrarrojo de manera pasiva y no son operativos en días nublados. Los datos multiespectrales (bandas) permiten calcular índices de vegetación que han sido empleados para el monitoreo de biomasa en maíz (Li et al., 2014, Hosseini et al., 2018). Los SAR realizan observaciones en las microondas terrestres (5.4 Ghz, banda C) que son independientes de las condiciones atmosféricas (McNairn & Shang, 2016). Se ha demostrado la sensibilidad de datos SAR en banda C (C-SAR) para cuantificar parámetros biofísicos del cultivo de maíz (Hosseini et al., 2019, Mandal et al., 2020). Sin embargo, en esos estudios no se predice el INN. El objetivo de este trabajo fue calibrar y validar modelos estadísticos para predecir el INN mediante determinaciones de suelo, datos multiespectrales y C-SAR para los estadios de 6, 10, 14 hojas desarrolladas y floración de maíz.

Metodología

Durante la campaña 2020/21 se realizaron 11 experimentos de fertilización nitrogenada en maíz sobre 4 lotes comerciales, 7 en el norte de la Región Pampeana Argentina y 4 en el sudeste bonaerense. Cada experimento fue ubicado en ambientes productivos diferentes delimitados según los rendimientos históricos, topografía y datos multiespectrales del lote (Córdoba et al., 2016). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones y con cinco dosis de 0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹ aplicadas a la siembra del cultivo (Urea, 46-0-0). La densidad y fecha de siembra fue la óptima según el productor. Se trabajó sin limitaciones de fósforo, azufre y micronutrientes.

El área de interés de la unidad experimental fue de 50 x 50 m. Durante la siembra se tomaron muestras de suelo compuestas de una grilla (5 x 5 m) y se determinó en el estrato de 0-20 cm el N anaeróbico (Nan, Bremner, & Keeney, 1965) y la textura (Bouyoucos, 1962), mientras que en 0-60 cm el contenido de N-NO₃⁻ (Keeney & Nelson, 1982). El N disponible (N_{disp}) se calculó como la suma entre el N en el suelo más el N del fertilizante. En los estadios de 6, 10, 14 hojas desarrolladas y floración de maíz (V₆, V₁₀, V₁₄ y R₁; Ritchie & Hanway, 1982) se cortaron 12 plantas por parcela al ras del suelo distribuidas según el protocolo de Elementary Sampling Unit (Baret et al., 2021) (Figura 1). Se determinó la biomasa aérea seca (BA) y la concentración de N en planta (N_{pl}) con el método de Dumas (Jung et al., 2003).

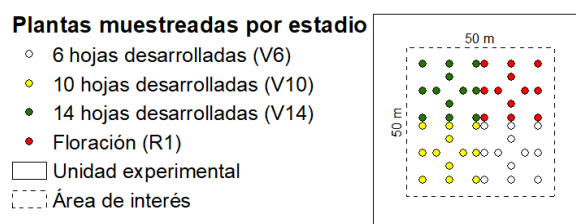


Figura 1. Esquema de muestreo de biomasa aérea para una unidad experimental según el protocolo ESU (Baret et al., 2021). Cada punto es una planta y el color es el estadio en que fue tomada.

El INN se calculó según Plenet & Lemaire (2000):

$$\text{si } BA < 1 \text{ Mg ha}^{-1}, INN = \frac{N_{pl} (\%)}{3,4} \quad (1)$$

$$\text{si } BA > 1 \text{ Mg ha}^{-1}, INN = \frac{N_{pl} (\%)}{(3,4 \times BA (\text{Mg ha}^{-1}))^{-0,37}} \quad (2)$$

donde 3,4 y -0,37 son parámetros del modelo para estimar la concentración crítica de N.

Sobre los puntos y, en cada estadio de muestreo de BA, se obtuvieron datos multiespectrales de Sentinel 2 a una resolución espacial de 10 y 20 m. Las correcciones atmosféricas se ejecutaron con el plugin Semi-Automatic en QGIS 3.16 (Congedo, 2016) y se calcularon 58 índices de vegetación de los cuales, 11 se detallan en la Tabla 1. Los datos C-SAR se adquirieron en formato IW-GRD y se procesaron en SNAP Software (2020) según Filliponi (2019): Apply Orbit File – Thermal Noise Removed – Removed GRD Border Noise – Radiometric Calibration – Multilooking (4x4) – Speckle (Lee 3x3) – Range Doppler Terrain Correction. Se obtuvieron los parámetros polarimétricos horizontal-vertical (HV) y vertical-vertical (VV) en dB según *Beta Naught* a una resolución espacial de 10 m. Los datos satelitales se relativizaron al valor máximo del sitio (rel) y ambiente (amb) (Eq. 3; Holland & Schepers, 2013).

$$X_{rel \text{ ó } amb} = \frac{ND}{ND \text{ máximo sitio ó ambiente productivo}} \quad (3)$$

donde X es el dato satelital normalizado y ND el nivel digital de la imagen

Tabla 1. Índices de vegetación calculados con datos multiespectrales de Sentinel 2.

Índices de vegetación	Fórmula
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	$(B8-B4)/(B8+B4)$
Absorción de clorofila modificada en el índice de reflectancia (MCARI1)	$3 \times [(B5-B4)-0,2 \times (B5-B3)] \times (B5/B4)$
MCARI2	$3 \times [(B6-B4)-0,2 \times (B6-B3)] \times (B6/B4)$
Índice de SWIR-rojo de diferencia normalizada (NDSWR) (desarrollado en este estudio)	$(B11-B4)/(B11+B4)$
Índice de diferencia de agua normalizado (NDWI)	$(B8-B11)/(B8+B11)$
Índice de vegetación ajustado al suelo modificado (MSAVI)	$0,5 \times \{2 \times B8 + 1 - \sqrt{[(2 \times B8 + 1)^2 - 8 \times (B8 - B4)]}\}$
Posición de borde rojo (REP)	$\lambda B5 - \{(\lambda B6 - \lambda B5) \times [(B4 + B7) / 2 - B5]\} / (B6 - B5)$
Índice de vegetación triangular del borde rojo núcleo (RETVI)	$100 \times (B8 - B7) - 10 \times (B8 - B3)$
Índice de vegetación de relación simple 2 (SRre)	$B8/B6$

Bandas espectrales de Sentinel 2, B2: azul, B3: verde B4: rojo, B5, B6, B7 son borde rojo de 704, 741 y 783nm, B8: infrarrojo cercano, B8A: infrarrojo cercano estrecho (865nm), B11: SWIR1 (1614nm), B12 (2202nm). λ : es el valor central de la longitud de onda de la banda espectral.

Los datos de calibración fueron relevados en 6 experimentos de dos sitios y se utilizaron para desarrollar modelos de regresión lineal entre el INN y una, dos, tres o cuatro variables independientes (datos C-SAR, multiespectrales y análisis de suelo). Los datos de validación fueron relevados en los otros 5 experimentos. La selección del modelo predictor durante la validación se basó en la capacidad predictiva expresada en la raíz cuadrada del cuadrado medio del error de predicción (RMSE) y el RMSE relativo al promedio del INN observado. Además, se consideró el coeficiente de determinación (R^2) de la calibración. Los análisis se realizaron en el programa R v 3.6.3 (R Core Team, 2019).

Resultados y discusión

La Tabla 2 presenta las calibraciones y validaciones de los modelos que fueron estadísticamente significativos ($p < 0,001$) para estimar el INN. El rango de INN fue de 0,431 a 1,536, como en otros trabajos (Plenet & Lemaire, 2000). El R^2 de los modelos ajustados en la etapa de la calibración varió de 0,409 hasta 0,829 (Tabla 2). Por otro lado, el RMSE durante la validación osciló de 0,068 a 0,152 en la escala del INN que en términos porcentuales equivale a un 6,4 a 18,9% de la media de INN (RRMSE). La predicción del INN con modelos regresores que incluyeron solo datos multiespectrales tuvo un RMSE de 0,075 a 0,145 (RRMSE varió de 7,1 a 18,9%). Los resultados muestran que la alta resolución espectral de Sentinel 2 para dividir el espectro rojo permitió incrementar la sensibilidad para detectar el

estatus nitrogenado del cultivo de maíz. La mayoría de los modelos que resultaron estadísticamente significativos (Tabla 2) incluyeron índices de vegetación calculados con bandas de borde rojo, espectro reconocidamente relacionado con el N en maíz (Li et al., 2014). Por otro lado, los modelos calibrados solo con datos C-SAR no fueron significativos ($p > 0.05$) desde V_{10} hasta R_1 . Sin embargo, los modelos que integraron datos de ambos sensores satelitales obtuvieron menor rango de error de predicción relativo (RRMSE: 7 a 16%) respecto a los que tuvieron solo datos multiespectrales. La incorporación del N_{disp} a los modelos disminuyó el error de predicción (Tabla 2). Solo para V_{14} agregar como variable independiente al cociente entre el Nan y la suma del contenido de arcilla y limo ($Nan/(Ac+Li)$) aumentó el ajuste de los modelos y la precisión de predicción (Tabla 2). La normalización por ambiente productivo (X_{amb}) fue más preferida que la relativización por sitio (X_{rel}), esto se puede observar en las variables de la Tabla 2 que tienen un subíndice rel o amb (ej. VH^2_{rel}). Este resultado sugiere que podría haber efecto del ambiente y/o densidad de plantas sobre los datos multiespectrales y C-SAR. Las variables regresoras con datos C-SAR fueron los valores absolutos de las retrodispersiones en decibels elevados al cuadrado (VV^2 , VH^2) y en logaritmo de base 10 ($\log_{10}(VV)$, $\log_{10}(VH)$) (Tabla 2). Por otra parte, las mayores precisiones de predicción obtenidas durante V_6 se deben a la menor variabilidad del INN observado. En síntesis, los modelos con datos multiespectrales, C-SAR y N_{disp} mostraron mejores ajustes a los datos de INN y mayor capacidad predictiva de INN independientemente de la etapa del ciclo del cultivo (Tabla 2). Por lo tanto, las herramientas de teledetección satelital integradas al análisis de suelo permiten monitorear el estatus nitrogenado del maíz durante el ciclo del cultivo.

Tabla 2. Modelos de regresión del índice de nutrición nitrogenada (INN) en maíz con datos multiespectrales, C-SAR y análisis de suelo para los estadios V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1 del cultivo de maíz.

Estadio/Modelo	Parámetros y variables predictoras					Calibración (n=90)	Validación (n=75)	
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ²	RMSE	RRMSE
V_6								
1	0,8116	4,034 B2				0,531	0,075	7,1%
2	1,0193	0,0008 VH^2	-1,7461 PPR			0,541	0,075	7,0%
3	0,6425	4,469 B2	0,0007 N_{disp}			0,807	0,068	6,4%
4	0,7453	0,0023 VH^2	-0,8379 VH^2_{rel}	0,0007 N_{disp}		0,805	0,098	9,8%
5	0,8598	0,0009 VH^2	-1,76 PPR	0,0007 N_{disp}		0,774	0,070	6,6%
V_{10}								
6	-3,0797	2,749 B8A	3,2907 $SRre_{amb}$			0,413	0,125	12,9%
7	67,9609	1,233 $\log_{10}(VV)_{amb}$	0,1555 RETVI	-68,4414 REP_{amb}		0,413	0,123	12,8%
8	0,6746	0,1003 RETVI	0,0014 N_{disp}			0,673	0,116	12,6%
9	5,1509	-2,7551 $\log_{10}(VV)_{rel}$	-3,4663 VH/VV_{rel}	1,4897 $(VH-VV)/(VH+VV)_{amb}$	0,0016 N_{disp}	0,710	0,113	12,2%
10	0,6843	-0,001 VV^2	0,1288 RETVI	0,0014 N_{disp}		0,687	0,104	11,1%
V_{14}								
11	2,3136	-1,6415 $MCARI1/MSAVI_{rel}$				0,439	0,139	14,6%
12	1,5965	3,0815 $(VH-VV)/(VH+VV)$	-1,7182 $MCARI1/MSAVI_{rel}$			0,602	0,152	16,0%
13	1,6231	-1,0536 $MCARI1/MSAVI_{rel}$	0,0012 N_{disp}			0,602	0,108	11,4%
14	-0,9015	1,691 VH^2_{amb}	0,0017 N_{disp}			0,586	0,138	14,4%
15	0,2442	1,2607 VH^2_{amb}	-0,8298 $MCARI1/MSAVI_{rel}$	0,0013 N_{disp}		0,661	0,118	12,4%
16	1,0855	-0,669 $MCARI1/MSAVI_{rel}$	0,0014 N_{disp}	1,6148 $Nan/(Ac+Li)$		0,656	0,115	12,0%
17	-0,9432	1,4396 VH^2_{amb}	0,0017 N_{disp}	2,0322 $Nan/(Ac+Li)$		0,694	0,142	14,6%
18	-0,2665	1,2435 VH^2_{amb}	-0,4835 $MCARI1/MSAVI_{rel}$	0,0015 N_{disp}	1,5907 $Nan/(Ac+Li)$	0,714	0,123	12,7%
R_1								
19	-2,1065	-0,5622 $MCARI1/MSAVI_{rel}$	4,7084 $NDSWR_{amb}$	-1,2674 $MCARI2/MSAVI_{amb}$		0,409	0,145	18,9%
20	101,5839	-2,4634 $\log_{10}(VV)$	-0,1426 REP	-1,5447 $NDWI_{rel}$		0,456	0,122	15,9%
21	-0,1473	0,768 $NDSWR_{amb}$	0,0018 N_{disp}			0,827	0,123	16,0%
22	2,4540	-1,903 $\log_{10}(VH)_{amb}$	0,0019 N_{disp}			0,825	0,131	17,0%
23	1,4178	-0,9697 $\log_{10}(VH)$	1,4129 B6	0,0019 N_{disp}		0,829	0,096	12,3%

VV (vertical vertical) y VH (vertical-horizontal) son retrodispersiones de C-SAR (Sentinel 1) normalizados por beta. Variables del análisis de suelo (0-20 cm): N_{disp} es nitrógeno (N) disponible ($kg\ ha^{-1}$, 0-60 cm), Nan es N anaeróbico ($mg\ kg^{-1}$), Ac y Li son arcilla y limo ($g\ kg^{-1}$). R² es el coeficiente de determinación y RMSE el cuadrado medio del error. **Los valores de métricas en negrita son los modelos más precisos por estadio.**

Conclusiones

Se ajustaron y validaron modelos de regresión lineal para estimar el INN en función de datos satelitales multiespectrales y C-SAR solos o acompañados con determinaciones de suelo. La integración de la información satelital con determinaciones de N disponible aumentó la capacidad predictiva del estatus nitrogenado del cultivo. La complementación del diagnóstico de N en base a análisis de suelo con un monitoreo satelital del INN permitiría monitorear de forma precisa el estatus nitrogenado del maíz. A futuro, se debería investigar si la incorporación del agua disponible del suelo estimada con datos satelitales aumenta la precisión de los modelos.

Agradecimientos

Agradecemos a los establecimientos de Las Balas (LIAG Argentina), El Cisne (FUMISEM SRL), El Palomar (Sr. Pereyra) y La Masia (Sr. Pernia) por facilitar los lugares para la instalación de sitios experimentales y, al Proyecto 2019-PE-E9-I177-001 de INTA y el Proyecto PICT 2016 (0304) de FonCyT por la financiación. Además, a la colaboración de los ingenieros agrónomos Francisco Melcón, Nicolás Spurio, Diego Aguilera, Jorge Ramírez y Rafael de Velazco.

Referencias

- Baret, F., Weiss, M., Allard, D., Garrigue, S., Leroy, M., Jeanjean, H., et al. (2021). VALERI: a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products. <https://hal.inrae.fr/hal-03221068>
- Bremner, J., & Keeney, D. (1965). Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chim. Acta* 32:485–495, doi:10.1016/S0003-2670(00)88973-4
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *A J.* 54(5), 464–465.
- Congedo, L. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. <http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- Córdoba, M. A., Bruno, C. I., Costa, J. L., Peralta, N. R., & Balzarini, M. G. (2016.) Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 143, 95–107.
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. In: *MDPI Proceedings*, 18(1), p. 11.
- Holland, K. H., & Schepers, J. S. (2013). Use of a virtual-reference concept to interpret active crop canopy sensor data. *Precision Agriculture*, 14(1), 71-85.
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Davidson, A., Robertson, & L. Di. (2018). Combination of optical and SAR sensors for monitoring biomass over corn fields. In: 2018 IEEE IGARSS (pp. 5952–5955). Valencia, España, 22-27 July.
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Dingle Robertson, L., Davidson, A., & Homayouni, S. (2019). Synthetic aperture radar and optical satellite data for estimating the biomass of corn. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 83, 101933.
- Jung, S., Rickert, D. A., Deak, N. A., Aldin, E. D., Recknor, J., Johnson, L. A., Murphy, P. A. (2003). Comparison of Kjeldahl and Dumas Methods for Determining Protein Contents of Soybean Products. *JAOCS*, 80(12), 1169–1173.
- Keeney, D. R. & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-inorganic forms. In: A.L. Page (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA* (pp. 643–698). Madison, WI.
- Li, F., Miao, Y., Feng, G., Yuan, F., Yue, S., Gao, X., et al. (2014). Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 111–123.
- Mandal, D., Kumar, V., Lopez-Sanchez, J. M., Bhattacharya, A., McNairn, H., & Rao, Y. S. (2020). Crop biophysical parameter retrieval from Sentinel-1 SAR data with a multi-target inversion of Water Cloud Model. *International Journal of Remote Sensing*, 41(14), 5503-5524.
- McNairn, H., & Shang, J. (2016). A Review of Multitemporal Synthetic Aperture Radar (SAR) for Crop Monitoring. In: Y. Ban (Ed.), *Multitemporal Remote Sensing. RSDIP, vol 20.* Springer (pp. 317–340), Cham. Ottawa, Canadá.
- Morris, T. F., Murrell, T. S., Beegle, D. B., Camberato, J. J., Ferguson, R. B., Grove, J., et al. (2018). Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal*, 110(1), 1–37.
- Pagani, A. (2014). Manejo sitio-específico de nutriente. In: Echeverría, H. E.; García, F. O. (Ed.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos* (pp. 839–870). Buenos Aires: Editorial INTA.
- Plénet, D., & Lemaire, G. (2000). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, 216, 65–82.
- R CORE TEAM. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing,

Vienna, Austria. Versión 3.6.3. <http://www.R-project.org>

- Reuter, F. (2009). Principios de teledetección. Serie Didáctica No 33. Catedra de Teldetección y Cartografía, FCF – UNSE, 74 p.
- Ritchie, S. W. & Hanway, J. J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. In: Special Report (48). p. 24.
- Saíenz Rozas, H. R., Reussi Calvo, N. I., & Barbieri, P. A. (2019). Uso del índice de verdor para determinar la dosis optima económica de nitrógeno en maíz. Ciencia del suelo, 37(2), 246–256.
- Wyngaard, N., Cabrera, M. L., Shober, A. & Kanwar, R. (2018). Fertilization strategy can affect the estimation of soil nitrogen mineralization potential with chemical methods. Plant and Soil. 432:75–89.

An integrated approach for the zoning and crop rotation planning problem in a context of organic agriculture

Víctor M. Alborno and Gabriel E. Zamora

Departamento de Industrias. Campus Santiago Vitacura. Universidad Técnica Federico Santa María.
Av. Santa María 6400. Santiago, Región Metropolitana, Chile.

Abstract. *This contribution tackles management zone delineation and crop rotation planning problems in an integrated precision agriculture framework in a context of organic agriculture. The zoning problem defines homogeneous management zones regarding their soil properties, and for which specific rates of agricultural inputs are necessary. From a sustainable point of view, the crop rotation planning problem considers cropping of species from different botanic families in adjacent zones at the same time. With this in mind, we present a linear binary integer program for an integrated zoning and crop planning problem with adjacency constraints. In this model, we maximize the incomes of the crop plan for a given planning horizon subject to zoning and adjacency constraints on crop families. The proposed model is efficiently solved using an optimization algorithmic strategy based on a decomposition method and computational results from a set of instances are presented to show the impact of the adopted methodology.*

Keywords. *Management zones, crop planning, adjacency constraints, organic agriculture, decomposition algorithms.*

Introducción

One of the novel aspects in modern agriculture is to use analytical methods to face within-field variability of soil and vegetation properties with the purpose of improving agricultural practices for crop planning such as fertilization, irrigation and harvest planning. This modern point of view also considers the intensive use of Information Technology, such as systems of geographic positioning, sensors, drones, and other data collection devices. This aids in understanding and forecasting spatial and temporal variations of soil and vegetation properties and crop yields, which can be incorporated as part of a decision support system for agricultural production. To respond to within-field variability it is possible to divide the field into site-specific management zones, whose choice defines the so-called management zone problem in precision agriculture.

A management zone is a sub-region of a field that is homogeneous with respect to a given soil or vegetation property, such that it allows performing site-specific agricultural management. Most approaches in the literature for determining management zones are based on clustering algorithms using principal component analysis, spatial autocorrelation, k-means, fuzzy k-means and fuzzy c-means methods among many others, see e.g. Córdoba et al. (2016) and Betzek et al. (2018). More recently, artificial intelligence techniques and segmentation methods arising from the signal processing area have been also used to delineate management zones.

Operations Research also provides different methodologies for the management zone problem, Cid-García et al. (2013) proposed a management zone delineation method using a binary integer programming model, which from a soil property allows delineation of rectangular management zones facilitating the agronomic practices for crop planning in a site-specific manner. Then, Albornoz et al. (2015) extended the binary integer program model into a bi-objective mixed-integer model as part of a hierarchical optimization approach for addressing zoning and crop planning problems. Albornoz and Nanco (2016) presented a solution strategy for solving the above mentioned binary integer program using a column generation decomposition method (Desaulniers et al., 2005). This numerical strategy was extended by Albornoz et al. (2019) for a robust optimization model that included a set of scenarios concerning uncertain future values for a soil or crop index. Previously, Costa et al. (2014), Santos et al. (2015) and Alfandari et al. (2015) proposed crop models that were efficiently solved using column generation ideas. Cid-García and Ibarra-Rojas (2019) proposed an integrated optimization model for zoning and crop planning problems that considers a nonlinear optimization model that generates a partition based on a chemical property for crop assignment and another partition based on a physical property for irrigation activities. Salama et al (2020) applied a binary integer programming model to solve the crop planning problem in a small farm while considering limited water availability and Velasco et al. (2021) generated management zones with orthogonal shapes (L or T shapes) that minimize the number of zones required to delineate the field based on evolutionary computation, specifically on a class of the estimation of distribution algorithms.

On the other hand, organic agriculture is an integral system for production of food on farms based on management practices whose main objective is to achieve sustained productivity based on the conservation of natural resources and the minimal use of external inputs. Therefore, the label of organic product denotes compliance with specific production and processing methods where, for example, the use of pesticides and synthetic fertilizers is usually prohibited. Among the agricultural practices that help to reduce soil degradation and to prevent pests in crop allocation corresponds to adjacency constraints, which impose cropping species of different botanical families at the same time in adjacent parcels or management zones. Thus, the novelty of our paper resides on the integration of the management zone delineation problem and the crop rotation planning problem with adjacency constraints, to focus on sustainable crop planning problem. Moreover, we present a column generation decomposition method to exploit the structure of the model for solving it.

Methodology

The zoning and crop rotation planning problem with adjacency constraints seeks to generate a partition with a limited number of rectangular management zones with low variability in their soil properties. It also proposes a crop plan in zones that optimize partition performance while respecting adjacency constraints that prohibit crops of the same family to be grown at the same time in adjacent zones. This integrated problem can be understood as a method where a first problem of zoning and a second problem of crop allocation are solved simultaneously.

To do this, the field is subdivided into cells that contain one single sample of a soil property. In a partition, each management zone is formed by a subset of adjacent cells with a rectangular shape. To solve the problem, all potential rectangular management zones must be generated, with their respective information about soil variability and adjacency relations. To guarantee a field partition into homogeneous management zones, we use the relative variance (RV) concept introduced by Ortega and Santibáñez (2007). The problem discussed is considered as: given a set S of sample points in a field, a set Z of potential rectangular management zones that cover every subset of sample points, a set I of crops distributed in a set SF of botanical families, and a set A of pairs of adjacent zones, finds the subset of Z that constitutes a partition and its respective crop rotation plan with adjacency constraints that maximizes the income from the land.

The decision variables of the proposed optimization model are a binary variable that assigns a potential rectangular management zone to the partition and a binary variable that allocates an specific crop to each management zone at each time period into the partition. The objective function maximizes field income and the constraints ensure that a level of homogeneity in the partition is satisfied, that a field partition is obtained, that the number of zones into the partition is less or equal than a maximum number of zones, that prohibits crops of the same family to be grown in consecutive time periods, that prohibits crops of the same family to be grown at the same time in adjacent zones, that it allows only one crop to be assigned to each management zone into the partition and that links the zoning problem decision variable with the crop problem decision variable.

It is important to notice that the described model is based on the generation of the set of all the potential rectangular management zones in the field whose number grows rapidly when the number of sample points increases; and this polynomially augments the number of decision variables and constraints of the problem. This makes the computational times needed to solve the model extremely large. However in the optimal solution the number of management zones is bounded by a given number and the model has a structure that allows the application of a management zone generation strategy by applying a column generation-based algorithm for obtaining a solution of the model. This method starts with the management zones that make up a feasible partition and then generates good zones that can find the best possible solution to the continuous relaxation model.

The continuous relaxation of the proposed model is considered as the Master Problem in the column generation scheme. The Pricing Problem, also called Subproblem, aims to verify the optimality of the reduced master problem that includes only the generated management zones, by minimizing the reduced cost function. In case that the optimality condition is not reached, a new management zone is added to the reduced master problem. It should be noted that adding a new zone translates into incorporating new variables and constraints that are related to that new zone. In other words, once the Subproblem is solved a set of variables consisting of one variable for the new potential rectangular management zone and new variables for allocating possible crops to the new management zone at each time period as well as new adjacency constraints of the proposed zone are added to the reduced master problem.

Results

In this section, we compare the exact resolution of the integrated model using a state-of-art commercial software with the approximate solution of the column generation decomposition-based algorithm. The decomposition strategy was coded in Julia JuMP 0.19. All linear and integer problems were solved using the solver Gurobi 8.1.1. A computational experiment was carried out on Intel Core i7-8500U 1.99 GHz with 12 GB of RAM. Table 1 shows different instances of measurements of a soil property with a minimum of 10 and a maximum of 55 sample points for 5 crops belonging to 3 botanical families and 4 planning periods. The total number of variables of the integrated model varies between 1080 and 23760 and the number of constraints varies between 295 and 92620 linear constraints.

Table 1. Results of the model and performance of the proposed algorithm.

Instance	Integrated Model		Decomposition Strategy	
	Time (s)	Total Income	Time (s)	Total Income
1	1.37	245.33	8.60	245.33
2	4.07	245.33	8.51	234.44
3	10.74	237.17	11.36	237.17
4	58.30	232.27	11.36	225.73
5	712.54	239.89	13.43	228.37
6	1671.28	240.66	13.80	221.19
7	6019.70	237.17	17.45	220.12
8	11132.40	241.70	12.86	230.60
9	20000.00	242.06	37.56	225.73
10	20000.00	239.39	15.21	227.52

We observed with direct resolution using Gurobi 8.1.1 that as the dimensions of the problem increase the resolution time also increase rapidly and that the last two instances reached the maximum resolution time of 20000 seconds. On the other hand, the algorithm strategy developed needs less and less information to be able to find a solution to larger instances, keeping the problem size in accessible dimensions for which the studied instances can still be solved providing very good feasible solutions. Larger instances up to 100 sample points, the model could not be solved and justifies the use of column generation based heuristic as an algorithmic strategy.

Conclusions

In this paper, we formulate and solve an integrated zoning and crop planning problem with adjacency constraints. For this, we generate a partition of a field composed of rectangular management zones with low variability in soil properties and that allow the definition of a profitable crop plan. This problem is especially relevant for organic agriculture, since it focuses on sustainability. This decomposition-based heuristic cannot ensure the optimal solution of the integrated problem, in future research, a branch-and-price based algorithm could be developed to find the exact solution in reasonable time.

Agradecimientos.

This research was partially supported by Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento (Grants PIM_172 and PIM_2021_99) from Universidad Técnica Federico Santa María.

Referencias

- Albornoz, V.M., Cid-García, N.M., Ortega, R. & Ríos-Solís, Y.A. (2015) A hierarchical planning scheme based on precision agriculture. In: Plá-Aragonés, L.M. (ed) Handbook of operational research in agriculture and the agri-food Industry (pp.129–162). Berlin, Springer.
- Albornoz, V.M. & Ñanco, L.J. (2016) An empirical design of a column generation algorithm applied to a management zone delineation problem. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 682, 201–208.
- Albornoz, V.M., Ñanco, L.J. & Sáez, J.L. (2019). Delineating robust rectangular management zones based on a column generation algorithm. Computers and Electronics in Agriculture, 161, 194–201.
- Alfandari, L., Plateau, A. & Schepler, X. (2015). A branch-and-price-and-cut approach for sustainable crop rotation planning. European Journal of Operational Research, 241(3), 872–879.
- Betzek, N.M., de Souza, E.G., Bazzi, C.L., Schenatto, K. & Gavioli, A. (2018) Rectification methods for optimization of management zones. Computers and Electronics in Agriculture, 146, 1–11.
- Cid-García, N.M., Albornoz, V.M., Ríos-Solís, Y. & Ortega, R. (2013). Rectangular shape management zone delineation using integer linear programming. Computers and Electronics in Agriculture, 93, 1–9.
- Cid-García, N.M. & Ibarra-Rojas, O.J. (2019) An integrated approach for the rectangular delineation of management zones and the crop planning problems. Computers and Electronics in Agriculture, 164, 104925.
- Córdoba, M.A., Bruno, C.I., Costa, J.L., Peralta, N.R. & Balzarini, M.G. (2016) Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. Biosystems Engineering, 143, 95–107.
- Costa, A. M., dos Santos, L. M.R., Alem, D.J. & Santos, R. H. S. (2014). Sustainable vegetable crop supply problem with perishable stocks. Annals of Operations Research, 219(1), 265–283.
- Desaulniers G., Desrosiers J. & Solomon M. (2005). Column generation. New York, Springer.
- Ortega, R. & Santibáñez, O. (2007). Agronomic evaluation of three zoning methods based on soil fertility in corn crops (*Zea mays* L.). Computers and Electronics in Agriculture, 58, 49-59.
- Salama, O., Farouk, H.A. & Galal, N.M. (2020). Crop Planning Problem using Rectangular Management Zones and Different Irrigation Systems. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (pp. 392–399). Dubai, UAE.
- Santos, L.M.R., Munari, P., Costa, A.M., Arenales, M.N. & Santos, R.H.S. (2015). A branch-price-and-cut method for the vegetable crop rotation scheduling problem with minimal plot sizes. European Journal of Operational Research 245, 581–590.
- Velasco, J., Vicencio, S., Lozano, J.A. & Cid-García, N.M. (2021). Delineation of site-specific management zones using estimation of distribution algorithms. International Transactions in Operational Research. <https://doi-org.usm.idm.oclc.org/10.1111/itor.12970>

Evaluación de índices de vegetación como descriptores de la variabilidad intralote de rendimiento de maíz en la Cuenca del Salado.

Federico Jose Garelo^{1,2}; Mariano Cicchino²; Esteban Miguel Melani²

¹ Becario doctoral INTA/CONICET; Cátedra de edafología, FAUBA. ² AER INTA Chascomús, Mitre 202, Chascomús, Buenos Aires, Argentina.

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. El manejo por ambientes es una tecnología que avanza rápidamente. En la Cuenca del Salado, región tradicionalmente ganadera y con alta variabilidad espacial, la ambientación de lotes en zonas de manejo variable (ZM) es cada vez más frecuente. Sin embargo, no todos los productores cuentan con maquinaria disponible para mapear la variabilidad espacial mediante mapas de rendimiento (MR). En este estudio, se evaluaron 5 índices de vegetación (IV) y su relación al rendimiento (RG) de los MR en 17 lotes de maíz. El IV más asociado al RG fue el índice de clorofila verde (IC_v) ($r = 0.723$ en maíces tempranos; $r = 0.765$ en maíces tardíos) y el menos relacionado fue el NDVI ($r = 0.59$ en maíces tempranos; $r = 0.70$ en maíces tardíos). Para maíces tempranos, debieran usarse las imágenes tomadas en el centro de la meseta de la firma fenológica, mientras que, en maíces tardíos, las imágenes más asociadas al RG fueron las tomadas al inicio de la meseta de la curva fenológica. Estos resultados permitirán a técnicos y productores que no cuenten con mapas de rendimientos de los cultivos previos, realizar una mejor determinación de los límites entre las diferentes ZM y de tal forma hacer un uso más eficiente de insumos.

Palabras clave. Maíz, índice de clorofila verde, NDVI, rendimiento, zonas de manejo.

Introducción

Las herramientas utilizadas en la delimitación de zonas de manejo diferencial (ZM) de lotes bajo agricultura son muy diversas y cada vez más. Actualmente dentro de las más utilizadas se pueden mencionar: mapas de rendimientos (MR) de cultivos anteriores, imágenes provenientes de Drones o satélites, rastras Veris, etc.

Los MR son generados por monitores montados en la máquina cosechadora. Estos mapas son la herramienta más precisa para captar la variabilidad intra-lote, ya que son “el resumen” de los eventos por los que atravesó el cultivo y definió el rendimiento final (Albarenque y Velez, 2011). Sin embargo, presentan dos inconvenientes:

- Los monitores de rendimiento no están masivamente expandidos.
- No son posibles de obtener para productores cuya actividad principal no es la producción de granos (Ej: Producción de leche y/o carne).

Para estos casos, el uso de imágenes provenientes de drones o satélites es una fuente de información que permite la delimitación de ambientes a escala de lote. En este sentido, el índice de vegetación normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) es el índice más comúnmente usado para éste propósito (Pinter *et al.*, 2003). Sin embargo, si bien son aceptables los límites de las ZM obtenidas con NDVI, ésta no se condice al 100% con las obtenidas a partir de MR. Lo que podría estar asociado a qué momento fenológico del cultivo corresponde el IV usado (Kemerer, 2011).

Sin embargo, el avance de las tecnologías y la investigación aplicada, permitió conocer con mayor detalle el comportamiento de las plantas a la reflectancia de la luz en diferentes longitudes de onda, lo que llevó a que surjan nuevos IV (Mulla, 2013), y es cada vez más abundante la información gratuita disponible, proveniente de sensores con una alta resolución espacial y espectral.

En este sentido, el sensor OLI a bordo de los satélites Sentinel 2A y 2B, brindan información cada 2-3 días en 13 bandas espectrales, que incluyen el espectro Visible (Vis), el borde rojo (BR), el infrarojo cercano (IRc) y medio (IRm), y con una resolución espacial de entre 10 y 20 m (Zhang *et al.*, 2017). A partir de ésta información, se pueden calcular IV que indiquen el contenido de agua del cultivo, concentración de clorofila a diferentes escalas y/o índices que saturan en valores de IAF más elevados.

De lo anteriormente expuesto, surgen las siguientes preguntas: ¿Qué IV presenta una mayor asociación con el RG de los cultivos? ¿De qué momento del ciclo del cultivo es más conveniente usar IV? El objetivo de éste trabajo fue evaluar la relación entre el RG del cultivo de maíz y 5 IV que utilizan diferentes canales de información espectral, de 3 momentos del ciclo del cultivo centrados en la curva de fenología.

Materiales y métodos

Se realizó la delimitación de ZM de 17 mapas de rendimiento de maíz (12 de maíz Temprano y 5 de maíz tardío) que abarcaron un total de 482 y 425 hectáreas, respectivamente. Distribuidos en una transecta de 120 km en dirección este-oeste entre las localidades de Vieytes y Gral. Belgrano, en la Pampa Deprimida (Bs As). El proceso se realizó con los softwares QGIS v 3.16 y Google Earth Engine, el detalle brevemente fue: 1) Limpieza del mapa mediante la extracción de valores extremos (+- 3 DE), y dejando solo los que estaban entre de los cuantiles 10 y 90; 2) Rasterización del archivo vectorial a un pixel de 10x10 y posterior aplicación de filtro Gaussiano de moda para el suavizado de los límites entre ZM; 3) Generación de 1 buffer de 20 m de diámetro cada 1.5-2 has; 4) Se cargaron los archivos

de rasters de rendimiento y buffers de cada lote al GEE, y se extrajo del área ocupada por cada buffer, la información rendimiento y de los IV detallados en las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 desde el 01/10/2020 al 30/06/2021, de forma tal de asegurarnos de extraer todo el ciclo de cada cultivo;

$$NDVI = \frac{IRC-R}{IRC+R} \quad (\text{Rouse } et \text{ al.}, 1974) \quad [\text{Ec } 1]$$

$$GNDVI = \frac{IR-V}{IR+V} \quad (\text{Gitelson } et \text{ al.}, 1996) \quad [\text{Ec } 2]$$

$$IC_v = \left(\frac{BR_{750}}{V} \right) - 1 \quad (\text{Gitelson } et \text{ al.}, 2005) \quad [\text{Ec } 3]$$

$$NDWI = \frac{IRC-IRm}{IRC+IRm} \quad (\text{Gao}, 1996) \quad [\text{Ec } 4]$$

$$ND_{BR} = \frac{BR_{750}-BR_{710}}{BR_{750}+BR_{710}} \quad (\text{Gitelson y Merzlyak}, 1996) \quad [\text{Ec } 5]$$

Dónde: IR: reflectancia en la banda infra-roja, R: reflectancia en la banda roja, V: reflectancia en la banda verde, BR₇₁₀ y BR₇₅₀: reflectancia en la banda del borde rojo a los 710 750 µm, respectivamente (Bandas 5 y 6 de Sentinel 2).

5) Se observó el ciclo de crecimiento de cada lote y se buscó el período en que la curva de NDVI toma un comportamiento asintótico, a ésta sección de la curva, a su vez se la “segmentó” en tres Tiempos: (T1) Inicio, (T2) Centro y (T3) Fin (Figura 1). Dentro de cada momento se seleccionó la fecha sin influencia de nubes.

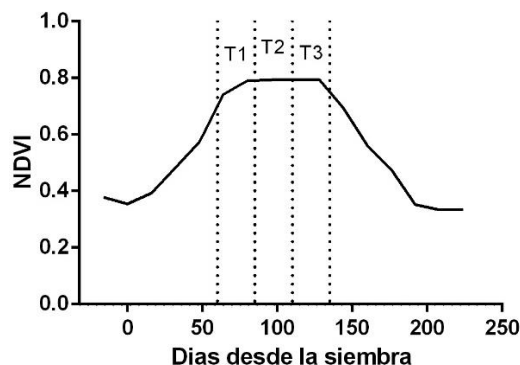


Figura 1. Curva de firma fenológica y momentos de búsqueda de imágenes para el cálculo de los índices de vegetación. T1: Inicio de la meseta, T2: centro de la meseta, T3: final de la meseta.

Los datos se analizaron mediante coeficientes de correlación de Pearson entre el RG de cada área de los buffers y el correspondiente IV en esa misma área de cada momento de la curva de firma fenológica mediante el software Info Stat (Di Rienzo *et al.*, 2018). Con los mejores 2 IV, se realizaron análisis de optimización lineal con el complemento “Solver” de Excel, el cual combina los dos IV de forma tal que la correlación con el RG se maximice, obteniéndose un nuevo IV.

Resultados

Los IV que más explicaron el RG difirieron entre Tiempos y ciclos del cultivo (Tabla 1). Las correlaciones más altas se obtuvieron para los índices calculados en T1 y T2, para maíces tardíos ($r = 0.731$, $p < 0.0001$) y tempranos ($r = 0.664$, $p < 0.0001$), respectivamente.

El IV más correlacionado a los RG fue el IC_V, con valores de 0.723 (p<0.0001) para maíces tempranos en T2 y 0.765 (p<0.0001) en maíces tardíos en T1. A éste, le siguió el ND_{BR} con valores ≈2% más bajos (Tabla 1, valores correspondientes a la fila “Promedio por índices”). En tercer lugar, quedaron el GNDVI o el NDWI, dependiendo del ciclo del cultivo y el momento de extracción de imágenes analizado. Aunque el NDWI mostró correlaciones no significativas en dos lotes de maíz temprano (Lotes 4 y 14).

Si bien en uno de los lotes fue el segundo mejor IV (Ver en Tabla 1: Lote 1-T1), en la comparación general con los otros IV, el NDVI fue siempre el menos asociado al RG. Las diferencias con respecto al IC_V estuvieron entre 3-8%, y llegó a presentar correlaciones no significativas al RG (Lotes 3, 14 y 17).

Los IV en T2 de maíces tardíos también presentaron una correlación elevada con los RG. Mientras que los calculados en T1 de los maíces tempranos y T3 para tempranos y tardíos, fueron los más bajos y en muchos lotes, no se observaron asociaciones significativas (p > 0.05).

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre los índices de vegetación: NDVI, GNDVI, IC_V, NDWI y ND_{BR}; y el rendimiento en grano de lotes con maíz Tardío y Temprano. Los colores indican: Verde: el coeficiente más alto, Celeste: el segundo coeficiente más alto, Rojo: coeficientes no significativos (p>0.05), para cada lote al inicio (T1), centro (T2) y final (T3) de la firma fenológica.

Lote	T1: Inicio de meseta					T2: Centro de meseta					T3: Fin de meseta					
	NDVI	GNDVI	IC _V	NDWI	ND _{BR}	NDVI	GNDVI	IC _V	NDWI	ND _{BR}	NDVI	GNDVI	IC _V	NDWI	ND _{BR}	
Tardío	1	0.843	0.803	0.79	0.777	0.863	0.831	0.877	0.868	0.79	0.9	0.698	0.772	0.792	0.669	0.751
	2	0.809	0.834	0.835	0.846	0.838	0.747	0.755	0.77	0.74	0.784	0.033	0.139	0.138	0.022	0.104
	3	0.751	0.796	0.815	0.707	0.81	0.835	0.86	0.868	0.8	0.881	0.177	0.036	0.014	0.374	0.092
	8	0.495	0.51	0.667	0.601	0.572	0.472	0.503	0.643	0.551	0.55	0.513	0.628	0.62	0.622	0.475
	16	0.614	0.698	0.719	0.603	0.687	0.397	0.393	0.55	0.727	0.54	0.315	0.167	0.175	0.493	0.071
	Correlación promedio por índice	0.702	0.728	0.765	0.707	0.754	0.656	0.6776	0.739	0.721	0.731	0.347	0.348	0.347	0.436	0.298
Correlación promedio por tiempo	0.731					0.705					0.356					
Temprano	4	0.635	0.71	0.746	0.699	0.748	0.379	0.499	0.509	0.451	0.595	0.145	0.247	0.2	0.108	0.457
	5	0.861	0.907	0.889	0.871	0.939	0.938	0.947	0.938	0.917	0.966	0.902	0.911	0.901	0.916	0.944
	6	0.568	0.592	0.664	0.733	0.729	0.456	0.526	0.539	0.686	0.583	0.561	0.65	0.648	0.581	0.539
	7	0.468	0.413	0.432	0.599	0.476	0.68	0.621	0.688	0.756	0.724	0.85	0.774	0.776	0.796	0.882
	9	0.802	0.823	0.734	0.8	0.834	0.766	0.781	0.703	0.704	0.79	0.842	0.846	0.778	0.795	0.838
	10	0.565	0.608	0.631	0.606	0.624	0.697	0.786	0.843	0.712	0.789	0.663	0.651	0.624	0.817	0.62
	11	0.939	0.923	0.939	0.961	0.955	0.968	0.97	0.968	0.963	0.976	0.574	0.637	0.635	0.895	0.849
	12	0.521	0.556	0.601	0.596	0.583	0.741	0.832	0.892	0.797	0.828	0.804	0.834	0.858	0.85	0.815
	13	0.562	0.603	0.634	0.638	0.605	0.696	0.785	0.812	0.75	0.788	0.339	0.475	0.457	0.386	0.4
	14	-0.156	0.068	0.001	-0.067	-0.055	0.584	0.694	0.715	0.433	0.709	0.106	0.533	0.542	0.301	0.319
	15	0.479	0.47	0.482	0.499	0.49	0.473	0.502	0.564	0.53	0.531	0.506	0.552	0.583	0.604	0.525
17	0.306	0.266	0.307	0.401	0.384	0.501	0.584	0.631	0.61	0.623	0.452	0.567	0.564	0.521	0.444	
Correlación promedio por índice	0.342	0.393	0.405	0.413	0.401	0.599	0.679	0.723	0.624	0.696	0.441	0.592	0.601	0.532	0.501	
Correlación promedio por tiempo	0.391					0.664					0.533					

El análisis de optimización lineal arrojó que las combinaciones de IV que mejor se asociarían al RG y por tal motivo, a los mapas de rendimiento son:

RG Maíz temprano = $IC_V * (0.02) + ND_{BR} * (0.98)$; ($r = 0.73$, $p < 0.0001$)

RG Maíz tardío = $IC_V * (0.95) + ND_{BR} * (0.05)$; ($r = 0.78$, $p < 0.0001$)

Conclusiones

- Los índices IC_V y ND_{BR} , fueron los más correlacionados con los RG tanto de maíces tempranos como en tardíos.
- El NDVI fue el menos asociado al RG, con valores de hasta 8% más bajos respecto al IC_V .
- Para definir ambientes mediante imágenes satelitales, en lotes de la Cuenca del Salado donde hubo maíz temprano debieran extraerse imágenes del momento central de la curva fenológica (T2) y calcular un índice que pondere el IC_V y el ND_{BR} en un 2 y 98%, respectivamente. Mientras que para lotes donde hubo maíz tardío, deberían seleccionarse imágenes del inicio de la meseta en la curva fenológica (T1) y calcular con ellas un índice que pondere el IC_V y el ND_{BR} en un 95 y 5%, respectivamente.
- Futuras investigaciones deberían estudiar otras campañas del cultivo de maíz y de otros cultivos (Ej: Soja, Girasol y Trigo), de forma tal de evaluar si los IV más asociados al RG son los mismos que los reportados en éste estudio. Además de determinar el momento dentro del ciclo del cultivo más adecuado para el uso de imágenes satelitales destinadas a zonificar lotes.

Referencias

- Albarenque, S. M. y Velez, J. . (2011) *Técnicas para el procesamiento de mapas de rendimiento*. 1.ª ed. Yuto: Ediciones INTA.
- Gao, B.-C. (1996) «NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space», *Remote Sensing of Environment*, 58(3), pp. 257-266. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
- Gitelson, A. A. et al. (2005) «Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops», *Geophysical Research Letters*, 32(8), pp. 1-4. doi: 10.1029/2005GL022688.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J. y Merzlyak, M. N. (1996) «Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS- MODIS», *Remote Sensing of Environment*, 58(3), pp. 289-298. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00072-7.
- Gitelson, A. A. y Merzlyak, M. N. (1996) «Signature analysis of leaf reflectance spectra: Algorithm development for remote sensing of chlorophyll», *Journal of Plant Physiology*. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 148(3-4), pp. 494-500. doi: 10.1016/S0176-1617(96)80284-7.
- Kemerer, A. (2011) *Procedimientos Para La Delimitación De Zonas De Manejo Mediante Imágenes Satelitales*. 1.ª ed. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Mulla, D. J. (2013) «Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps», *Biosystems Engineering*. IAgRE, 114(4), pp. 358-371. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
- Pinter, P. J. et al. (2003) «Remote Sensing for Crop Management», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), pp. 647-664. doi: 10.2134/precisionagbasics.2016.0092.
- Di Rienzo, J. A. et al. (2018) «InfoStat versión 2018». Córdoba: Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
- Rouse, J. W. et al. (1974) *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*.
- Zhang, T. et al. (2017) «Band selection in sentinel-2 satellite for agriculture applications», en *23° International Conference on Automation and Computing: Addressing Global Challenges through Automation and Computing*. Huddesfield, UK. doi: 10.23919/IConAC.2017.8081990.

Respuesta a diferentes densidades de siembra y dosis de fertilización, y evaluación de la sensibilidad de diferentes parámetros utilizados para la ambientación, en un suelo de la Planicie medanosa de la Región Semiárida Pampeana Central.

Ferrero C., Abascal S., Aimar D. y Gili A.

Facultad de Agronomía, UNLPam. Ruta 35 - Km. 334 CC 300,
Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La agricultura de precisión es una herramienta que permite optimizar el uso de los recursos e insumos con el objeto de maximizar los resultados físicos y económicos. La región Semiárida Pampeana Central (RSPC) ocupa alrededor de 1000000 de has y presenta dos geoformas características: la planicie medanosa y la planicie con tosca. En ambas el factor formador de suelos de mayor relevancia es el relieve, siendo la altimetría un parámetro que define por sí solo diferenciaciones edáficas. Sin embargo, la presencia de capas freáticas o zona de saturación transitorias son factores que también pueden interactuar con la altimetría, generándose lomas y bajos con efecto y sin efecto de las mismas. El objetivo de este trabajo es analizar la respuesta de cada ambiente a diferentes tratamientos y la sensibilidad de tres parámetros utilizados para la ambientación, sobre el rendimiento del cultivo de soja. El ensayo se llevó a cabo en un lote de 264 has del establecimiento "Las Polvaredas" ubicado en el departamento Catrilo (Prov. de La Pampa, Lat. 36° 21'; Long 63° 35'). La densidad de siembra usada como testigo fue de 80 Kg.ha⁻¹ de la var. 4670. Los tratamientos fueron una densidad de un 25 y un 50 % por debajo de la misma y un 25 % por encima como factor principal y fertilización con fosfato monoamónico (PMA) en dosis de 0, 30 y 60 Kg.ha⁻¹ como factor secundario. Los ambientes se delimitaron a través del análisis de cluster mediante el uso de los programas American Field Service (AFS) y Management Zone Analysis (MZA) de 5 campañas. El lote se subdividió en dos ambientes, uno de mayor y otro de menor potencial productivo (AP y BP), en función del análisis de suelo (textura), el mapa de rendimientos crudo y normalizado y el relieve (loma y bajo). El análisis estadístico se realizó con ANOVA y las diferencias de medias se realizaron a través del test de DMS, mediante el software INFOSAT. Los resultados para el BP no mostraron diferencias significativas con respecto a las diferentes dosis de fertilización ni a las diferentes densidades de siembra. Para los AP tampoco se encontraron diferencias significativas para el factor principal densidad ni para el factor secundario fertilización. En cuanto a los factores de ambientación la altimetría pareció ser el parámetro más sensible, seguida por la profundidad del nivel freático y el mapa de rendimientos normalizado. Estos resultados aunque preliminares permiten concluir que para la RSPC la densidad de siembra de soja se puede disminuir en un 50% sin afectar el rendimiento de soja y que las fertilizaciones de arranque hasta 60 kg.ha⁻¹ no producen incrementos en el rendimiento.

Palabras clave.

Soja, altimetría, densidad.

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Monitoreo y diagnóstico de nutrición nitrogenada en raigrás

Melchiori, Ricardo¹; Hill, Santiago², Melchiori Arturo³, Pautasso Juan^{1,2}; Maltese, Nicolas^{1,2,4}, Kemerer, Alejandra^{1,2}, Veik Victor³, Faccendini Nelson³, Bracco Luis³.

¹INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Ruta 11 Km 10,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, ³Asesor independiente, ⁴CONICET

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Las pasturas de raigrás en sistemas de alta producción de carne o leche requieren dosis de fertilización nitrogenada elevadas, para lo cual deben desarrollarse prácticas de manejo que permitan alcanzarlas con un uso eficiente de los insumos. Las técnicas de monitoreo y diagnóstico de nutrición nitrogenada realizadas mediante el uso de sensores remotos pueden ser utilizadas. Sin embargo, estas técnicas han sido poco evaluadas hasta el momento para especies forrajeras. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un método para diagnóstico de fertilización nitrogenada variable en raigrás a partir de estimaciones de la biomasa, la concentración de N y el NNI, basado en monitoreo con imágenes satelitales. Se realizaron experimentos a campo para determinar la producción de biomasa y la acumulación de N en planta que se emplearon para estimar el índice de nutrición nitrogenada, y a partir de esto la necesidad de re fertilización con N. Se obtuvieron ecuaciones predictivas de la producción de biomasa y el N acumulado en planta mediante el monitoreo con imágenes del satélite Sentinel 2B. Se propuso un algoritmo para estimar recomendaciones de re fertilización nitrogenada sitio específicas para raigrás bajo pastoreo basado en el monitoreo con imágenes satelitales y el cálculo del INN.*

Palabras clave.

Raigrás, nitrógeno, manejo sitio específico

Introducción

El crecimiento de la vegetación depende, entre otros factores, de la disponibilidad de N. Así se han documentado relaciones entre la acumulación de biomasa de cultivos y pasturas y la concentración de N en esta, denominadas curvas de dilución del N (Greenwood et al., 1990; Lemaire y Gastal, 2009). Dichas curvas se han descrito de manera específica para distintos cultivos y especies forrajeras, como el raigrás (Marino et al., 2004; Agnusdey et al., 2010 y Sandaña et al., 2019) y se han utilizado para determinar el grado de suficiencia o deficiencia de N, mediante el índice de nutrición nitrogenada (NNI) (Lemaire y Gastal, 1997). El NNI se determina, para una condición dada de biomasa acumulada, como el cociente entre la concentración de N actual observada en la biomasa (N_a) y valores de referencia (N_c) que permiten maximizar el crecimiento ($NNI = N_a/N_c$). Así, valores menores a 1 corresponden a situaciones de deficiencia y mayores a 1 a exceso de N. La evaluación del NNI, es útil a fin de mejorar el manejo optimizando la eficiencia de utilización del N (Sandaña et al., 2021)

Se han propuesto técnicas para el manejo de la nutrición nitrogenada mediante estimaciones del NNI derivadas de sensores remotos en cultivos de granos (Nutini et al., 2018). Trabajos recientes, utilizando drones (Insua et al., 2018) han estimado la producción de forraje y su variabilidad espacial en sistemas intensivos de producción de leche. Sin embargo, no se conocen estudios donde se apliquen estimaciones del estado nutricional nitrogenado a partir de imágenes satelitales de mediana resolución espacial para el manejo de la fertilización en raigrás, las que resultan más convenientes para monitoreos en condiciones extensivas, ni métodos para diagnosticar en base a esto la fertilización nitrogenada variable en cultivos forrajeros.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un método para diagnóstico de fertilización nitrogenada variable en raigrás en base a estimaciones de la biomasa, la concentración de N y el NNI basada en monitoreo con imágenes satelitales.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo durante 2 años en siete lotes localizados en tres campos, en cercanías de las localidades de Villaguay (Ea. Rancho Grande, -31.791529° ; -59.267478°), Nogoyá (Ea. Las Acacias, -32.358157° ; -59.704919°) y Maciá (Est. Veik -32.113537° ; -59.528658°). En todos los casos, se realizaron experimentos sobre lotes de producción comercial sembrados entre mayo y junio, con densidades de 40 kg de semilla/ha, y con fertilizaciones nitrogenadas de base realizadas en la implantación y bajo condiciones de pastoreo rotativos intensivos con ganado de carne en Rancho Grande (RG) y Las Acacias (LA), y ganado lechero en Veik (V).

En Rancho Grande se evaluaron tres lotes (RG27, RG28 y RG29.1) implantados con una aplicación nitrogenada de base 60 kg de N/ha. En los tres casos a posteriori del primer pastoreo, se instalaron tratamientos de re fertilización en franjas de 60 m de ancho a lo largo de los lotes con dosis de 12, 23 y 46 kg de N de UAN/ha. En Las Acacias, se evaluó un lote (LA22), con una aplicación de base de 90 kg de N /ha, aplicado como urea a la emergencia del cultivo. En este sitio se dispusieron franjas de re fertilización de 60 m de ancho y 200 m de largo con dosis de 46, 92, 138 y 184 kg N de urea/ha. En Veik, se evaluaron dos lotes que se fertilizaron la siembra con 92 y 129 kg de N de urea/ha (VL5 y VL12), respectivamente. En el sitio, se adicionaron franjas de re fertilización con urea en dosis de 55 y 110 kg de N/ha.

En todos los casos, previo al primer pastoreo, se realizaron muestreos georreferenciados de materia seca acumulada, dirigidos a fin de determinar la mayor variabilidad observada. En los muestreos sucesivos, estos se localizaron en tres posiciones dentro de cada una de las franjas refertilizadas. Se realizaron dos en RG y cuatro cortes en LA y V. La biomasa aérea acumulada se determinó mediante cortes a ras de suelo de 4 sub muestras de $\frac{1}{4}$ de m^2 . Las muestras se llevaron a estufa con circulación

de aire forzado para registrar el peso seco, luego se molieron y se determinó la concentración de N actual de la biomasa (Na) mediante el método de Kjeldahl. A partir de la biomasa, y el Na se calculó el N acumulado (Nac) en planta. Se utilizó el Nac y el Nc según Marino et al (2004) para calcular el NNI.

Se seleccionaron imágenes del satélite Sentinel 2B, en fechas cercanas (+/-3 días) a los muestreos de biomasa para calcular índices de vegetación y relacionar los niveles digitales de bandas individuales e índices de vegetación con las variables del cultivo de interés. Se evaluaron un total de 21 bandas individuales e índices, entre ellos NDVI, GNDVI, NDRE. Se presentan sólo los resultados de los índices que determinaron el mejor ajuste en cada caso considerando el R².

En base a las relaciones obtenidas entre los datos derivados de satélite con la biomasa y el Nac, se propuso una metodología para estimar el NNI y en base a este la dosis de re fertilización.

Resultados

La productividad media obtenida en los distintos ambientes evaluados fue de 2853 kg/ha, extendiéndose en un rango desde 490 a 5476 kg/ha. La concentración media de N en tejido fue de 2.92% de N, con mínimo de 1.16 y máximo de 4.41% de N, el N acumulado en la biomasa promedio fue de 76.8 kg de Nac/ha, variando desde 6.25 hasta 199 kg de Nac/ha. La máxima producción de biomasa se alcanzó en el segundo muestreo, post re fertilización y la productividad se incrementó acorde al aumento en la dosis de N total aplicada.

Se evaluó el estatus nutricional para cada una de las situaciones estudiadas en relación a la curva de dilución de N (figura 1). Los valores obtenidos en RG en todos los casos se encontraron por debajo del Nc, evidenciando condiciones de deficiencia. Mientras que fueron superiores al Nc en el primer y segundo muestreo en LA22, VL5 y VL12 para los niveles máximos de re fertilización (figura 1).

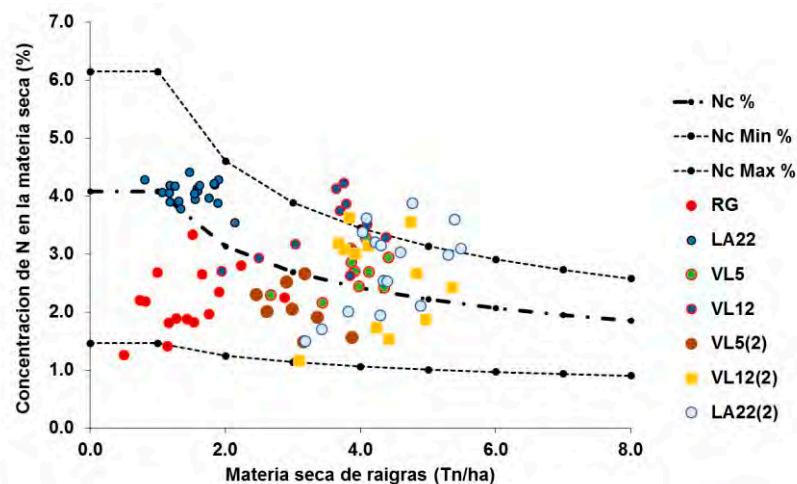


Figura 1. Relación entre la biomasa acumulada en raigrás para distintos pastoreos y la concentración de N en planta. Líneas de referencia correspondientes al nivel de nitrógeno crítico medio (- . -), mínimo y máximo (---) según curvas de dilución propuestas por Marino et al (2004). Niveles debajo del Nc = situaciones de deficiencia, Niveles encima del Nc = situaciones de suficiencia. RG, LA y V corresponden a los establecimientos, el número al lote y entre paréntesis el muestreo evaluado.

Se calcularon relaciones entre los niveles digitales de bandas individuales del satélite e índices de vegetación con la biomasa acumulada, la concentración y el N acumulado en planta utilizando los datos previos a los dos primeros momentos de pastoreo, situaciones menos afectadas por la variabilidad inducida por los pastoreos. Los niveles digitales del infrarrojo cercano (IRC, banda 8 de Sentinel 2B)

fueron el mejor estimador de la producción de biomasa para todo el rango de valores observados (figura 2a). La mejor evaluación del estatus nitrogenado del cultivo se obtuvo a través de la relación entre el logaritmo natural (ln) del N acumulado en la biomasa y el índice NDRE (figura 2b).

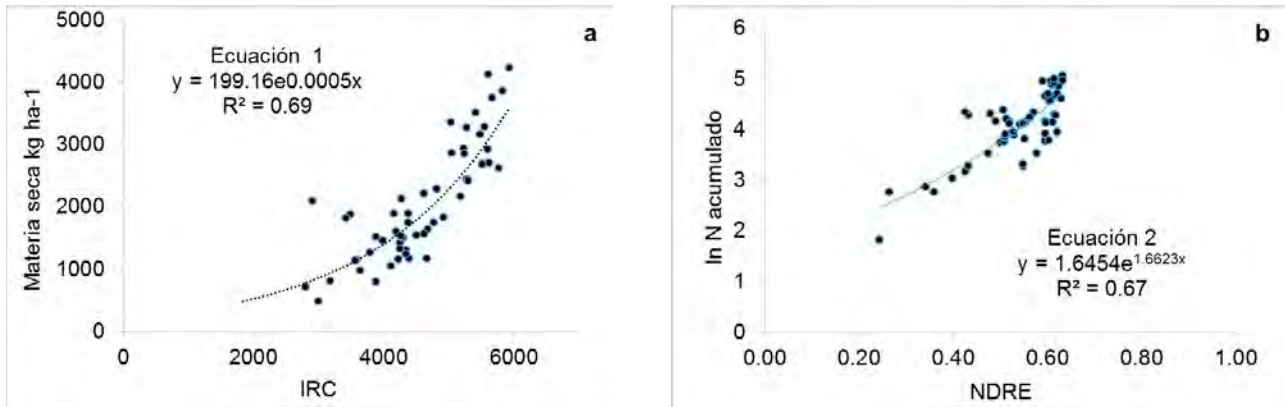


Figura 2. Relación entre la producción de biomasa en raigrás bajo pastoreo y los niveles digitales de la banda 8 del satélite Sentinel 2B (a) y (b) entre el logaritmo natural de la acumulación de N en planta y el índice de vegetación NDRE.

Mediante la utilización de imágenes y la relación obtenida (figura 2a) fue posible estimar y mapear variaciones en la producción de biomasa para lotes de raigrás bajo pastoreo, donde pueden observarse las franjas de re fertilización, así como también los potreros con distinto nivel de producción, acorde a los tiempos transcurridos desde el último pastoreo (figura 3).



Figura 3. Mapas de la estimación de biomasa en raigrás bajo pastoreo mediante ecuaciones predictivas basadas en índices derivados de imágenes del satélite Sentinel 2B lotes RG27, RG28 y RG29.1 (-31.791529°; -59.267478°, ER. Argentina).

A partir de estimaciones independientes de la biomasa acumulada (ecuación 1, figura 2a) y el N acumulado (ecuación 2, figura 2b) se propone un modelo para estimar la re fertilización en pasturas en base a curvas de dilución disponibles para raigrás (Marino et al., 2004) (figura 4).

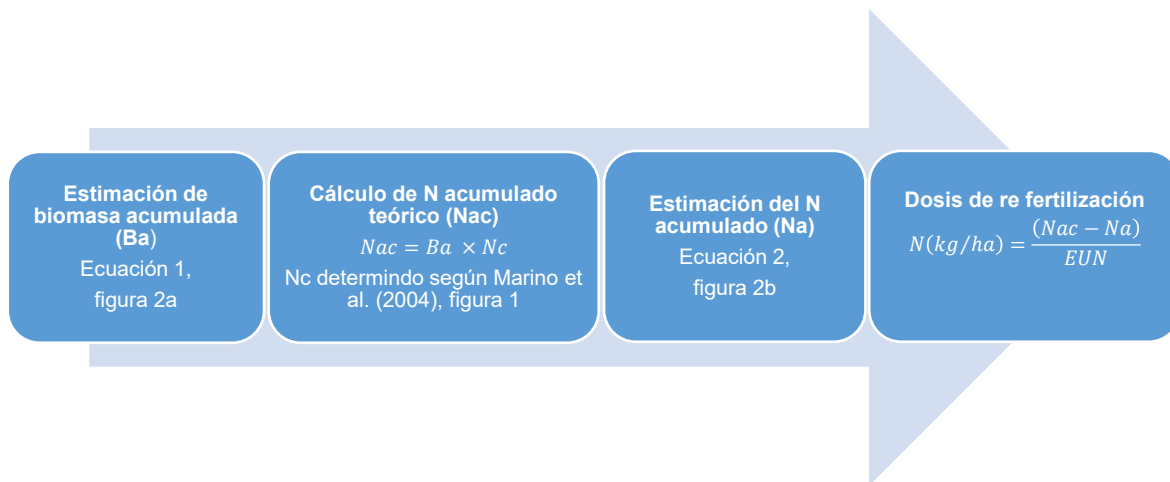


Figura 4. Algoritmo para calcular la dosis de re fertilización en raigrás en base a la estimación de biomasa acumulada, el N acumulado y el NNI obtenido a partir de curvas de dilución de N e imágenes del satélite Sentinel 2B.

Conclusiones

Se determinó la biomasa y la acumulación de N en raigrás bajo pastoreo en rangos muy amplios sobre lotes de producción comercial. Se obtuvieron ecuaciones predictivas de la productividad de biomasa y el N acumulado en planta mediante el monitoreo con imágenes del satélite Sentinel 2B. Se validó el estatus nitrogenado del raigrás bajo estudio en niveles de deficiencia, suficiencia y por encima de este nivel para todo el rango de datos medidos, mediante una curva de dilución de N. Se propone un algoritmo para estimar recomendaciones de re fertilización nitrogenada sitio específicas para raigrás bajo pastoreo basado en el monitoreo con imágenes satelitales y el cálculo del INN.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto I177 del INTA.

Referencias

- Agnusdei, M., Assuero, S., Lattanzi, F. & Marino, M. (2010) Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9348-6>.
- Greenwood, D., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A. & Neeteson, J. (1990) Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany*, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088044>.
- Lemaire, G., & Gastal, F. (1997) N uptake and distribution in plant canopies. In G. Lemaire (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen status in crops* (pp. 3–43). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lemaire, G., & Gastal, F. (2009) Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In V. Sadras & D. Calderini (Eds) *Crop Physiology* (pp. 171-211). USA, Elsevier
- Nutini, F., Confalonieri, R., Crema, A., Movedi, E., Paleari, L., Stavrakoudis, D., & Boschetti, M. (2018). An operational workflow to assess rice nutritional status based on satellite imagery and smartphone apps. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 80-92.
- Marino, M., Mazzanti, A., Assuero, S., Gastal, F., Echeverría, H. & Andrade, F. (2004) Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal*, <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0601>.
- Sandaña, P., Lobos, I., Pavez, P. & Moscoso, C. (2019) Validation of a critical nitrogen dilution curve for hybrid ryegrasses. *Grass Forage Science*, <https://doi.org/10.1111/gfs.12405>
- Sandaña, P., Lobos, I., Pavez, P. & Moscoso, C. (2021) Nitrogen nutrition index and forage yield explain nitrogen utilization efficiency in hybrid ryegrasses under different nitrogen availabilities. *Field Crop Research*, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108101>

Optimización de la rentabilidad agrícola por selección de sectores productivos intralote

Martínez Bologna, G.¹, Espósito, G.³, Martínez Alvarez, D.², Bongiovanni, M.² y Odetti, J. P.²

¹Asesor privado .²Universidad Nacional de San Luís (Villa Mercedes, San Luís, Argentina).

³Universidad Nacional de Río Cuarto (Río Cuarto, Córdoba, Argentina).

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Los ambientes agrícolas de la región centro este y sur este de San Luis presentan un relieve ondulado, produciendo drásticas diferencias en la productividad entre distintos sectores del lote. En este sentido, los mapas de rendimiento han demostrado ser herramientas útiles para identificar y cuantificar esta variabilidad espacial. Las áreas de menor producción, muchas veces disminuyen considerablemente el rendimiento medio del lote, y es de esperar que la rentabilidad aumente mediante su exclusión del plan de siembra, incluso teniendo que pagar el alquiler de estas pequeñas superficies. El objetivo principal de este estudio, fue identificar y cuantificar la proporción óptima de superficie que se debería excluir del plan de siembra en distintos lotes de la región centro sur de San Luís, a los fines de maximizar la rentabilidad de soja y maíz. Se ajustó una función logística que describió la distribución de los rendimientos en 20 mapas de maíz y 5 de soja, la cual fue incorporada a una función de rentabilidad. A partir de estos datos se determinó la proporción de superficie que se debería dejar de sembrar en cada lote a los fines de maximizar la rentabilidad. La proporción óptima de superficie sin sembrar fue de 24,3 y 18,1 % para maíz y soja respectivamente, lo que permitió incrementar el rendimiento 14,1 y 15,7 % y la rentabilidad 22,8 y 12,8 % con respecto a la rentabilidad original, para maíz y soja respectivamente.

Palabras clave. Variabilidad espacial, Rentabilidad, Rendimiento, Alquiler.

Introducción

Los ambientes agrícolas de la región centro este y sur este de San Luis presentan un relieve ondulado con secuencias de lomas, medias lomas y bajos, lo cual genera distintas condiciones edafoclimáticas para el crecimiento de los cultivos, aun dentro de un mismo lote de producción (Colazo, 2012)

En este sentido, los mapas de rendimiento son herramientas adecuadas para estudiar y analizar esta variabilidad espacial (Espósito, 2013). En términos generales, los niveles de rendimiento (R) dentro de un mismo lote, se distribuyen de manera normal, ajustándose a un modelo de frecuencias del tipo Laplace-Gauss (Albarenque y Vélez, 2011). Esto significa que, los rendimientos similares al promedio del lote, son más frecuentes que los valores extremos, y estos últimos representan sólo una pequeña porción del lote. La frecuencia en la que aparecen estos extremos, depende de la uniformidad del lote, tomando más importancia en aquellos lotes de gran variabilidad espacial, como ser aquellos que presentan relieve ondulado, y representando menor proporción en aquéllos de relieve más plano.

Las áreas extremas de menor producción, disminuyen drásticamente el rendimiento medio del lote, y es de esperar que la rentabilidad (Re) mejore cuando estos sectores son excluidos del plan de siembra, incluso teniendo que afrontar el alquiler de estas pequeñas superficies.

Es por ello, que el objetivo principal de este estudio, fue identificar y cuantificar la proporción óptima de superficie que se debería dejar de sembrar (POSS) en distintos lotes de la región centro sur de San Luís, a los fines de maximizar la rentabilidad de soja y maíz.

Materiales y metodos

Para cumplir con el objetivo propuesto, fue necesario recolectar un total de 25 mapas de rendimiento correspondientes a la región centro-este y sur-este de San Luís (20 de maíz y 5 de soja), los cuales fueron generados durante el período 2014-2021 y representaron un total de 4381 has (Figura 1). Todos los mapas procedieron de lotes sin manejo variable de insumos.

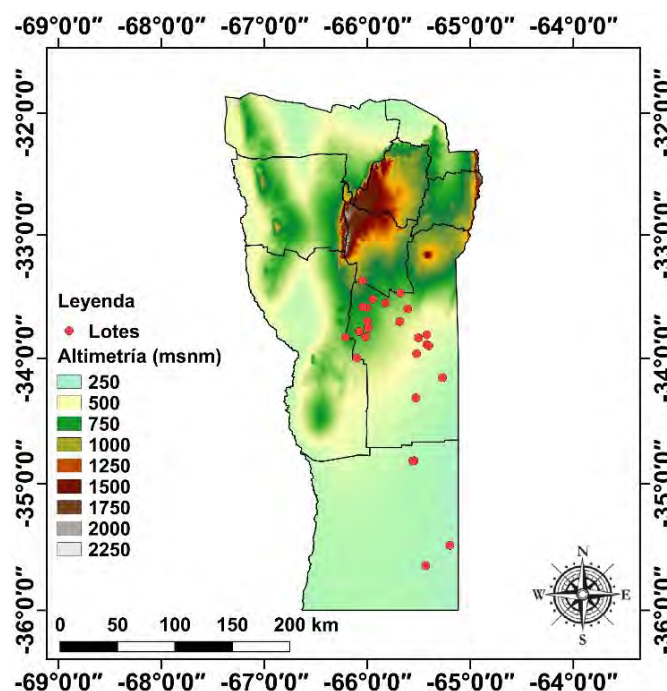


Figura 1. Ubicación geográfica de los lotes analizados.

La elección de estos años y sitios responde a la necesidad de contar con valores de rendimientos que contemplen la variabilidad espacial y temporal de la región. Previo al análisis de la información recabada, fue necesario realizar una minuciosa “limpieza” de los mapas, con la finalidad de eliminar los valores fuera de rango o outliers (Balboa, 2014) que se generan por error durante la cosecha.

En cada lote, se ajustó una función logística que explicó la frecuencia acumulada en relación al nivel de rendimiento [Ecuación 1]:

$$fa = \frac{1}{1 + b e^{(-cR)}} \quad [1]$$

Dónde: fa: frecuencia acumulada, R: rendimiento (Kg/ha), e: número de Euler, b y c: parámetros.

Los valores que asumen los parámetros b y c, se relacionan directamente con el promedio y variabilidad del rendimiento de cada lote y se determinaron por regresión mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios.

Luego, fue necesario elaborar una ecuación que explique el rendimiento medio de la superficie sembrada del lote en función de la proporción de superficie sin sembrar (PSS). Para ello, fue necesario realizar los siguientes pasos:

1) Expresar la ecuación [1] como rendimiento en función de la frecuencia acumulada (ecuación 2):

$$R = \frac{\ln \frac{1}{fa} - 1}{-c} \quad [2]$$

La ecuación [2] representa el rendimiento alcanzado un determinado sector del lote, por ejemplo: Si fa posee un valor de 0,4 y R es igual a 5000, significa que el 40 % del lote presenta niveles de rendimiento inferiores a 5000 Kg/ha.

2) Determinar el área bajo la curva de la ecuación [2], obtenida mediante su integral definida [3]:

$$\int_{PSS}^{0.999} \frac{\ln \frac{1}{fa} - 1}{-c} dfa = \frac{\ln(fa-1) - fa \ln \left(\frac{1}{fa} - 1 \right)}{c} \quad [3]$$

3) El área bajo la curva de [2] no representa nada por sí misma, pero este valor dividido por la proporción de superficie sembrada del lote (1 – PSS) es el rendimiento medio del sector sembrado (R_M) [4]:

$$R_M = \frac{\frac{\ln(0.999-1) - 0.999 \ln \left(\frac{1}{0.999} - 1 \right)}{c} - \frac{\ln(PSS-1) - PSS \ln \left(\frac{1}{PSS} - 1 \right)}{c}}{1 - PSS} \quad [4]$$

La ecuación [4] representa el rendimiento medio del sector sembrado del lote y es incorporada a una función de rentabilidad [5] mediante el siguiente proceso:

$$Re = \frac{IB - CT}{CT} 100 \quad [5]$$

Dónde: Re: rentabilidad (%), IB: ingreso bruto (U\$S/ha) y CT: costo total (U\$S/ha).

Teniendo en cuenta que:

$$IB = R_M P_G [6]$$

$$CT = CF + CA [7]$$

$$CA = \frac{A}{1-PSS} [8]$$

Dónde: RM: rendimiento medio del sector sembrado (Kg/ha), PG: precio del grano (U\$/Tn), CF: costo fijo (U\$/Ha) incluyendo el total de costos con excepción del alquiler, CA: costo del alquiler de la superficie sembrada (U\$/Ha), A: costo del alquiler del total de la superficie del lote (U\$/Ha) siendo el valor que se establece a la hora de fijar el alquiler y PSS: proporción del lote sin sembrar.

Reemplazando [8] en [7], [4] en [6] y [7] y [6] en [5], se obtuvo la ecuación [9], que explica la rentabilidad en función de la proporción del lote sin sembrar, teniendo en cuenta el precio del alquiler, el precio del grano, los costos fijos y la distribución espacial del rendimiento dentro del lote:

$$Re = \frac{\left(\frac{\ln(0.999-1) - 0.999 \ln\left(\frac{1}{0.999} - 1\right)}{1-PSS} - \frac{\ln(PSS-1) - PSS \ln\left(\frac{1}{PSS} - 1\right)}{1-PSS} \right) P_G - \left(CF + \frac{A}{1-PSS} \right)}{CF + \frac{A}{1-PSS}} 100 [9]$$

La ecuación [9] adopta una forma curvilínea de tipo óptimo, es decir que existe un valor de PSS dónde la rentabilidad es máxima y que varía en función de las variables mencionadas en el párrafo anterior. El valor de PSS que maximiza la rentabilidad se denominó proporción óptima de superficie sin sembrar (POSS) y se calculó con la función Solver de Microsoft Excel, indicando que varíe PSS hasta obtener el mayor valor de Re.

Los precios de venta fueron tomados de la Bolsa de Comercio de Rosario como promedio de la serie 2014-2021 en el mes de Julio para maíz y mayo para soja, con valores de 156,8 y 277,3 U\$/Tn respectivamente. El costo del flete al puerto de Rosario fue estimado en 30 U\$/Tn y los gastos de comercialización fueron del 1,5 % del precio del grano. Se consideró un alquiler de 0,35 Tn/ha de soja y un costo fijo de producción de 308 y 251 U\$/ha excluyendo el alquiler, para maíz y soja respectivamente.

Para cada lote se confeccionó un mapa que delimita los sectores que se justificaron excluir del plan de siembra a los fines de maximizar la rentabilidad. Para ello se ingresó en valor de POSS en [2] y se obtuvo el valor mínimo de rendimiento para realizar la división de sectores.

Resultados y discusión

Ajuste y distribución espacial de los rendimientos

En todos los casos, la distribución espacial de los rendimientos se ajustó satisfactoriamente al modelo logístico del tipo Laplace-Gauss planteado en la ecuación [1], con coeficientes de determinación r^2 mayores a 0,972, coincidiendo con Albarenque y Vélez (2011). En promedio, el coeficiente de variación de los rendimientos intralote, fue de 30,7 y 29,2 % para maíz y soja respectivamente. Estos datos dejan en claro la magnitud de la diferencia de productividad entre distintos sectores dentro de un mismo lote.

Proporción óptima de superficie sin sembrar e incremento de rentabilidad

Como promedio de todos los mapas analizados, la POSS fue de 24,3 y 18,1 %, lo que permitió incrementar el rendimiento 14,1 y 15,7 %, para maíz y soja respectivamente. Esta mejora en el rendimiento, incrementó la rentabilidad 22,8 % para maíz y 12,8 % para soja con respecto a la rentabilidad del lote sembrado de manera completa. En la Figura 2 se detalla un ejemplo de un lote particular con maíz.

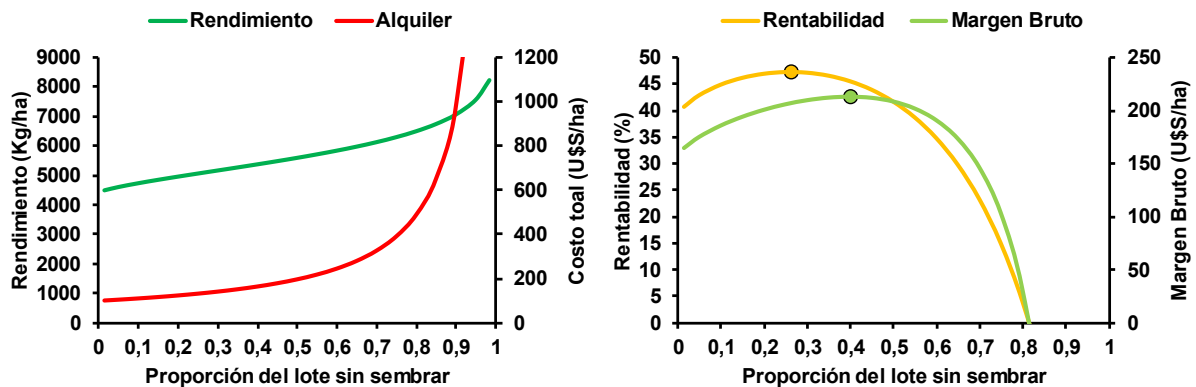


Figura 2. Ejemplo del efecto de la exclusión de los sectores menos productivos del lote sobre variables como el rendimiento medio de la superficie sembrada, alquiler de la superficie sembrada, rentabilidad y margen bruto para un lote de variabilidad media con maíz. Los puntos representan la POSS.

Variables determinantes de la POSS

La proporción óptima de superficie sin sembrar no se relacionó con los niveles de rendimiento del lote (Figura 3), lo que estaría indicando que este valor se podría mantener constante para cada lote, independientemente de las condiciones climáticas de la campaña. Por otro lado, y como es de esperar, guardó una fuerte relación lineal y positiva con el coeficiente de variación del rendimiento (Figura 3). En este sentido, los lotes con mayor variabilidad espacial, también fueron aquellos dónde mayor superficie se justificó excluir del plan de siembra y mayores incrementos en rendimiento y en rentabilidad se obtuvieron debido a esta práctica (Figura 3).

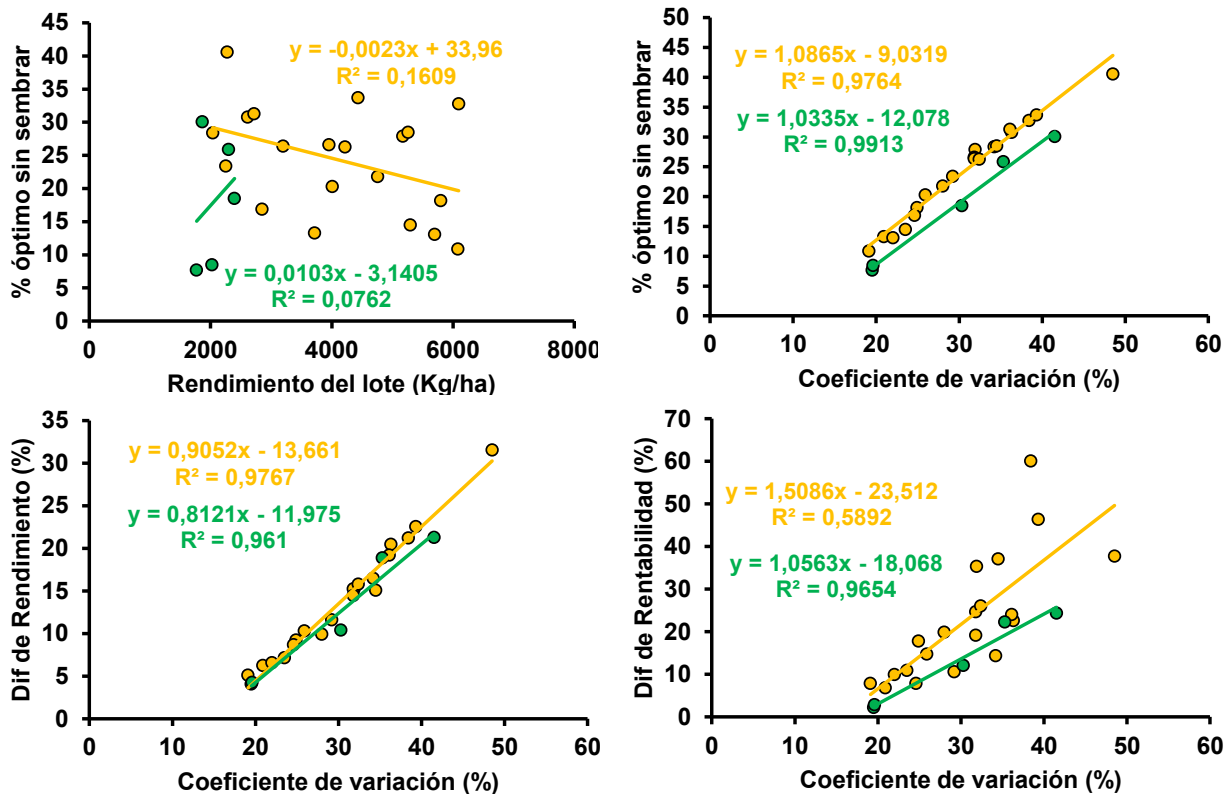


Figura 3. Relaciones establecidas entre la variabilidad del rendimiento de cada lote y variables como POSS, incremento de rendimiento e incremento de rentabilidad para maíz (amarillo) y soja (verde).

En la Figura 4 se observa el ejemplo de un lote de maíz con variabilidad media, donde la POSS fue del 28,4 % y estuvo asociada a los sectores de lomas. En la medida que estos sectores se distribuyan de manera agrupada dentro del lote, como en el caso de la Figura 4, su exclusión del plan de siembra resultaría una medida práctica y fácil de realizar a campo. Por otro lado, abre la posibilidad de dedicar estos sectores a otro tipo de actividades, como por ejemplo la producción forestal.

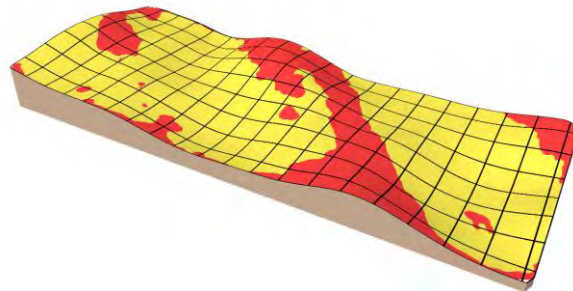


Figura 4. Modelo digital de elevación de un lote de maíz con variabilidad media. En rojo los sectores que se deberían excluir del plan de siembra a los fines de maximizar la rentabilidad.

Conclusiones

La variabilidad espacial en los rendimientos, medida mediante el coeficiente de variación fue en promedio cercana al 30 % para ambos cultivos.

En todos los casos, la distribución del rendimiento se ajustó satisfactoriamente al modelo logístico planteado del tipo Laplace-Gauss.

El método desarrollado en este estudio resultó adecuado para calcular la proporción óptima de superficie que se debería excluir del plan de siembra en cada lote.

Excluir del plan de siembra los sectores menos productivos de cada lote, permitió incrementar los niveles de rendimiento y mejorar la rentabilidad en ambos cultivos.

Para la combinación de precios y costos utilizados, la proporción óptima de superficie sin sembrar fue una característica propia de cada lote y dependió del coeficiente de variación del rendimiento intralote.

Es posible que, mediante el uso variable de insumos, la proporción óptima de superficie sin sembrar resulte menor a la calculada en este estudio, debido a la optimización de la relación costo beneficio.

Referencias

- Albarenque, S y P. Vélez. 2011. Técnicas para el procesamiento de mapas de rendimiento. 1º Ed. Yuto. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-028-4.:28pp.
- Balboa, G. 2014. Validación de un modelo econométrico mixto espacial para la dosificación de nitrógeno a nivel sitio específico maíz en la Provincia de Córdoba. (Tesis de Maestría). Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina. <https://www.produccionvegetalunrc.org>.
- Colazo, J. C. (2012). Recursos físicos y ambientales de los territorios de la provincia de San Luís. <https://www.inta.gob.ar/documentos/>
- Espósito, G. P. (2013). Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto (MEME). (Tesis Doctoral) Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. <https://www.produccionvegetalunrc.org>

¿LAS HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN SATELITAL PERMITEN MONITOREAR LOS REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO EN MAÍZ?

A.M. Lapaz Oliveira^{1,2*}, M. Castro-Franco³, H.R. Saínz Rozas^{1,4}, W.D. Carciochi^{1,4}, M. Balzarini^{4,5}, S. Tovar Hernández¹, O. Ávila^{1,2}, G. Larrea¹, M.P. Rodríguez^{1,2}, N. Reussi Calvo^{1,4,6}.

¹UIB (EEA-INTA Balcarce) - FCA (UNMdP). ²FONCyT. ³FCAyRN (Unillanos, COL). ⁴CONICET. ⁵FCA (UNC). ⁶FERTILAB. * Ruta 226 km 73,5 (Balcarce, AR), mail: adrianlapaz2010@gmail.com

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Las herramientas de teledetección satelital tienen el potencial tecnológico para monitorear los requerimientos de nitrógeno (N) en planta (N_{req}) de manera remota, rápida, precisa y económica. El objetivo fue calibrar y validar modelos para estimar los N_{req} con determinaciones de suelo, datos multiespectrales y radar de apertura sintética en banda C (C-SAR) durante los estadios de 6, 10, 14 hojas desarrolladas y floración del cultivo de maíz (V_6 , V_{10} , V_{14} , R_1 , respectivamente). Durante la campaña 2020/21 se realizaron 11 experimentos en la Región Pampeana Argentina. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorios con tres repeticiones y cinco dosis de 0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹ aplicadas a la siembra del cultivo. En V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1 se cortaron 12 plantas al ras del suelo para determinar los N_{req} que variaron entre -58,9 y 96,9 kg ha⁻¹. Para estimar los N_{req} se calibraron modelos simples sobre 6 experimentos y se validaron con los 5 restantes. El coeficiente de determinación (R^2) de la calibración varió según el modelo desde 0,435 hasta 0,868. Durante la validación la predicción de los N_{req} tuvo un cuadrado medio del error (RMSE) que varió entre 1,1 a 24,5 kg ha⁻¹ y un RMSE relativo (RRMSE) desde 15,9 hasta 42,9%. Los modelos más precisos fueron los que integraron datos multiespectrales, C-SAR y determinaciones de suelo. Las herramientas de teledetección satelital permiten monitorear los N_{req} de manera precisa.

Palabras clave. Índices de vegetación, Banda C, Radar de Apertura Sintética, Multiespectral, Sentinel 1, Sentinel 2, Sensores remotos.

Introducción

Los nutrientes móviles tienen alta variabilidad espacio-temporal en el suelo durante el ciclo del maíz (*Zea mays L.*) (Echeverría et al., 2015), por lo cual, es imprescindible monitorear los requerimientos de nitrógeno (N) para reajustar la dosis inicial (Sainz Rozas et al., 2019). Los requerimientos de N en planta (N_{req}) se calculan como la diferencia entre la cantidad crítica y la actual de N acumulada por el cultivo para un determinado valor de biomasa (Plénet & Lemaire, 2000). Los valores de N_{req} positivos indican deficiencias de N en planta, mientras que valores negativos indican suficiencia o consumo de lujo. Esta metodología presenta un gran costo y demanda un elevado tiempo para el muestreo, envío y procesamiento de las muestras en laboratorio (Wyngaard et al., 2018). Más aún, cuando se debe aumentar la cantidad de muestras para captar la variabilidad espacio-temporal del N a escala de lote (Pagani, 2014). Como alternativa, los sensores de teledetección satelital podrían estimar los N_{req} a escala de lote y de forma rápida, económica y no destructiva.

Los sensores para teledetección satelital se clasifican en pasivos (multiespectrales) y activos (radar de apertura sintética, SAR) (Reuter, 2009). Los primeros realizan observaciones terrestres del espectro visible e infrarrojo y otorgan al usuario datos multiespectrales (bandas) que sirven para calcular índices de vegetación. Se ha demostrado la potencialidad de estas herramientas para monitorear biomasa aérea y N acumulado en maíz (Li et al., 2014, Hosseini et al., 2018). No obstante, estos sensores no son operativos en días nublados mientras que los SAR sí lo son (McNairn & Shang, 2016). Los datos SAR en banda C (5.4 Ghz, C-SAR) tienen sensibilidad al índice de área foliar y la materia seca del maíz (Hosseini et al., 2019, Mandal et al., 2020). Sin embargo, no hay investigación sobre el uso de sensores de teledetección satelitales para monitorear los N_{req} en maíz. El objetivo de este trabajo fue calibrar y validar modelos para estimar los N_{req} mediante determinaciones de suelo, datos multiespectrales y C-SAR para los estadios de 6, 10, 14 hojas desarrolladas y floración de maíz.

Metodología

Durante la campaña 2020/21 se realizaron 11 experimentos de fertilización nitrogenada en maíz sobre 4 lotes comerciales, 7 en el norte de la Región Pampeana Argentina y 4 en el sudeste bonaerense. Cada experimento fue ubicado en ambientes productivos diferentes delimitados según los rendimientos históricos, topografía y datos multiespectrales del lote (Córdoba et al., 2016). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones y con cinco dosis de 0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹ aplicadas a la siembra del cultivo (Urea, 46-0-0). La densidad y fecha de siembra fue la óptima según el productor. Se trabajó sin limitaciones de fósforo, azufre y micronutrientes.

El área de interés de la unidad experimental fue de 50 x 50 m. Durante la siembra se tomaron muestras de suelo compuestas de una grilla (5 x 5 m) y se determinó en el estrato de 0-20 cm la textura (Bouyoucos, 1962), mientras que en 0-60 cm el contenido de N-NO₃⁻ (Keeney & Nelson, 1982). El N disponible (N_{disp}) se calculó como la suma entre el N en el suelo más el N del fertilizante. En los estadios de 6, 10, 14 hojas desarrolladas y floración de maíz (V₆, V₁₀, V₁₄ y R₁; Ritchie & Hanway, 1982) se cortaron 12 plantas por parcela al ras del suelo distribuidas según el protocolo de Elementary Sampling Unit (Baret et al., 2021) (Figura 1). El N acumulado (N_{act}) fue el producto entre la biomasa aérea seca (BA) y la concentración de N en planta determinada con el método de Dumas (Jung et al., 2003).

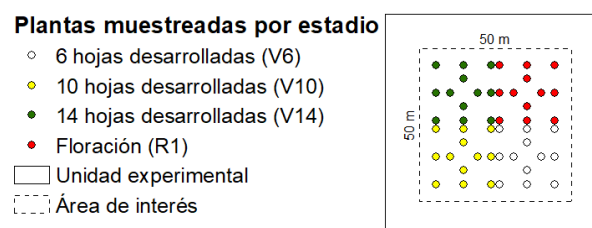


Figura 1. Esquema de muestreo de biomasa aérea para una unidad experimental según el protocolo ESU (Baret et al., 2021). Cada punto es una planta y el color es el estadio en que fue tomada.

Los N_{req} se calcularon según Plenet & Lemaire (2000):

$$N_c(kg\ ha^{-1}) = 34 \times BA^{0,63}(Mg\ ha^{-1}) \quad (1)$$

$$N_{req}(kg\ ha^{-1}) = N_c(kg\ ha^{-1}) - N_{act}(kg\ ha^{-1}) \quad (2)$$

donde 34 y 0,63 son parámetros del modelo para estimar la cantidad crítica de N en planta (N_c)

Sobre los puntos y, en cada estadio de muestreo de BA, se obtuvieron datos multiespectrales de Sentinel 2 a una resolución espacial de 10 y 20 m. Las correcciones atmosféricas se ejecutaron con el plugin Semi-Automatic en QGIS 3.16 (Congedo, 2016) y se calcularon 58 índices de vegetación de los cuales, 16 se detallan en la Tabla 1. Los datos C-SAR se adquirieron en formato IW-GRD y se procesaron en SNAP Software (2020) según Filliponi (2019): Apply Orbit File – Thermal Noise Removed – Removed GRD Border Noise – Radiometric Calibration – Multilooking (4x4) – Speckle (Lee 3x3) – Range Doppler Terrain Correction. Se obtuvieron los parámetros polarimétricos horizontal-vertical (HV) y vertical-vertical (VV) en dB según *Beta Naught* a una resolución espacial de 10 m. Los datos satelitales se relativizaron al valor máximo del sitio (rel) y ambiente (amb) (Eq. 3; Holland & Schepers, 2013).

$$X_{rel\ ó\ amb} = \frac{ND}{ND\ máximo\ sitio\ ó\ ambiente} \quad (3)$$

donde X es una variable independiente, ND: nivel digital de la imagen

Tabla 1. Índices de vegetación calculados con datos multiespectrales de Sentinel 2.

Índices de Vegetación	Fórmula
Exceso de índice verde (ExG)	$2 \times B3 - B4 - B2$
Absorción de clorofila modificada en el índice de reflectancia (MCARI1)	$3 \times [(B5 - B4) - 0,2 \times (B5 - B3)] \times (B5 / B4)$
MCARI2	$3 \times [(B6 - B4) - 0,2 \times (B6 - B3)] \times (B6 / B4)$
Índice de vegetación ajustado al suelo modificado (MSAVI)	$0,5 \times \{2 \times B8 + 1 - \sqrt{[(2 \times B8 + 1)^2 - 8 \times (B8 - B4)]}\}$
Índice de SWIR-rojo de diferencia normalizada (NDSWR) (desarrollado en este estudio)	$(B11 - B4) / (B11 + B4)$
Índice de diferencia de agua normalizado (NDWI1)	$(B8 - B11) / (B8 + B11)$
NDWI2	$(B8 - B12) / (B8 + B12)$
Posición de borde rojo (REP)	$\lambda B5 - \{(\lambda B6 - \lambda B5) \times [(B4 + B7) / 2 - B5]\} / (B6 - B5)$
Índice de vegetación triangular del borde rojo núcleo (RETVI1)	$100 \times (B8 - B5) - 10 \times (B8 - B3)$
RETVI2	$100 \times (B8 - B6) - 10 \times (B8 - B3)$
RETVI3	$100 \times (B8 - B7) - 10 \times (B8 - B3)$
Índice de vegetación de relación simple de borde rojo (SRre1)	$B8 / B6$
SRre2	$B8 / B7$
Absorción de clorofila transformada en índice de reflectancia (TCARI1)	$3 \times [(B5 - B4) - 0,2 \times (B5 - B3)] \times (B5 / B4)$
TCARI2	$3 \times [(B7 - B4) - 0,2 \times (B6 - B3)] \times (B6 / B4)$

Bandas espectrales de Sentinel 2, B2: azul, B3: verde B4: rojo, B5, B6, B7 son borde rojo de 704, 741 y 783nm, B8: infrarrojo cercano, B8A: infrarrojo cercano estrecho (865nm), B11: SWIR1 (1614nm), B12 (2202nm). λ : es el valor central de la longitud de onda de la banda espectral.

Los datos de calibración fueron relevados en 6 experimentos de dos sitios y se utilizaron para desarrollar modelos de regresión lineal entre los N_{req} y una, dos, tres o cuatro variables independientes (datos C-SAR, multiespectrales y análisis de suelo). Los datos de validación fueron relevados en los otros 5 experimentos. La selección del modelo predictor durante la validación se basó en la capacidad predictiva expresada en la raíz cuadrada del cuadrado medio del error de predicción (RMSE) y el RMSE relativo al rango (máximo-mínimo) de los N_{req} observados. Se consideró el coeficiente de determinación (R^2) de la calibración. Los análisis se realizaron en el programa R v 3.6.3 (R Core Team, 2019).

Resultados y discusión

Los modelos de calibración y validación presentados en la Tabla 2 fueron significativos ($p < 0,001$) para estimar los N_{req} . La variación de los N_{req} estuvo en consenso con la literatura (Plenet & Lemaire, 2000) con valores de -2,0 a 7,9, -47,1 a 23,9, -58,9 a 56,8 y -44,5 a 96,9 $kg\ ha^{-1}$ durante V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1 ,

respectivamente. El R^2 de la calibración varió de 0,435 a 0,868 (Tabla 2). El RMSE de validación fue de 1,1 a 1,7, 6,5 a 8,8, 12,4 a 16,5 y 18,4 a 24,5 kg ha^{-1} durante V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1 , respectivamente. Por otro lado, el RRMSE fue de 30 a 42,9, 33,4 a 40,7, 17,3 a 22,9, 22 a 22,9 % en V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1 , respectivamente. Para mejorar la precisión del monitoreo fue clave la alta resolución espectral de Sentinel 2 para calcular índices de vegetación con bandas de borde rojo (B5, B6 y B7) asociados al N en maíz (Li et al., 2014). Por otra parte, los modelos calibrados solo con datos C-SAR no fueron significativos ($p>0,05$). En cambio, los modelos que integraron datos de ambos sensores satelitales obtuvieron mayor precisión de predicción (RMSE: 1,5 a 20,37 kg ha^{-1}) respecto a los que tuvieron solo datos multiespectrales (RMSE: 1,4 a 24,5 kg ha^{-1}). Además, la incorporación del N_{disp} a los modelos mejoró el ajuste de los modelos y la precisión en la estimación (Tabla 2). Por otro lado, se podría hipotetizar que hubo efecto del ambiente productivo y/o densidad de plantas sobre los datos de C-SAR ya que la normalización por ambiente (X_{amb}) fue más preferida que la relativización por sitio (X_{rel}). Al contrario, para los datos multiespectrales la relativización por sitio (X_{rel}) fue más preferida que la normalización por ambiente productivo (X_{amb}). En síntesis, los modelos con datos multiespectrales, C-SAR y N_{disp} obtuvieron mejores ajustes a los datos de N_{req} y mayor capacidad predictiva de esta variable durante el desarrollo del cultivo. Por lo tanto, las herramientas de teledetección satelital integradas al análisis de suelo permiten monitorear los N_{req} del maíz durante el ciclo del cultivo.

Tabla 2. Análisis de regresión de los requerimientos de N en planta (N_{req}) en maíz con datos multiespectrales, C-Banda SAR y análisis de suelo para los estadios de seis, diez, catorce hojas desarrolladas y floración (V_6 , V_{10} , V_{14} y R_1).

Estadio/Modelo	Parámetros y variables predictoras						Calibración (n=90)	Validación (n=75)	
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	RMSE	RRMSE	
V_6									
1	1,767	-28,1 NDWI2	1,5596 ExG_{rel}			0,480	1,4	31,1%	
2	48,3	-46,79 $\log_{10}(\text{VH})_{\text{amb}}$	25,1 NDWI2	1,268 ExG_{rel}		0,509	1,5	41,5%	
3	3,189	-25,79 NDWI2	1,4343 ExG_{rel}	-0,007 N_{disp}		0,631	1,1	30,0%	
4	-41,4	34,71 $\log_{10}(\text{VH})_{\text{rel}}$	-0,0079 N_{disp}			0,544	1,7	42,9%	
5	11,89	-14,06 $\log_{10}(\text{VH})_{\text{rel}}$	-29,13 NDWI2	5,763 $\text{TCARI2}_{\text{rel}}$	-0,0073 N_{disp}	0,626	1,2	32,7%	
V_{10}									
6	349,1	-11,74 $\text{RETVI3}_{\text{amb}}$	-346,6 $\text{SRre1}_{\text{amb}}$			0,526	8,8	36,7%	
7	374	-37,4 VV_{amb}	-13,92 $\text{RETVI3}_{\text{amb}}$	-332,2 $\text{SRre1}_{\text{amb}}$		0,551	8,4	33,4%	
8	29,29	-10,7 $\text{RETVI3}_{\text{rel}}$	-0,1024 N_{disp}			0,721	7,6	39,2%	
9	-335,5	226,1 $\log_{10}(\text{VV})_{\text{rel}}$	237,1 $\text{VH}/\text{VV}_{\text{rel}}$	-84,41 $(\text{VH}-\text{VV})/(\text{VH}+\text{VV})_{\text{amb}}$	-0,1088 N_{disp}	0,684	8,1	40,7%	
10	99,51	-39,96 VV_{rel}	-10,59 $\text{RETVI3}_{\text{rel}}$	-43,72 $\text{RETVI2}/\text{MSAVI}_{\text{rel}}$	-0,0943 N_{disp}	0,769	6,5	34,2%	
V_{14}									
11	1349	-19,9 $\text{RETVI3}/\text{MSAVI}_{\text{amb}}$	186,8 $\text{MCARI1}_{\text{rel}}$	-1439 $\text{SRre2}_{\text{amb}}$		0,641	12,9	17,7%	
12	122,9	-234,1 VH_{amb}	-14,36 $\text{RETVI3}_{\text{rel}}$	169,8 $\text{MCARI1}/\text{MSAVI}_{\text{rel}}$		0,511	14,6	20,2%	
13	831	132,7 $\text{MCARI1}/\text{MSAVI}_{\text{rel}}$	-922 $\text{SRre2}_{\text{amb}}$	-0,1282 N_{disp}		0,628	12,7	17,5%	
14	446	-422,9 VH_{amb}	-0,21 N_{disp}			0,571	16,5	22,9%	
15	-6378	0,65 VV^2_{rel}	-287,7 $\text{TCARI1}/\text{MSAVI}_{\text{rel}}$	6393 REP_{amb}	-0,1843 N_{disp}	0,666	12,4	17,3%	
R_1									
19	1231	-878,5 $\text{NDSWR}_{\text{amb}}$	375 $\text{MCARI2}/\text{MSAVI}_{\text{amb}}$	-716,7 $\text{RETVI1}/\text{MSAVI}_{\text{amb}}$		0,451	24,5	26,3%	
20	-16052	332,8 $\log_{10}(\text{VV})_{\text{amb}}$	22,83 REP_{rel}	269,7 $\text{NDWI1}_{\text{rel}}$		0,435	20,4	25,0%	
21	167	-110,9 $\text{SRre1}_{\text{amb}}$	-0,26 N_{disp}			0,815	19,2	24,3%	
22	0,5041	69,03 $\text{VH}/\text{VV}_{\text{amb}}$	-0,28 N_{disp}			0,808	20,0	24,0%	
23	-261,2	83,26 $\text{VH}/\text{VV}_{\text{amb}}$	255 $\text{SRre2}_{\text{rel}}$	-0,2821 N_{disp}		0,820	18,4	22,0%	

VV (vertical vertical) y VH (vertical-horizontal) son retrodispersiones de C-SAR (Sentinel 1) normalizados por beta. Variables del análisis de suelo (0-20 cm): N_{disp} es nitrógeno (N) disponible (kg ha^{-1} , 0-60 cm), Nan es N anaeróbico (mg kg^{-1}), Ac y Li son arcilla y limo (g kg^{-1}). R^2 es el coeficiente de determinación, RMSE el cuadrado medio del error (kg ha^{-1}) y RRMSE es el RMSE relativo al rango observado de N_{req} . **Los valores de métricas en negrita son los modelos más precisos por estadio.**

Conclusiones

Se ajustaron y calibraron modelos para estimar los N_{req} a escala de lote en función de datos satelitales multiespectrales y C-SAR. Por ende, las actuales herramientas de teledetección satelital utilizadas

permiten monitorear de forma precisa la variabilidad espacio-temporal de los N_{req} del maíz en desarrollo. Además, la integración de estas herramientas con determinaciones de suelo aumentó la precisión del monitoreo. Por lo tanto, complementar al diagnóstico de N en base a análisis de suelo con un monitoreo satelital de los N_{req} permitiría reajustar la dosis inicial de N en maíz. Futuras investigaciones deberían ajustar modelos de dosis óptima económica en función de datos satelitales.

Agradecimientos

Agradecemos a los establecimientos de Las Balas (LIAG Argentina), El Cisne (FUMISEM SRL), El Palomar (Sr. Pereyra) y La Masia (Sr. Pernia) por facilitar los lugares para la instalación de sitios experimentales y, al Proyecto 2019-PE-E9-I177-001 de INTA y el Proyecto PICT 2016 (0304) de FonCyT por la financiación. Además, a la colaboración de los ingenieros agrónomos Francisco Melcón, Nicolás Spurio, Diego Aguilera, Jorge Ramírez y Rafael de Velazco.

Referencias

- Baret, F., Weiss, M., Allard, D., Garrigue, S., Leroy, M., Jeanjean, H., et al. (2021). VALERI: a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products. <https://hal.inrae.fr/hal-03221068>
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *A J.* 54(5), 464–465.
- Congedo, L. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. <http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- Córdoba, M. A., Bruno, C. I., Costa, J. L., Peralta, N. R., & Balzarini, M. G. (2016.) Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 143, 95–107.
- Echeverría, H. E. & Sainz Rozas, H. R. (2015). Nitrógeno. In: Echeverría, H. E.; García, O. F. (Ed.) *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos* (pp. 189–228). Buenos Aires: Editorial INTA.
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. In: *MDPI Proceedings*, 18(1), p. 11.
- Holland, K. H., & Schepers, J. S. (2013). Use of a virtual-reference concept to interpret active crop canopy sensor data. *Precision Agriculture*, 14(1), 71–85.
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Davidson, A., Robertson, & L. Di. (2018). Combination of optical and SAR sensors for monitoring biomass over corn fields. In: 2018 IEEE IGARSS (pp. 5952–5955). Valencia, España, 22-27 July.
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Dingle Robertson, L., Davidson, A., & Homayouni, S. (2019). Synthetic aperture radar and optical satellite data for estimating the biomass of corn. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 83, 101933.
- Jung, S., Rickert, D. A., Deak, N. A., Aldin, E. D., Recknor, J., Johnson, L. A., Murphy, P. A. (2003). Comparison of Kjeldahl and Dumas Methods for Determining Protein Contents of Soybean Products. *JAOCs*, 80(12), 1169–1173.
- Keeney, D. R. & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-inorganic forms. In: A.L. Page (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA* (pp. 643–698). Madison, WI.
- Li, F., Miao, Y., Feng, G., Yuan, F., Yue, S., Gao, X., et al. (2014). Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 111–123.
- Mandal, D., Kumar, V., Lopez-Sanchez, J. M., Bhattacharya, A., McNairn, H., & Rao, Y. S. (2020). Crop biophysical parameter retrieval from Sentinel-1 SAR data with a multi-target inversion of Water Cloud Model. *International Journal of Remote Sensing*, 41(14), 5503–5524.
- McNairn, H., & Shang, J. (2016). A Review of Multitemporal Synthetic Aperture Radar (SAR) for Crop Monitoring. In: Y. Ban (Ed.), *Multitemporal Remote Sensing. RSDIP, vol 20. Springer* (pp. 317–340), Cham. Ottawa, Canadá.
- Pagani, A. (2014). Manejo sitio-específico de nutriente. In: Echeverría, H. E.; García, F. O. (Ed.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos* (pp. 839–870). Buenos Aires: Editorial INTA.
- Plénet, D., & Lemaire, G. (2000). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, 216, 65–82.
- R CORE TEAM. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Versión 3.6.3. <http://www.R-project.org>
- Reuter, F. (2009). Principios de teledetección. Serie Didáctica No 33. Catedra de Teldetección y Cartografía, FCF – UNSE, 74 p.
- Ritchie, S. W. & Hanway, J. J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. In: *Special Report* (48). p. 24.
- Sainz Rozas, H. R., Reussi Calvo, N. I., & Barbieri, P. A. (2019). Uso del índice de verdor para determinar la dosis optima económica de nitrógeno en maíz. *Ciencia del suelo*, 37(2), 246–256.
- Wyngaard, N., Cabrera, M. L., Shober, A. & Kanwar, R. (2018). Fertilization strategy can affect the estimation of soil nitrogen



mineralization potential with chemical methods. *Plant and Soil*. 432:75–89.

Época óptima de siembra de sésamo (*Sesamum indicum* L.) variedad Escoba Blanca, en el departamento de Guairá

Martha Elizabeth Silvero Espínola

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. Sede Caazapá, Paraguay

Resumen.

El sésamo es uno de los cultivos que adquiere mayor importancia en los últimos años, debido a su alto potencial como confitero y aceitero. Está limitado por los factores ambientales, la siembra realizada en la fecha correcta, constituye la primera regla de oro, evitando exponer al cultivo a periodos largos de falta o exceso de humedad, ya que estas condiciones predisponen a la incidencia de patógenos y por consiguiente disminuyen los rendimientos del cultivo. El objetivo de la investigación fue evaluar la época óptima de siembra de sésamo, variedad Escoba Blanca. Los experimentos se realizaron en dos periodos, 1ra época: 22 de octubre y 2da época: 22 de noviembre. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones, un total ocho unidades experimentales, la parcela útil fue de tres hileras del cultivo. Los resultados obtenidos muestran que en la 1ra época se expresa un rendimiento mayor con medias de 16.20 kg/ha, mientras que la 2da época una media de 6.66 kg/ha. El mayor número de ramas fructíferas se obtuvo en la 1ra época con medias de 7 y 5 para la 2da. En cuanto al peso de mil semillas, la 1ra época presentó mayor efecto con medias de 2.22 g y la 2da 2.15 g, para el número de capsulas por planta y altura, la 1ra época fue superior con medias de 132 cápsulas y 2,27 m de altura, mientras que 2da época con medias de 90 cápsulas y 1,49 m de altura.

Palabras clave: Rendimiento, rama fructífera, aceitero, sésamo (*Sesamum indicum* L.)

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el predio ubicado en el departamento de Guairá, Región Oriental del Paraguay, distante a unos 216 km al este de Asunción, (25°58'10,0'', 56°10'55,4''). Previa a la instalación de los experimentos, se realizaron prospecciones de las características físicas y químicas del suelo. El análisis de suelo fue realizado en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA, cuyo resultado determinó una textura franco arenosa, con un 90% de contenido de arena y bajo contenido de materia orgánica, P, Ca, Mg y K.

Los experimentos fueron instalados del mismo modo en ambos periodos, en dos parcelas separadas. El diseño experimental utilizado fue Completamente al Azar, con dos tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental representaba un área de 6 m² con tres hileras de 3 m de largo separadas a 1 m. Las semillas fueron sembradas en forma manual en surcos corridos aproximadamente 0,02 m de profundidad y cubierta enseguida y, cuando las plántulas crecieron hasta un promedio de 0,10 m se ralearon dejando un promedio de 10 plantas por metro de hilera.

En el momento de la cosecha, a modo de evitar el efecto de borde, se cosecharon las hileras centrales. Las plantas cosechadas fueron puestas a secar hasta aproximadamente 13% de humedad de las cápsulas sobre una lona para evitar pérdida de semillas por dehiscencia, luego se evaluó el rendimiento de granos por cada variable cosechada. Los granos se pesaron en una balanza de precisión digital de dos decimales y los valores ajustados para ser expresados en kg ha⁻¹.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de la varianza mediante el programa informático InfoStat versión 2013. Con diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los rendimientos de granos, se procedió a su comparación por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad de error.

Resultados y discusión

Tabla 1. Rendimiento de sésamo (*Sesamum indicum* L.) variedad nueva Escoba Blanca en dos épocas de siembra en el departamento de Guairá. 2021.

Tratamientos	Rendimiento (Peso/planta)
Época 1 (24/10)	16,19
Época 2 (24/11)	7

Los análisis de la varianza de las medias de rendimiento mostraron que hubo diferencias altamente significativas. Los resultados de la cosecha obtenida en el primer experimento (22 de octubre) mostró que todas las variedades expresan un rendimiento mayor con medias de 16.20 kg/ha y el de la segunda época (22 de noviembre) con una media de 6.66 kg/ha (Table 1).

La época de siembra afecta el ciclo vegetativo de la variedad Escoba debido a que es sensible al fotoperiodo. A pesar de presentar abundante ramificación la floración tardía no permite la carga potencial de las ramas presentando menor fruto por planta y por ende menor rendimiento. Los rendimientos de Escoba sembradas en la primera quincena de octubre son iguales o superiores a 1.300 kg/ha, sin embargo, cuando es sembrada en la última quincena de diciembre estos resultados se redujeron menos 800 kg/ha (González *et al.* 2013). Estos autores señalan que con cada mes de retraso en la época de siembra de la variedad Escoba se pierden casi 200 kg/ha

Según Zaanvetor 2020, La reducción en el rendimiento con el atraso de la fecha de siembra, se explica principalmente por una reducción del número de granos, ya que el peso de granos no se modificó significativamente. Del mismo modo que el rendimiento en grano tendió a disminuir a medida que se atrasó la fecha de siembra, en línea con lo observado por Villalba Martínez y Sosa (2017).

Tabla 2. Peso de mil semillas del sésamo (*Sesamum indicum* L.) variedad nueva Escoba Blanca en dos épocas diferentes en el departamento de Guairá. 2021.

Tratamientos	Peso de 1000 semillas (g)
Época 1 (24/10)	2,22
Época 2 (24/11)	2

La tabla 2 permite mostrar que con el efecto de diferentes épocas de siembra no se detectaron diferencia significativa sobre la variable peso de 1000 semillas. Siendo la primera época la que presentó mayor efecto con una media de 2.22 g y la segunda época con media de 2.15 g.

Pham et al. (2010) encontraron pesos de 1000 semillas en el rango 2,4 y 2,6 g. Asimismo, Pérez et al. (2015), en investigación realizada reporta peso de 1000 semillas para el genotipo Escoba blanca un rango entre 2,5 a 2.7 g. El PPS encontrado en el presente estudio guarda relación estrecha con lo señalado por estos autores.

El peso de mil semillas es una característica varietal, siendo uno de los caracteres más variables que se modifica en el momento de formación y llenado de granos por las condiciones del ambiente (Falasca 2010).

A pesar de alcanzar un mayor desarrollo de follaje por las buenas condiciones de fotoperiodo, temperaturas elevadas y uniformes, no se reflejó en la obtención de un alto rendimiento debido a que fue afectado por precipitaciones excesivas en etapas de cosecha y secado de cápsulas, provocando pérdidas significativas en grano y además la obtención de los granos de mala calidad (Rolón y Causarano 2013).

Tabla 3. Número de cápsula por planta del sésamo (*Sesamum indicum* L.) variedad nueva Escoba Blanca en dos épocas diferentes en el departamento de Guairá. 2021.

Tratamientos	Número de cápsula por planta
Época 1 (24/10)	132,03
Época 2 (24/11)	90

Fueron halladas diferencias significativas para la característica número de cápsula por planta. En la primera época de siembra, se obtuvo plantas con medias de 132 cápsulas, estadísticamente mayor a las obtenidas en la segunda época de siembra cuyo número de cápsulas por planta fue 90.

Según Oviedo (2007) cuando el sésamo se siembra en condiciones adecuadas, la variedad Escoba presenta un promedio de 150 cápsulas por planta, similar a la media del presente ensayo para la primera época. Así mismo, Ismaila y Usman (2012), indican que el número de cápsulas por planta es uno de los componentes que más afecta el rendimiento final. De igual modo, Melgarejo et al. (2020)

menciona que es el componente de rendimiento que resulta más fácilmente afectado por las condiciones del ambiente y en condiciones de extrema sequía en la etapa floración y formación de cápsulas, puede ocurrir aborto masivo de flores y consecuentemente verse afectado el número final de cápsulas.

Entre otros agentes que influyeron son las temperaturas adecuadas con una media de 27 °C, días largos que incidieron en la obtención del mejor rendimiento en la primera época, lo que no ocurrió en la segunda época debido a efectos de la precipitación elevada y continua en los días de floración y cosecha, provocando pérdidas al final del ciclo.

Conclusiones

Con la investigación realizada en la ciudad de Eugenio A. Garay, departamento de Guairá, sobre el rendimiento de sésamo variedad Escoba Blanca bajo efecto de diferentes épocas de siembra se puede establecer las siguientes conclusiones:

La época de siembra influye sobre el rendimiento, número de cápsula por planta, rama fructífera y altura de planta de la variedad Escoba Blanca. En la primera época (22 de octubre) se obtuvo mejores resultados. La siembra en el mes de noviembre, considerada tardía, ocasiona una disminución significativa en estas variables.

Finalmente se concluye que, de acuerdo a los resultados obtenidos para cada una de las variables, se observaron que existen diferencias significativas en la variedad Nueva escoba blanca respecto a las épocas de siembra, por lo tanto, no se rechaza las hipótesis planteadas inicialmente.

Referencias

- Ayala Aguilera, L; Oviedo de Cristaldo, R; Espínola, V. 2012. Manejo de variedades de Sésamo de ciclo precoz. Recuperado 28 set. 2020, de <https://es.scribd.com/document/425625044/Manejo-de-variedades-de-sesamode-ciclo-precoz>
- Ayala Aguilera, L; Oviedo de Cristaldo, R; Espínola, V. 2012. Manejo de variedades de Sésamo de ciclo precoz. Recuperado 28 set. 2020, de <https://es.scribd.com/document/425625044/Manejo-de-variedades-de-sesamode-ciclo-precoz>
- Ayala, L; Barrios, LR; Borsy, P; Delgado, V; Florentín, M; Gadea, R; Galeano, M; Gamarra, C; González, V; Lezcano, N; Meza, M; Moriya, K; Oviedo de Cristaldo, RM; Rolón, S; Soria, P; Talavera, N. 2010. Buenas prácticas en manejo del sésamo: una orientación para técnicos y productores. Recuperado 29 set. 2021, de <https://www.bivica.org/files/sesamo.pdf>
- Ayala, L; Cantúa, JA. 2013. Manual técnico sobre manejo de enfermedades en sésamo: Macrophomina y virosis. Asunción, PY. FCA/JICA. 20 p.
- Ayala, L; Cantúa, JA. 2013. Manual técnico sobre manejo de enfermedades en sésamo: Macrophomina y virosis. Asunción, PY. FCA/JICA. 20 p.
- Corona, AV; Viera, N; Laurentin, H. 2013. Caracterización morfológica y relación fenética de germoplasma mejorado de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Recuperado 13 oct. 2021, de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/6102
- Gracias Torres, LA. 2019. Establecimiento y comercialización del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en las condiciones del municipio de el Carmen de Bolívar (en línea). Tesis Ing. Agr. YOPAL - CASANARE

Variabilidad intra-lote de la respuesta a fertilización y densidad de siembra a partir de ensayo de experimentación precisa (OFPE)

Gelich, M¹; Paccioretti, P^{1,2}; Giannini-Kurina, F².

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba; ²CONICET-UFYMA Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

La experimentación precisa en campos de producción (OFPE) tiene como objetivo optimizar el uso de insumos la producción agrícola. Una de las principales potencialidades de estos ensayos es poder hacer prescripciones sitio-específicas sobre la base de una descripción de la variabilidad intra-lote de la respuesta a los insumos aplicados. En el presente trabajo a partir de un OFPE con diseño experimental factorial se estudió la variación de rendimiento de maíz en función de la densidad de siembra y dosis de nitrógeno. Se utilizaron modelos lineales mixtos, para obtener dosis óptimas de insumos, en 16 zonas previamente definidas dentro del lote. Luego se caracterizó la relación entre las características edáficas y los rendimientos potenciales. Se evidenció un importante efecto de las dosis de fertilización nitrogenada, densidad de siembra y rendimiento potencial entre zonas demostrando que la variabilidad intra-lote de la respuesta a rendimiento justificaba decisiones de manejo sitio-específicas. Por otro lado, se encontró que las respuestas del rendimiento a la densidad de siembra y a la fertilización nitrogenada se explicó a través de la variabilidad de la materia orgánica del suelo. Este trabajo forma parte del trabajo final de graduación de estudiantes del Área de Consolidación en Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

Palabras claves: Experimentación Precisa En Campos De Productores (OFPE), Dosis Optimas, Modelos Lineales Mixtos.

Introducción

En cultivos como el maíz, los cuales son sensibles a la fertilización nitrogenada y a la variación en la densidad de siembra, identificar niveles óptimos de insumos aplicados implica maximizar la rentabilidad del productor y reducir el impacto ambiental originado por la pérdida provocada por la aplicación en excesos (Kablan et al. 2017). El rendimiento del cultivo de maíz se encuentra principalmente limitado por agua y nitrógeno (N), por lo que estos recursos determinan la variabilidad espacial y temporal de sus rendimientos.

De acuerdo con Robert, 1999, la observación de la existencia de variabilidad en las propiedades o factores determinantes de la producción en los agroecosistemas no es una novedad. Lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aún, es posible georreferenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas (Bullock et al. 2019). Los Mapas de Rendimiento brindan una gran cantidad de datos y son reconocidos como una herramienta muy valiosa, para determinar la causa de la variación del rendimiento y sus causas dentro de un área determinada, sin embargo, pueden contener una gran cantidad de datos defectuosos que pueden dar lugar a decisiones engañosas. Estas anomalías deben eliminarse antes de su posterior procesamiento para garantizar la calidad de las decisiones futuras (Vega et al. 2019)

Convencionalmente, los experimentos agronómicos destinados a evaluar la respuesta de los cultivos a tratamientos, tales como dosis de fertilización y densidades de siembra, se llevaban a cabo usando diseños experimentales clásicos como el diseño completamente aleatorizado (DCA) o el diseño en bloques completo al azar (DBCA), con un número bajo de repeticiones (usualmente 3 a 4 parcelas por tratamiento) y en campos experimentales ya que se necesitaban maquinarias y herramientas especiales para ensayo así como mucha mano de obra para asignar e identificar los tratamientos que recibía cada parcela (Clewer and Scarisbrick 2013; Montgomery 1999). Hoy en día con la experimentación precisa en campos de producción (OFPE) se pueden conformar bases de datos multivariadas a gran escala, diferentes ambientes y tienen la particularidad de añadir a la variación de ciertos inputs como densidad de semillas o cantidad de fertilizante, junto con otras variables (características del sitio) que también varían espacialmente e interactúan con los inputs (Marchant et al. 2019; Paccioretti et al. 2021).

Uno de los objetivos principales del análisis de experimentos de tasa variable de insumos conducidos en campos de productores es estimar una función de productividad que pueda ser utilizada para conocer la respuesta del cultivo a diferentes dosis de insumos e interpretar las variaciones locales de esa respuesta en términos de variables de sitio y condiciones ambientales del lote (Paccioretti et al. 2021; Trevisan et al. 2020).

En el presente trabajo se analiza un OFPE realizado sobre un cultivo de maíz en la región de “Corn Belt” en Estados Unidos con fertilización nitrogenada y densidad de siembra variables. Los datos del ensayo se obtuvieron gracias a la gentileza y colaboración académica que mantiene la cátedra de Estadística y Biometría de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba liderada por la Profesora Mónica Balzarini y el colegio de Agricultura, Consumo y Ciencias Ambientales de la Universidad de Illinois Urbana-Champaign liderado por el Profesor David Bullock. Se abordan alternativas para el análisis de datos de OFPE a través de modelos lineales y se discuten sus implicancias agronómicas.

Materiales y métodos

El ensayo se encuentra localizado cercano a Villa de Andover Condado de Henry, estado de Illinois que

forma parte del “Corn Belt” (cinturón del Maíz) de la región medio oeste de Estados Unidos y se caracteriza por la especialización en la producción de Maíz, el cual ocupa un 54% del total de las actividades primarias seguido por el cultivo de soja en un 27% (Green et al., 2018). Forman parte del proyecto DFIM coordinado por el Prof. Bullock. La caracterización edafoclimática del área de estudio describe un clima continental, con cuatro estaciones diferenciadas, presentando gran amplitud térmica. La temperatura promedio es de 10.2 °C y la pluviometría media anual es de 1075 mm (Angel 2008). Los suelos de la región son predominantemente molisoles con régimen de humedad údico (Fortner et al. 2006).

En un diseño experimental factorial, realizado con tecnologías de agricultura de precisión con monitores de rendimiento y aplicadores variables de insumo como la semilla y urea, para evaluar la respuesta del cultivo a diferentes tratamientos y así obtener resultados específicos de cada una de las 16 zonas. De esta manera será posible obtener estimaciones del efecto promedio por zona de los tratamientos y su variación ambiental, sobre el rendimiento. La variación del insumo dentro de cada zona, en caso de Urea (kg/ha) se utilizó: 120,9; 183,97; 223,4; 265,46; 315,39; 381,1. En el cuanto a la Densidad (n° semillas/ha): 64198; 71605; 79012; 86420; 93827; 101235. (Figura 1)

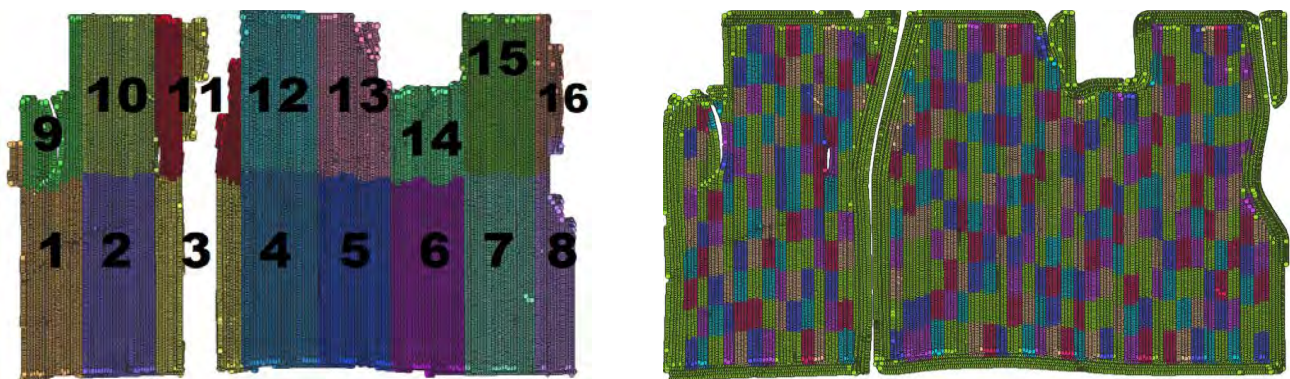


Figura 1: Diseño experimental OFPE. Izquierda subdivisión de zonas. Derecha Distribución de tratamientos por parcela. Cada parcela fue tratada con una combinación aleatoria de los niveles de acuerdo con los múltiples niveles de Fertilización nitrogenada y densidad de siembra.

El preprocesamiento de datos se llevó a cabo a través del software QGIS. Para la depuración de datos se ejecutó un filtro de *outliers* (valores atípicos en relación con el conjunto total de datos) e *inliers* (valores atípicos respecto a sus vecinos) del complemento R en la aplicación QGIS. Para los datos fuera de rango se filtraron con el método de eliminación de datos que se encuentran ± 3 desviación estándar (DE) fuera de la media. Luego a la base depurada filtramos los valores atípicos en relación con su ubicación espacial a una distancia de 20 metros (*inliers*). Se interpolaron las covariables edáficas y topográficas: CEa, MO, CIC, pH y elevación. Luego, a través la tabla de atributos en QGIS, se exportó a una hoja de cálculo donde también se excluyeron datos que no pertenecían al área en estudio.

Se describieron las 16 zonas según las variables de rendimiento, variables edáficas y variables topográficas, a través de sus medias y coeficiente de variación.

Para modelar el comportamiento del rendimiento de Maíz en función de la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada se ajustó un modelo de regresión lineal múltiple, para cada zona tomando el rendimiento (kg/ha) es la variable respuesta o dependiente y las variables explicativas son urea (kg/ha) y densidad de siembra (semillas/ha). Utilizando la siguiente función:

$$Rend = \beta_0 + \beta_1 \times N + \beta_2 \times S + \beta_3 \times N^2 + \beta_4 \times S^2$$

donde:

Rend: Corresponde a la Variable Dependiente; β_0 : media general; $\beta_1 \times N$: Dosis de Urea; $\beta_2 \times S$: Densidad de Semillas; $\beta_3 \times N^2$: Curvatura debida a la Dosis de Urea; $\beta_4 \times S^2$: Curvatura debida a la Dosis de Semillas.

Una vez obtenido el modelo de rendimiento en cada zona se fijó un valor medio para densidad de siembra y para fertilización de 251 (kg/ha) y 82716.5 (semillas/ha) respectivamente. Luego, se calculó la densidad óptima de siembra dado el valor medio de fertilización con urea y la dosis óptima de fertilización con urea dado la densidad de siembra media. El cálculo se realizó partir del modelo de respuesta del rendimiento ajustado para cada zona en el paso anterior. Para esto se confeccionó una secuencia de cálculo utilizando software R, disponible por solicitud a los autores.

Resultados y discusión

En el proceso de depuración se descartaron 2031 observaciones outliers y observaciones inliers 6598. También se excluyeron datos correspondientes a las cabeceras para eliminar el efecto de bordura totalizando 49134. La proporción de datos descartados resulta acorde (12.8% del total de observaciones) comparada con otras implementaciones de depuración en preprocesamiento de datos derivados de monitores de rendimiento (Vega et al. 2019).

Los resultados del análisis descriptivo por zona muestran que CE y CIC fueron las variables que mayor variabilidad presentaron entre zonas (CV 23% y 12%). El pH se presentó con valores cercanos a la neutralidad y ligeramente ácidos, con un rango de variación que va desde 6,2 a 6,8. La MO tiende a ser estable con CV relativamente bajos (menores a 10%) exceptuando las zonas 9 y 16. Este comportamiento de mayor variabilidad en dichas zonas se corresponde con las demás variables edáficas. Los análisis de correlación lineal entre variables edáficas muestran que a medida que disminuye la elevación aumenta el valor pH, CIC y MO. El aumento de la CIC y MO se atribuye a un patrón edáfico esperado en el cual las zonas bajas reciben diferentes tipos de materiales de las zonas más altas enriqueciendo dicho suelo, en cambio el aumento del pH se puede deber a una mayor acumulación de sales por escaso drenaje, nivel de capa freática más alta o por ser un suelo que frecuentemente se anega. El pH se correlaciona positivamente con la MO, CIC lo cual también es una relación esperada.

En cada zona el ajuste de los modelos de regresión lineal múltiple que explican la respuesta al rendimiento en función a la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada con Urea presentaron variabilidad en los diferentes parámetros y diferentes estimaciones de dosis óptimas (Tabla 1).

Tabla 1: Estimaciones de rendimiento de Maíz a insumos en ensayo de experimentación precisa

		Media	D.E.	Mínimo	Máximo
Fertilización nitrogenada	Dosis optima (kg Urea/ha)	387	73	298	500
	Rendimiento máximo (kg/ha)	14755	602	14113	16614
Densidad de siembra	Dosis optima (semillas/ha)	93820	7886	82700	110000
	Rendimiento máximo (kg/ha)	14533	313	14109	15270

Los resultados muestran que en las distintas zonas varió la respuesta del rendimiento tanto a la densidad de siembra con dosis óptimas (con un rango de 82700 a 110000 semillas/ha), como para la fertilización nitrogenada con Urea (con valores desde 298 a 470 kg/ha). La respuesta a la fertilización expresada por los coeficientes β_1 y β_2 también fue variable promediando los 12,6 kg/ha de rendimiento por cada kg Urea/ha y 0,19 kg/ha de maíz por cada semilla/ha.

Dado que las covariables edáficas presentaron una alta correlación y luego de explorar una serie de modelos para explicar las dosis óptimas por zona según las covariables edáficas se modeló tanto la dosis óptima de urea para un nivel medio de densidad de siembra como la densidad de siembra óptima dado un nivel medio de fertilización nitrogenada. La MO de suelo además operó como un indicador general de la calidad de un sitio y disponibilidad de nutrientes.

Como se observa en la Figura 2 las relaciones de ambos insumos, la MO tiene una relación cuadrática con la respuesta de fertilización con urea, podemos observar que en un principio la relación fue creciente y luego de un valor cercano al 2,7 % de MO la respuesta a la fertilización nitrogenada decreció.

Tabla 2: Dosis óptimas de insumos considerando niveles de materia orgánica del sitio.

Dosis óptima de Urea en función a MO			
	Estimador	E.E.	p-valor
Intercepto	-15267.9	6183.7	0.033
MO	11156.4	4351.1	0.028
MO ²	-1984.7	764	0.027
Dosis óptima densidad de siembra en función a MO			
	Estimador	E.E.	p-valor
Intercepto	6784.6	36577.6	0.856
MO	30475.7	12836.2	0.037

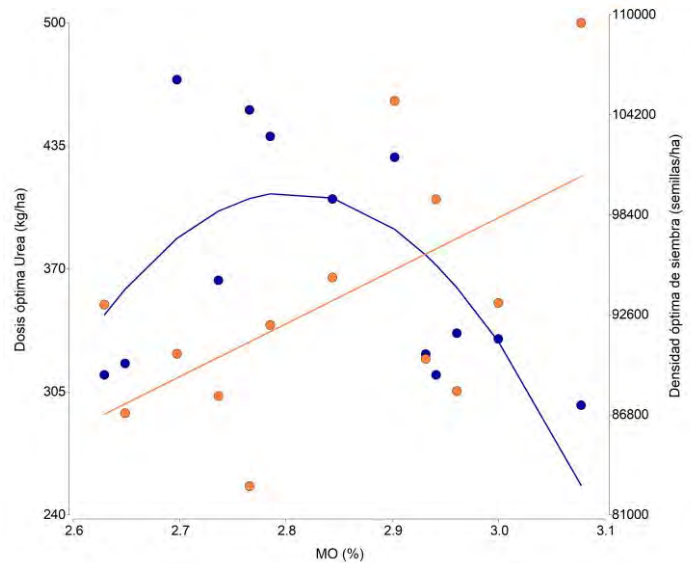


Figura 2: Relación entre materia orgánica de suelo (MO%) y nivel de insumos óptimos. En naranja densidad de siembra óptima y en azul dosis de fertilización nitrogenada con nivel de urea óptimo.

Los resultados sugieren beneficios de un manejo diferenciado por zona. La correlación positiva entre la materia orgánica y el número óptimo de semillas para la densidad de siembra puede explicarse debido a una mayor disponibilidad de nutrientes y mejor condición edáfica dada por valores altos de MO que implicaría mayor disponibilidad de nutrientes y por lo tanto menor competencia interespecifica. Se recomienda aumentar la densidad de siembra en sitios de mayor MO, ya que la respuesta de la densidad de siembra en base a la MO es positiva y creciente (Tabla 2, Figura 2).

Conclusión

Las respuestas tanto a la fertilización nitrogenada como a la densidad de siembra variaron entre zonas, por lo tanto, es necesario contar con herramientas para determinar dosis óptimas sitio-específicas. Por otro lado, se concluye que las dosis óptimas covarían con la materia orgánica de suelo, por lo que esta propiedad edáfica podrá servir como indicador para determinar las dosis óptimas.

Referencias

- Angel, J. R. (2008). *Illinois Climate: Office of the State Climatologist*. Illinois State Water Survey.
- Bullock, D. S., Boerngen, M., Tao, H., Maxwell, B., Luck, J. D., Shiratsuchi, L., et al. (2019). The data-intensive farm management project: Changing agronomic research through on-farm precision experimentation. *Agronomy Journal*, 111(6), 2736–2746. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0165>
- Clewer, A. G., & Scarisbrick, D. H. (2013). *Practical statistics and experimental design for plant and crop science*. John Wiley & Sons.
- Fortner, J., Hayward, K., Lytle, D., & Williamson, D. (2006). Web soil survey. In *ESRI Federal User Conference*.
- Kablan, L. A., Chabot, V., Mailloux, A., Bouchard, M., Fontaine, D., & Bruulsema, T. (2017). Variability in corn yield response to nitrogen fertilizer in eastern Canada. *Agronomy Journal*, 109(5), 2231–2242.
- Marchant, B., Rudolph, S., Roques, S., Kindred, D., Gillingham, V., Welham, S., et al. (2019). Establishing the precision and robustness of farmers' crop experiments. *Field Crops Research*, 230(October 2018), 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.006>
- Montgomery, D. C. (1999). Experimental design for product and process design and development. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 48(2), 159–177.
- Paccioretti, P., Bruno, C., Gianinni Kurina, F., Córdoba, M., Bullock, D. S., & Balzarini, M. (2021). Statistical models of yield in on-farm precision experimentation. *Agronomy Journal*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/agj2.20833>
- Robert, P. C. (1999). *Precision Agriculture: An Informative Revolution In Agriculture*.
- Trevisan, R. G., Bullock, D. S., & Martin, N. F. (2020). Spatial variability of crop responses to agronomic inputs in on-farm precision experimentation. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09720-8>
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., & Balzarini, M. (2019). Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*, 1–15.

Desarrollo de tecnologías de agricultura de precisión en arroz

Hill, Santiago¹; Melchiori, Ricardo²; Kemerer, Alejandra^{2,3}

¹Asesor privado, San Salvador, Entre Ríos, Argentina; ²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Mejorar la eficiencia en el uso de insumos es una de las premisas fundamentales en la Agricultura de Precisión. Con el manejo del riego en cultivos como el arroz es posible maximizar la eficiencia en el uso de nitrógeno. Por esta razón, el uso variable de insumos en cultivos de regadío tiene un gran potencial. En el presente trabajo se evaluó la productividad del cultivo de arroz en zonas con diferentes condiciones de fertilidad. Se procesaron imágenes satelitales Sentinel2B de dos campañas (2019/2020 y 2020/2021) del período siembra a cosecha. Se calcularon diferentes índices de vegetación: NDVI, GCI, RCI, RECI a fin de estimar la productividad de cada zona evaluada y la condición nitrogenada del cultivo. Se evaluó la condición nitrogenada del cultivo al estadio de diferenciación de ápice. Se determinaron relaciones entre el contenido de N en planta y curvas de referencia para estimar el status nutricional. Se observó el rendimiento final de cada zona. Los índices de vegetación estimados mediante monitoreo satelital permitieron obtener relaciones entre la acumulación de N en la planta y el rendimiento del cultivo. Las zonas con mayor contenido de nitrógeno foliar al estadio de diferenciación de ápice incrementaron significativamente el rendimiento. Por ende, el estado nutricional del cultivo mediante el índice de nutrición nitrogenado (INN), fue un buen estimador del rendimiento en diferenciación.*

Palabras clave.

NDVI, RCI, GCI, RECI, INN, Nitrógeno

Introducción

Conocer como la variabilidad afecta la productividad de los cultivos, es uno de los desafíos más importantes que tiene la Agricultura de precisión (Mulla y Schepers, 1997) y la base para poder manejarla de manera eficiente (Whelan y McBratney, 2000). Determinar el rendimiento de los cultivos permite planificar, presupuestar y aplicar insumos de manera precisa (Hatfield et al., 2008).

Los índices de vegetación obtenidos de imágenes satelitales presentan patrones de distribución espacial similares al rendimiento de los cultivos (Rydberg y Söderström, 2000; Kemerer, 2003), posibilitando así su estimación, como así también otras variables relacionadas al estado nutricional, como el contenido de nitrógeno foliar (Delegido et al., 2011; Clevers y Gitelson, 2013).

Sorteando la limitante hídrica a través del riego en el cultivo de arroz, el nitrógeno es una de las principales limitantes en la producción. Su utilización representa un costo elevado, pero con un gran retorno económico cuando es aplicado de manera eficiente. En este sentido los métodos para determinar su diagnóstico no son escasos, pero si, poco precisos o prácticos. Por ende, el uso de índices de vegetación para determinar la condición nitrogenada del cultivo de arroz y estimar el rendimiento, presentan un gran potencial. Identificar el momento en el ciclo de crecimiento del cultivo en el cual los índices espectrales permiten discriminar diferencias de productividad y el estatus nutricional con posibilidades de intervención, resulta clave para mejorar la eficiencia en el uso del nutriente. Existen escasos antecedentes de aplicaciones de técnicas de AP en arroz en Argentina, resultados preliminares han sido recientemente publicados (Melchiori et al., 2020; 2021).

El objetivo del trabajo fue monitorear el estatus nitrogenado del arroz al momento de diferenciación del ápice y estimar la productividad del mismo utilizando diferentes índices de vegetación derivados de imágenes satelitales.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el establecimiento “Estancia Jubileo”, el cual se dedica a la producción ganadera y agrícola, siendo el arroz el cultivo de mayor importancia productiva. El campo se encuentra ubicado frente a la ciudad de Jubileo, Entre Ríos, Argentina ($31^{\circ}43'0.27''S$, $58^{\circ}38'23.50''O$) (figura 1).

Se evaluaron 9 lotes de arroz, los cuales estaban ambientados en dos zonas según la productividad medida por monitores de rendimientos de años anteriores, una zona de alta y una de baja productividad. En cada zona se realizaron diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada y se dejó un área sin fertilizar a fin de generar productividades contrastantes que puedan ser observadas a través de imágenes satelitales. Cada tratamiento fue realizado en una parcela de 200 metros de largo por 60 metros de ancho. Las prácticas de manejo del cultivo fueron las habitualmente realizadas en el establecimiento.

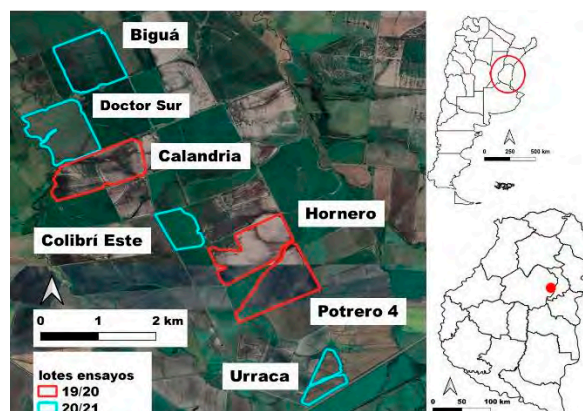


Figura 1: Ubicación de lotes experimentales con cultivos de arroz, Estancia Jubileo, Villaguay, Entre Ríos, Argentina.

Los ensayos se llevaron a cabo en dos campañas agrícolas, 2019/2020 y 2020/2021. Se evaluó la evolución del cultivo desde siembra a cosecha a través de índices espectrales calculados en base a imágenes del satélite Sentinel 2B (tabla 1). En el estadio de diferenciación del ápice se realizaron cortes

para determinar la biomasa acumulada (MS) en tres muestras de 0,25 m² por tratamiento. Las muestras fueron llevadas a estufa con circulación forzada de aire hasta peso constante, pesadas y molidas para determinar el contenido de N en la biomasa por el método de Kjeldahl.

Tabla 2. Índices de vegetación, fórmula de cálculo y bandas utilizadas correspondientes del satélite Sentinel 2B.

Índices	Fórmula	Fórmula Sentinel-2
NDVI	$(IRC - R)/(IRC + R)$	$(B8 - B4)/(B8 + B4)$
RECI	$(IRC/BordeRojo) - 1$	$(B8A/B5) - 1$
GCI	$(IRC/Verde) - 1$	$(B8/B3) - 1$
RCI	$(IRC/Rojo) - 1$	$(B8/B4) - 1$

Para evaluar el status nutricional del cultivo de arroz se calculó el índice de nutrición nitrogenada (INN), a partir de la concentración de N y el contenido de N crítico (N_c) correspondiente al valor de biomasa determinada (MS) en cada lote y zona, según curvas de dilución del N disponible en la bibliografía (Ata-Ul-Karim et al., 2013).

Resultados

Se observaron diferencias contrastantes de productividad entre zonas a través del tiempo, las que quedaron evidenciadas a través de los índices analizados (figura 2). El NDVI presentó mayores diferencias entre zonas en los estadíos iniciales, a partir de los 20 a 25 días de emergencia. En cambio, el RCI mostró diferencias luego de los 45-50 días de emergencia (macollaje). En ese momento el cultivo comenzó a irrigarse, luego de una fertilización de cobertura de nitrógeno, lo que determinó una alta tasa de crecimiento, llegando unos 15 días más tarde al estadio de diferenciación de ápice con una gran cobertura. En la zona de alta productividad la cobertura fue del 93% (figura 2a) y en la zona de baja productividad de 49% (figura 2b). EL RCI discriminó en mayor medida la diferencia productiva entre zonas en dicho estadio, lo que le otorga una ventaja para el diagnóstico de re fertilización, dado que en ese momento el cultivo aún podría obtener una alta tasa de respuesta a una fertilización nitrogenada.

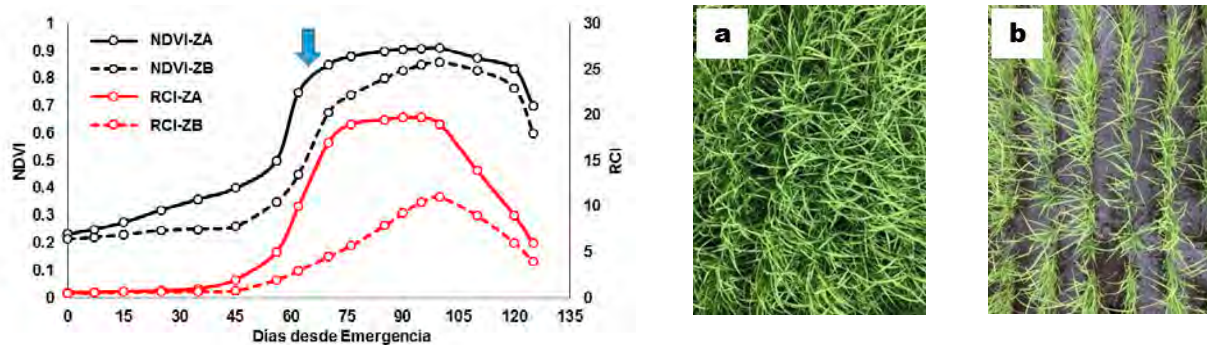


Figura 2: Evolución temporal del NDVI y RCI para dos zonas de productividad diferente, la flecha indica el estadio de diferenciación de ápice. Fotografías a la derecha muestran el nivel de cobertura al estadio de diferenciación de ápice entre una zona de alta (ZA) fertilización nitrogenada (a) y una de baja (ZB) fertilización nitrogenada (b) (Ea. Jubileo, Dpto. Villaguay, Entre Ríos, Argentina).

Todos los índices evaluados determinaron buenas relaciones con el rendimiento (figura 3). El de mejor ajuste fue el NDVI, aunque el RCI que tiene un ajuste levemente inferior presentó una mejor distribución de los valores para todo el rango de rendimiento explorado. En cuanto al nitrógeno acumulado en la biomasa, los índices RECI y GCI, que utilizan bandas del borde rojo y verde, respectivamente, fueron los que determinaron las relaciones con mayores ajustes (figura 3).

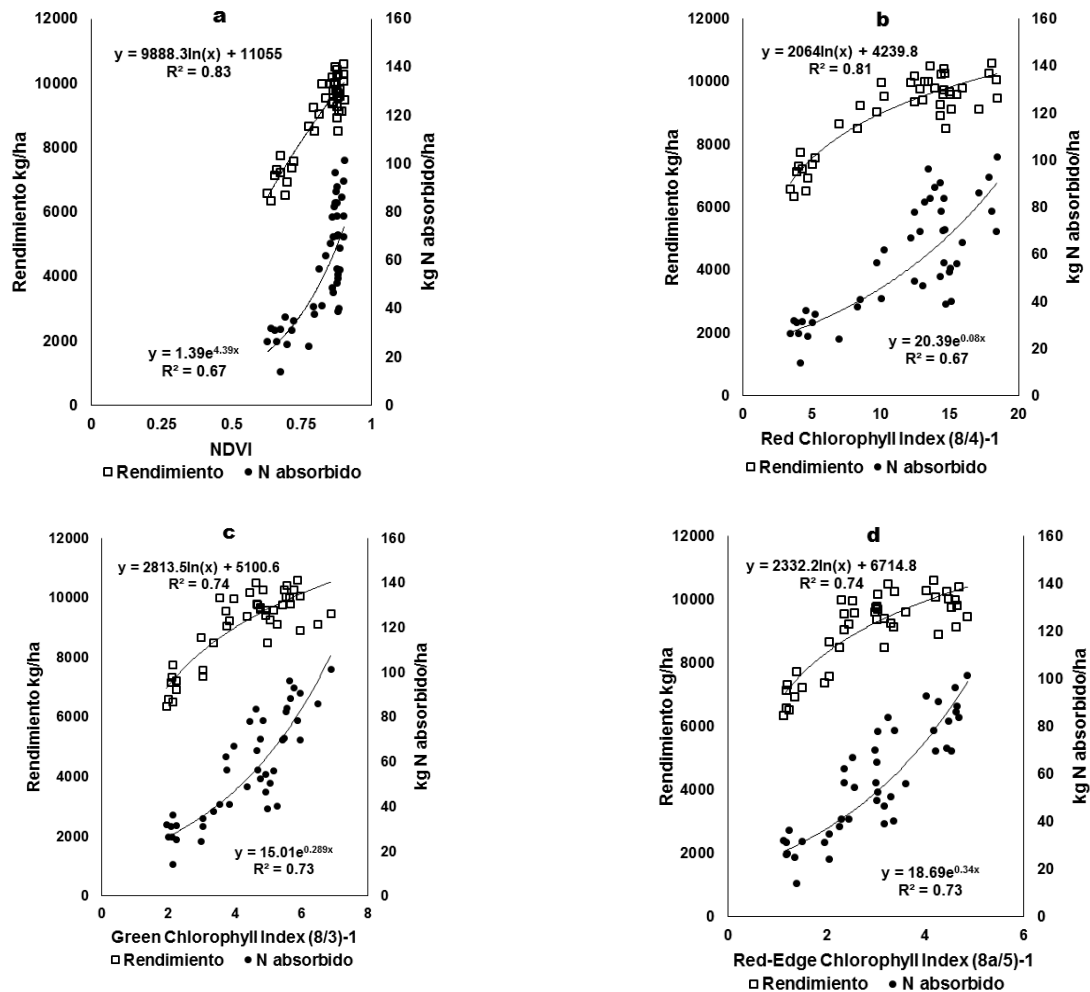


Figura 3: Rendimiento y nitrógeno acumulado en la biomasa en relación a) NDVI; b) RCI; c) GCI; d) RECI, para el cultivo de arroz al momento de diferenciación de ápice.

Las determinaciones de la biomasa y del contenido de N en la biomasa para cada lote y zona permitieron determinar el status nitrogenado del cultivo al estadio de diferenciación de ápice en base a una curva de dilución de N desarrollada para variedades japónicas e indicas (Ata-UI-Karim et al, 2013). Los puntos correspondientes a los tratamientos testigo, se ubicaron por debajo de la curva de referencia, debido a que su concentración de N en relación a la biomasa estuvo muy por debajo de la concentración que permitiría maximizar el crecimiento del cultivo y alcanzar altos rendimientos. A su vez, hubo tratamientos que se mostraron próximos, o por encima de la curva de referencia. El índice de nutrición nitrogenada (NNI) puede calcularse en base a la curva de dilución, e indica una adecuada nutrición del cultivo cuando alcanza un valor de 1. Un exceso relativo de N en la biomasa acumulada daría valores mayores a 1 y condiciones de déficit de N darían valores inferiores a 1. Se evidencia que siempre que el índice alcanzó valores 1 o superiores, el cultivo alcanzó rendimientos mayores a 10 tn/ha (figura 4).

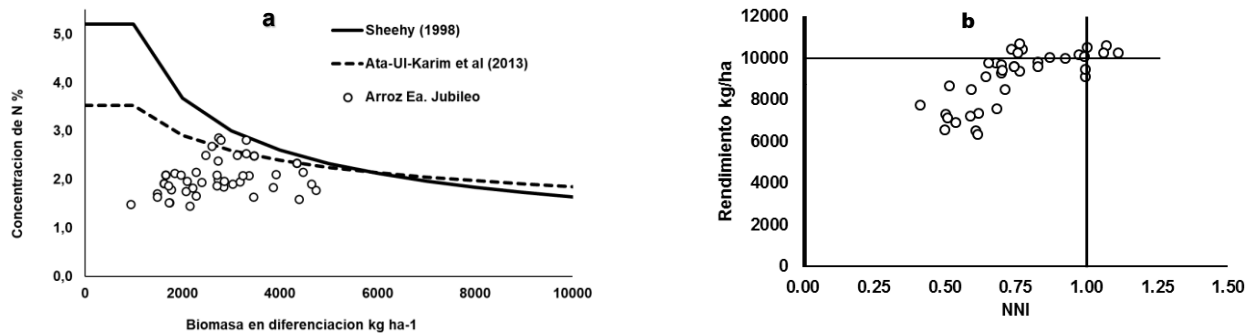


Figura 4. a) Relación entre la biomasa acumulada en arroz y la concentración de N en planta. Líneas de referencia correspondientes al nivel de nitrógeno crítico según curvas de dilución propuestas por Ata-Ul-Karim et al. (2013); Sheehy (1998). Niveles debajo del Nc = situaciones de deficiencia, Niveles encima del Nc = situaciones de suficiencia. b) Relación entre el rendimiento obtenido y el Índice de Suficiencia de Nitrógeno (NNI).

Conclusiones

Los índices de vegetación estimados mediante imágenes satelitales permitieron obtener relaciones entre la acumulación de N en la planta y el rendimiento del cultivo. Las zonas con mayor contenido de nitrógeno acumulado en la biomasa al estadio de diferenciación de ápice determinaron mayores rendimientos. Por ende, el estado nutricional del cultivo mediante el índice de nutrición nitrogenado (INN) fue un buen estimador del rendimiento en diferenciación del ápice para el cultivo de arroz.

Agradecimientos

Agradecemos a Estancia Jubileo por su colaboración para llevar adelante este trabajo. El mismo fue financiado con fondos de Fundación PROARROZ y del Proyecto I177 del INTA

Referencias

- Ata-Ul-Karim, S., Yao, X., Liu, X., Cao, W. & Zhu, Y. (2013) Development of critical nitrogen dilution curve of Japonica rice in Yangtze River Reaches. *Field Crops Research*, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.012>
- Clevers, J. & Gitelson, A. (2013). Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and-3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.10.008>
- Delegido, J.; Verrelst, J.; Alonso, L. & Moreno, J. (2011). Evaluation of sentinel-2 red-edge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content. *Sensors*, <https://doi.org/10.3390/s110707063>.
- Hatfield, J.; Gitelson, A.; Schepers, J. & Walthall, C. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>
- Kemerer, A. (2003). Utilización de imágenes satelitales en agricultura de precisión para delimitar zonas de manejo uniforme. Tesis de grado. Facultad de agronomía, Universidad Nacional de Ente Ríos, Oro Verde.
- Melchiori, R.J.; Hill, S; Hill, E. (2021). Tecnologías de agricultura de precisión y manejo por ambiente de nutrientes en arroz. https://www.researchgate.net/publication/354825825_Tecnologías_de_agricultura_de_precisión_y_manejo_por_ambiente_de_nutrientes_en_arroz.
- Melchiori, R.J.; Hill, S; Hill, E; Orcelet, J.M.; Rodriguez, H. (2020). Desarrollo de tecnologías de agricultura de precisión en arroz. https://www.researchgate.net/publication/343386508_PROARROZ_-_INFORME_INTA_Parana.
- Mulla, D. & Schepers, J. (1997). Key processes and properties for site-specific soil and crop management. The state of site-specific management for agriculture, <https://doi.org/10.2134/1997.stateofsitespecific.c1>
- Rydberg, A. & Söderström, M. (2000). Potential crop growth assessment from remotely sensed images compared to ordinary yield maps. In Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, USA, pp. 1-14. American Society of Agronomy
- Sheehy, J., Dionora, M., Mitchell, P., Peng, S., Cassman, K., Lemaire, G. & Williams R. (1998) Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. *Field Crops Research*, [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00105-1)
- Whelan, B. & Mc Bratney, A. (2000). The "null hypothesis" of precision agriculture management. *Precision Agriculture*, <https://doi.org/10.1023/A:1011838806489>.

Experiencias en agricultura de precisión y ajustes de dosis de insumos en maíz en zonas de alta producción en el sudeste de Córdoba

Martín Andrés Lucero¹; Rafael Naville²; Cecilia Cerliani²

¹Cátedra de Terapéutica Vegetal, Departamento de Biología Agrícola, UNRC, Río Cuarto Córdoba, Argentina.; ²Cátedra de Cereales, Departamento de Producción Vegetal, UNRC, Río Cuarto Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

La brecha de rendimiento nacional de maíz es de aproximadamente 9.5 t ha La disponibilidad de recursos varía espacialmente y entre las diferentes decisiones de manejo que se requieren tomar sobre el cultivo de maíz, son de suma importancia la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada. El objetivo de este trabajo fue el de evaluar la conveniencia económica y productiva de la dosis variable de insumos ajustando la densidad de siembra y dosis de fertilizante nitrogenado por ambientes en el sudeste de Córdoba. Para esto se realizaron en distintos lotes ensayos de interacción nitrógeno x densidad, ensayos de densidad de semilla y siembras variables por ambientes. Para el análisis de datos se utilizaron los software Qgis y Geoda. Para el "Lote1" la interacción NxD se encontró una DOA de 110449 sem.ha⁻¹ y 351 Kg de N.ha⁻¹ mientras que la DOE fue de 101984 sem.ha⁻¹ y 318 Kg N.ha⁻¹ respectivamente. La dosificación variable de semillas en el "Lote 2" arrojó un beneficio de entre U\$S 0.1 y U\$S 7.ha⁻¹ según ambiente si se lo compara con la dosis fija. La implementación de manejo sitio específico de semilla presentó un beneficio económico entre U\$S 40.ha⁻¹ y U\$S 146.ha⁻¹ según ambiente si se lo compara con el manejo uniforme. Se concluye que existe variabilidad ambiental que justifica económicamente el manejo sitio-específico de los lotes del sudeste de Córdoba como así también se remarca la importancia de generar información empírica por parte del productor para ajustar la dosificación de los mismos.

Palabras clave.

Densidad, maíz, dosificación, nitrógeno, variabilidad

Introducción

La brecha de rendimiento nacional de maíz es de aproximadamente 9.5 t ha⁻¹ (Espósito *et al.*, 2012, BCR, 2021). Cabe destacar que la diferencia entre rendimientos potenciales y reales pueden reducirse modificando ciertas acciones (Andrade, 2011). La producción del maíz es particularmente sensible a la variación en la población de plantas (Cirilo, 2002). La respuesta del rendimiento a la densidad es de tipo óptimo, encontrando en su máximo al óptimo agronómico (DOA) y su magnitud depende de la oferta de recursos (Cerliani y Espósito, 2015). La densidad óptima agronómica es aquella densidad que posibilita maximizar el rendimiento en grano. Esta se modifica sensiblemente a través de los ambientes respondiendo a las variaciones en la oferta de recursos para el crecimiento (Cirilo, 2002). Los suelos característicos del sur de Córdoba presentan una gran variabilidad espacial con respecto a su capacidad productiva, por ello es necesario ajustar la densidad de siembra para cada sector homogéneo dentro de cada lote de producción haciendo con ello un manejo sitio específico del cultivo (Cerliani, 2019). En ausencia de limitaciones en la disponibilidad hídrica u otros nutrientes, la disponibilidad de nitrógeno (N) será el factor que limite la expresión del rendimiento máximo que el cultivo puede alcanzar (Maddonni *et al.*, 2003). La relación entre el rendimiento y la fertilización nitrogenada es de tipo óptima análoga a la dependiente de la densidad de siembra, elevando el rendimiento a medida que se agrega N hasta cierto punto que se torna máximo (Cerliani y Espósito, 2015). La disponibilidad de los recursos varía espacialmente (Espósito, 2013). Es por ello que se ha incrementado el uso de la agricultura de precisión en Argentina (Espósito, 2013). Por lo antes expuesto, entre las diferentes decisiones de manejo que se requieren tomar sobre el cultivo de maíz, son de suma importancia la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada, las cuales interaccionan en la producción final a cosechar de la siguiente manera: al aumentar la densidad de siembra es necesario incrementar la oferta de N, para acompañar el incremento poblacional (Cerliani y Espósito, 2015). Es de suma importancia llevar a cabo un análisis de la relación de precios entre el valor de los insumos requeridos y el valor del producto por unidad de superficie, a partir de los cuales se obtienen óptimos económicos, para el caso de la densidad (DOES) y para el nitrógeno (DOEN) cuyos valores son menores a los obtenidos en la optimización agronómica (Espósito, 2013).

Objetivos

Los objetivos para la campaña 2020-2021 en la cual se ejecutaron trabajos exploratorios de agricultura por ambientes y de ajuste de dosis de insumos en maíz fueron los siguientes:

- A. Ajustar la densidad de siembra de los híbridos más utilizados en la región combinada con el ajuste de fertilización nitrogenada.
- B. Adecuar la densidad óptima de siembra según la productividad de cada ambiente.
- C. Realizar un análisis económico de la implementación de manejo sitio específico de densidad de semillas en maíz.

Materiales y métodos

En la campaña 2020-2021 se realizaron distintas experiencias de ajuste de dosis de insumos en maíz como así también de ambientaciones y manejo sitio-específico de insumos en cuatro lotes de producción ubicados al sudeste de la provincia de Córdoba, próximos a la localidad de Alejo Ledesma. Las precipitaciones del área de estudio durante la campaña 2020-21 fueron inferiores al promedio histórico para el período comprendido entre los meses de Agosto a Diciembre mientras que entre Enero y Febrero se registraron precipitaciones muy por arriba del promedio histórico. Para cumplir con el objetivo "A" se realizaron ensayos de densidad de siembra (68000, 88000, 108000 y 128000 sem ha⁻¹) y dosis de nitrógeno (0, 120 y 290 kg ha⁻¹ de urea) sin previa ambientación.

Los análisis estadísticos y la obtención de los modelos polinomiales de segundo orden se llevaron a cabo mediante el software "Geoda". La obtención de las dosis óptimas agronómicas y económicas se obtuvieron derivando la función de producción en función del N (dosis de nitrógeno en kg ha⁻¹) y de la

D (densidad de semilla en sem ha⁻¹). Se consideró un precio del maíz de U\$S 0.152/kg, un costo de semilla de U\$S 0.002125/semilla y un costo del kilo de nitrógeno de U\$S 0.8 utilizando como fuente a la urea.

Para el objetivo “B” se realizó una ambientación del “Lote 2” a partir de distintas capas de información, se realizó un ensayo de evaluación de densidades crecientes (68000, 88000, 108000 y 128000 sem ha⁻¹). Para el análisis estadístico se utilizó el software “Geoda” previo procesamiento en “QGIS”. Los valores económicos considerados fueron los mismos que para el objetivo “A”. Se comparó el resultado económico del manejo variable con respecto al uniforme.

A los fines de lograr el objetivo “C” se seleccionó el “Lote 3”, el cual se ambientó y se realizó dosificación variable de semilla y posteriormente se compararon los resultados económicos con una dosificación de semillas uniforme (poner el valor de la densidad fija), se emplearon los híbridos DK 7270 y DK 7220 y la densidad se determinó mediante la plataforma “Cultivio” de Dekalb.

Resultados

Objetivo “A”:

El modelo polinomial ajustado que explicó el rendimiento a partir de la densidad de semilla y el nitrógeno ofrecido fue el siguiente:

$$Rto = -25558.6 + 177.797 * N + 0.150383 * D - 0.271613 * N^2 - 0.000000917139 * D^2 + 0.00015952 * DxN + 0.516932$$

Donde Rto es rendimiento, N la dosis de N y D la densidad de siembra.

Las densidades óptimas agronómicas y económicas se observan en las tablas 1 y 2

Tablas 1 y 2: Dosis óptima agronómica (DOA) y dosis óptima económica (DOE) obtenidas según la regresión.

	DOA	DOE
Densidad (sem/ha)	110449	101984
Kg N/ha	351	318
Rendimiento (Kg/ha)	14993	14478

Objetivo “B”:

En base a dos mapas de rendimiento y tres de NDVI se obtuvo una ambientación con dos ambientes en el lote AP (alta producción) y BP (Baja Producción)

Los modelos ajustados para cada ambiente fueron los siguientes:

AP: $Rto = 7748.26 + 0.0850461 * D - 0.0000003573427 * D^2$

BP: $Rto = 9651.02 + 0.0575673 * D - 0.0000002432293 * D^2$

SIN ZONAS: $Rto = 8442.2 + 0.0763401 * D - 0.000000329473 * D^2$

A partir de las ecuaciones obtenidas, se calcularon las dosis óptimas agronómicas y económicas como puede observarse en la tabla 3.

Tabla 3: Densidades óptimas agronómicas y económicas según ambientes y con manejo uniforme.

Tipo	Sup (has)	Sup (%)	DOAS	DOES
AP	85.27	69	118998	99437
BP	32.53	31	118340	89601
Uniforme	122.8		115852	94636

Se analizó el beneficio que hubiese obtenido el productor para este lote en particular ante el hipotético caso de haber implementado la ambientación propuesta y de haber contado con las dosis obtenidas empíricamente. Los mismos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Análisis económico comparativo entre manejo sitio específico con dosis de semilla ajustadas mediante ensayos y dosis comúnmente utilizadas por el productor.

Análisis diferencial con respecto a la dosis del productor		
	AP	BP
Dosis Semilla Productor (DSP)	88000	88000
DOES del análisis estadístico	99437	89601
Rendimiento DSP	12465	12833
Rendimiento DOES	12672	12856
Diferencial de rendimiento (Kg/ha)	-207	-23
Diferencial de semillas	11437	1601
Diferencial de Costo (U\$S/ha)	24.3	3.4
Diferencial de ingreso (U\$S/ha)	-31.4	-3.5
Diferencial de beneficio entre DSP y DOES (U\$S/ha)	-7.1	-0.1

Objetivo “C”

En el “Lote 3” se identificaron 3 ambientes productivos. En la Tabla 5 se presenta el análisis económico de los resultados obtenidos.

Tabla 5: Análisis económico y productivo de los resultados obtenidos en la campaña 2020-2021 para el “Lote 3”

	Parámetro	AP Oeste	BP Centro	AP Este
Manejo	Superficie (has)	32	67	5
Densidad Fija	Rendimiento (Kg/ha)	12300.00	11910.00	11480.00
	Ingreso (U\$S/ha)	1870	1810	1745
	Semillas/ha	88000	88000	88000
	Costo semillas (U\$S/ha)	187	187	187
	Costo- ingreso	1683	1623	1558
Densidad Variable	Rendimiento (Kg/ha)	12590.00	12260.00	12470.00
	Ingreso (U\$S)	1914	1864	1895
	Cantidad de semillas/ha	90000	76000	90000
	Costo de semillas (U\$S/ha)	191	162	191
	Costo-Ingreso	1722	1702	1704
Comparativo	Diferencias C-I	40	79	146

Conclusiones

- Existe variabilidad ambiental en la zona productiva en la cual se encuentran los lotes en estudio.
- Se encontró que la variabilidad intra lote se explica en forma importante por las características de textura de suelo, influencia de napa y capacidad de retención hídrica. Estas características son puestas en evidencia a través de mapas de conductividad eléctrica.
- La realización de ensayos por parte del productor permiten tener una información empírica ajustada a la realidad del ambiente en el cual está trabajando.
- La dosificación variable de insumos dentro de cada ambiente trae aparejado un beneficio económico cuya magnitud puede variar dependiendo de diversos factores como por ejemplo la relación de precios insumo:producto de cada año en particular.

Referencias

- ANDRADE, 2011. La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos. 2 ed. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur: Ediciones INTA.
- BCR, 2021. Bolsa de comercio de rosario. Estimaciones de producción. En: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones> [Último acceso: Septiembre 2021]. Buenos Aires.
- CERLIANI., C. Y ESPÓSITO, G., 2015. Importancia de la interacción nitrógeno:densidad en la dosificación de N para incrementar la EUN del maíz. Río cuarto; Córdoba, UNIRIO, p. 548
- CERLIANI, C., 2019. Relación entre el número de granos y la tasa de crecimiento por planta de maíz y sus implicancias sobre la densidad óptima agronómica - Tesis de Magister. Río Cuarto: UNIRIO
- CIRILO, A. G., 2002. Rendimiento del cultivo de maíz. Manejo de la Densidad y Distancia entre Surcos en Maíz. idiaXXI, pp. 128-133
- ESPOSITO, G., BALBOA, G., CERLIANI, C., BALBOA, R., & CASTILLO, C. (2012). Rendimiento potencial de maíz en Río Cuarto (Córdoba - Argentina). Reunión Internacional de Riego. 3. 2012 10 30-31, 30 y 31 de octubre de 2012. Manfredi, Córdoba. AR.
- ESPÓSITO, G. P., 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto espacial (MEME). Córdoba: s.n
- MADDONNI, G.A.; RUIZ, R. A., VILLARIÑO, P.; GARCÍA DE SALAMONE, I. (2003). Fertilización en los cultivos para grano.

“Estación móvil de balance de energía para evaluar productos de satélite y reanálisis como alternativa de cálculo de la evapotranspiración en vid”

Dalmaso, Julieta¹; Montoya, Marcos^{1,2}; Ferrari, F¹; Rivas, Raúl^{3,4,5}; Facundo, Carmona³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina.

² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

³ Instituto de Hidrología de Llanuras, “Dr. Eduardo J. Usunoff” (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul) – Pinto 399 (B7000), Tandil, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Buenos Aires, Argentina.

⁵ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Actualmente hay una carencia de sistemas de monitoreo rápidos, efectivos y prácticos que puedan entregarnos información del estado hídrico real del viñedo. En este trabajo se utilizan datos meteorológicos y de balance de energía registrados sobre un cultivo de Vid para evaluar la evapotranspiración obtenida desde productos de satélite/reanálisis de libre acceso. En una parcela de cultivo de vid Vitis vinífera cv Malbec, ubicada dentro del predio del INTA EEA Mendoza, se instaló la estación móvil de BE+. Se registraron datos de radiación de onda corta y larga durante dos años, entre los meses de noviembre de 2019 hasta noviembre de 2021 e imágenes de satélite. Los datos de MERRA 2 proveen información meteorológica histórica que combinada con imágenes de la serie Landsat y Sentinel (para la estimación de Kc); son una herramienta de utilidad para estimar el proceso de evapotranspiración en parcelas de regadío. Los resultados de la evapotranspiración, utilizando el modelo de Penman Monteith con el Kc obtenido por Sentinel-Landsat, comparado con los datos de terreno muestran un error (para el período diciembre - abril) del orden de 0.8 mm d⁻¹.

Palabras clave. Balance radiativo, MERRA2, NDVI, evapotranspiración, sentinel, landsat.

Dosis variable y eficiencia de uso de fosforo en trigo en el centro oeste bonaerense

Perez, G.^{1*}; Estelrrich, C.⁴; Melion, D.²; Zanettini, J.L.³

¹Agencia de Extensión Rural INTA Bolívar; ² Agencia de Extensión Rural INTA Bragado; ³ Agencia de Extensión Rural INTA 25 de Mayo. ⁴Chacra Experimental Bellocq MDA

* Olascoaga 70, (6550) Bolívar, Prov. de Buenos Aires,

perez.gonzalo@inta.gob.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen

Para el centro oeste bonaerense, la variabilidad espacial de los contenidos de P Bray 1 está fuertemente asociada a la variabilidad topográfica y a la productividad de los cultivos, presentando las zonas de mayor productividad menores contenidos de fosforo (P). El objetivo de este trabajo fue determinar la interacción entre zonas de manejo, niveles de fertilización con P, y eficiencia de uso de P (EUP). Se realizaron experimentos en 7 lotes de producción del centro oeste de la provincia de Buenos Aires. Dentro de cada lote se delimitaron zonas de manejo (ZM) de alta y baja productividad (AP y BP). En cada sitio y ZM se realizó un muestreo de suelos en la capa de 0-20 cm y se determinó pH agua, carbono orgánico, fosforo extractable. Dentro de cada ZM se instalaron 3 dosis de P: 0, 15 y 30 kg P ha⁻¹. En 5 de los lotes evaluados, el efecto de la interacción entre dosis de P y ZM no fue significativo, con un incremento medio de rendimiento al agregado de P de 626 kg ha⁻¹. Esta respuesta estuvo asociada a sitios con un valor medio de P Bray 1 de 13,7 mg kg⁻¹. En 6 de las localidades evaluadas existieron diferencias significativas en la EUP entre zonas de manejo, siendo las ZM AP las de mayor EUP con un valor medio de 38 kg_{grano} kg_P⁻¹, en comparación con las ZM de BP, con un valor medio de 16 kg_{grano} kg_P⁻¹ justificando el uso de dosis diferente de P.

Palabras clave. Zonas de manejo, Agricultura de precisión, Suelos Hapludoles.

Introducción

El fósforo (P) es uno de los nutrientes más importantes para la producción del cultivo de trigo. Presenta umbrales críticos superiores a los de soja y maíz, obteniendo respuestas con valores de P-Bray 1 en la capa de 0-20 cm por debajo de los 19 mg kg⁻¹ (Sucunza, *et. al.*, 2018). Los niveles de P-Bray 1 en suelos del centro oeste de la provincia de Buenos Aires se encuentran en rangos que van desde 10 a 20 mg kg⁻¹, por lo tanto es esperable encontrar respuestas al agregado de P en el cultivo de trigo (Sainz Rozas *et. al.*, 2020).

Los suelos de la región pampeana presentan alta variabilidad espacial en el contenido de P-Bray 1, muestreado en la capa de 0-20 cm (Simon *et. al.*, 2013, Alesso *et. al.*, 2012). Para la región del centro oeste bonaerense, con suelos agrícolas en su mayoría Hapludoles típicos y énticos, la variabilidad espacial de los contenidos de P Bray 1 está fuertemente asociada a la variabilidad topográfica y a la productividad de los cultivos, presentando las zonas de mayor productividad menores contenidos de P Bray 1 (Perez y Diaz Zorita, 2018).

El objetivo de este trabajo fue determinar la interacción entre zonas de manejo, niveles de fertilización con P, y eficiencia de uso de fósforo (EUP), en lotes del centro oeste bonaerense.

Materiales y métodos

Se realizaron experimentos en 7 lotes de producción del centro oeste de la provincia de Buenos Aires: 25 de Mayo en la campaña 2018-19 y 2019-20 (25dM1 y 25dM2), Bellocq en la campaña 2018-19 y 2019-20 (Bell1 y Bell2), Bolívar en la campaña 2018-19 y 2019-20 (Bol1 y Bol2) y Bragado en la campaña 2018-2019 (Bra1). Dentro de cada lote se delimitaron zonas de manejo (ZM) de alta y baja productividad (AP y BP), utilizando mapas de topografía e índice verde (NDVI, Eq. 1) de cultivos anteriores. :

$$NDVI = (IR - R)/(IR + R) \quad (1)$$

Dónde: IR= reflectancia en la banda infrarroja y R= reflectancia en la banda roja.

En cada lote y ZM se realizó un muestreo de suelos en la capa de 0-20 cm para determinar pH agua (1:2,5), carbono orgánico (CO, g kg⁻¹) y fosforo extractable (P-Bray 1, mg kg⁻¹). El mismo se realizó recolectando 25 submuestras aleatorizadas dentro de cada ZM. Dentro de cada ZM se instalaron 3 dosis de fosforo: 0, 15 y 30 kg P ha⁻¹, utilizando como fuente fosfato monoamónico (N:12, P2O5:52), aplicado a la siembra e incorporado en la línea del surco, en un diseño de bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. Las parcelas fueron sembradas en siembra directa, con una superficie promedio de 15 m². En madurez fisiológica se realizó la cosecha de las mismas en forma manual, con posterior trilla y corrección de los resultados a humedad de recibo para el cálculo de rendimiento (kg ha⁻¹). La EUP se calculó a partir de la siguiente ecuación (Eq. 2):

$$Eq\ 2- EUP (kg_{grano} kg_P^{-1}) = (Rendimiento_{maxP}(kg\ ha^{-1}) - Rendimiento_{testigo}(kg\ ha^{-1})) / Dosis\ P(kg\ ha^{-1})$$

Donde Rendimiento_{maxP} es el rendimiento de la parcela de máximo rendimiento fertilizado con P dentro de cada bloque, Rendimiento_{testigo} es la parcela dentro del bloque sin fertilizante P, y Dosis P es la dosis del tratamiento fertilizado con P. El análisis de los rendimientos y EUP se realizó utilizando la metodología propuesta por Peralta *et. al.* (2021), a partir de modelos lineales mixtos, utilizando para cada lote la dosis de P y ZM como efectos fijos, y el bloque como efecto aleatorio, dentro de cada ZM. Se utilizó el paquete estadístico de MLGM de Infostat (Di Rienzo *et. al.*, 2019).

Resultados y discusión

Los valores de pH variaron entre 7,3 y 5,5, con un valor medio de 6. Los valores de CO variaron entre 27,4 g kg⁻¹ y 8,7 g kg⁻¹, con un valor medio de 15,8 g kg⁻¹, ubicándose en general los mayores valores en las ZM de AP. Los valores de P-Bray 1, variaron entre 26,8 mg kg⁻¹ y 6 mg kg⁻¹ con un valor medio de 15,2 mg kg⁻¹ (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades de suelo de los sitios evaluados, medidos en la capa de 0-20 cm: pH agua (1:2,5), carbono orgánico (CO, g kg⁻¹), fósforo extractable (P-Bray 1, mg kg⁻¹).

Localidad	pH agua (1:2,5)	CO (g kg ⁻¹)	P-Bray 1 (mg kg ⁻¹)
25dM1 AP	5,5	14,4	6,0
25dM1 BP	5,5	10,9	16,2
25dM2 AP	5,9	17,4	12,2
25dM2 BP	5,8	12,2	19,3
Bra1 AP	5,9	10,9	12,1
Bra1 BP	6,0	10,9	19,5
Bol1 AP	5,8	27,4	7,3
Bol1 BP	5,9	13,1	11,6
Bell2 AP	6,4	18,6	13,9
Bell2 BP	6,0	21,5	21,2
Bol2 AP	6,4	16,9	23,0
Bol2 BP	5,6	8,7	26,8
Bell1 AP	7,3	17,7	11,4
Bell1BP	6,3	20,1	12,2
Media	6,0	15,8	15,2
Max	7,3	27,4	26,8
Min	5,5	8,7	6,0

En 5 de los lotes evaluados, el efecto de la interacción entre dosis de P y ZM no fue significativo. Esto significa que el efecto de la dosis de P sobre el rendimiento fue similar en ambas ZM. En Bell1 y Bol2, hubo interacción entre dosis de P y ZM, en ambos casos existió respuesta a la dosis de P en ZM de AP y no se encontró respuesta significativa al agregado de P en ZM de BP. Los sitios Bol2 AP y Bell1 AP mostraron solamente respuestas significativas entre Testigo y la dosis de P30 con un incremento medio de 876 kg ha⁻¹. En los sitios Bol1 y 25dM1 las dosis de P30 y P15 no se diferenciaron entre sí, pero sí la dosis de P15 se diferenció del testigo con incremento medio de rendimiento de 484 kg ha⁻¹. En el sitio Bell2 los tratamientos P30 y P15 se diferenciaron del testigo, con un incremento medio de 1555 kg ha⁻¹. En el sitio 25dM2 los tratamientos P30 y P15 no se diferenciaron entre sí, pero solamente P30 se diferenció del testigo, con un incremento de 426 kg ha⁻¹. El sitio Bra1 mostró diferencias entre todos los tratamientos, siendo P15 el de mayor rendimiento, con una diferencia entre P30 y testigo de 676 kg ha⁻¹. Bol2 BP y Bell1 BP, no presentaron respuesta significativa al agregado de P, esto pudo deberse a zonas elevadas del relieve con baja capacidad de retención hídrica y que fueron afectadas por bajas precipitaciones durante el desarrollo del cultivo (Tabla 2).

En sitios con respuesta al agregado de P, se obtuvo un incremento medio de rendimiento de 626 kg ha⁻¹. Esta respuesta estuvo asociada a sitios con un valor medio de P Bray 1 de 13,7 mg kg⁻¹. Esto es esperable debido a que están por debajo de valores críticos reportados para el cultivo de trigo de 19 mg kg⁻¹ (Sucunza, et. al., 2018).

Tabla 2. Valores de probabilidad (p-valor) para la interacción entre dosis de fósforo (P) y zonas de manejo (ZM) de alta productividad (AP) y baja productividad (BP), y rendimiento de trigo (kg ha⁻¹), para los tratamientos de fertilización con fósforo (P), evaluados en 7 lotes de producción del centro oeste bonaerense. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas al 5%.

Localidad	Dosis de P * ZM	ZM	Dosis de P		
			0	15	30
p-valor		Rendimiento (kg ha ⁻¹)			
25dM1	Ns	0,0002	4031 b	4370 a	4078 ab
25dM2	Ns	0,0001	4209 b	4525 ab	4635 a
Bra1	Ns	0,0001	5404 c	6733 a	6080 b
Bol1	Ns	0,0005	3964 b	4593 a	4433 ab
Bell2	Ns	ns	6573 b	7646 a	7809 a
Bell1 AP	0,012		3817 b	3982 b	4600 a
Bell1 BP			2802	3290	2689
Bol2 AP	0,0001		2007 b	2319 b	2976 a
Bol2 BP			1366	1348	1330

Una forma de definir la dosis de P a aplicar en cada sitio es a partir de la EUP, en combinación con el precio del grano de trigo, el valor del fertilizante fosforado y los costos de aplicación y comercialización. En 6 de las localidades evaluadas existieron diferencias significativas en la EUP entre zonas de manejo, siendo las ZM AP las de mayor EUP con un valor medio de 38 kg_{grano} kg_P⁻¹, en comparación con las ZM de BP, con un valor medio de 16 kg_{grano} kg_P⁻¹ (Tabla 3). Estos resultados justificarían el uso de dosis diferentes de P en estos sitios. Resultados similares fueron reportados por Peralta *et. al.* (2021), en lotes del sudoeste de Buenos Aires, en el cultivo de soja.

Tabla 3. Valores de probabilidad (p-valor) y eficiencia de uso de fósforo (EUP, kg_{grano} kg_P⁻¹), evaluadas en 7 lotes de producción del centro oeste bonaerense. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Localidad	p-valor	EUP (kg _{grano} kg _P ⁻¹)	
		AP	BP
25dM1	0,01	25a	3b
25dM2	0,07	49a	18b
Bra1	0,06	56a	37b
Bol1	0,03	36a	15a
Bell2	ns	54	53
Bell1	0,1	30a	19b
Bol2	0,04	32a	8b

Conclusiones

En lotes del centro oeste bonaerense la respuesta a dosis crecientes de P en el cultivo de trigo es independiente de la ZM y se relaciona más con características propias de cada sitio, entre ellas los niveles de P-Bray 1 en la capa 0-20 cm. Sin embargo, en la mayoría de los sitios, se observó diferentes EUP entre ZM, lo que justificaría dosis distintas de este nutriente.

Agradecimientos

Al Proyecto Estructural PE I177 de “Agricultura de Precisión y Mecanización Agrícola” y PE – I011 “Intensificación Sustentable de la Agricultura en la Región Pampeana” de INTA por el aporte de recursos para la implementación de estos ensayos.

Referencias

- Alesso, CA; MA Pilatti; SC Imhoff & M Grilli. (2012). Variabilidad espacial de atributos químicos y físicos en un suelo de la pampa llana santafesina. *Ciencia del suelo* 30:85-93.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat (2019). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Peralta, R. N., Trueba, M., Wyngaard, N., Córdoba, M., & Salleses, L. (2021). Agricultura de precisión: dosis variable de fósforo en soja (*Glycine max* (L.) Merr.). *Ciencia del Suelo*, 39(1).
- Pérez, G., & Díaz-Zorita, M. (2018). Variabilidad sitio-específico de respuestas de maíz y de soja a la fertilización con fósforo según fechas de siembra. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. IH 31.
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, N., Angelini, H., Reussi Calvo, N., & Wyngaard, N. (2020). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Área de investigación y desarrollo tecnológico*, 8(9), 12.
- Simon, M; NR Peralta & JL Costa. (2013). Relationship between apparent electrical conductivity with soil properties and nutrients. *Ciencia del suelo* 31:45-55.
- Sucunza, F. A., Boem, F. H. G., Garcia, F. O., Boxler, M., & Rubio, G. (2018). Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *European journal of agronomy*, 96, 87-95.

Evaluación de dos sistemas de ruedas tapadoras en el desarrollo vegetativo y rendimiento en maíz y girasol.

Larrieu, L¹. VH, Merani. DA, Ferro¹. F, Guilino¹. JM, Vazquez¹. AL, Giambelluca¹. E.I, Pereira S¹, Tourn². P, Platz². M, Mur¹.

larrieuluciano@gmail.com, victor.merani@agro.ulp.edu.ar, daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar, fguilino_33@hotmail.com, juanmvaz@hotmail.com, giambellucalau@gmail.com, pereiraestebanivan@gmail.com, tourn.santiago@gmail.com, pedroplatz@gmail.com, matilde_mur@hotmail.com.

¹ CISSAF FCAyF UNLP, La Plata, Buenos aires, Argentina. ²: Mecanización Agrícola, FCA Balcarce-UNMdP, Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *La siembra de los cultivos mono grano es compleja y su objetivo es garantizar una excelente uniformidad en la distribución de semillas tanto espacialmente como en profundidad. Ello permitirá que el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población. Los distintos tiempos de emergencia originan diferencias de crecimiento entre plantas, generando individuos dominantes y dominados. Los individuos dominados sufren una reducción del rendimiento que no es compensada por la mayor producción de las plantas dominantes. En este trabajo se evaluaron el efecto dos sistemas de tapado de surco en el desarrollo vegetativo y rendimiento en maíz y girasol. El sistema de tapado FF tuvo mayor rendimiento respecto del TC. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos posiblemente por las excelentes condiciones ambientales durante el crecimiento y las características de lo híbridos utilizados.*

Palabras clave. *Individuos dominantes, individuos dominados, uniformidad.*

Introducción y antecedentes

La siembra de los cultivos mono grano es compleja e implica numerosos factores entre los cuales se destaca un correcto funcionamiento del tren de siembra. El efecto de la calidad de siembra sobre los rendimientos del cultivo ha sido cuantificado por numerosos autores. Sin embargo, la bibliografía no presenta un criterio uniforme sobre su impacto (*Pozzolo et al., 2020*). Se define una buena siembra como aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población. En este sentido, los distintos tiempos de emergencia originan diferencias de crecimiento entre plantas, generando individuos dominantes y dominados. Los individuos dominados sufren una reducción del rendimiento que no es compensada por la mayor producción de las plantas dominantes (*Maroni et al., 2004*)

Numerosos investigadores trabajaron en el funcionamiento de la sembradora y su efecto sobre la calidad de la siembra. *Pozzolo et al. (2020)* reportaron que cuatro de las seis sembradoras evaluadas en su trabajo tuvieron resultados no significativos en la uniformidad de siembra a diferentes velocidades. La mayoría de los autores trabajaron en componentes específicos del tren de siembra y no en sembradoras completas.

Los sistemas abre-surcos de doble disco pueden generar paredes laterales compactas en el surco de siembra, lo cual dificulta el crecimiento de las raíces germinales (*Agnes., 2015*). Este autor trabajó sobre el efecto de la presencia de ruedas compactadoras en siembra directa y labranza convencional a diferentes velocidades determinando que la presencia de este órgano en el tren de siembra mejoró la eficiencia de plantación. Por su parte, *Maroni et al. (2004)*, trabajaron sobre el efecto de ruedas compactadoras sobre la temporalidad y uniformidad de la emergencia de plantas de maíz, determinando que el uso de las ruedas compactadoras produjo poblaciones de mayor tamaño pero que no difieren estadísticamente de la siembra efectuada sin las mismas.

La presión que ejercen las ruedas cubridoras–compactadoras del tren de siembra también puede tener injerencia en el establecimiento del cultivo de maíz. *Prado et al. (2001)* evaluando la velocidad de emergencia del cultivo de maíz, en un suelo labrado, encuentran que ésta variable se correlaciona directamente con cargas crecientes entre 0 y 15 kgf de las ruedas cubridoras–compactadoras.

Otros investigadores estudiaron la relación entre la uniformidad de siembra y el rendimiento del cultivo. *D' Amico et al. (2011)*, *Liu et al. (2004)* y *Valentinuz et al. (2007)* no encontraron respuesta en el rendimiento asociada a la distribución espacial en la línea de siembra. Esto posiblemente pueda deberse a que el maíz presenta cierta plasticidad que le permite ajustar el crecimiento vegetativo y reproductivo cuando la distancia entre plantas en la hilera no es uniforme (*Valentinuz, 2007*).

Hoy en día en el mercado se pueden encontrar sistemas novedosos de tapado y sellado del surco. El sistema FurrowForce® de Precision Planting® consiste en dos ruedas estrelladas anguladas que producen una remoción del suelo de varios centímetros de espesor seguidas por ruedas compactadoras que producen el sellado el surco. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del FurrowForce® en dos profundidades de trabajo en comparación con un sistema de tapado convencional sobre la velocidad de crecimiento y el rendimiento en maíz y girasol.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó entre los meses diciembre 2020 y abril 2021 en la localidad de Balcarce (Buenos Aires) en el establecimiento “El Volcán” en un suelo Argiudol Típico, serie Mar del Plata. Se utilizó una sembradora prototipo para siembra directa dotada con sistema neumático de dosificación vSet® con vDrive®, control de carga surco a surco con DeltaForce® sistema SmartFirmer® de contactación de la semilla y sistema de tapado FurrowForce®, todo diseñado y fabricado por Precision Planting®. El distanciamiento entre líneas de maíz y girasol fue de 0,52 m. Se utilizaron los híbridos KM

3916/GLStack de KWS y densidad de 70.000 semillas/ha para maíz, y SYN 3970 CL de Syngenta y densidad de 60.000 semillas/ha para girasol. La siembra de maíz se hizo sobre rastrojo de girasol y la siembra de girasol se realizó sobre rastrojo de maíz. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones y los tratamientos fueron de tapado convencional (TC); FurrowForce a la misma profundidad de la semilla (FF) y FurrowForce más profundo que la semilla (FF2). El ensayo se realizó a una velocidad de 7 km h⁻¹. Para el seguimiento de los cultivos se realizaron muestreos en cuatro fechas posteriores a la siembra: 20 dds (días después de siembra), 27 dds, 38 dds y 50 dds. Se contabilizó el número de hojas/planta emergida en una distancia lineal de 6 m de surco representativo, para determinar, el estado fenológico. Adicionalmente, se cuantificó el rendimiento en grano para cada tratamiento a fin de ciclo.

Resultados

1) Primera fecha de muestreo

En la primera fecha de muestreo se puede observar en el maíz que, si bien los porcentajes de desarrollo de hojas son similares, TC posee un mayor porcentaje de desarrollo (V2) frente a FF y FF2, los cuales tienen mayor porcentaje de plantas en emergencia (VE). Contrariamente, en el girasol se observa que los tratamientos FF y FF2 tienen mayores porcentajes de plantas en V1 respecto de TC.

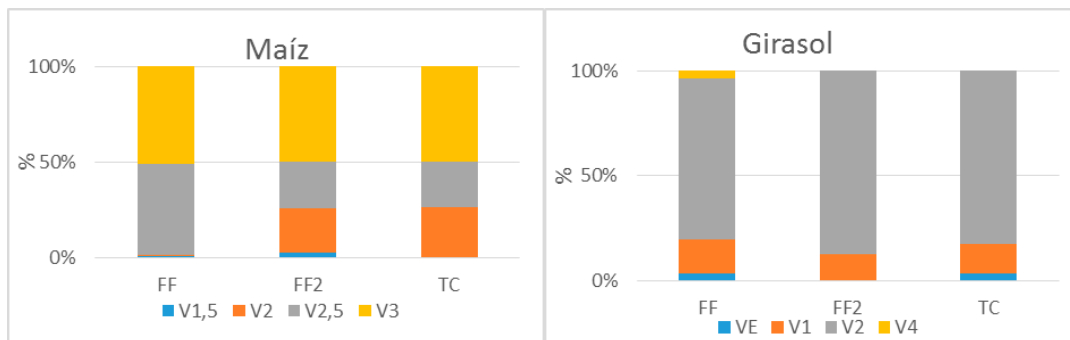


Figura N°1: Porcentaje de número de hojas en maíz y girasol a 20 dds. Donde: FF Furrowforce a igual profundidad; FF2 Furrowforce más profundo y TC: Tapado convencional. V1,5: una hoja y media desarrollada. V2: dos hojas. V3: tres hojas y V4: cuatro hojas desarrolladas.

2) Segunda fecha de muestreo

En la segunda fecha de muestreo se puede en maíz un porcentaje igual de hojas en V3 para los tres tratamientos. Sin embargo, en FF posee mayor homogeneidad en el desarrollo de sus hojas, teniendo casi su totalidad en estadios más avanzados (V2,5 y V3). En contraposición TC y FF2 todavía presentan altos porcentajes en V2. En el caso del girasol, el tratamiento TC posee las plantas en estadios más atrasados respecto de FF y FF2. Se puede observar que si bien en FF todavía existe un porcentaje de plantas en VE también tiene un pequeño porcentaje en V4 respecto de FF2 y TC.

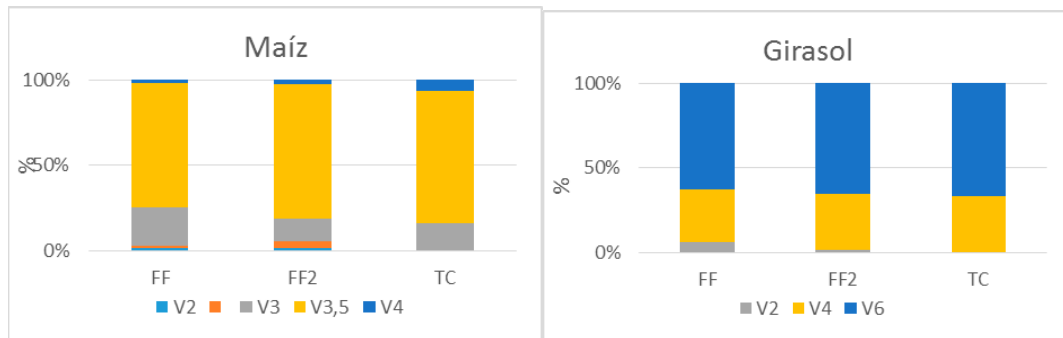


Figura N°2: Porcentaje de número de hojas en maíz y girasol a 27 dds. Donde FF: Furrowforce a igual profundidad; FF2 Furrowforce más profundo y TC: Tapado convencional. V1,5 una hoja y media desarrollada; V2 dos hojas; V3: tres hojas y V4 cuatro hojas desarrolladas.

3) Tercera fecha de muestreo

En la fecha tres de muestreo para maíz se observa que tanto FF y FF2 se encuentran retrasados respecto de TC teniendo en este ultimo caso mayor porcentaje en V4. Para el caso de girasol se pueden observar porcentajes de hojas similares en los tres tratamientos existiendo un pequeño porcentaje en estadios más atrasados en FF y FF2.

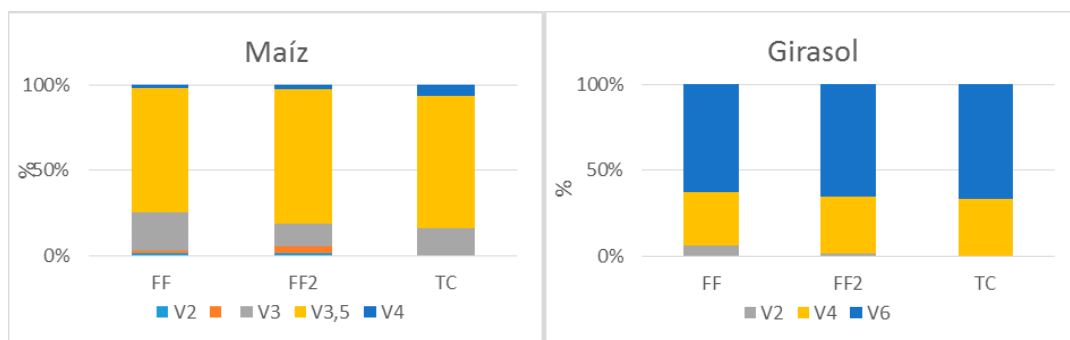


Figura N°3: Porcentaje de número de hojas en maíz y girasol a 38 dds. Donde FF: Furrowforce a igual profundidad; FF2 Furrowforce más profundo y TC: Tapado convencional. V1,5 una hoja y media desarrollada; V2 dos hojas; V3: tres hojas y V4 cuatro hojas; V6 seis hojas desarrolladas.

4) Cuarta fecha de muestreo

En la ultima fecha de muestreo se observa estadios más avanzados en TC, teniendo un porcentaje considerablemente mayor de hojas en V6,5 y V7 respecto de los otros tratamientos. En contraposición en girasol se observa mayor desarrollo en los tratamientos FF y FF2 respecto de TC.

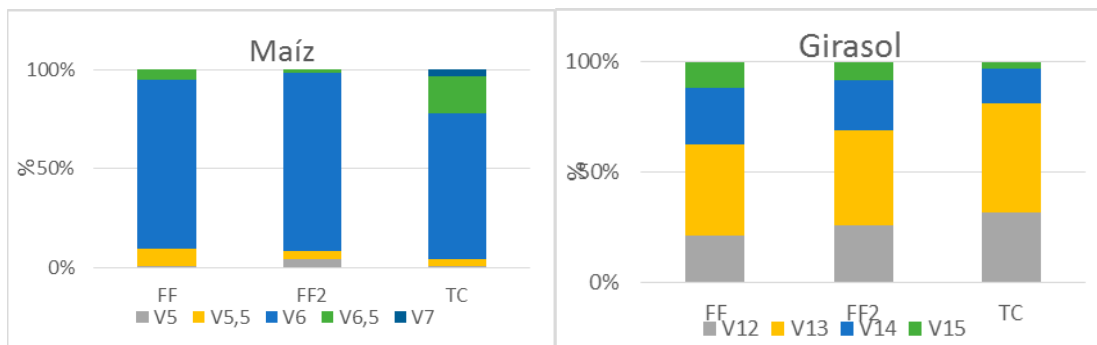
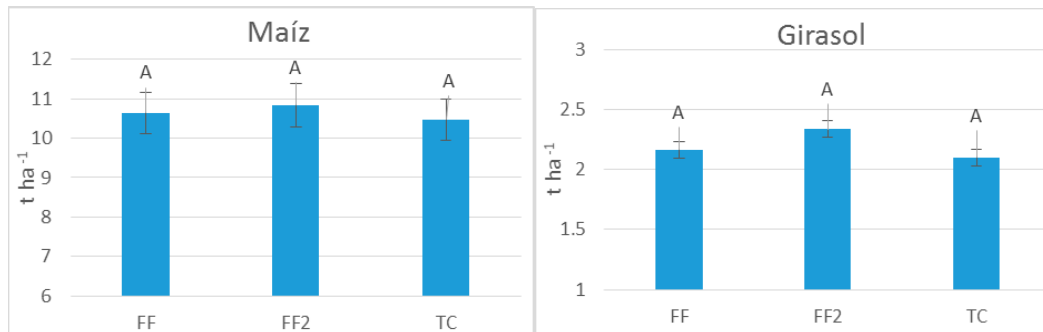


Figura N°4: Porcentaje de número de hojas en maíz y girasol a 50 dds. Donde FF: Furrowforce a igual profundidad; FF2 Furrowforce más profundo y TC: Tapado convencional. V5 cinco hojas desarrolladas; V6 seis hojas; V3: tres hojas y V4 cuatro hojas; V6 seis hojas; V12 doce hojas; V13 trece hojas y V15 quince hojas desarrolladas.

5) Rendimientos

Tanto en maíz y girasol se observa que el tratamiento FF2 obtuvo el mayor rendimiento seguido por FF. Sin embargo, en ningún caso se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos.



Análisis y discusión

Los resultados de este trabajo son similares a los reportados por D' Amico et al. (2011), Liu et al. (2004) y Valentinuz et al. (2007) quienes no encontraron respuesta en el rendimiento asociada a la distribución espacial en la línea de siembra. Valentinuz. (2007) atribuye la falta de respuesta al diferente comportamiento de los híbridos en situaciones de competencia o uso de recursos en diferentes situaciones ambientales.

En las condiciones del ensayo, si bien no se observan diferencias estadísticas significativas en los parámetros evaluados si podemos apreciar que los tratamientos con FF poseen una ventaja en rendimiento por sobre la tapadora convencional. La falta de diferencias significativas puede deberse que las condiciones climáticas durante este ensayo fueron muy buenas y la fertilidad de los lotes era excelente y que sumado a híbridos de buena calidad permite que no se observen diferencias en los rendimientos.

Conclusión

El efecto de la calidad de la siembra puede generar individuos dominantes y dominados repercutiendo finalmente en el rendimiento. El sistema de ruedas tapadoras FurrowForce® produce una remoción de suelo alrededor de la semilla. En el cultivo de maíz se encontraron individuos con mayor número de hojas con las ruedas de tapado convencional. En cambio, en el cultivo de girasol el sistema FurrowForce® en sus dos profundidades arrojaron individuos con mayor desarrollo. Sin embargo, en ninguno de los dos cultivos se encontraron diferencias significativas en el rendimiento.

Agradecimientos

El trabajo se realizó con aporte del PEi177 de INTA, Precision Planting, KWS, Syngenta y Est El Volcan.

Referencias

- D'Amico J., O. Tesouro, A. Romito, D. Paredes & M. Roba. (2011) Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Rev. Fac. Agron. 110 (1): 50-62.
- Liu W., M. Tollenaar, G. Stewart & W. Deen. 2004a. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. Agron. J. 96: 275-280.
- Maroni, J. R., Fernández Asenjo, C., Repetto, L., Gargicevich, A., & González, C. (2004). Efectos de la utilización de ruedas contactadoras sobre la uniformidad y velocidad de emergencia del maíz.
- Prado, R.M.; J.M. Torres; G.M. Roque; O. Coan. (2001). Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de sementeira: Influência no índice de velocidade de emergência. Scientia Agrária 2(1):45-49.
- Valentinuz, O. (2007). Maíz: uniformidad de plantas y tolerancia al estrés. En



http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/evaluacion_manejo/unif_estres.htm.

Sistema neumático de control de carga. Incidencia sobre la uniformidad temporal y el rendimiento de cultivos de Maíz y Girasol.

Mur M.¹, Tourn S.², Platz P.², Larrieu L.¹, Ferro D.A.¹, Guilino F.D.¹, Vázquez J.M.¹, Giambelluca A.L.¹, Pereira E.I.¹, Merani V.H.¹

matilde.mur@agro.unlp.edu.ar, tourn.santiago@gmail.com, pedroplatz@gmail.com, larrieuluciano@gmail.com, daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar, fquilino_33@hotmail.com, juanmvaz@hotmail.com, giambellucalau@gmail.com, pereiraestebanivan@gmail.com, victor.merani@agro.unlp.edu.ar

¹ CISSAF FCAYF UNLP, La Plata, Buenos aires, Argentina. ²: Mecanización Agrícola, FCA Balcarce-UNMdP, Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *La operación de siembra es uno de los puntos más importantes en la definición del potencial de rendimiento de los cultivos agrícolas. La carga aplicada al cuerpo de siembra afecta directamente la uniformidad de la emergencia, siendo un problema agronómico que comúnmente no se analiza. El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto de un sistema neumático de control de carga (DeltaForce®) sobre la uniformidad de emergencia y el rendimiento de cultivos de maíz y girasol. El ensayo se realizó en Balcarce sobre un suelo Argiudol Típico de la Serie Mar del Plata. Se utilizó una máquina sembradora prototipo para siembra directa dotada con sistema neumático de control de carga surco a surco DeltaForce®. La siembra del cultivo de maíz (70.000 semillas/ha) se realizó sobre rastrojo de girasol y la de girasol (60.000 semillas/ha) sobre rastrojo de maíz. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones y los tratamientos diferentes configuraciones fijas de contacto rueda/suelo del sistema de carga DeltaForce®: contacto suelo 50% (50), contacto suelo 70% (70), contacto suelo 100% (100) y contacto suelo 100% + sobre carga (100s). Se evaluó la uniformidad de emergencia en cuatro fechas posteriores a la siembra: 20 dds (días después de siembra), 27 dds, 38 dds y 50 dds y el rendimiento en grano. La mayor sobrecarga sobre el tren de siembra provocó una mayor heterogeneidad en la profundidad efectiva de siembra que se vió reflejada en la uniformidad temporal de emergencia, pero no así en los rendimientos.*

Palabras clave. *Copiado del terreno, contacto rueda/suelo, profundidad efectiva, emergencia*

Introducción y antecedentes

La operación de siembra es uno de los puntos críticos más importantes en la definición del potencial de rendimiento de todos los cultivos agrícolas. Una adecuada labor de siembra se define como aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población (*Maroni et al.*, 2004). En los planteos productivos actuales el logro de las condiciones adecuadas para permitir una emergencia rápida y pareja resulta un aspecto crítico. Un problema básico asociado con la siembra directa es la ubicación de la semilla bajo el residuo del cultivo anterior y alcanzar un firme contacto semilla-suelo (*D'Amico et al.*, 2014). En este sentido, existen dos aspectos importantes a considerar en los trenes de siembra. Ellos son su posibilidad de desplazarse en sentido vertical a fin de poder copiar correctamente las irregularidades que presente la superficie del suelo y paralelamente, mantener una carga suficiente sobre el cuerpo de siembra para poder alcanzar la profundidad de trabajo deseada (*Vélez et al.*, 2014). *Bragachini et al.*, (2012) encontraron que la profundidad de siembra afectó en mayor medida el rendimiento del cultivo y recomiendan optimizar el sistema de copiado de la sembradora para mejorar la uniformidad y de esta manera la implantación. Actualmente el mercado ofrece equipos con sistemas estabilizadores del cuerpo de siembra cuyo propósito es el controlar las oscilaciones del cuerpo sembrador, y al mismo tiempo, ejercer una presión constante sobre los distintos terrenos a sembrar. Esto garantizaría que el depósito de las semillas en el fondo del surco se realice homogéneamente en distancia y profundidad.

La carga/fuerza aplicada al cuerpo de siembra de la sembradora impacta directamente sobre la uniformidad de la emergencia, siendo este un problema agronómico que comúnmente no se analiza a la hora de evaluar una siembra. Cuando la carga aplicada coincide con las condiciones del campo, la profundidad de siembra es consistente y correcta. Una carga deficiente sobre el cuerpo hace que la profundidad de siembra sea inferior a la deseada, pudiéndose colocar las semillas en suelo seco con dificultades para captar agua y nutrientes, creando plantas con raíces poco desarrolladas. Por el contrario, el exceso de carga puede provocar compactación de las paredes laterales del surco, creando un entorno desfavorable para que las plantas puedan acceder al agua y los nutrientes. *Vélez et al.*, (2014) encontraron que el sistema de copiado neumático mejoró de la calidad de siembra en cuanto a uniformidad de la profundidad y el rendimiento fue considerablemente superior al obtenido con el sistema de resorte. Sin embargo, el tratamiento con exceso en la presión sobre los cuerpos de siembra mostró una significativa diferencia negativa en el rendimiento obtenido, pudiendo deberse a la mayor compactación o fratachado del surco, dejando algunas plantas en condiciones menos favorables para la emergencia. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto de un sistema neumático de control de carga (DeltaForce®) con diferentes porcentajes de contacto rueda/suelo sobre la uniformidad de emergencia y el rendimiento de cultivos de maíz y girasol.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el establecimiento “El Volcán” ubicado en el partido de Balcarce, provincia de Buenos Aires, sobre un suelo Argiudol Típico de la Serie Mar del Plata, entre los meses de diciembre 2020 y abril 2021. Se utilizó una máquina sembradora prototipo para siembra directa dotada con sistema hidráulico de control de carga automático surco a surco DeltaForce®, diseñado y fabricado por la empresa Precision Planting®. Se utilizaron los híbridos KM 3916/GLStack de KWS y densidad de 70.000 semillas/ha para maíz, y SYN 3970 CL de Syngenta y densidad de 60.000 semillas/ha para girasol. La siembra del cultivo de maíz se realizó sobre rastrojo de girasol y la de girasol sobre rastrojo de maíz. El distanciamiento entre líneas para ambos cultivos fue de 0,52 m. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones y los tratamientos diferentes

configuraciones fijas de contacto¹ rueda/suelo del sistema de carga DeltaForce®: contacto suelo 50% (50), contacto suelo 70% (70), contacto suelo 100% (100) y contacto suelo 100% + sobre carga (100s). El ensayo se realizó sobre parcelas de 9 m x 50 m, a una velocidad de 7 km h⁻¹. Se evaluó la uniformidad de emergencia en cuatro fechas posteriores a la siembra: 20 dds (días después de siembra), 27 dds, 38 dds y 50 dds en ambos cultivos. En cada fecha se contabilizó el número de hojas/planta emergida en una distancia lineal de 6 m de surco por cada tratamiento. Adicionalmente, se determinó el rendimiento en grano para cada tratamiento al momento de su cosecha.

Resultados y discusión

Uniformidad temporal

Cultivo de Maíz

En el análisis general del cultivo de maíz en sus primeras etapas de crecimiento según los diferentes porcentajes de carga aplicados (Figura 1), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para cada fecha de valoración. Inicialmente se observa con el tratamiento 100s una mayor proporción de plantas en estado más avanzado (V1,5), que se mantiene hasta los 38 días después de la siembra (mayor proporción de plantas en estado V4) pero no así a los 50 dds. Pareciera ser el tratamiento con sobrecarga el más heterogéneo en el crecimiento de la población, existiendo gran proporción de plantas en diferente estado vegetativo en cada fecha. Un comportamiento similar, pero con una tendencia menos marcada, se puede apreciar con el tratamiento de menor carga. Esto puede deberse a una profundidad de siembra efectiva poco uniforme cuando se aplica tanto un exceso de carga como una carga deficiente sobre el tren de siembra. Contrariamente, el tratamiento de contacto rueda/suelo 100% sugiere ser el más uniforme en el crecimiento, manteniendo este comportamiento en las cuatro fechas de muestreo.

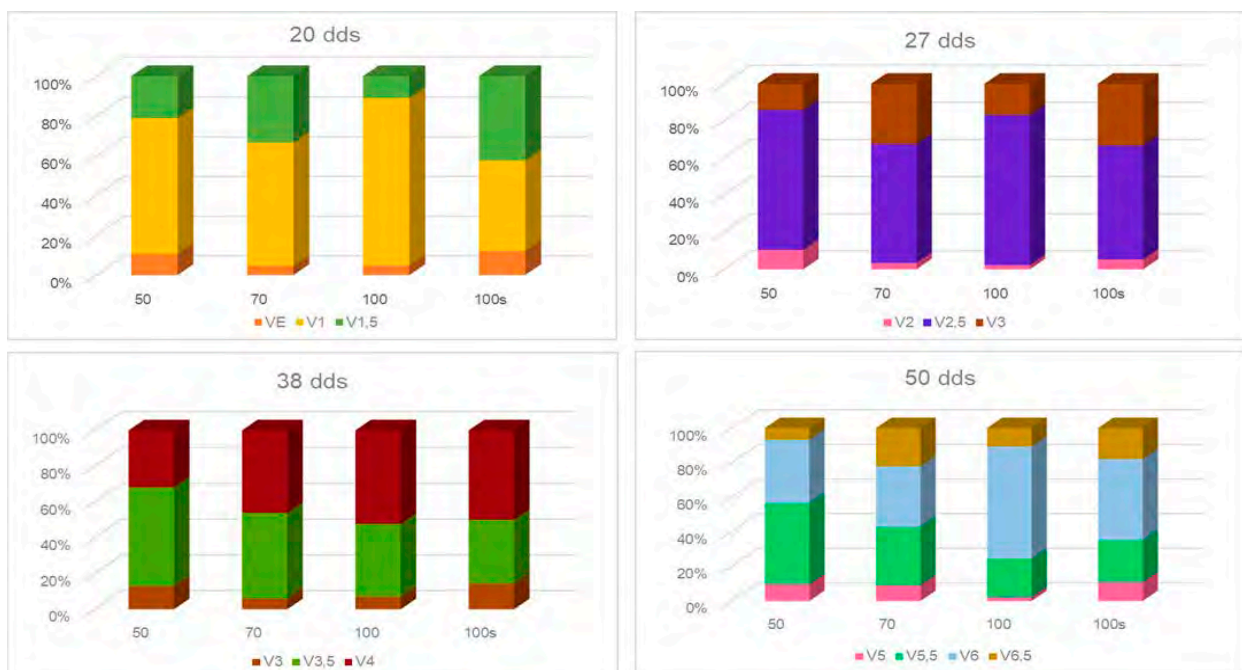


Figura 1. Estado fenológico del cultivo de maíz a los 20 dds (días después de la siembra), 27 dds, 38 dds y 50 dds según tratamientos del sistema de carga DeltaForce®: 50 (contacto suelo 50%); 70 (contacto suelo 70%), 100 (contacto suelo 100%) y 100s (contacto suelo 100% + sobre carga). Los resultados están expresados de acuerdo a la proporción de plantas encontradas en las distintas fases. VE: emergencia; V1, V2, V3 a V(n) donde n representa la formación de la última hoja.

¹ %Contacto: porcentaje de tiempo que el brazo de la rueda niveladora está en contacto con el tope indicando que los doble discos están formando el surco a la profundidad configurada

Cultivo de Girasol

En relación al cultivo de Girasol, y a diferencia del Maíz, el tratamiento de menor contacto (50) presentó en todas las fechas la mayor proporción de plantas en estados más avanzados, en comparación a los demás tratamientos. Esto puede estar relacionado a las condiciones del lote con abundante rastrojo al momento de la siembra y a una menor profundidad efectiva de las semillas lograda con el menor porcentaje de tiempo que el brazo de la rueda niveladora está en contacto con el tope. Un análisis similar se podría hacer a los 38 dds, donde los tratamientos 100 y 100s presentan la mayor heterogeneidad en el desarrollo del cultivo producto de una baja uniformidad en la profundidad de siembra, contrariamente a los tratamientos de menor carga.

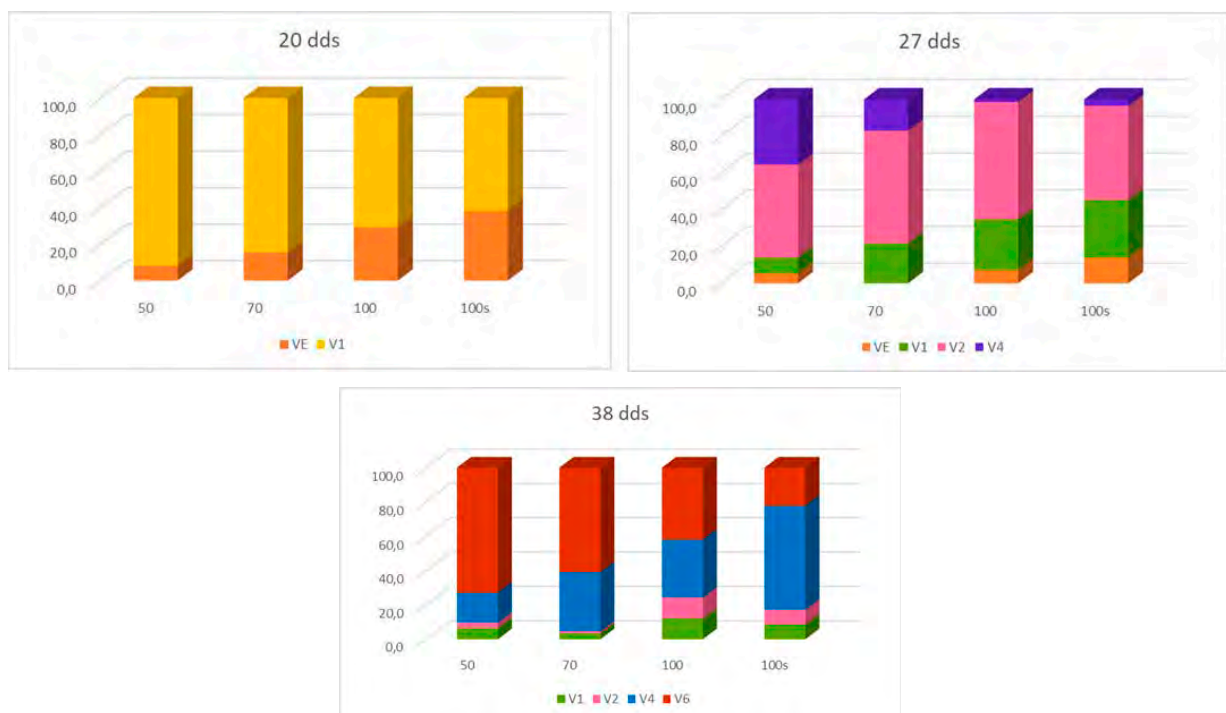


Figura 2. Estado fenológico del cultivo de Girasol a los 20 dds (días después de la siembra), 27 dds y 38 dds según tratamientos del sistema de carga DeltaForce®: 50 (contacto suelo 50%); 70 (contacto suelo 70%), 100 (contacto suelo 100%) y 100s (contacto suelo 100% + sobre carga). Los resultados están expresados de acuerdo a la proporción de plantas encontradas en las distintas fases. VE: emergencia; V1, V2, V3 a V(n) donde n representa el número de hojas verdaderas de longitud superior a 4 cm.

Rendimiento

En las figuras 3 y 4 se observan los rendimientos de los cultivos de Maíz y Girasol respectivamente, para los distintos tratamientos.

En lo que refiere Maíz, los valores se correlacionan en parte con los resultados analizados en la uniformidad temporal. Si bien las diferencias no son significativas, la tendencia que se muestra es una disminución de las toneladas/ha cuando se aplica una sobrecarga al tren de siembra. Este comportamiento puede deberse a la mayor compactación del surco producto del exceso de carga, dejando algunas plantas en condiciones menos favorables para la emergencia (Vélez *et al.*, 2014).

Distinto fue lo que se consiguió en rendimiento de Girasol, donde los tratamientos de mayor porcentaje de carga, 100 y 100s, lograron los mayores rendimientos, aunque las diferencias no fueron significativas. El comportamiento de los tratamientos 50 y 70 no fue el esperado, ya que la mayor uniformidad temporal observada hasta los 38 dds no se correspondió con mayores rendimientos. Los resultados difieren de lo citado por *Bragachini et al.*, (2012) quienes encontraron que la uniformidad en la profundidad de siembra afecta en mayor medida el rendimiento del cultivo. Las buenas

condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo junto con la elección de un híbrido de excelente calidad permitieron que las diferencias en la uniformidad temporal observadas al inicio del ciclo se disuelvan y no interfieran en la potencialidad de rendimiento del híbrido.

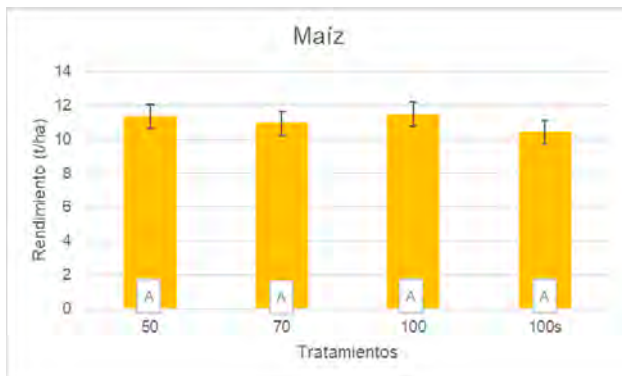


Figura 3. Rendimiento del cultivo de Maíz (t/ha) según tratamientos de control de carga: 50 (contacto suelo 50%); 70 (contacto suelo 70%), 100 (contacto suelo 100%) y 100s (contacto suelo 100% + sobre carga). Letras iguales en las columnas indican diferencias no significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos según el Test de Tukey.

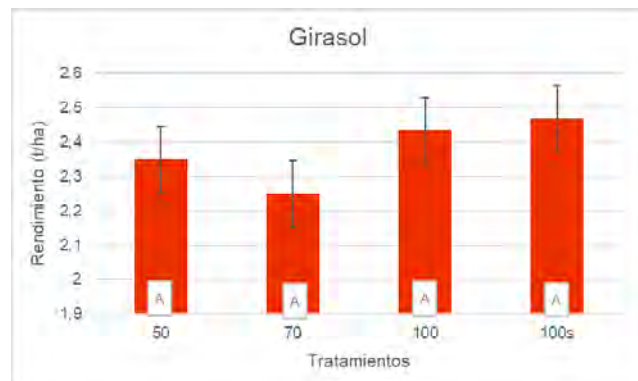


Figura 4. Rendimiento del cultivo de Girasol (t/ha) según tratamientos de control de carga: 50 (contacto suelo 50%); 70 (contacto suelo 70%), 100 (contacto suelo 100%) y 100s (contacto suelo 100% + sobre carga). Letras iguales en las columnas indican diferencias no significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos según el Test de Tukey.

Conclusiones

La mayor sobrecarga sobre el tren de siembra provocó una mayor heterogeneidad en la profundidad efectiva de siembra que se vió reflejada en la uniformidad temporal de emergencia en ambos cultivos. Aunque los volúmenes de residuo sobre la superficie de suelo no fueron iguales para los dos cultivos, las condiciones ambientales favorables en las cuales se realizó el ensayo junto con la calidad de los híbridos utilizados, permitieron que las diferencias encontradas inicialmente se diluyan y se exprese el potencial de rendimiento en cada cultivo. Para futuras investigaciones, se debería realizar este estudio en distintos escenarios y bajo condiciones limitantes de recursos para visualizar el comportamiento del sistema neumático de carga y compararlo con uno convencional.

Agradecimientos

El trabajo se pudo realizar gracias a la ayuda económica del PEi177 de INTA, Precision Planting, KWS, Syngenta y el Establecimiento "El Volcán".

Referencias

- Bragachini M., Méndez A., Scaramuzza F., Vélez J. & D. Villarroel. (2012). Impacto de la velocidad y la profundidad de siembra sobre uniformidad en la emergencia y distribución de plantas en maíz. EEA INTA Manfredi. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-impacto_velocidad_y_profundidad_de_siembra_en_ma.pdf Último acceso: febrero 2022.
- D'Amico J.P., Tesouro M.O., Roba M.A. & Romito A. (2014). Nuevo dispositivo para sembradoras: Facón, un sistema de carga constante. AgroUNS, Año XI, Nº 21.
- Maroni J., Fernández Asenjo C. & Dalla Marta M. (2004). Prestaciones de un dosificador neumático para la siembra monograno de semillas de girasol. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. Año IV. Nº 5: 99 – 104.
- Vélez J., Méndez A., Villarroel D., Scaramuzza F. & Bragachini M. (2014). Evaluación de sistema de copiado del terreno con carga constante neumático respecto al tradicional resorte convencional en paralelogramo de sembradora de grano grueso argentina. Red Agricultura de Precisión - INTA EEA Manfredi. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_evaluacion_del_sistema_de_copiado_del_terreno_co.pdf Último acceso: febrero 2022.

Relación entre la materia orgánica y rendimiento a escala de lote

Vázquez^{1,3}, J.M., M. Muñoz², L. Vargas², S.O. Filipini², S.M. Zabala².

¹Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Argentina. ² Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Argentina. ³Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *La materia orgánica del suelo condiciona el rendimiento de los cultivos pero hay pocos estudios sobre la existencia de contenidos de materia orgánica críticos, por arriba de los cuales ya no se encuentra respuesta del cultivo. El uso de tecnologías de agricultura de precisión como sensores ópticos de materia orgánica del suelo y monitores de rendimiento, permite contar con mapas para cuantificar la relación entre estos parámetros dentro de los lotes agrícolas con el objeto de guiar prácticas de manejo sitio específico. En un lote en un paisaje de cordones arenosos ondulados de la Subregión Pampa Arenosa, se obtuvieron mapas de materia orgánica estimada por reflectancia, rendimiento de un cultivo de maíz, elevación del terreno y un mapa de materia orgánica medida por oxidación húmeda a partir de un muestreo en grilla, todos procesados con el software QGIS3. Con el software R, se analizó la relación entre distintos parámetros por regresión, encontrando un R^2 de Nagelkerke de 0,27 entre la materia orgánica por reflectancia y el rendimiento de maíz y un R^2 de Nagelkerke de 0,46 cuando la materia orgánica se mide por oxidación húmeda. El R^2 entre la elevación del terreno y el rendimiento fue de 0,39, lo que se explica en parte por un R^2 de 0,26 entre materia orgánica y elevación. El rendimiento presenta una relación lineal positiva con la materia orgánica, hasta un contenido de 2,76 % y luego presenta un plateau, sin embargo esta relación se ve distorsionada en las zonas más bajas del terreno expuestas condiciones de anegamiento ocasionales, por lo que no sería recomendable tomar decisiones de manejo solo en función del contenido de materia orgánica.*

Palabras clave. *reflectancia, contenido crítico de materia orgánica, relieve.*

Introducción

Se ha demostrado que la materia orgánica afecta positivamente a diferentes funciones del suelo, pero pocos estudios han analizado la relación con el rendimiento de los cultivos, en parte porque su contenido está influenciado por distintos factores como clima, relieve y textura (Weil & Magdoff, 2004). Janzen (1992), encontró que la productividad de los cultivos aumenta con el contenido de carbono orgánico de los primeros 15 cm del suelo hasta un umbral crítico de 2% (3,6% materia orgánica), para suelos de Alberta, Canada. Oldfield et al., (2019), en un metanálisis a partir de datos de 29 países, encontraron que mayores concentraciones de materia orgánica del suelo se asocian con mayores rendimientos de los cultivos de trigo y maíz, hasta una concentración de 3,5% de materia orgánica. En la Región Pampeana Semiárida se encontraron resultados similares para el cultivo de trigo con un nivel crítico de 3% de materia orgánica (Díaz Zorita et al., 1999). Krull et al. (2004), sostiene que estos contenidos críticos de materia orgánica varían según el tipo de suelo y clima de la región. Relevar estas relaciones a escala de lote permitiría realizar un manejo sitio específico de la materia orgánica del suelo pero para este fin se necesita que los métodos para generar los mapas sean sencillos, precisos y rápidos (Ladoni et al., 2010). Los mapas de suelo disponibles en la actualidad, difícilmente puedan ser utilizados para tomar decisiones de manejo de suelos debido a una pobre resolución espacial, falta de consistencia y altos costos de actualización, siendo la medición de la reflectancia en el espectro de la luz visible e infrarrojo cercano un método alternativo para relevar el contenido de materia orgánica del suelo de forma sencilla, a bajo costo y con una alta densidad de datos (Stevens et al., 2013). El uso de sensores de reflectancia montados en los abresurcos de las sembradoras permite generar mapas de contenido de materia orgánica del suelo Conway et al. (2019), Lund & Maxton (2019) y Vázquez et al. (2020), que junto con los mapas de rendimiento generados durante la cosecha mecánica de los cultivos permitiría analizar la relación de estos dos parámetros dentro de lotes de producción agrícola. El objetivo de este trabajo fue comparar distintas alternativas para cuantificar la relación entre la materia orgánica del suelo y el rendimiento de los cultivos a escala de lote

Materiales y métodos

El relevamiento se llevó a cabo en un predio de 56 hectáreas (550 x 1030 m), en la localidad de Bragado (35°07'00"S 60°30'00"O), en un paisaje de cordones arenosos ondulados de la Subregión Pampa Arenosa (Salazar et al., 1980). El predio era manejado en siembra directa con una rotación maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda.

La materia orgánica del suelo fue estimada mediante sensores de reflectancia SmartFirmer de la empresa Precision Planting, que miden en longitudes de onda del rango del visible e infrarrojo cercano (Conway et al., 2019), a partir de la radiación que emite el mismo sensor en los abresurcos de una sembradora. Todos los datos fueron georreferenciados con el GPS del tractor que contaba con corrección diferencial. Con el cultivo emergido, se realizó un muestreo en grilla. Para definir las dimensiones de las celdas de la grilla, se adoptó el criterio de que la distancia entre las muestras sea entre un tercio y un medio del rango de un semivariograma, generado a partir de información previa sobre la variabilidad espacial del lote, como imágenes satelitales o mapas de rendimiento (Oliver, 2010), aunque en este caso se tomó como referencia el semivariograma generado con los datos de materia orgánica obtenidos con el sensor de reflectancia. El ajuste de la grilla a las dimensiones del lote muestreado se llevó a cabo con la aplicación SoilSampler para dispositivos móviles, que es la misma que se utilizó para localizar los puntos de muestreo en el terreno y georreferenciarlos. Para que la localización de los puntos en el terreno resultara precisa, se utilizó un receptor GNSS de doble frecuencia. Al mismo tiempo, los puntos de muestreo se registraron en archivos de formato rinex para su corrección en postproceso. El contenido de materia orgánica de las muestras se determinó por el método de Walkley & Black (1934), de acuerdo con la norma IRAM-SAGyP 29571-3 (2011).

A partir de un mapa de rendimiento obtenido después del muestreo se obtuvieron registros de rendimiento de maíz y elevación del terreno, georreferenciados con el GPS de la cosechadora que contaba con corrección diferencial. Para las coordenadas cada punto donde se tomaron muestras de suelo, se definió un área de radio de 15 metros donde se calcularon las medias materia orgánica estimada por reflectancia, elevación del terreno y rendimiento de maíz, con el software QGIS 3. Se analizó la relación entre los cuatro parámetros con el software estadístico R.

Resultados y discusión

A partir del análisis de la relación entre la materia orgánica medida por oxidación húmeda y el rendimiento del cultivo de maíz, se encontró que una función lineal plateau presenta un R^2 de Nagelkerke de 0,46. El umbral a partil del cual no habría respuesta al rendimiento se encontró en 2,54 % de materia orgánica. El mismo análisis realizado con la materia orgánica estimada por reflectancia presentó un R^2 de Nagelkerke de 0,27, encontrando el nivel crítico en 2,76% de materia orgánica.

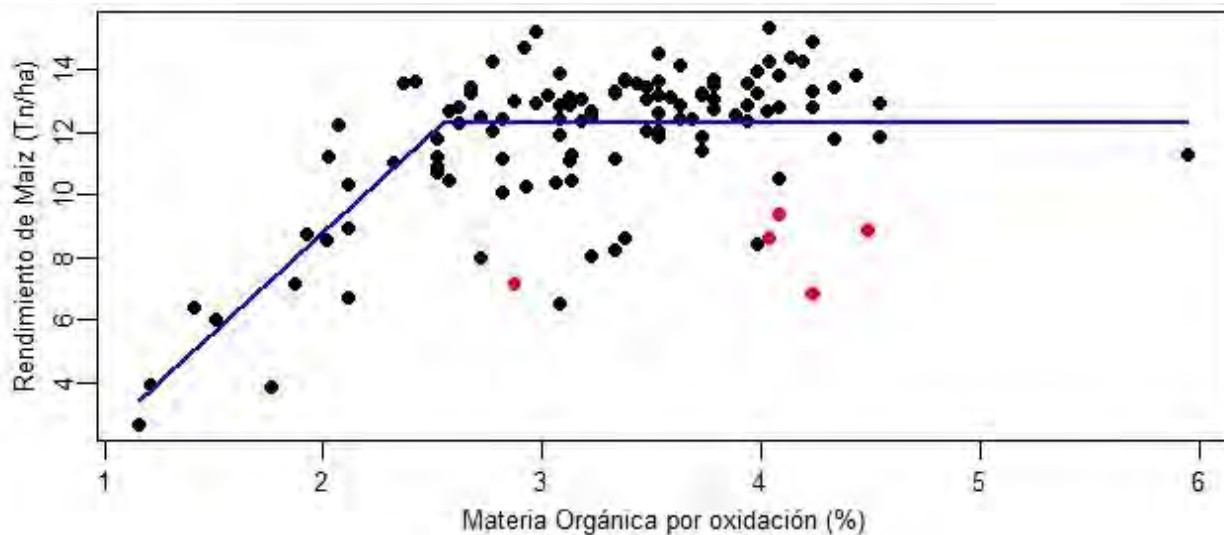


Figura 1 Grafico de dispersión entre la materia orgánica medida por oxidación húmeda y el rendimiento de maíz, con el trazado de la función lineal plateau de mejor ajuste.

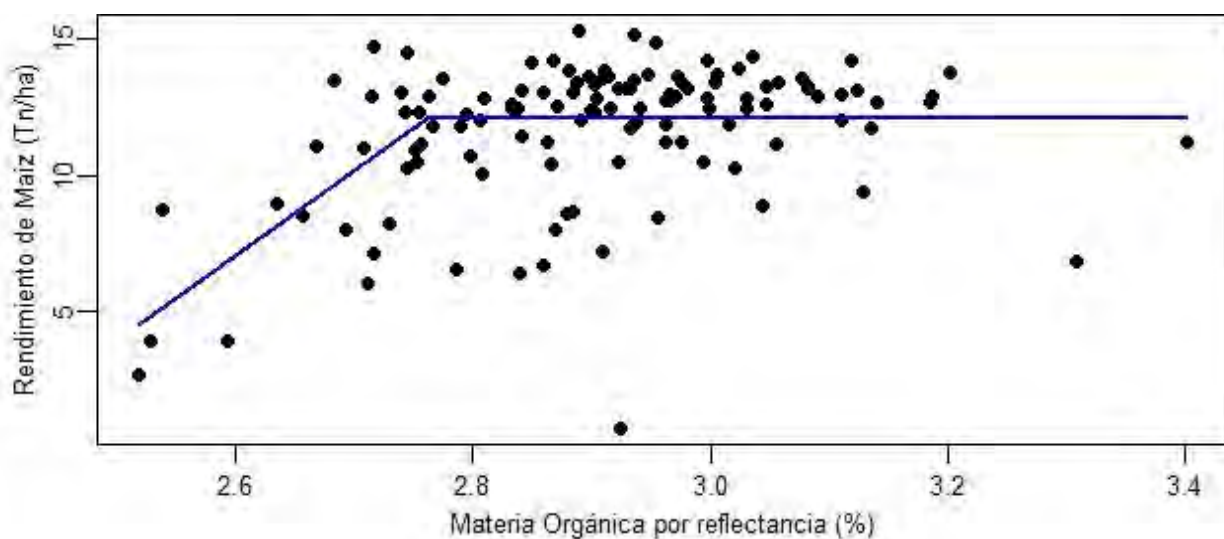


Figura 2 Grafico de dispersión entre la materia orgánica estimada por reflexión y el rendimiento de maíz, con el trazado de la función lineal plateau de mejor ajuste.

La relación entre el contenido de materia orgánica y la elevación del terreno (figura 3), presenta un coeficiente de determinación de 0,26, por lo que plantea el interrogante de en qué medida condiciona cada uno de estos parámetros al rendimiento del cultivo. Particularmente para el suelo donde se realizó el relevamiento, que se encuentra en un paisaje de cordones arenosos ondulados de la Subregión Pampa Arenosa, donde las zonas más elevadas que presentan valores más bajos de materia orgánica, se asocian a una menor capacidad de almacenamiento de agua para los cultivos.

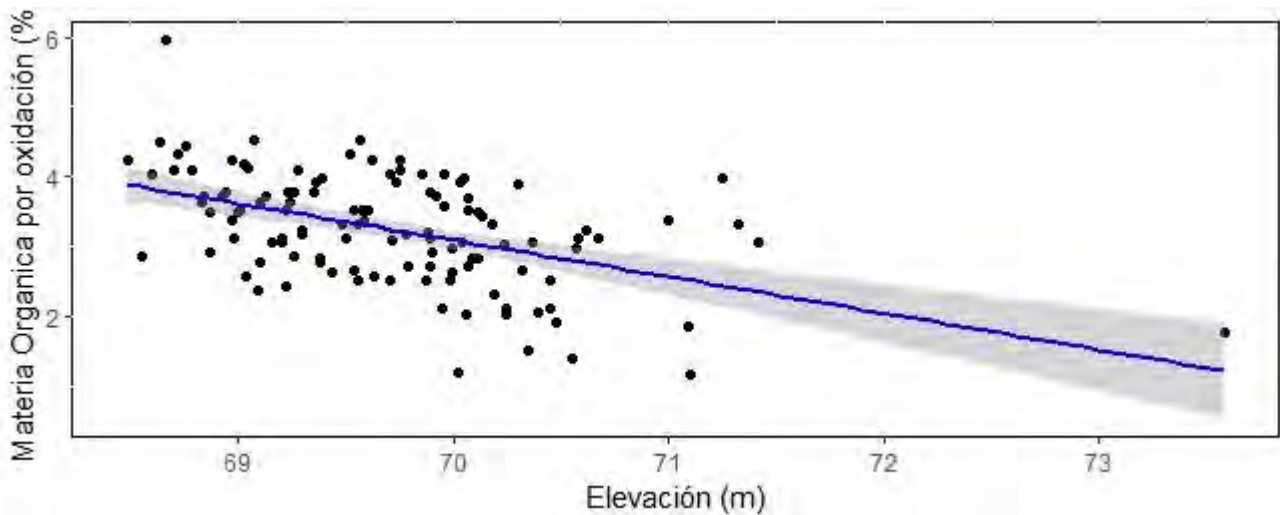


Figura 3 Grafico de dispersión entre la elevación del terreno y la materia orgánica medida por oxidación húmeda

Dada la relación inversa entre la elevación del terreno y el contenido de materia orgánica, sería esperable la ocurrencia de valores más bajos de rendimiento en las zonas de mayor elevación del terreno, sin embargo esto solo ocurre en parte. La relación entre estos dos últimos parámetros (figura 4), presenta un coeficiente de determinación R^2 de 0,39. La mayoría de los puntos que se encuentran entre 69 y 70 metros de elevación, presentan rendimientos superiores a las 12 tn/ha, reduciéndose marcadamente por fuera de ese rango. La reducción del rendimiento por debajo de los 69 metros de elevación coincide con áreas deprimidas que presentan problemas de anegamiento ocasionales.

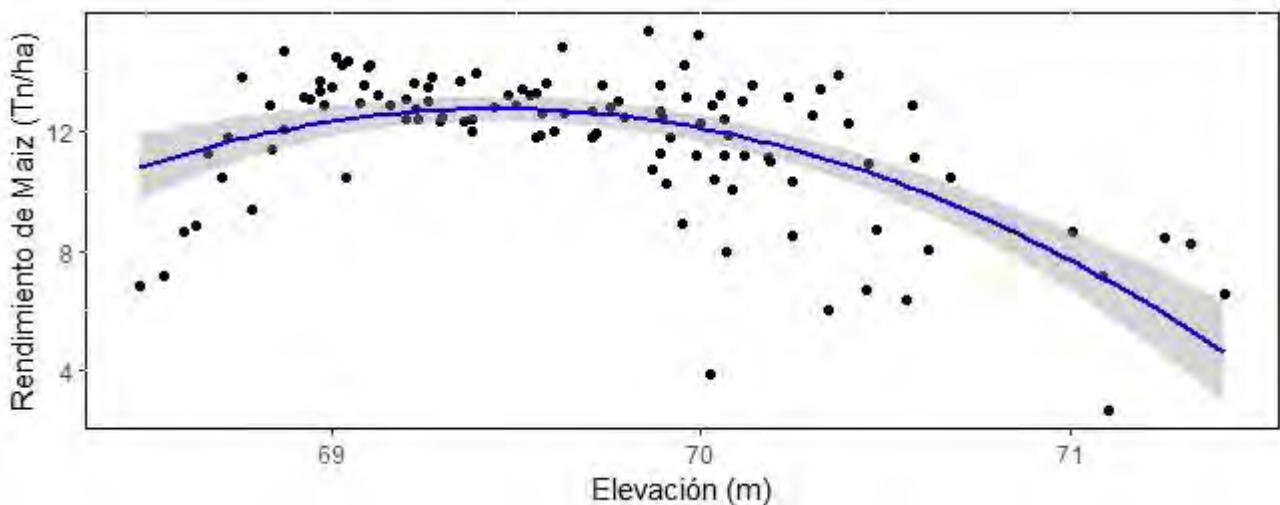


Figura 4 Grafico de dispersión entre la elevación del terreno y el rendimiento de maíz.

Estos puntos que presentan menores rendimientos por debajo de los 69 metros de elevación, están señalados en rojo en la figura 1, son justamente algunos de los que se apartan de la función lineal plateau.

Conclusiones

La posibilidad de relevar la relación entre el contenido de materia orgánica de los suelos y el rendimiento de los cultivos dentro de lotes de producción agrícola, permite orientar prácticas de manejo sitio específico para un uso reducir insumos, aumentar la productividad de los cultivos. El ajuste de las prácticas de manejo a cada ambiente, como la definición de dosis variable de insumos, no debe realizarse en función de un solo parámetro como el contenido de materia orgánica, sin analizar previamente que otros parámetros condicionan la productividad de los cultivos en cada zona productiva.

Referencias

- Conway, L.S., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Lindsey, A.J., & Carter, P.R. (2019). Planting Depth and Soil Series Effect on In-Furrow Soil Sensor Performance. En Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Veum, K.S. (Eds.), 5th Global Workshop on Proximal Soil Sensing Proceedings. www.pss2019.org
- Díaz-Zorita, M., Buschiazzo, D. E., & Peinemann, N. (1999). Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid Argentine Pampas. *Agronomy Journal*, 91(2), 276-279.
- IRAM-SAGyP 29571-3. 2011. Norma IRAM-SAGyP 29571-3. (2011). Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 3— Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte y digestión en tubo de ensayo. IRAM.
- Ladoni, M., Bahrami, H.A., Alavipanah, S.K., & Norouzi, A.A. (2010). Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review. *Precision Agriculture*, 11(1), 82-99.
- Lund, E., & Maxton, C. Comparing Organic Matter Estimations Using Two Farm Implement Mounted Proximal Sensing Technologies. *PSS 2019*, 35.
- Oldfield, E.E., Bradford, M.A., & Wood, S.A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), 15-32.
- Oliver, M.A. (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer.
- Salazar, J.C., Moscatelli, G.N., Cuenca, M.A., Ferrao, R.F., Godagnone, R.E., Grimberg, H.L., & Sánchez, J.M. (1980). Carta de suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. 1: 500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina, 505.
- Stevens, A., Nocita, M., Tóth, G., Montanarella, L., & Van Wesemael, B. (2013). Prediction of soil organic carbon at the European scale by visible and near infrared reflectance spectroscopy. *PloS one*, 8(6), e66409.
- Vázquez, J.M., Muñoz, M.H., Filipini, O.S., Guecaimburu, J.M., Zabala, S.M., Reposo, G.P., Vargas, S.L., Martínez, M., Rojo, V., Navone, J.A. (2020). Estimación de la variabilidad espacial de la materia orgánica del suelo mediante sensores de reflectancia. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 13 al 16 octubre de 2020, Corrientes.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Weil, R. R., & Magdoff, F. (2004). Significance of soil organic matter to soil quality and health. In: *Soil organic matter in sustainable agriculture*, Magdoff, F. & Weil, R. R.(Eds). 1-43. CRC Press.



Combinación optimizada de población de plantas y fertilización con fósforo y nitrógeno en maíz en Las Lajitas (Salta)

FLORES POZZI, Lisandro.

MARINIONI, Gustavo.

PICCO, Natalia.

lflorespozzi@adecoagro.com Grupo Técnico Adecoagro (GTA), Adeco Agropecuaria S.A., Martinez, Buenos Aires, Argentina

gmarinioni@adecoagro.com Grupo Tecnología, Adeco Agropecuaria S.A., Martinez, Buenos Aires, Argentina

npicco@adecoagro.com Grupo Tecnología, Adeco Agropecuaria S.A., Martinez, Buenos Aires, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen

La producción de maíz en Salta, Argentina, ha tomado relevancia los últimos años. La información empírica a nivel productivo es incipiente y se necesitan modelos agronómicos para alcanzar resultados económicos y ambientales sustentables.

Se llevó a cabo un ensayo en un lote en Las Lajitas, combinando densidades de semillas, fertilización fosforada y nitrogenada a la siembra, para el híbrido DOW 510 PW PLUS, en tres ambientes de productividad. La campaña se desarrolló favorablemente para el cultivo, con bajas precipitaciones, pero lejos de estreses hídricos y térmicos, además de una adecuada amplitud térmica, radiación y humedad relativa.

Los rendimientos fueron superiores a los 8.000 kg/ha en el ambiente de alta productividad, y menores a 7.000 kg/ha en los ambientes de media y baja. Sin embargo, las respuestas a la fertilización y mayores poblaciones de plantas se encontraron en estos últimos, mientras que el ambiente de alta sólo encontró respuesta económicamente viable en una dosis mínima de fósforo. El óptimo económico para los ambientes restrictivos fue de 55.825 plantas por hectárea, con 100 kg de MAP y 100 litros de UAN por hectárea, lo que sugiere la necesidad de ensayar mayores niveles de fertilidad. El ambiente de alta productividad presentó valores de fertilidad inicial significativamente mayores a los demás ambientes, lo que puede ser la razón de una respuesta indiferente al agregado de fertilizantes. Su óptimo económico fue el planteo conservador de menor población de plantas y sin fertilización nitrogenada.

Palabras clave. *Zea mays, maíz tardío, modelos agronómicos, fertilización fosforada, fertilización nitrogenada, densidad de plantas, población de plantas, Las Lajitas.*

Introducción

En Las Lajitas, Salta, actualmente no se cuenta con suficiente información validada respecto de modelos agronómicos sobre densidades, materiales, y manejo nutricional para la producción de maíz.

Sobre los suelos agrícolas en la región, se advierten cambios texturales abruptos; el suelo puede pasar de texturas franco-arcillosas, con arcillas no expandibles, a texturas con presencia de arcillas montmorillonitas dentro de un mismo lote (Nadir, A., 1990). El contenido de arena también varía, al igual que el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de bases. En general, los ambientes de baja productividad presentan contenidos de arcilla en mayor porcentaje, pero de una naturaleza menos deseable, por su comportamiento físico-químico.

El relieve es ondulado, con pendientes de 1 a 3%, bien drenado. Las lluvias intensas se suceden con frecuencia variable entre años. Para el presente año se presentaron lluvias menores a las normales, pero con una distribución, frecuencia e intensidad ideal para el cultivo desarrollado.

El trabajo consistió en establecer un modelo agronómico confiable que simule el máximo rédito económico en la planificación de un maíz tardío en Las Lajitas.

Materiales y Métodos

Se trabajó en un lote de 179 hectáreas de un campo ubicado a 10 km de Las Lajitas, Provincia de Salta (Figura 1).

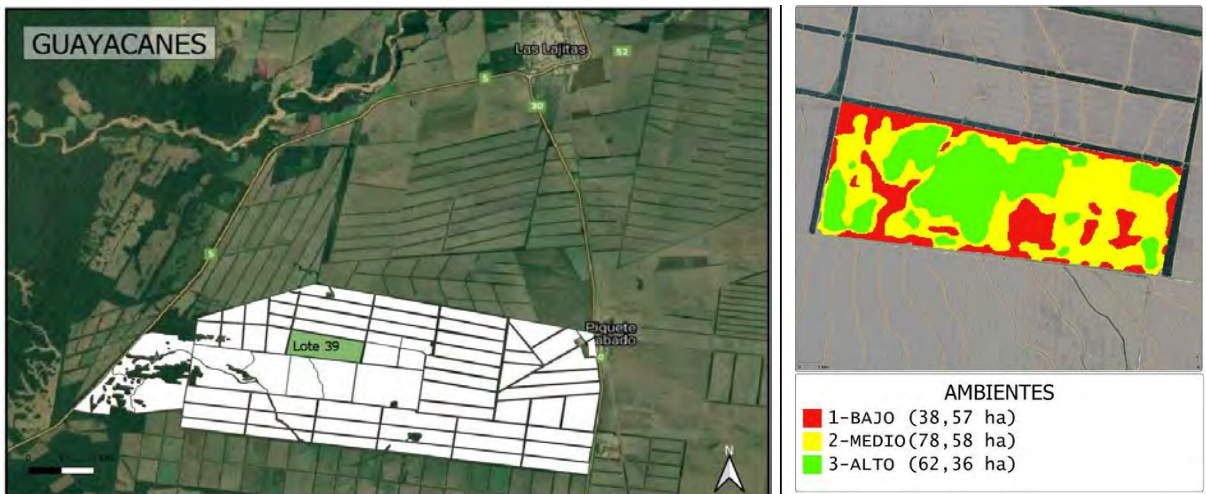


Figura 1: Campo donde se realizó la experiencia y mapa de zonas de manejo en Lajitas (Salta, Argentina)

Se combinaron distintas poblaciones de plantas y niveles nutricionales de nitrógeno (N) y fósforo (P). Los fertilizantes utilizados fueron urea amonio nitrato –UAN- y fosfato mono amónico –MAP o PMASe ambientó el lote previo a la siembra con imágenes satelitales históricas de Sentinel 2 (2016 a 2020) como fuente de información exclusiva (imágenes de infrarrojos y NDVI en fechas de período crítico), usando el software SMS v21.0, interpolando en cuadrículas de 10x10 metros, normalizando los datos respecto de la media de dicho índice en cada píxel.

Se utilizó el híbrido Dow 510 PWE, sembrado alrededor del 09 de enero de 2021 y cosechado el 06 de julio de 2021, a una distancia entre hileras de 52,5 cm, y con una densidad objetivo a nivel lote de 50 mil plantas por hectárea. El rendimiento promedio del lote fue de 6.852 kg/ha.

Se utilizó un modelo en cuadrículas de 28 m por 40 m. El cruce de fertilización con UAN para el ensayo se realizó de manera dirigida, sin prescripción, a través de la labor de chorreado (figura 2). La fertilización se ubicó en la siembra, para el caso de MAP, y durante los primeros estadios vegetativos del cultivo para el caso del nitrógeno, mediante chorreado de UAN.

Al finalizar la campaña, se obtuvieron los mapas de rendimiento, los cuales fueron procesados y limpiados desde QGIS v3.18 y Fastmapping. Con el archivo TIFF del mapa de rendimiento, se utilizó QGIS para pasar a puntos cada píxel de la imagen y tomar esta nueva nube como la base para realizar el cálculo de los ensayos. Se utilizó INFOSAT con el fin de hacer los análisis estadísticos.

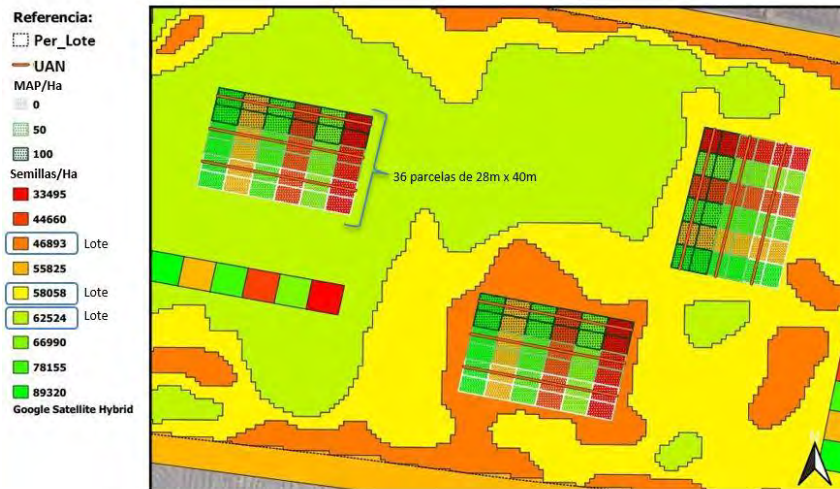


Figura 2: Prescripción y dosis de semillas/MAP/UAN sobre los ambientes definidos y en los ensayos.

Resultados

El modelo tuvo un ajuste de R^2 de 0,92. Todas las variables individuales tuvieron implicancia significativa en el rendimiento. En tanto, las interacciones estadísticamente significativas más importantes fueron la combinación de MAP por ambiente, UAN por ambiente, densidad por ambiente por MAP, densidad por MAP, densidad por ambiente, densidad por UAN por MAP por ambiente, y UAN por MAP por ambiente. Los ambientes de baja y media productividad se asemejaron entre sí en resultado, y se diferenciaron del ambiente de alta, de acuerdo a lo resuelto desde Insfostat, donde se encontró que las medias de los rendimientos de cada ensayo fueron similares.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rend Corr.pred	602	0,92	0,90	4,04	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	448977164,65	107	4196048,27	50,59	<0,0001
SIEMBRA	6334198,14	5	1266839,63	15,27	<0,0001
F_UAN	11725793,35	1	11725793,35	141,37	<0,0001
F_MAP	49960557,37	2	24980278,68	301,18	<0,0001
Categoría	332968084,91	2	166484042,46	2007,24	<0,0001
SIEMBRA*F_UAN	695624,42	5	139124,88	1,68	0,1384
SIEMBRA*F_MAP	3511953,49	10	351195,35	4,23	<0,0001
SIEMBRA*Categoria	3416902,12	10	341690,21	4,12	<0,0001
F_UAN*F_MAP	212338,57	2	106169,29	1,28	0,2789
F_UAN*Categoria	3793797,89	2	1896898,95	22,87	<0,0001
F_MAP*Categoria	13157766,29	4	328941,57	39,66	<0,0001
SIEMBRA*F_UAN*F_MAP	1318749,54	10	131874,95	1,59	0,1062
SIEMBRA*F_UAN*Categoria	1750190,40	10	175019,04	2,11	0,0223
SIEMBRA*F_MAP*Categoria	7763680,48	20	388184,02	4,68	<0,0001
F_UAN*F_MAP*Categoria	1982677,16	4	495669,29	5,98	0,0001
SIEMBRA*F_UAN*F_MAP*Catego..	4222154,89	20	211107,74	2,55	0,0003
Error	40973238,01	494	82941,78		
Total	489950402,66	601			

Figura 3: Análisis de la varianza.

Los ambientes de baja y media productividad, aunque con medias de rendimiento distintas, responden de manera similar ante las variables independientes estudiadas, muy diferente a las

respuestas en ambiente de alta. La respuesta a la fertilización es clara en los primeros, donde se deberían haber ensayado parcelas con niveles aún mayores de fertilización. En tanto, para el ambiente de alta, la fertilización no incrementó los rendimientos respecto del testigo, más allá de un efecto significativo de 50 kg/ha de MAP, posiblemente ejerciendo un papel arrancador determinante para el cultivo. Además, respuestas a fertilización nitrogenada fueron poco claras, y la propuesta de mayor fertilización sumando ambos macronutrientes sólo promedió los rendimientos.

Los ambientes de baja y media productividad acusan gran deficiencia en sus niveles de N y P, en tanto que el ambiente de alta posee 9 veces más unidades de fósforo y 40% más de nitratos. Proporcionalmente, la fertilización aumenta los niveles nutricionales mucho más en los suelos más restrictivos que los de productividad mayor. Cuando el balance hídrico y térmico son favorables y no inciden como factor de merma de rendimiento principal, la baja fertilidad de los ambientes restrictivos pasa a ser determinante en el rendimiento alcanzable.

Conclusiones

No se cuenta con umbrales específicos ni modelos validados para fertilización fosforada ni nitrogenada en esta provincia, por lo que estos experimentos tienen gran carácter exploratorio. Para la siguiente campaña se pondrán estas hipótesis a prueba, en mayores rangos de valor para estas variables, y en fechas de siembra de diciembre, con varios materiales genéticos.

Agradecimientos

A los equipos de producción, tecnología y grupo técnico de Adecoagro por el trabajo en equipo y la buena predisposición. Al cuerpo docente de la DISAP (Diplomatura Superior en Agricultura de Precisión) por la apertura y horizontalidad durante el cursado académico.

Bibliografía

DI RIENZO, J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y C.W.

ROBLEDO. 2015. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, UNC, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

BALZARINI, M *et al.*; (2017). FCA, UNC, Argentina FastMapping: software para mapeo de variabilidad en dominios espaciales continuos. URL <http://fastmapping.psi.unc.edu.ar/>

Nadir, A. y T. Chafatinos. 1990. Los suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomos I, II y III. Universidad Nacional de Salta.

Diagnóstico sitio-especifico de nitrógeno en trigo mediante imágenes visibles obtenidas con un dron

Juan Martín Rompani y Agustín Pagani

Clarion, 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La complejidad del manejo de nitrógeno (N) en cereales en regiones húmedas o de pluviometría variable requiere de metodologías de diagnóstico dinámicas. El análisis de imágenes obtenidas desde vehículos aéreos no tripulados ha ganado popularidad en los últimos años como herramienta para el monitoreo del estado nutricional de los cultivos durante la estación de crecimiento. Si bien se han propuesto múltiples índices de vegetación exitosos para el manejo de N en maíz y trigo, la mayoría requiere de cámaras multispectrales de elevado costo. En este sentido, indicadores que puedan obtenerse mediante el procesamiento de imágenes en el rango visible a través de cámaras convencionales podrían incrementar su grado de adopción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño del índice visible de resistencia atmosférica (VARI) obtenido con una cámara convencional RGB montada en un dron como herramienta de diagnóstico de las necesidades de fertilización nitrogenada complementaria en el cultivo de trigo. Se condujeron 16 experimentos en microparcels de fertilización nitrogenada en 2020 y 2021 con siete dosis de N (0 a 250 kg ha⁻¹) y tres repeticiones con un diseño en bloques completos aleatorizados en posiciones en el relieve y tipos de suelo contrastantes dentro de lotes de producción del partido de 9 de Julio, Buenos Aires. En el estadio de fin de macollaje-inicio de encañazón (Zadocks 31) se realizó un vuelo con un dron (DJI Mavic Pro) equipado con una cámara convencional visible (RGB) y se tomaron fotografías de cada ensayo a una altura aproximada de 20 m. Las imágenes recolectadas fueron procesadas mediante un software y se calculó el VARI. Los valores absolutos de este índice y los rendimientos de trigo de cada parcela fueron relativizados respecto a la parcela de máximo valor para cada ensayo. Se ajustaron modelos de regresión cuadráticos o cuadráticos-plateau para describir la relación entre el rendimiento y el VARI con la dosis de N aplicada y modelos de regresión lineales para explicar la relación entre el rendimiento relativo y el VARI relativo combinando ensayos de cada año. Los sitios experimentales mostraron variación en la magnitud de la respuesta a la fertilización nitrogenada dependiendo del año y de la posición en el relieve y tipo de suelo (entre 1036 y 4294 kg ha⁻¹). El índice VARI mostró un comportamiento similar al rendimiento a medida que aumentó la dosis de N y la función cuadrática-plateau fue la seleccionada en casi todos los casos para describir ambas variables. Se observaron asociaciones significativas y relativamente estrechas entre el rendimiento relativo del trigo y los valores relativos del VARI cuando se agruparon todos los sitios experimentales para el año 2020 (R² = 0.72) y 2021 (R² = 0.56). Estos resultados son prometedores respecto a la utilidad de herramientas simples y de bajo costo para el diagnóstico o monitoreo del status nitrogenado del cultivo de trigo.

Palabras clave. Manejo sitio-específico de N, trigo, dron, VARI.

Memorias del Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión

Manfredi, Argentina, 30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022.



Integración de tecnologías de agricultura de precisión para una producción frutícola sustentable: el caso de La Rosa Sofruco SA.

Hugo Poblete¹, María M. Martínez², Rodrigo Ortega² y Consuelo Poblete¹.

hpoblete@sofruco.cl

¹La Rosa Sofruco S.A., Coyancura 2283, Providencia, Santiago, Chile. ²Universidad Santa María, Avenida Santa María 6400, Vitacura, Santiago, Chile.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

La Sociedad Agrícola La Rosa Sofruco S.A. es una compañía frutícola ubicada en la zona central de Chile. Al año 2022 tiene 2.100 hectáreas plantadas de diversos frutales y viñas, convirtiéndola en una de las principales empresas agrícolas del país.

Con el objetivo de mejorar la toma de decisiones de manejo para obtener altos rendimientos y calidad de fruta de manera sustentable, desde el año 2002 la empresa ha ido incorporando diversas tecnologías de Agricultura de Precisión. Técnicamente, se ha definido como base del manejo el mejoramiento de la calidad de suelo, a través del uso de enmiendas químicas y orgánicas y la aplicación eficiente de fertilizantes a través del fertirriego. Para ello, el uso de sensores proximales de suelo (SoilOptix) es una práctica habitual en las nuevas plantaciones, para definir sectores de riego homogéneos y realizar las enmiendas necesarias para un buen establecimiento del cultivo. Las imágenes satelitales y de sensores activos terrestres (OptRx) se usan sistemáticamente para ir monitoreando la evolución de los cultivos e implementar manejos de acuerdo con estas mediciones, según sea el caso.

Los muestreos sistemáticos se usan para monitoreo de plagas y enfermedades, compactación de suelo, actividad microbiológica de suelo, estimación de producción y curvas de calibre con porcentajes de efectividad cercanos al 95%, operación del sistema de prevención y control de heladas.

Las tecnologías de Agricultura de Precisión son herramientas indispensables para la producción frutícola sustentable. La empresa se encuentra actualmente en un proceso de digitalización de la información a través de una plataforma específica.

Incluya una definición del problema u oportunidad, objetivos, un breve resumen de los métodos, resultados cuantitativos y la importancia de sus resultados. El resumen no debe contener más de 500 palabras.

Palabras clave. *Calidad de suelo, mapeo de suelos, mapeo de canopia, muestreo sistemático, fruticultura*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Variabilidad espacial y temporal de la productividad de diferentes cultivos ante variaciones edáficas y topográficas a nivel intra-lote en el Centro-Oeste Bonaerense

Agustín Pagani, Paula Girón y Juan Martín Rompani

Clarion, 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Es de amplio conocimiento que los lotes de producción rara vez son uniformes y que el rendimiento de los cultivos puede variar espacialmente debido a heterogeneidad edáfica y topográfica y temporalmente por las condiciones meteorológicas de la campaña. El objetivo de este trabajo es entender cuantitativamente la sensibilidad de diferentes cultivos ante variaciones edáficas y topográficas a nivel intra-lote y cómo dicha sensibilidad interacciona con las condiciones productivas de cada campaña. Se seleccionaron 5 lotes de producción del Centro-Oeste Bonaerense que contaron con más de 4 años de mapas de rendimiento de maíz, trigo, soja y cebada durante los años 2013 a 2021. En cada lote se realizó un relevamiento de conductividad eléctrica aparente (ECa) con la rastra Veris 3100 (como indicador de variabilidad espacial en la textura del suelo, el contenido de materia orgánica y la salinidad/alcalinidad) y de elevación con un sistema de posicionamiento global (GPS) de alta precisión con la finalidad de caracterizar la variabilidad edáfica y topografía de cada lote. Mediante interpolación (Krigging ordinario) se generaron diez zonas de ECa o elevación y se promediaron los puntos de rendimiento para cada una de ellas. De esta forma se establecieron relaciones entre rendimiento y ECa o elevación para cada lote y campaña. La relación entre productividad y topografía varió notablemente entre lotes dependiendo del cultivo, del año y del rango de elevación explorado. En general, se observó una relación negativa entre rendimiento y elevación, en particular en las campañas hídricamente más restrictivas y especialmente para el cultivo de maíz. Esta relación se invirtió en las campañas con excesos hídricos, donde (a partir de cierto rango) los rendimientos tendieron a disminuir a medida que disminuyó la elevación del terreno. Por su parte, la ECa fue un indicador más sensible y consistente entre sitios para explicar patrones de rendimiento a nivel intra-lote. En general, se observó que la relación entre el rendimiento de los cultivos presentó una forma de campana, identificándose un rango de ECa (entre 10 y 20 mS/m) consistente con máximos valores de productividad por encima y por debajo del cual el rendimiento disminuyó. Esta tasa de disminución fue mayor para maíz, intermedia para trigo y cebada y menor para soja y tendió a ser más abrupta en campañas más secas. La información aquí presentada pretende establecer criterios sobre los cuales puedan basarse esquemas de manejo sitio-específico de insumos en zonas con similares características edáficas y topográficas.

Palabras clave. Variabilidad espacial; Conductividad eléctrica aparente.

Evaluación de mapas de altimetría generados por diferentes maquinarias agrícolas como capa de datos para la prescripción de fertilización nitrogenada variable en maíz en el sudeste de Córdoba

Di Menza Selene¹, Stefani Esteban¹

selenedimenza814@gmail.com; estebanstefani814@gmail.com ¹ Monte Maíz. Córdoba. Argentina

Trabajo presentado al
**Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)**
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. Los mapas de altimetría son una capa de información útil para realizar manejo sitio específico en el centro-sur de la provincia de Córdoba, que se caracteriza por tener paisajes ondulados. Muchos productores del sudeste de Córdoba no cuentan con mapas de altimetría precisos, sino que poseen mapas generados por las distintas labores realizadas en el lote. El objetivo de este trabajo fue comparar los mapas de altimetría generados a partir de 15 mapas de altimetría proveniente de distintas labores (cosechadora, el tractor y el aplicador) y un mapa preciso generado mediante el sistema RTK. Para ello se realizó un análisis de regresión espacial entre los mapas de las distintas labores y el mapa de altimetría preciso (RTK). Los resultados mostraron que las capas individuales tenían buen ajuste respecto al mapa preciso, y que mejoraban al apilar las capas de datos por implemento. El ajuste fue el mejor, cuando se unieron las 15 capas y se mantuvo alto cuando solo se usó solo la mitad de ellas. A través de la utilización del mapa preciso y del mapa promedio, se estimó el índice topográfico compuesto (CTI), el cual, junto con la condición hídrica de la campaña, de acuerdo con el fenómeno ENSO, permiten usar un modelo de recomendación de fertilización nitrogenada llamado Modelo Económico Mixto Espacial (MEME), el cual permite ajustar las dosis óptimas económicas de nitrógeno (DOEN) a escala sitio específica. El modelo recomendó solo fertilizar en año húmedo, con DOEN entre 54 y 87 kgN/ha. El mapa promedio, brindó ajustes aceptables para poder realizar mapas de prescripciones nitrogenadas en el cultivo de maíz constituyendo una fuente de información a la hora de realizar una recomendación de fertilizantes nitrogenados.

Palabras clave. Mapas de altimetría, MEME, Fertilización variable sitio específica, Índice Topográfico Compuesto, dosis óptima económica de N, condición hídrica.

Introducción

La mayoría de los sistemas productivos son variables en los factores que los definen: topografía, suelo, régimen hídrico, materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, entre otros; que se traducen en diferencias en el potencial de rendimiento, aún dentro del mismo lote (Johnen *et al.*, 2014). Con la información de estos factores, se pueden delimitar zonas de manejo diferenciadas que se comportan como subregiones dentro de un lote. Donde la agricultura de precisión (AP) brinda la posibilidad de hacer un uso diferente de insumos, adecuándose a cada zona permitiendo lograr resultados que no se conseguirían si se trata el lote como un promedio. Mediante este manejo diferencial es posible obtener un mejor resultado económico, y una reducción del riesgo ambiental por el uso racional de los insumos.

La determinación de la variabilidad espacial y temporal del rendimiento de los cultivos se puede obtener por medio de monitores de rendimiento, que permiten la confección de mapas digitales, permitiendo su visualización. Los mapas de rendimiento son imágenes geo-referenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto específico, además posee sensores que miden y registran otras variables como altimetría, velocidad de avance de la cosechadora, humedad de grano, masa rendimiento seco, masa de rendimiento húmedo y ancho de franja. La precisión de la información altimétrica brindada por las cosechadoras y otras máquinas agrícolas es muy variable, por lo que su uso como capa de entrada para zonificar va a depender de la precisión de los datos elevación generado. De acuerdo con lo expuesto por Burgos *et al.*, (2015) las precisiones del relevamiento deberían encontrarse entre los 5 a 10 cm.

En el sur de la provincia de Córdoba la disponibilidad de recursos se caracteriza por ser altamente variable, tanto espacial como temporalmente (Esposito *et al.*, 2012). Este comportamiento se encuentra relacionado con la distribución estacional de las precipitaciones, su variación interanual (Seiler *et al.*, 2008) y aspectos del relieve y del suelo que condicionan el movimiento y almacenamiento del agua (Cisneros *et al.*, 2012). En estas zonas donde el rendimiento es limitado por la oferta hídrica, la variabilidad topográfica es útil para interpretar los mapas de rendimiento. La posición en el paisaje influye en la redistribución de partículas de suelo, en el contenido de materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes (Solon *et al.*, 2007). Como consecuencia se observa variabilidad a escala de lote en las propiedades físicas y químicas asociadas a la posición topográfica, existiendo una estrecha relación con el contenido de agua útil del suelo (Kravchenko y Bullock, 2000). Dentro de las distintas zonas de manejo, en general, los bajos representan las zonas de alto rendimiento por poseer una mayor retención de agua y de nutrientes (Kumhálová *et al.*, 2011). Esto puede afectar el crecimiento de los cultivos, el desarrollo de los granos, su calidad y el rendimiento final.

La importancia además de tener un mapa de altimetría es que permite utilizar modelos de recomendación de fertilización nitrogenada en maíz de escala sitio específico, como por ejemplo el Modelo econométrico mixto espacial –MEME- creado por Esposito (2013) para la región sur de Córdoba, que es un modelo de recomendación de nitrógeno que se basa en el mapa de altimetría, donde la inclusión de variables sitio específica como el índice topográfico compuesto (CTI), junto con las perspectivas climáticas del fenómeno ENSO permiten la dosificación variable de nitrógeno (DVN) a escala sitio específica de tal forma que la optimización económica de la dosis de nitrógeno también dependa de las características del relieve, puesto que, frente a eventos de precipitación, el agua puede escurrir de posiciones altas hacia sectores más bajos del relieve, dentro de un lote de producción o dentro de una microcuenca.

El objetivo de este trabajo es determinar la factibilidad del empleo de mapa de altimetría multiimplemento en reemplazo de mapa preciso RTK, como fuente de datos de entrada para el uso de MEME como modelo de recomendación de fertilización nitrogenada en maíz, en un lote del sudeste de la provincia de Córdoba, para el desarrollo de manejo sitio específico de cultivos.

Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se utilizó información disponible de un lote agrícola ubicado a 3 km al norte de Alejo Ledesma, sudeste de Córdoba (33°32'47.42"S, 62°36'17.10"O). La superficie del lote analizado es de 73 ha. El suelo es un Haplustol údico, franco grueso, con índice de productividad (IP) 73 (Cartas de Suelo de Córdoba, 2021). Los archivos utilizados para realizar los análisis fueron los siguientes: 1. Datos de altimetría RTK sonda Veris 3100 (con precisión vertical +/- 4 cm). 2. Datos del monitor de la cosechadora (4 mapas), del monitor del tractor (dos siembras y dos laboreos) y de la pulverizadora (7 mapas), con receptor Star Fire 6000 con señal SF3 (precisión vertical +/- 8 cm).

Para determinar la validez de los mapas de altimetría de los implementos se comparó estadísticamente a través de GeoDa el mapa RTK con: 1. cada uno de los 15 mapas, 2. el promedio de cada implemento, 3. el promedio de todos los mapas y 4. un promedio de la mitad de los mapas obtenidos al azar. En GeoDa se eligió el modelo de mejor ajuste. Una vez definido el modelo, se analizan los datos de la corrida, el R2, la constante y el parámetro lineal.

Kumhálová et al. (2011), encontró una relación significativa entre el rendimiento y la concentración de nutrientes de los cultivos con la topografía, identificando además que la correlación entre el CTI y el rendimiento fue afectada por las características hídricas de cada campaña, donde en años húmedos esta correlación es débil, mientras que en años secos la misma es fuerte. Espósito et al., (2012) encontraron que a mayores valores de CTI, los rendimientos de maíz aumentaban, ya que los sitios con mayor CTI son sectores de mayor acumulación hídrica en la toposecuencia. El MEME es un modelo de recomendación que requiere el conocimiento del pronóstico ENSO el cual clasifica las perspectivas hídricas de la campaña en: Niña (seco), Niño (húmedo) o Neutro. Este modelo requiere el conocimiento del precio del maíz a cosecha y el precio del fertilizante nitrogenado en forma de nitrógeno elemental. Así se construye la relación de precios presente en el modelo. Para este lote, se tomó el precio de la urea actual de 1160 usd/tn, dando un valor de la tn de nitrógeno elemento de 2521 usd/tn, y el precio de maíz según la Bolsa de comercio de Rosario (2021) tiene un valor a cosecha de 237 usd/tn (marzo 2022). Dando una relación de precios de 10,64, siendo alta este año por el valor de la urea actual.

Para la obtención de la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) a través del criterio MEME es necesario contar con un mapa de CTI. Utilizando los modelos de elevación RTK obtenidos mediante el relevamiento de precisión y el mapa de elevación promedio se realizó el cálculo de CTI utilizando la expresión publicada según Beven & Kirkby, (1979) utilizando la ecuación

$$CTI = \ln\left(\frac{SCA}{\tan(SLP)}\right) \quad (1)$$

Donde SCA es el área de cuenca específica y SLP es la pendiente de la cuenca. A través del software Qgis se corrió el modelo de CTI provisto por la cátedra de cereales de la UNRC.

El modelo MEME propone las siguientes ecuaciones (2), (3) y (4) de cálculo de DOEN en kgN/ha para cada año según su condición hídrica.

Si Año = Húmedo.

$$DOEN = \frac{\left(\frac{\rho N}{\rho M}\right) - 25.04 + 0.49CTI}{2x - 0.06} \quad (2)$$

Si Año = Neutro.

$$DOEN = \frac{\left(\frac{\rho N}{\rho M}\right) - 15.95 + 0.6273CTI}{2x - 0.0506} \quad (3)$$

Si Año = Seco

$$DOEN = \frac{\left(\frac{\rho N}{\rho M}\right) - 3.18 - 0.27CTI}{2x - 0.04} \quad (4)$$

Donde ρN representa el precio del fertilizante en forma de nitrógeno elemental, ρM representa el precio del maíz al momento de la cosecha. El cociente ($\rho N/\rho M$) representa la relación de precios.

Para poder evaluar el comportamiento del modelo en tres campañas contrastantes en términos de aportes hídricos se aplicó el modelo para un año húmedo, un año neutro y un año seco, para el mapa de elevación RTK y para el mapa de mejor ajuste. Para el análisis estadístico se compararon los mapas CTI y los mapas de prescripción generados para cada mapa de elevación (RTK y el de mejor ajuste). Nuevamente se debe elegir el modelo que mejor ajuste tenga. Una vez definido el modelo, se analizan los datos de la corrida, el R2, la constante y el parámetro lineal y los p-valor.

Resultados y discusión

Mediante el software GeoDa se realizaron los análisis, en este se utilizó el modelo del error ya que esta tenía mejor R². Una vez seleccionado el modelo, se realizaron todas las corridas, donde se puso como variable explicativa los datos del RTK y como variable dependiente cada uno de los 15 valores de altimetría, el promedio para cada implemento (cosechadora, tractor y sembradora) y el promedio general. A cada una de las 19 corridas se les observó el p-valor, R2, la constante y el parámetro lineal.

Los R2 dan en todos los casos por encima de 0.98, lo que quiere decir que la altimetría medida por las diferentes maquinarias explica la altimetría medida por RTK. El comparar entre los diferentes implementos y el promedio general, el valor más alto de R2 es el del mapa promedio (R2: 0.992184), y entre los implementos, el mejor R2 es el del tractor, luego el de la cosechadora y por último el del aplicador, aun así, todos los valores son superiores a 0.99. Por último, el promedio aleatorio posee el segundo valor más alto de ajuste de la regresión (R2: 0.992067). En cuanto a las constante u ordenada al origen, tiene un p-valor en todos los casos inferior a 0.01 es decir que la probabilidad que el azar explique la relación entre ambas altimetrías es inferior a 1%. El parámetro lineal, varía entre 0.09 y 0.9, la mayor parte de las capas tienen valores de pendiente que rondan entre 0.6 y 0.8, con un promedio de 0.7. En cuanto al p-valor, para todos los casos dio 0.00. P-valor de la altimetría en todos los casos dio 0.0000 lo que significa que la probabilidad de que el azar explique la relación es cero.

Para el cálculo de las prescripciones variables de DOEN a través del modelo MEME, se partieron de dos mapas de elevación, el mapa de alta precisión generado por el GPS RTK y el mapa promedio de las 15 capas, que fue el que mejor ajuste tuvo (Figura 1).

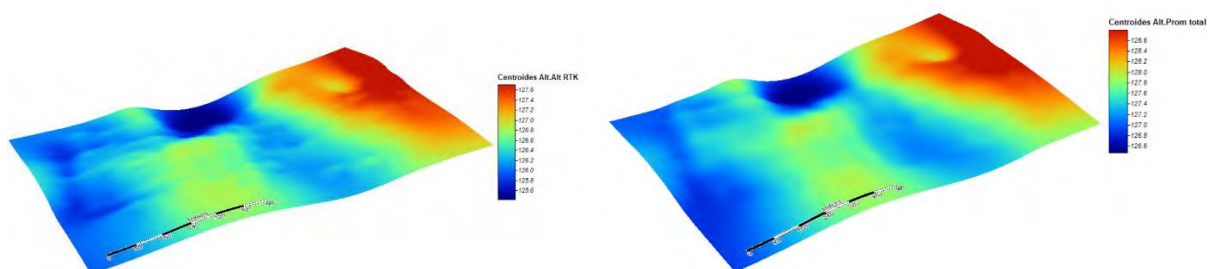


Figura 1: Comparación entre los mapas digitales de elevación 3D generados a partir de los datos de alta precisión (izquierda) y de los datos promedio de las 15 capas (derecha) del lote en estudio, generado a través de software SAGA-GIS, con exageración 50.

Los mapas de CTI generados a través de QGIS se pueden observar a continuación (figura 2). En este se aprecia que los valores de CTI más altos están ubicados en los bajos, que son los que reciben agua.



Figura 2: Mapas de CTI generados a través de QGIS, partiendo de los mapas de elevación RTK (izquierda) y del mapa de elevación promedio (derecha).

Los mapas de CTI obtenido a través de ambos mapas muestra una disminución en el ($R^2: 0.58$).

La aplicación del modelo MEME para ambos mapas arrojó valores de dosis de fertilizante nitrogenado de entre 54 kgN/ha y 87 kgN/ha para el año húmedo (Figura 3). Para el año neutro y el año seco el modelo recomendó no aplicar fertilizante nitrogenado. Esto concuerda con lo expuesto por varios autores donde en años secos la dosis de fertilizante era nula en todo el experimento y solo se recomendaba en áreas bajas donde el CTI tenía valores demasiado elevados y podría existir una cantidad determinada de humedad del suelo necesaria para aprovechar el fertilizante (Balboa, 2014). Por su parte Espósito (2013) plantea que, en años secos, la respuesta en rendimiento al agregado de nitrógeno es baja o nula, mientras que en años húmedos se obtienen las mayores producciones por fertilización nitrogenada. Por la relación de precios actual, muy alta al subir el valor del fertilizante nitrogenado el modelo no recomendó fertilizar si el año es neutro.



Figura 3: Mapa de prescripción de DOEN en kgN/ha para un año húmedo a través de un mapa de elevación RTK (izquierda) y un mapa de elevación promedio (derecha).

En donde los valores de CTI eran más altos, en las zonas que reciben agua, el modelo recomendó menos dosis de nitrógeno, mientras que donde los valores de CTI son más bajos, las zonas que escurren agua, el modelo recomendó mayor dosis de nitrógeno. Esto concuerda con lo encontrado por Espósito (2013), en donde en años húmedos la respuesta al nitrógeno es mayor donde el CTI es más bajo.

Al realizar el análisis estadístico comparando la DOEN generada por el mapa de alta precisión y el mapa promedio se obtuvo un $R^2: 0.57$, la constante de 26.3 y el parámetro lineal 0.64, similar al CTI.

Conclusión

Los mapas de altimetría individuales tienen una buena correlación con los mapas RTK. El ajuste mejora al unir los mapas de cada implemento, siendo el de la cosechadora el de mejor ajuste y menor desvío, seguido del tractor y por último el aplicador. El mapa de altimetría promedio es el de mayor ajuste, menor ordenada al origen y la pendiente más cercana a 1. El mapa de altimetría creado con la mitad de las capas es el segundo mejor mapa con ajustes muy similares al que promedio las 15 capas.

El mapa CTI realizado a partir del mapa promedio perdió precisión respecto al generado a partir del mapa RTK, con un ajuste cercano a 0,6, pero con errores muy bajos, cercanos a 0,2. Esto se debe a que los pequeños errores se propagan y magnifican al realizar parámetros topográficos derivados como es el caso del CTI.

El modelo MEME, solo recomendó fertilizar en año húmedo, con dosis muy similares para ambas fuentes. Conocer que estos mapas promedios generan prescripciones aceptables, nos permite usarlos como capa de entrada para calcular la DOEN a través del modelo MEME.

Referencias

- Balboa G. 2014. Comparación agronómica de dos criterios de dosificación de nitrógeno en maíz en la llanura bien drenada del Centro y Sur de la Provincia de Córdoba. Maestría en Ciencias. Agropecuarias. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Beven K.; Kirkby M. 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24:43-69.
- Bolsa de comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados#/>. Visto el 4/12/2021.
- Burgos E. F., L.S, Ferri; J. F. Malacrida. 2015. Aporte de la ingeniería en agrimensura a la Agricultura De Precisión. Universidad Nacional de Rosario Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería Y Agrimensura.
- Cisneros, J; C Cholaky; A Cantero Gutiérrez; J González; M Reynero; A Diez & L Bergesio (eds.). 2012. Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo. 1a ed. Río Cuarto: UniRío editorial.
- Cartas de suelo de Córdoba. 2021. Serie Laborde. INTA. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Gobierno de la provincia de Córdoba. https://obs-idecor-mapas-docs.obs.myhuaweicloud.com/cartas_suelos/PDF_Series_50mil_100mil/LABORDE.pdf. Visto el 10/11/2021.
- Espósito, G; G Balboa; C Castillo; R Balboa & A Degioanni. 2012. Fecha de siembra y fertilización variable de maíz sobre Haplustoles de Córdoba. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino y Latino Americano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.
- Espósito Goya G. 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto espacial (Meme).
- Johnen, T., U. Boettcher, H. Kage. 2014. An analysis of factors determining spatial variable grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 52, 297–306. doi:10.1016/j.eja.2013.08.005
- Kumhálová, J., F. Kumhála, M. Kroulík, S. Matějková, 2011. The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. *Precision Agriculture* 12, 813–830. doi:10.1007/s11119-011-9221-x
- Kravchenko, A.N., D.G. Bullock. 2000. Correlation of Corn and Soybean Grain Yield with Topography and Soil Properties. *Agronomy Journal* 92, 75–83. doi:10.1007/s100870050010
- Quantum Gis Development Team. 2011. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Seiler R; A.M. Wehbe; M. Vinocur; E.I. Tarasconi. 2008. Efectos del cambio climático y de la variabilidad climática sobre la producción agropecuaria: impactos y adaptación. XII Reunión Argentina de Agrometeorología, 8 al 10 de octubre de 2008. San Salvador de Jujuy. Argentina.
- Solon, J., Degorski, M., Roozielinska, E., 2007. Vegetation response to a topographicalsoil gradient☆. *Catena* 71, 309–320. doi:10.1016/j.catena.2007.01.00

Rentabilidad estimada del manejo variable de fósforo basado en un muestreo de suelo en grilla

Agustín Pagani y Juan Martín Rompani

Clarion, 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen

El objetivo fue evaluar la conveniencia económica de la fertilización variable de fósforo (P) basada en un muestreo de suelo en grilla para la región Pampeana Argentina. El estudio fue realizado en 364 lotes entre 2013 y 2021. Se realizó un muestreo de suelo en grilla (1 muestra compuesta cada 1 o 1.6 has) y se utilizó la información para simular la respuesta del rendimiento de maíz, trigo y soja a la fertilización fosforada empleando i) una dosis uniforme generada a partir del promedio de los valores de P en suelo de todos los puntos de la grilla de cada lote, o ii) una dosis variable para cada celda de la grilla y se calculó el incremento de margen bruto (MB) por hectárea para cada lote y cultivo para una fertilización con dosis variable en relación a una con dosis uniforme. La fertilización variable presentó un MB significativamente mayor que el de la fertilización con dosis uniforme y su impacto económico promedio fue de 28, 41 y 31 US\$/ha para soja, maíz y trigo, respectivamente. El incremento de MB de los tres cultivos debido a la fertilización variable se relacionó lineal y positivamente ($p < 0.05$) con el coeficiente de variación de la disponibilidad inicial de P en el suelo aunque con bajos niveles de ajuste (R^2 entre 24 y 30%). Se observaron asociaciones en forma de campana entre los componentes del incremento de margen bruto (ahorro de fertilizante e incremento adicional de rendimiento) con la proporción de cada lote en la categoría de P bajo-muy bajo y alto-muy alto. La mayor ventaja de la fertilización variable para los tres cultivos se obtiene en aquellos lotes que presentan mayores niveles de variabilidad espacial en el P del suelo pero, especialmente, cuando dicha variabilidad se encuentra equitativamente distribuida en los distintos rangos de disponibilidad.

Palabras clave. Muestreo de suelo en grilla; fertilización variable; fósforo.

Introducción

El fósforo (P) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y animales (Havlin *et al.*, 2005), por lo tanto, su manejo en la agricultura es crítico para lograr sistemas de producción económicamente viables y sustentables en el corto y largo plazo. La fertilización fosforada es una práctica muy difundida pero su implementación tradicional con dosis uniforme puede derivar en sub o sobre dosificación si el lote presenta variabilidad en la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Bullock *et al.*, 1994).

El muestreo y análisis de suelo es la metodología de diagnóstico más difundida para determinar las necesidades de fertilización fosforada para los cultivos extensivos. Una asunción básica de esta práctica es que la muestra colectada represente cierta área con un margen de error aceptable. Por lo tanto, la metodología de muestreo de suelo a emplear es un factor fundamental para conocer lo más certeramente posible la fertilidad del lote. En este sentido, los muestreos en grilla se han propuesto como herramientas efectivas para caracterizar los patrones de P y otros nutrientes (Wollenhaupt *et al.*, 1994). Este tipo de muestreo consiste en subdividir sistemáticamente un lote en áreas pequeñas o celdas y de cada una de éstas se extrae una muestra compuesta de 6 a 12 submuestras. Los valores de los análisis de suelo obtenidos por el muestreo en grilla se los puede expresar directamente en un mapa para representar las celdas como tales (cuadrícula); o bien pueden usarse para interpolación de un mapa más denso y suavizado por medio de varios métodos estadísticos. La intensidad de muestreo en grilla requerida para una prescripción efectiva con dosis variable es diferente para cada lote o región geográfica. No obstante, se ha encontrado que si el muestreo de P se realiza con grillas muy grandes, se pueden encontrar bajas correlaciones cuando los resultados se comparan con muestreos en grilla de menor tamaño. Por consiguiente, las interpolaciones que se realizan para lograr mapas de prescripción de P pueden resultar inadecuadas dando lugar a recomendaciones de fertilidad erróneas (Mallarino y Wittry, 2004). Si bien la mayoría de los suelos de la Pampa Húmeda presentan deficiencia de P (Rubio *et al.*, 2008; Sainz Rozas, 2019), la variabilidad en la disponibilidad de este nutriente a escala de lote no ha sido intensivamente estudiada como en otros países más tecnificados (Mallarino y Wittry, 2004; Fu *et al.*, 2013). Además, es escasa la información nacional donde se compare la rentabilidad de la fertilización fosforada con dosis variable en relación a un esquema tradicional de dosis uniforme y no se han reportado trabajos argentinos orientados a entender en que situaciones la fertilización fosforada con dosis variable podría ser más efectiva.

El objetivo de esta simulación fue evaluar la conveniencia económica de la fertilización variable de P basada en un muestreo de suelo en grilla para la región Pampeana Argentina. Adicionalmente, se estudiaron algunas variables relacionadas a la disponibilidad de P en el suelo para explicar el beneficio potencial de la fertilización variable con sus dos componentes: ahorro de fertilizante y aumento adicional de producción.

Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en 364 lotes de producción de la Región Pampeana Argentina entre 2013 y 2021. Se tomaron 22813 muestras de suelo siguiendo un esquema de muestreo en grillas alineadas con una intensidad de 1 muestra (compuesta por 10 submuestras a 20 centímetros de profundidad) cada 1 ha o 1.6 has dependiendo del sitio (Figura 1). Las muestras de suelo fueron secadas, molidas, tamizadas y analizadas para fósforo según la metodología de Bray-1 (Frank *et al.*, 1998).

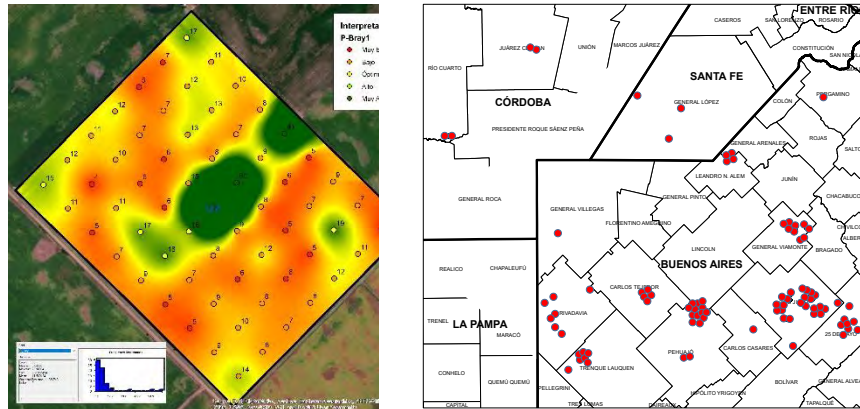


Figura 1. Ejemplo de un lote muestreado en grilla y ubicación geográfica de los 364 lotes. Algunos puntos representan más de un lote cuando estos se encontraban muy próximos entre sí.

Se utilizó la información publicada (Correndo et al., 2018; Pagani y Estelrich, 2020) para simular la respuesta del rendimiento del maíz, el trigo y la soja a la fertilización fosforada (Figura 2) empleando i) una dosis uniforme generada a partir del promedio de todos los puntos de la grilla de cada lote o ii) una dosis variable (entre 0 y 35 kg P/ha) para cada celda de la grilla. En ambos casos se utilizaron las recomendaciones publicadas en Echeverría y García (1998) para definir la dosis de fertilizante según el nivel de P-Bray-1 en el suelo. Se asumió como fuente de P el súper fosfato triple (850 US\$/ton) y se consideraron los siguientes precios para soja, maíz y trigo 350, 240 y 240 US\$/ton, respectivamente. A dichos precios se les descontaron los gastos de flete y comercialización y se calculó el incremento de margen bruto (MB) por hectárea para cada lote y cultivo para una fertilización con dosis variable en relación a una con dosis uniforme.

Finalmente, se relacionó el incremento de MB (comparando el manejo de P con dosis variable vs. el manejo uniforme) y sus componentes, ahorro de fertilizante e incremento adicional de rendimiento con el desvío standard del P inicial en el suelo y con el porcentaje del área de cada lote en la categoría baja y muy baja (menor a 7 y 15 ppm, respectivamente) y alta y muy alta (mayor a 20 y 30 ppm, respectivamente).

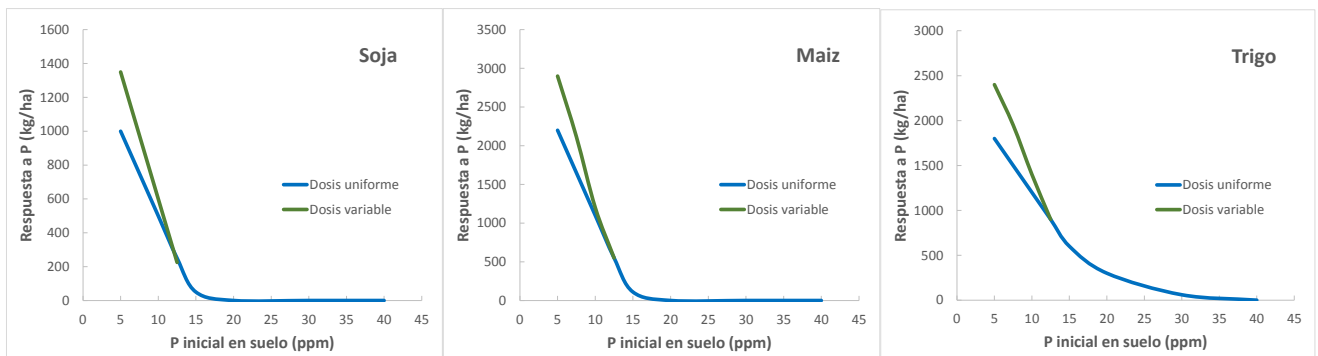


Figura 2. Respuesta de los cultivos de soja, maíz y trigo a la fertilización fosforada con dosis uniforme (20 kg P/ha) y con dosis variable (entre 0 y 35 kg P/ha) en función de la disponibilidad inicial de P del suelo. Información recopilada y adaptada de múltiples ensayos realizados en la Región Pampeana (Correndo et al., 2018; Pagani y Estelrich, 2020).

Resultados y Discusión

Los lotes muestreados presentaron diferentes niveles de variabilidad espacial en la disponibilidad de P con desvíos estándar que variaron entre 2 y 41 ppm y rangos entre 2 y 221 ppm (Figura 3), lo que representa una condición característica de la región pampeana Argentina. Los resultados de estas

simulaciones muestran que la fertilización variable presentó un MB significativamente mayor que el de la fertilización con dosis uniforme (Figura 4) y su impacto económico promedio fue de 28, 41 y 31 US\$/ha para soja, maíz y trigo, respectivamente.

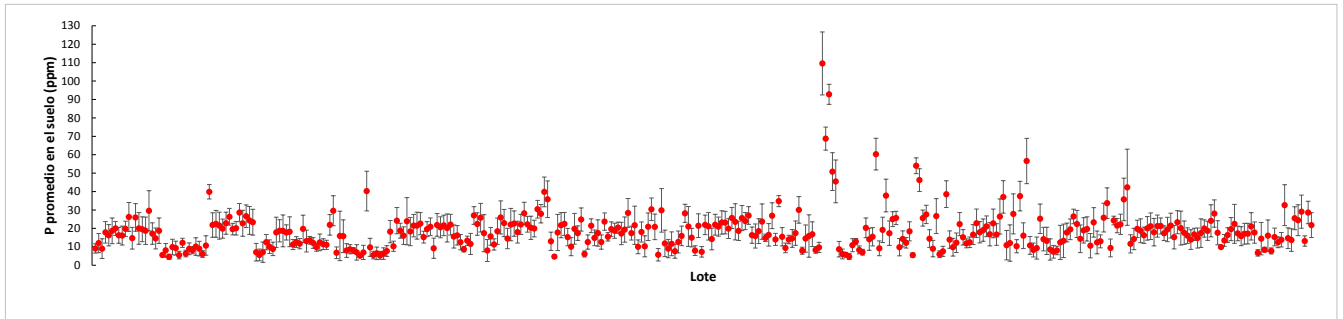


Figura 3. Disponibilidad inicial de fósforo (P) promedio de cada uno de los 364 lotes muestreados en grilla. Las barras verticales indican el desvío estándar de la media.

Cabe aclarar que este aumento simulado de MB se compone de ahorro de fertilizante y/o aumento en la respuesta a P y solo contempla efectos de corto plazo, ignorando la residualidad de la fertilización y las ventajas para el sistema que la dosis variable de largo plazo provoca al disminuir la variabilidad de P en el suelo (Mallarino y Wittry, 2004). Si bien este análisis representa una simple simulación utilizando supuestos publicados en la bibliografía nacional, los resultados obtenidos se consideran orientativos de la rentabilidad de corto plazo (1 año) de la fertilización con dosis variable respecto a un planteo tradicional con dosis uniforme.



Figura 4. Incremento de margen bruto por hectárea estimado de la fertilización fosforada con dosis variable respecto a un planteo uniforme para maíz, trigo y soja para los 364 lotes. Dichos incrementos se componen en ahorro de fertilizante y/o aumento adicional de producción cuando la dosis variable aplica una dosis de P mayor que la dosis uniforme. La línea punteada horizontal representa el incremento de margen bruto promedio de todos los lotes.

El incremento de margen bruto de los tres cultivos debido a la fertilización variable se relacionó lineal y positivamente ($p < 0.05$) con el coeficiente de variación de la disponibilidad inicial de P en el suelo, aunque con bajos niveles de ajuste (R^2 entre 24 y 30%, datos no mostrados). Este resultado puede explicarse considerando que el desvío estándar, si bien es un indicador simple del nivel de dispersión de una variable, presenta alta sensibilidad a (unos pocos) valores extremos y puede sobreestimar la variabilidad que es agronómicamente más importante. Por esa razón, se estudiaron otros indicadores que intenten representar como se distribuye dicha variabilidad en la disponibilidad de P en el suelo dentro del lote. En este sentido, se observaron asociaciones en forma de campana entre los componentes del incremento de margen bruto (P variable vs. uniforme) con la proporción de cada lote en la categoría de P bajo y muy bajo y alto y muy alto (Figura 5). Estos resultados sugieren que la mayor ventaja de la fertilización variable para los tres cultivos se obtiene en aquellos lotes que presentan mayores niveles de variabilidad espacial en el P del suelo pero especialmente, cuando dicha variabilidad se encuentra equitativamente distribuida en los distintos rangos de disponibilidad. En otras palabras, la ventaja de la fertilización variable tiende a diluirse a medida que el lote presente mayor proporción de la superficie con valores extremadamente bajos (donde una dosis uniforme alta sería satisfactoria) o extremadamente altos de P en el suelo (donde no se requiere fertilización). Esta información está en línea con lo reportado en otros trabajos (Murdock y Howe, 1997; Wittry y Mallarino 2004; Peralta et al., 2021) y representa el primer estudio nacional en la región pampeana donde se realice esta comparación con un número significativo de casos de estudio.

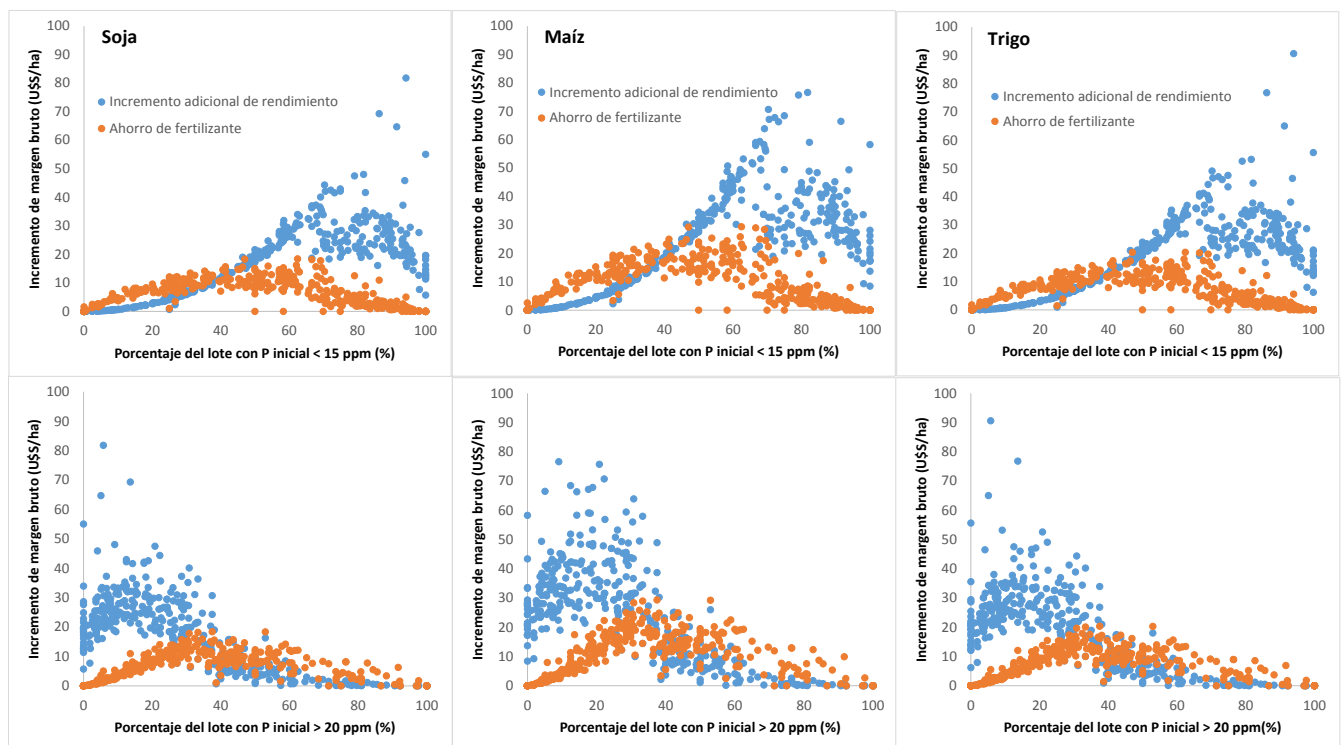


Figura 5. Incremento de margen bruto por hectárea estimado proveniente del ahorro de fertilizante e incremento adicional de rendimiento de la fertilización fosforada con dosis variable respecto a la uniforme para maíz, trigo y soja en función del porcentaje del lote con fósforo (P) inicial en el suelo menor a 7 ppm (categorías muy bajo y bajo) y mayor a 20 ppm (categorías alto y muy alto) para los 364 lotes.

Referencias

Memorias del Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión

Manfredi, Argentina, 30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022.

- Bullock, D.G., R.G. Hoef, P. Dorman, T. Macy, & R. Olson. 1994. Nutrient management with intensive soil sampling and differential fertilizer spreading. *Better Crops Plant Food* 78:10–12.
- Correndo, A. 2018. Variables asociadas a la respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en maíz y soja en región pampeana. Tesis M.S. EPG FAUBA. Julio 2018.
- Echeverría H. & F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Frank, K., D. Beegle & J. Denning. 1998. Phosphorus. p. 21–29. En J.L. Brown (ed.) Recommended chemical soil test procedures for the North Central region. North Central Regional Publ. 221 (rev.). Publ. SB 1001.
- Fu, W., K. Zhao, P. Jiang & Z. Ye. 2013. Field-scale variability of soil test phosphorus and other nutrients in grasslands under long-term agricultural managements. *Soil Res.* 51(6): 503.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, & W.L. Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers. 7th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. p. 515.
- Mallarino, AP & DJ Wittry. 2004. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agric.* 5:131-144.
- Murdock, LW. & Howe, P.L. 1997. Profitability of Variable Rate Fertilization on a Kentucky Soil (a Theoretical Analysis). *Soil Sci. News Views.* Vol. 18, No. 10.
- Pagani, A., & Estelrich C. 2020. Evaluación física y económica de la fertilización con fósforo en experimentos de largo plazo. Poster No 344, Comisión 3. 27mo Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13 al 16 de Octubre 2020, Corrientes, Argentina.
- Peralta, NR, Trueba, M., Wyngaard, N., Córdoba M. & Salleses, L. 2021. Agricultura de precisión: Dosis variable de fósforo en soja (*Glycine max* (L.) Merr.). *Cienc. Suelo (Argentina)* 39 (1): 112-126.
- Rubio, G; FH Gutiérrez Boem & MJ Cabello. 2008. Estimating available soil phosphorus increases after phosphorus additions in Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1721–1727.
- Sainz Rozas, HE; N Wyngaard; M Eyherabide; G Larrea; N Martínez Cuesta; NI Reussi Calvo & H Angelini. 2019. Cambios en la disponibilidad de nutrientes en la región pampeana. Actas XXVII Congreso AAPRESID. Rosario, 7 al 9 de agosto.
- Wollenhaupt, N.C., R.P. Wolkowski, & M.K. Clayton. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.* 7:441-448.

CORRELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD PRODUCTIVA INTRALOTE Y LOS INDICES: NDVI, EVI Y SAVI, PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN LOTES DEL SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Ing. Agr. Saleme Karim¹; Ing. Agr. Ohanian Ignacio²; Ing. Agr. Nieto Agustín³; Ing. Agr. Cerliani Cecilia⁴; Ing. Agr. Degioanni Américo⁵

¹ksaleme1@gmail.com, Tomas Hnos y Cia S.A, Río Cuarto, Córdoba, Argentina; ²iohanian@ayv.unrc.edu.ar, Departamento de Producción Animal, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina; ³Nieto Agustín, nietoagustin23@gmail.com, Nutrien Ag Solutions, Río Cuarto, Córdoba, Argentina; ⁴ccerliani@ayv.unrc.edu.ar Departamento de Producción Vegetal, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina; ⁵ adegioanni@ayv.unrc.edu.ar Departamento Ecología Agraria, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Trabajo presentado al

**Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *En la actualidad en Argentina, los principales cultivos se realizan sobre superficie arrendada (50-60%), esto, genera una alta rotación de lotes, con una consecuente interrupción en la recolección de datos y escasa a nula transferencia de información (mapas de rendimiento). El objetivo del trabajo, fue comparar la zonificación realizada a través de índices normalizados de vegetación, con una zonificación a partir de un mapa de rendimiento de maíz. Ambas fuentes de datos fueron procesadas para generar mapas de ambientes productivos (alto, medio y bajo) a escala de lote. La similitud entre zonas de manejo delimitadas a partir de un mapa de rendimiento clasificado versus las obtenidas por la clasificación de imágenes satelitales, varió entre el 37- 80%; las menores coincidencias se obtuvieron en zonas de media producción y los mayores en zonas de alta y baja producción. Se puede concluir que para este caso la zonificación generada a partir de imágenes satelitales es una herramienta muy valiosa, de bajo costo, y de gran correlación espacial con el mapa de rinde.*

Palabras claves.

Zonificación; Mapa de Rinde; Imágenes Satelitales; NDVI; Agricultura de Precisión; Teledetección; Variabilidad; Maíz.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas productivos de Argentina, presentan variabilidad en los factores que los definen: topografía, suelo, régimen hídrico, materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, entre otros; que se traducen en diferencias en el potencial de rendimiento, aún dentro de un mismo lote.

La agricultura de precisión (AP), es una estrategia de manejo que utiliza información electrónica y otras tecnologías para adquirir, procesar y analizar datos espaciales y temporales para la toma de decisiones objetivas que mejoren la eficiencia, la productividad y sustentabilidad de las operaciones agrícolas (ISPA 2018).

En la actualidad distintos autores resaltan que entre el 50 y 60% de la producción de los principales cultivos de la Argentina se hace bajo algún esquema de arrendamiento, lo cual marca un claro camino de separación entre la propiedad y el manejo productivo de la tierra (Brescia y Lema 2004; Díaz Hermelo y Reca 2010),

Bajo este sistema de producción se genera una alta rotación de lotes productivos, con una consecuente interrupción en la recolección de datos, escasa a nula transferencia de información de un arrendatario al siguiente, desconocimiento de la historia del lote, etc. En estas condiciones la información que se dispone para la zonificación puede ser generadas por recorridas al lote, cartas de suelo, historial del lote, entre otros; sin tener acceso a capas de mayor detalle, como mapas de rinde, que permitan visualizar la variabilidad intralote.

Sin embargo la información recolectada por satélites espaciales, permite generar imágenes que ponen de manifiesto la variabilidad intralote y zonificar en función de potenciales productivos. A su vez son de fácil acceso, gratuito, gran disponibilidad y diversa (en cuanto a sensores e índices).

Realizar una primera zonificación, a través de imágenes satelitales permite realizar manejos más precisos y eficientes en la asignación de recursos sin tener la necesidad de contar con un mapa de rendimiento del mismo. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar la correlación entre una zonificación realizada a través de índices recolectados de imágenes satelitales (NDVI; EVI y SAVI) y una zonificación en base a un mapa de rinde.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó sobre 3 lotes del sur de la provincia de Córdoba. Dos de ellos ubicados en la zona rural de Las Vertientes (33°18'54.10"S; 64°30'19.27"O) Lote 1 y Lote 2"; y otro lote ubicado en la zona rural de Adelia María, (33°36'20.94"S; 63°57'42.78"O) "Lote 3". En los lotes 1 y 2 se evaluaron datos de la campaña 19-20 (cultivo de maíz temprano) y el lote 3, se utilizaron datos de la campaña 20-21, (cultivo de maíz tardío). Las zonificaciones fueron obtenidas mediante el procesamiento de mapas de rendimiento; el procesamiento de imágenes satelitales y posteriormente se compararon ambas zonificaciones.

Los mapas de rendimiento fueron procesados utilizando el software QGis, se eliminaron los datos outliers y luego mediante IQ se clasificaron los datos en 3 categorías según rinde: Baja, Media y Alta producción.

Simultáneamente se descargaron de la plataforma Land Viewer, imágenes satelitales ("Sentinel 2-B", de dos

fechas contrastantes. La primera correspondiente a un estadio fenológico temprano del cultivo de maíz (aproximado V6) y la segunda fecha en un estado más avanzado, cercano a floración (Vt).

A partir de estas imágenes se calcularon los siguientes índices: **Índice de Vegetación de diferencia Normalizado (NDVI)**, **Índice de Vegetación Mejorado (EVI)** y el **Índice de Vegetación ajustado al suelo (SAVI)**, debido al comportamiento diferencial ante determinadas condiciones de cobertura vegetal, suelo y clima, se eligieron dos fechas contrastantes, para evaluar el comportamiento de cada uno.

Por último, las imágenes de cada uno de los índices se clasificaron; al igual que los mapas de rendimiento; en 3 categorías, Bajo, Medio y Alto.

Posteriormente se unieron mediante una cuadrícula el mapa de rendimiento, NDVI, EVI y SAVI, se creó un nuevo campo para cada atributo, asignando a todos los puntos de la categoría Baja producción un valor de 10, a los de media 20 y a la de alta producción, 30. Lo mismo se realizó con los tres índices, pero asignándole un valor de 1, 2 y 3 a las categorías de bajo, medio y alto índice, respectivamente.

Con el objetivo de identificar el índice que mejor ajustó con el mapa de rendimiento fue aplicada una operación aritmética entre capas de polígonos (mapa de rendimiento testigo clasificado e índice clasificado). La operación permitió detectar aquellos puntos con igual valor en ambas imágenes y calcular el porcentaje de coincidencias. Se sumaron los campos de Clasificación mapa de rinde y clasificación de cada índice. De todos los posibles resultados interesan sólo aquellos valores con las dos cifras iguales: 11, 22 y 33. Estos indican coincidencia entre mapas (mapa de rinde vs índices) correspondiendo a bajo-bajo, medio-medio y alto-alto respectivamente.

El porcentaje de coincidencias se calculó como el cociente entre el número de polígonos coincidentes y el número total de polígonos para cada zona del mapa de rinde.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla, se presentan las coincidencias de los distintos índices con los mapas de rendimiento para los tres lotes evaluados. Los porcentajes de coincidencia totales fluctúan en el rango del 52 al 75 %. A su vez, dentro de la categoría de producción, la de media, fue la que menor correlación obtuvo con todos los índices, con valores entre 33 y 63% de coincidencia. Esto se puede deber a que en el momento de tomar la imagen satelital (V6/Vt), poseen una reflectancia medía y luego según las condiciones climáticas del año, principalmente en el periodo crítico, pueden virar hacia alta o baja producción.

Tabla 1. Resultados en porcentaje (%) de coincidencias para cada índice evaluado en diferentes estadios

		NDVI		EVI		SAVI	
		Estadio Temprano	Estadio Avanzado	Estadio Temprano	Estadio Avanzado	Estadio Temprano	Estadio Avanzado
Lote 1	Bajo	63.49	80.11	58.41	71.96	58.97	72.4
	Medio	48.71	63.21	44.38	53.17	43.82	53.17
	Alto	68.95	79.86	65.87	71.96	65.06	72.21
	Total	60.38	74.4	56.22	65.7	55.95	65.93
Lote 2	Bajo	52.6	59.25	59.44	59.25	60.6	62.68
	Medio	43.84	45.1	43	45.1	45.45	43.84
	Alto	62.26	63.29	59.21	63.29	62.56	61.83
	Total	52.84	55.81	53.81	55.81	56.13	56.03
Lote 3	Bajo	61.44	48.26	58.76	47.62	59.4	49.3
	Medio	38.29	37.8	38.37	36.75	38.77	33.76
	Alto	54.95	50.74	52.77	44.09	53.6	48.39
	Total	51.61	45.64	50.01	42.85	50.64	43.86

En Lote 1 se observa una mayor correlación de los mapas de rinde con el NDVI, tanto para el estadio temprano (V6), como para el estadio avanzado (Vt), con un valor máximo de 74.4 % en este último. Esto puede deberse a que el lote presenta una marcada variabilidad espacial en comparación con los demás lotes. Por lo que este índice presentaría un mejor ajuste y sería recomendado para ambientar lotes con marcada variabilidad espacial. Además, podemos observar un elevado porcentaje de coincidencias en estadios avanzados del cultivo con valores de entre el 65 al 80%.

En el lote 2, podemos observar que las imágenes satelitales tomadas en estadios tempranos, y expresadas con el índice SAVI obtuvo un mejor ajuste respecto al testigo (mapa de rinde).

En el lote 3 podemos observar que el índice NDVI marcó una pequeña diferencia (de entre el 1 y 2%) respecto al resto, tanto en estadios tempranos como avanzados.

CONCLUSIONES

Las zonificaciones generadas a partir de imágenes satelitales son una herramienta muy valiosa, ya que poseen un costo muy bajo, están disponible con abundancia, y posee una gran correlación espacial con lo reflejado por el mapa de rinde. No obstante, deben estar acompañadas, por información adicional, como datos de campo, cartas de suelo de semidetalle (1:50.000), modelo digital de elevación, que ayude a un mejor ajuste de la ambientación.

Los valores de coincidencias obtenidos, entre 60 y 80% respecto al mapa de rinde puede asegurarnos una ambientación con buen ajuste para lotes en donde hay ausencia de información detallada como mapas de rinde. Se debe tener en cuenta que la información provista por las imágenes satelitales está directamente relacionada con la biomasa verde del cultivo, y no con el rinde por unidad de superficie. Por lo que pequeñas variaciones en el ambiente entre la toma de la imagen y la cosecha pueden influir drásticamente sobre el rendimiento y por lo tanto sobre los porcentajes de coincidencias.

Un aspecto a considerar en trabajos futuros, es analizar el impacto en los resultados de la elección de la fecha de la imagen, es decir, si es suficiente utilizar una única imagen, o considerar más imágenes de modo de explicar mejor la variabilidad del lote. Otra opción metodológica, es analizar otros índices como la concentración de clorofila en la hoja (GCI).

Finalmente, ante la necesidad de disponer de una metodología barata y expeditiva para la toma de decisiones a la hora de planificar una campaña agrícola, se recomienda ambientar y asignar recursos, en función de los pronósticos meteorológicos a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos en primer lugar agradecer al Universidad Nacional de Río Cuarto y la Facultad de Agronomía y Veterinaria por permitirnos continuar formándonos como profesionales y en segundo lugar al cuerpo docente a cargo de la Diplomatura Superior en Agricultura de Precisión por elegir nuestro trabajo para presentarlo en dicho congreso.

Referencias

- Brescia, V y Lema, D (2004). "Tenencia de la tierra, contratos y usos de recursos en la producción agrícola pampeana: Teoría y evidencia", Instituto de Economía y Sociología, INTA.
- DE LA BARRERA, G.; PUGLIESE, E.; SECULIN, J.; YAÑEZ, E.; 2014. "Relación entre datos de mapas de rendimiento de cultivos de grano y el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)".
- GARÍN E.A.; 2020. "Correlación entre la variabilidad productiva intralote y el índice verde normalizado (ndvi) histórico de imágenes multiespectrales para el cultivo de soja, en lotes del noroeste de la provincia de buenos aires." Trabajo final para optar al grado de ingeniero agrónomo. UNNOBA.
- PIERCE, F. J. Y NOWAK, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy* 67: 1-85.
- ZAJAC, C, C; VALLEJOS A.; ZAJAC, E, E; GALANTINI J.A.: 2013. "Análisis del rendimiento en cereales de invierno mediante mapas de rendimiento y el índice de vegetación de diferencia normalizada (ndvi) en el sudoeste bonaerense". *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* (2013) 29(2): 95-102.

ESTIMACIÓN DE ALTURA EN PARCELAS DE TRIGO CON LIDAR y FOTOGRAMETRÍA 3D A BORDO DE UAV

Néstor Di Leo^{1, 2}; Alfredo Lagleize³; Juan Cruz Skobalski⁴

¹ Centro de Estudios Territoriales - FCA - Universidad Nacional de Rosario, Zavalla, Santa Fe, Argentina. ² Agronomía de Precisión - IAPCBA - Universidad Nacional de Villa María, Córdoba, Argentina. ³ Drone Services by USS, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina. ⁴ Grupo Don Mario (GDM) - Sector Investigación, Chacabuco, Buenos Aires, Argentina

Email de contacto: ndileo@unr.edu.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. El carácter altura de la planta es uno de los parámetros más importantes para la selección de distintos materiales genéticos en programas de mejoramiento de trigo, ya que está asociado con rendimiento de grano, biomasa total del cultivo, susceptibilidad al vuelco o quiebre del tallo, resistencia a ciertas enfermedades, entre otras. Dentro del fenotipado de plantas, tanto las cámaras RGB como los sensores LiDAR, a bordo de UAVs, son métodos relativamente novedosos y promisorios para estimar diversas características de las plantas, ya que posibilita la reconstrucción 3D del canopeo y con esto la determinación de altura, biomasa, cobertura del suelo, etc. El objetivo de este trabajo es realizar una comparación preliminar entre los productos resultantes de un sensor LiDAR y del procesamiento fotogramétrico tridimensional de imágenes RGB (F3D), en la determinación de altura de plantas en parcelas de trigo, en el marco de las tareas de fenotipado de plantas para el mejoramiento vegetal. En general, el sensoramiento por LiDAR proporcionó los mejores resultados. El ajuste entre ambos métodos proporcionó un R^2 de 0,55 debido a que la resolución empleada en F3D probablemente no fue lo suficientemente alta. En conclusión, se sugiere que tanto LiDAR como F3D son métodos confiables para la evaluación de altura en trigo, pero se debe ajustar la resolución espacial en F3D y las validaciones a campo deben ser más representativas (mayor n) que las empleadas en este trabajo.

Palabras clave. Fenotipado, Vehículo aéreo no tripulado (UAV), LiDAR, Fotogrametría 3D, Trigo

Introducción

El carácter altura de la planta es uno de los parámetros más importantes para la selección de distintos materiales genéticos en el marco de un programa de mejoramiento. Para el cultivo de trigo, la altura está asociada con el rendimiento de grano, la biomasa total del cultivo, la susceptibilidad al vuelco o quiebre del tallo, la resistencia a ciertas enfermedades, entre otras. La metodología tradicional para la medición de altura en ensayos de trigo implica el empleo de varas o cintas con una escala métrica, que el observador debe ir aproximando o insertando en las unidades experimentales para luego registrar las lecturas en algún soporte analógico o digital. Este método es bastante exigente en cuanto a tiempo y/o cantidad de mano de obra abocada a esta tarea, y propenso a la comisión de errores de lectura y/o registro. Por lo tanto, la posibilidad de automatizar el registro de esta variable resulta relevante (Yuan et al, 2018).

El fenotipado de plantas ha ido ganando popularidad en los últimos años debido a su capacidad para detectar diversas características de las plantas individuales o los cultivos de manera no destructiva y con alto rendimiento operativo. Los sensores LiDAR a bordo de UAVs son métodos relativamente novedosos para estimar diversas características de las plantas, como la altura, la biomasa y la cobertura del suelo. Es considerada una tecnología promisoría que posibilita la reconstrucción 3D del canopeo debido a su alta resolución espacial, baja divergencia de haz y versatilidad, independientemente de las condiciones de luz ambiental. Por otra parte, las técnicas fotogramétricas 3D (F3D), a partir de cámaras georreferenciadas y orientadas instaladas a bordo de UAVs hace alrededor de una década que se vienen testeando y empleando para la determinación de altura de plantas en el fenotipado de ensayos de cultivos. La bibliografía especializada da cuenta de errores cuadráticos medios (RMSE) consistentemente bajos, y coeficientes de determinación (R^2), de entre 0,44 y 0,99 para ambas técnicas en distintas condiciones y cultivos, con una leve ventaja para el LiDAR por sobre la F3D (Madec et al, 2017; Yuan et al, 2018).

El objetivo de este trabajo es realizar una comparación preliminar entre los productos surgidos de ambos sensores en la determinación de altura de plantas en parcelas de trigo, en el marco de las tareas de fenotipado de plantas mediante sensores remotos aerotransportados.

Materiales y Métodos

Sitio experimental y recolección de datos

La prueba experimental se realizó durante la temporada de crecimiento del invierno 2021 en el campo experimental de la empresa Don Mario, ubicado en Chacabuco, provincia de Buenos Aires, Argentina (34°34'36" S; 60°21'36" O). El ensayo estaba compuesto por 90 parcelas de trigo en un diseño en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Los materiales genéticos a evaluar consistían en 30 genotipos experimentales pertenecientes al programa de mejoramiento de la empresa. La siembra del ensayo se realizó el 10 de junio de 2021, y las parcelas del mismo se cosecharon entre el 4 y el 8 de diciembre del mismo año.

La recolección de los datos se realizó el 1 de diciembre de 2021, con condiciones meteorológicas óptimas (escaso viento y día despejado), sobre el primero bloque del ensayo. En éste, tres días antes del vuelo se midió la altura de las plantas desde la superficie del suelo hasta la parte superior de la espiga, excluyendo las aristas. Para cada parcela se tomaron tres mediciones al azar y se promediaron, constituyendo la altura de referencia de la parcela. El vuelo del UAV portando a bordo tanto al sensor LiDAR como a la cámara fotogramétrica se efectuó a las 13:00 horas. La altura de vuelo de la aeronave fue de 60 m desde el sitio de despegue (ATO).

Sistema aerotransportado de fenotipado

El hardware consiste en una plataforma aérea DJI Matrice 210 con geoposicionamiento por GNSS y corrección diferencial RTK (DJI, Shenzhen, China) (Figura 1). Sobre ésta, va montado el sistema

LiDAR de estado sólido modelo LiAir V70, el cual es diseñado y producido por GreenValley International.



Figura 1. Momento previo al comienzo de la misión de relevamiento del UAV donde se aprecian la totalidad de sus componentes de control y geoposicionamiento de precisión. Nótese el avanzado estado de madurez del trigo.

Este conjunto incorpora e integra una cámara digital de alta definición marca Sony, modelo A5100, que se puede utilizar para generar productos de fotogrametría (fotomosaicos y nubes de puntos 3D), en la misma misión de telerrelevamiento sobre los sitios u objetos de interés. Las dimensiones de este sistema sensor son 178 * 81.6 * 140.2 mm y su peso es de 1.1 kg (Figura 2). El sensor LiDAR presenta una tasa de escaneo máxima de 240.000 puntos/seg, lo que en modo triple retorno posibilita el registro de 720.000 pts/s en total; su campo de visión instantáneo es de 70,4° (horizontal) y 4,5° (vertical), y su distancia máxima de detección oscila entre 180 m (10% de reflectividad) a 450 m cuando la reflectividad del objeto/sitio de interés es del 80%, en estas condiciones la precisión en alcance es de ± 2 cm. La cámara RGB incorporada presenta una resolución efectiva de 6000 x 3376 píxeles, y se basa en un sensor de captura CMOS Exmor APS-C (23,5 x 15,6 mm) de 24,3 megapíxeles. Se configuró el modo de captura en automático y el balance de blancos para día soleado. A la altura de vuelo empleada en la misión, se generaron fotogramas de aproximadamente 1,44 cm/pixel.

El software que lleva a cabo el procesamiento y la gestión de la nube de puntos se denomina LiDAR 360 versión 5.0, desarrollado por el mismo fabricante del sensor LiDAR, cuyas funciones incluyen la gestión de datos y comprobaciones de calidad, alineación automática de bandas, clasificación de nubes de puntos, etc. A partir de la nube de puntos lograda, se suceden algunos filtrados adicionales y finalmente se interpola el DSM.

Las imágenes RGB se procesaron utilizando el software Pix4Dmapper (Pix4D, Lausana, Suiza) para generar un modelo digital de superficie (DSM).



Figura 2. Disposición del sensor integrado LiAir V70 en la parte ventral del UAV DJI Matrice 210 (izq.). Detalle de la cámara Sony 5100 integrada en la carcasa del sensor (der.).

La carga de los fotogramas individuales debe ser acompañada por la adición de un archivo de geolocalización que genera el autopiloto del dron, que contiene las tres coordenadas (longitud, latitud y altura), junto con los tres ángulos de inclinación (rolido, alabeo y cabeceo). Luego el geoprocesamiento prosigue en tres pasos, en el último de los cuales se empleó la triangulación de Delaunay para interpolar entre puntos de enlace para generar el DSM, cuya salida queda guardada bajo un archivo GeoTIFF.

Resultados y Discusión

En la figura 3 se muestra la disposición de las 30 parcelas relevadas, superpuestas al fotomosaico surgido del relevamiento. En las figuras 4 (a) y (b) se observan las vistas 3D de la nube de puntos generadas por el sensor LiDAR y la nube de puntos densificada surgida del procesamiento fotogramétrico de las capturas de la cámara RGB. La primera de estas claramente presenta mayor densidad de puntos (a razón de 2037 pts/m²) que la segunda (con 502 pts/m²).

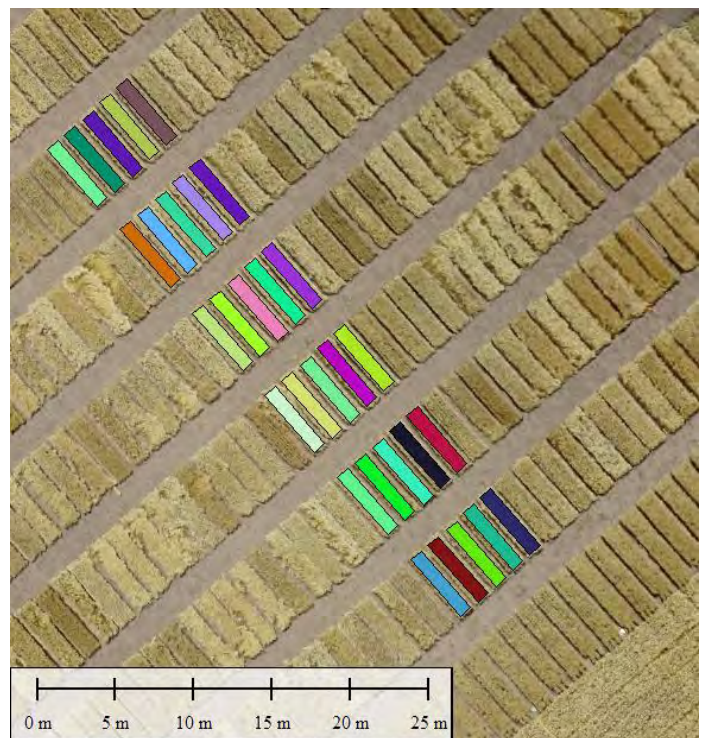
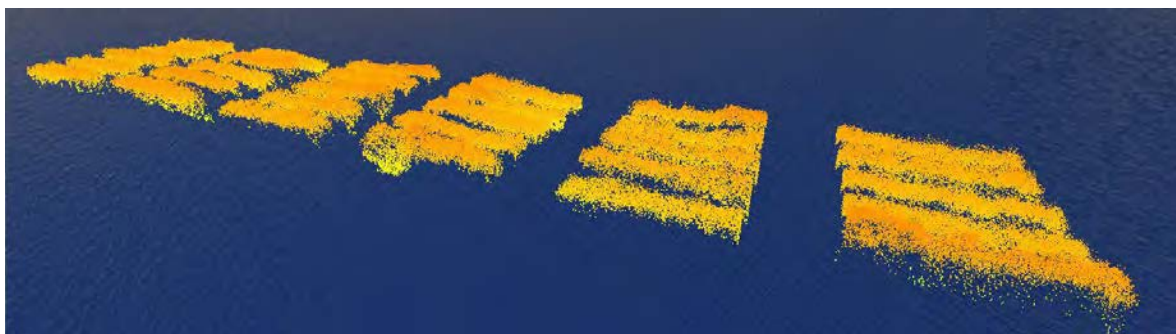


Figura 3: Parcelas correspondientes al primer bloque del ensayo de trigo evaluado.



(a)



(b)

Figura 4. Nube de puntos proveniente del sensor LiDAR LiAir V70 (a), y nube de puntos densa surgida del geoprocesamiento fotogramétrico de las imágenes RGB captadas por la cámara Sony 5100 (b).

En la figura 5 se muestra la regresión entre las alturas del canopeo de las variedades de trigo en cada parcela registradas en la nube de puntos obtenida a partir del LiDAR, respecto de F3D; la similitud fue

a lo sumo intermedia entre ambos sensores. La ordenada al origen se presume que obedece a alguna configuración errónea de la posición focal de la cámara respecto del LiDAR, ya que el controlador de vuelo del UAV, junto con su geoposicionador GNSS con corrección diferencial RTK se halla configurado respecto de este último sensor. En pruebas sucesivas se podrán ajustar estos aspectos.

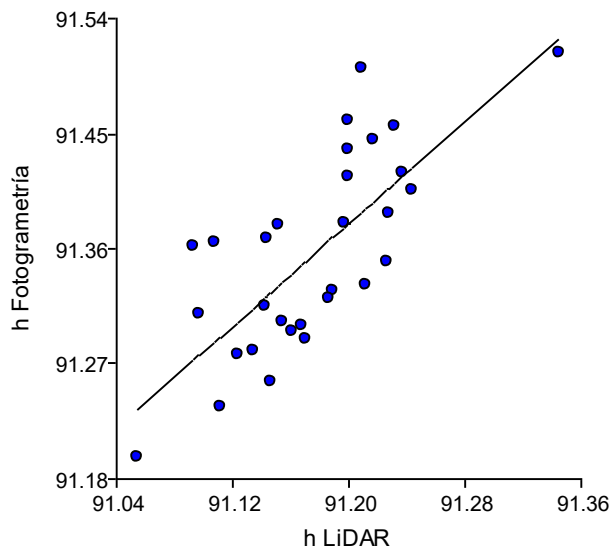


Figura 5. Regresión entre las alturas promedio de las parcelas (n = 30), según la nube de puntos del LiDAR (h LiDAR), versus las estimadas por la nube de puntos densificada obtenida por fotogrametría (h Fotogrametría). $R^2 = 0,55$; r Pearson = 0,70.

medición real a campo, arrojó ajustes bastante bajos ($R^2 = 0,54$ para LiDAR y $R^2 = 0,25$ para fotogrametría). Es probable que la causa de esto sea la medición al azar de la altura en tres sitios para luego promediar. Se deberá probar con un número mayor de muestras al azar por cada parcela, o sistematizar esta determinación según distancias fijas.

Conclusiones

Tanto el relevamiento activo por LiDAR como la F3D se muestran como eficaces en la determinación de altura en fenotipado de trigo, aunque la para la última se deben emplear resoluciones espaciales más altas. También, el registro de alturas a campo para las validaciones debe ajustarse y poseer una densidad mucho mayor para poder representar adecuadamente los datos 3D de ambos sensores. En futuros trabajos se deben comparar en etapas fenológicas distintas y ajustando todos los parámetros.

Referencias

- Guo, W.; Carroll, M. E.; Singh, A.; Swetnam, T. L.; Merchant, N.; Sarkar, S.; Singh, A. K.; Ganapathysubramanian, B. (2021). UAS-Based Plant Phenotyping for Research and Breeding Applications, *Plant Phenomics* 2021, (ID 9840192), 21 p. <https://doi.org/10.34133/2021/9840192>
- Madec, S.; Baret, F.; de Solan, B.; Thomas, S.; Dutartre, D.; Jezequel, S.; Hemmerlé, M.; Colombeau, G.; Comar, A. (2017). High-Throughput Phenotyping of Plant Height: Comparing Unmanned Aerial Vehicles and Ground LiDAR Estimates. *Frontiers in Plant Science* 8, p. 1–14.
- Yuan, W.; Li, J.; Bhatta, M.; Shi, Y.; Baenziger, P.S.; Ge, Y. (2018). Wheat Height Estimation Using LiDAR in Comparison to Ultrasonic Sensor and UAS. *Sensors* 18(11), 3731. <https://doi.org/10.3390/s18113731>

Análisis de las brechas de rendimientos de maíces en el sur de Marcos Juárez

Garis, A. ⁽¹⁾; Marinangeli, A.V. ⁽¹⁾; Pettinari, A.F. ⁽¹⁾; Muñoz, S. ⁽²⁾; Conde, MB. ⁽²⁾; Lingua, A. ⁽³⁾; Luque, S.F. ⁽¹⁾

¹Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, cátedra Cereales y Oleaginosas. ²EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. ³Aprecia, Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Cuantificar y analizar las brechas de rendimiento del cultivo de maíz es clave para detectar factores que limitan el rendimiento y para diseñar estrategias de manejo adecuadas. En la campaña 2020-2021, al sur de la ciudad de Marcos Juárez y en dos ambientes productivos (medio y alto), se evaluaron tratamientos de fertilización nitrogenada con tres dosis ajustadas a cada ambiente y dos estrategias de aplicación del fertilizante, con y sin re fertilización. Se estimó el rendimiento potencial (Y_p), se determinó el rendimiento logrado por el productor (Y_a) y se cuantificaron las brechas de rendimiento debidas a la disponibilidad de agua (Y_{gw}) y las debidas al manejo del cultivo (Y_{ga}). El Y_p estimado fue de 25,3 tn/ha y el Y_a osciló entre 9,4 y 14,8 tn/ha. La brecha entre el rendimiento potencial y el Y_a fue de 15,9 tn/ha y la Y_{ga} fue de 5,9 y de 3,4 tn/ha en los ambientes medio y alto respectivamente. La respuesta del rendimiento a la fertilización fue mayor en el ambiente medio que en el alto, por lo que el manejo de la fertilización permitió reducir la brecha de rendimiento en mayor medida en el ambiente más pobre. La refertilización del cultivo no presentó un efecto claro sobre el rendimiento. Las variaciones del rendimiento estuvieron asociadas con cambios en el número de granos/m² y no con el peso de mil granos. Los rendimientos obtenidos a campo fueron cercanos a los máximos que se pueden lograr con el agua disponible y óptimo manejo.*

Palabras clave. *Maíz, brecha de rendimiento, fertilización, refertilización, rendimiento.*

Introducción

La disponibilidad recursos, tanto hídricos, nutricionales o de tipo de suelos, es altamente variable y está relacionada con la distribución estacional de las precipitaciones, su variación interanual, aspectos del relieve y del suelo. La heterogeneidad de ambientes encontrados en el sur de Córdoba obliga a la adecuación de las tecnologías de insumos y procesos empleados para optimizar el manejo del cultivo de maíz.

En una región el rendimiento potencial está definido por la oferta radiativa y la temperatura durante el ciclo, pero la disponibilidad de agua impide la obtención de este rendimiento. Además, desajustes en el manejo pueden provocar pérdidas extras al reducir la máxima productividad del agua disponible (Gudelj, 2019). Las diferencias entre estos niveles de rendimiento se denominan brechas y conocer su magnitud y sus causas es de vital importancia para establecer la capacidad productiva de un ambiente y adecuar el manejo para maximizar el rendimiento y la eficiencia de uso de los recursos.

El nitrógeno es el nutriente que las plantas usan en mayor cantidad, su disponibilidad particularmente durante el período crítico y llenado de los granos, define la producción de biomasa y determina el rendimiento. Establecer criterios para definir la dosis y el momento de aplicación en función del ambiente, es una herramienta determinante para disminuir las brechas de rendimiento.

En este marco, los objetivos planteados fueron

- Determinar el rendimiento potencial del cultivo de maíz en el sur de Marcos Juárez.
- Determinar el rendimiento real del cultivo de maíz en un ambiente particular del sur de Marcos Juárez y cuantificar las brechas de rendimiento.
- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes, en diferentes momentos, sobre la determinación del rendimiento y su impacto en la magnitud de las brechas.

Material y Métodos

En la campaña 2020/21 se realizó un ensayo en un establecimiento al sur de la ciudad de Marcos Juárez sobre un lote dividido en dos ambientes de producción, alto y medio, definidos según niveles de rendimientos históricos y por características particulares de cada lote como anegamientos temporales y vías de escurrimiento. El 30/9/2020 se sembró el híbrido Dekalb 7210 VT3PRO en densidades de 8,3 y 8 pl/m² en dos ambientes alto y medio respectivamente. En cada ambiente, se evaluaron tratamientos de fertilización con N a la siembra y refertilización. El detalle de los tratamientos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Momento de aplicación de fertilizante y Dosis de N aplicado en dos ambientes. A la siembra son dosis de N aplicadas al momento de la siembra. Re fertilización son dosis de N aplicados en franjas cruzadas al sentido de siembra en el estado V5.

Momento de aplicación del fertilizante	Ambiente	
	Alto	Medio
	-----Kg N/ha-----	
A la siembra	89 – 74 - 64	86 – 71 - 62
Re fertilización	0 – 45 - 91	

Se usó un diseño de tipo strip plot con dos repeticiones donde la parcela principal fue la fertilización a la siembra y las subparcelas la refertilización. Se estimó el rendimiento potencial (Y_p) según el siguiente modelo

$$Y_p = \sum Rad. Inc. * e_i * EUR * IC \quad (1)$$

Donde Rad. Inc.: es la radiación fotosintéticamente activa incidente, ei: es la eficiencia de captura de la Rad. Inc., EUR: es la eficiencia en el uso de la radiación interceptada acumulada e IC: es el índice de cosecha. El rendimiento actual de cada parcela (Ya) se obtuvo de monitor de rendimiento a la cosecha. De una muestra de espigas cosechadas manualmente, se determinó el número de granos/m² (NG) y el peso de mil granos (PG). Se determinó el rendimiento limitado por agua (Yw) como el máximo rendimiento factible de lograr con la disponibilidad normal de agua de la zona y óptimo manejo. Se consideró como tal al obtenido en el ambiente alto con la más alta dosis de fertilizante aplicado. Se calcularon las brechas de rendimiento debida al agua (Ygw) como la diferencia entre el Yp y el Yw mientras que la brecha debida al manejo del productor (Yga) se obtuvo de la diferencia entre el Yw y el Ya (GYGA 2021). Se calculó un índice de limitación por el agua (ILA) para la región como:

$$ILA = (1 - (Yw|Yp)) \times 100\% \quad (2)$$

Se realizó un análisis de la variancia utilizando software INFOSTAT y se empleó el test de comparaciones múltiples LSD de Fisher, con un nivel de probabilidad de 0,05 y se realizó un análisis de regresiones para establecer la asociación entre el rendimiento y sus componentes numéricos.

Resultados y discusión

El Yp estimado fue de 25,3 tn/ha (hum. 13%). Este valor es inferior a otros reportados previamente estimados mediante métodos diferentes (Beccari y Videla Mensegue, 2018) pero es similar al publicado en GYGA (2021). Los Ya obtenidos oscilaron entre 14,8 y 9,4 tn/ha (Tabla 2)

Tabla 1: Rendimiento a la cosecha del cultivo y brechas de rendimiento debidas a las prácticas de manejo aplicadas (Yga) entre el rendimiento limitado por agua (Yw; 14,8 tn/ha) y los rendimientos actuales obtenidos en los ambientes productivos alto y medio. FS: Fertilización a la siembra; RF: Refertilización.

Ambiente	FS (kg N/ha)	RF (kg N/ha)	Rendimiento (tn/ha)	Yga (tn/ha)
Alto	64	91	13,9 ab	0,9 ab
		45	12,7 d	2,1 d
		0	11,4 e	3,4 e
	74	91	14,4 ab	0,4 ab
		45	13,7 bc	1,1 bc
		0	13,2 cd	1,6 cd
	89	91	14,8 a	0 a
		45	13,6 bc	1,2 bc
		0	13,2 cd	1,6 cd
Medio	62	91	12,7 c	2,1 c
		45	11,5 e	3,3 e
		0	9,4 f	5,9 f
	71	91	13,8 a	1 a
		45	12,4 c	2,4 c
		0	12 d	2,8 d
	86	91	13,4 b	1,4 b
		45	12,8 c	2 c
		0	11,5 e	3,3 e

Letras distintas dentro de cada ambiente indican diferencias significativas al 0,05.

El Yw obtenido, no difirió entre las tres dosis con el máximo nivel de refertilización del nivel alto. En consecuencia, la Ygw se calculó considerando el promedio de estos tres valores con el Yp y el valor resultante fue de 10,9 tn/ha, lo que representó un ILA del 43 %. Esto indica que la condición hídrica del año evaluado permitió alcanzar el 57% del Yp estimado para la región, valor similar al obtenido por Aramburu Melos et al. (2015) considerando una extensa serie de datos climáticos. La Yga alcanzó valores de 3,4 tn/ha para el ambiente alto y osciló entre 1 y 5,9 tn/ha en el ambiente medio (Tabla 2). Esto representa un margen de mejora de 29,8 y un 63% para los ambientes alto y medio

respectivamente.

El rendimiento se asoció significativamente a cambios en el NG ($R^2= 63\%$ y 79% para el ambiente alto y medio respectivamente) y no con cambios en el PG, indicando que para el híbrido evaluado, el manejo de la fertilización tuvo impacto en el crecimiento del cultivo durante el período crítico de fijación de granos pero no durante la determinación del peso de los mismos. Esta asociación es similar a la reportada por Cantarero et al. (2020) para maíces tardíos con adecuada oferta hídrica. Sin embargo, existen evidencias (Cantarero et al., 2020; Luque et al., 2021) que, ante condiciones hídricas limitantes, la adecuación de la oferta de N puede contribuir a aumentar el rendimiento a través de la mejora del PG a través del sostenimiento de una alta actividad fotosintética durante el llenado de los granos. En consecuencia, el manejo del N debiera pensarse en función del aspecto más limitante de cada ambiente en particular.

Conclusiones

- Las brechas de rendimiento calculadas para la región indican que se pueden alcanzar mejoras de los rendimientos actuales de más del 60% a través de la adecuación del manejo aplicado al cultivo.
- Las técnicas de manejo del N en función de la condición hídrica de cada ambiente tendrán el mayor impacto en la mejora del rendimiento.
- La correcta caracterización del ambiente y la identificación de los factores más limitantes surgen como aspectos fundamentales para la correcta adecuación de prácticas de manejo.
- En siembras tempranas, la condición fisiológica del cultivo que permita fijar un elevado número de granos, permitirá lograr aumentos del rendimiento, pero cuando las condiciones del ambiente sean más restrictivas, se debería prestar especial atención a la condición del cultivo durante el llenado de los granos.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado por G.A.; M.A. y P.A. como requisito para completar la currícula de la carrera de Ingeniería Agronómica de la FCA – UNC; un agradecimiento especial al productor Fabian Pettinari por facilitar el uso del lote para el desarrollo del ensayo y al meteorólogo Alvaro Andreucci de la EEA INTA Marcos Juárez por el aporte de datos meteorológicos.

Referencias

- Aramburu Melos, F.; Monzon, J.P.; Mercau, J.L.; Taboada, M.; Andrade, F.H.; Hall, A.J.; Jobbagy, E.; Cassman, K.G.; Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*. 184, 145-154.
- Cantarero, M.G.; Luque, S.F.; Canal, G.; Zgrablich, S.; Viotti, G. (2020). Rendimiento del cultivo de maíz tardío ante la modificación de la oferta hídrica. Obtenido de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/30520>
- GYGA (2021) Global Yield Gap and Water Productivity Atlas. Disponible en URL: www.yieldgap.org
- Gudelj, V. (2019). Fertilización y brecha de rendimiento del cultivo de maíz. Córdoba. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_marcosjuarez_actualizacionmaiz_2019.pdf Pág: 43-45.
- Luque S.F., Canal G., Cantarero M.G (2021) Respuesta del rendimiento a la fertilización con nitrógeno y azufre en siembra tardía de maíz. IX Jornadas Integradas de Investigación, Extensión y Enseñanza de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNC- Año 2021.

Utilización de índices multiespectrales relevadas mediante un UAV para la predicción de rendimiento, número y peso de granos en Soja

Ogando, F.A.¹⁻⁴, Peirone, L.¹⁻⁴, Cicconi, M.², Raspa, F.⁴, Ovando, G.³, Vega, C.R.C.⁴

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); ²; ³Facultad de ciencias agropecuarias, UNC; ⁴EEA INTA Manfredi.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. En Argentina, la amplia variabilidad (45%) en las brechas de rendimiento, entre los potenciales en secano y los rendimientos de productores, es probable que este explicada por la falta de un correcto ajuste entre la oferta y demanda de recursos (i.e. agua y radiación solar). Combinaciones de prácticas de manejo con el genotipo y la fecha de siembra modulan su captura. Actualmente, los sensores remotos permiten evaluar índices de vegetación (IV) espectrales con potencial para caracterizar variables asociadas con la captura y eficiencia en el uso de los recursos. El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad predictiva de tres IV sobre el rendimiento y sus componentes (i.e. el número (NG) y peso de granos) en cultivos de soja sembrados bajo distintas combinaciones de manejo. Para ello, se sembraron a campo cuatro genotipos de soja (grupo de madurez III a VI) en dos fechas de siembra (Octubre y Noviembre) y bajo dos condiciones hídricas (riego y secano). Estos tratamientos permitieron generar diferentes combinaciones de manejo que modularon la captura de recursos durante el período crítico del cultivo (R3-R6). Durante este período, se calculó mediante imágenes multiespectrales obtenidas a partir de un drone el área bajo la curva de tres IV (IV_{R3-R6}) construidos mediante la combinación de diferentes bandas (NDVI, GNDVI y NDRE). Los tratamientos permitieron explorar un amplio rango de valores de IV_{R3-R6} (CV=24%) y de rendimientos (3366 a 6861 kg ha⁻¹). Todos los IV_{R3-R6} que estimaron el valor acumulado de NDVI, GNDVI y NDRE exhibieron correlaciones significativas con número de granos en R7 y rendimiento (kg ha⁻¹). Dentro de estos $GNDVI_{R3-R6}$ se destacó en su capacidad predictiva para el NG ($R^2 > 61\%$) y permitió la construcción de un único modelo de respuesta para todos los genotipos evaluados. Estos resultados sientan bases para estudios complementarios que relacionen IV_{R3-R6} con aspectos como el consumo hídrico, la eficiencia en el uso del agua y la radiación y que permitan una mejor caracterización de procesos eco-fisiológicos conducentes al cierre de brechas.

Palabras clave. Índices multiespectrales; Brechas de rendimiento; Captura de recursos; Fenotipado

Introducción

En Argentina, la soja se cultiva mayoritariamente en secano y está expuesta a distintos grados de déficit hídrico que varían espacial y temporalmente (Salado Navarro and Sinclair, 2009; Bacigaluppo et al., 2011; de la Casa and Ovando, 2014). Estudios recientes encontraron que la brecha entre los rendimientos potenciales¹ en secano y los rendimientos obtenidos por productores varía entre 28.7 y 51.9% (Bacigaluppo et al., 2011; Aramburu Merlos et al., 2015; Di Mauro et al., 2018). Es probable que dichas brechas estén explicadas, al menos parcialmente, por desajustes en la oferta y la demanda de recursos (i.e. agua y radiación solar). La correcta combinación de genotipo (GM) y fecha de siembra (FS) es una de las estrategias de manejo de mayor impacto sobre el rendimiento al permitir no solo la mejor adaptación sino también incrementar la eficiencia en el uso de los recursos (Vega and Salas, 2012; Cortés, 2015; Pagnan and Vega, 2019; Vitantonio-Mazzini et al., 2021). En ambientes sin fuertes limitantes de recursos, la productividad del cultivo está estrechamente relacionada con la captura (intercepción) y uso de la radiación solar. Ambas variables están a su vez relacionadas con el tamaño y funcionalidad del área foliar y la duración del ciclo (Andrade et al., 2005). Para la reducción de las brechas de rendimiento se puede emplear la agricultura de precisión (AP), en un futuro cercano la AP se basará en el empleo de internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (machine learning) y sistemas de soporte de toma de decisiones (DSS). Particularmente el empleo de UAV con sensores a baja altitud tiene la ventaja de una gran movilidad y alta resolución espacial y temporal en el monitoreo de cultivos (Velusamy et al., 2022) y permiten evaluar de manera rápida y no destructiva índices de vegetación espectrales (IV) con potencial para caracterizar variables asociadas con la captura y eficiencia en el uso de los recursos (Cerrudo et al., 2017; da Silva et al., 2020; Maimaitijiang et al., 2020; Santana et al., 2022). El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad predictiva de tres IV sobre el rendimiento y sus componentes (i.e. el número y peso de granos) en cultivos de soja sembrados bajo distintas combinaciones de manejo. Los resultados pueden contribuir a definir modelos simples que permitan evaluar estrategias de manejo orientadas al cierre de brechas del rendimiento.

Materiales y métodos

Durante la campaña 2020-21, se condujeron ensayos a campo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi (Córdoba). Mediante la combinación de tratamientos que incluyeron cuatro genotipos (DM3312, DM4612, DM53i53 y CZ6505), dos fechas de siembra (FSt_e; 26/10/20 y FSt_a; 27/11/20) y dos condiciones hídricas (riego y secano) se generó variabilidad en la duración de ciclos y en la captura de recursos (agua y radiación solar). El experimento fue sembrado bajo un diseño de parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones, siendo la fecha de siembra, la condición hídrica y el genotipo la parcela principal, sub-parcela y sub-sub-parcela, respectivamente. Cada parcela consistió en 6 separados a 0.52 m por 8 metros de largo. En madurez fisiológica se cosecharon 3 m² por unidad experimental para determinar el rendimiento (expresado en 0% de humedad) y sus componentes número (NG) y peso de granos (PG). Se relevaron la fenología y la duración de etapas mediante clave internacional (Fehr et al., 1971).

Durante la etapa crítica de determinación del rendimiento (R3 a R6, (Fehr et al., 1971)), se evaluaron IV utilizando sensores (RGB y multiespectral) montados en un drone Phantom 4 modificado con una cámara sequoia multiespectral. Se estimaron los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI (Green Normalized Vegetation Index) y NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) mediante las siguientes combinaciones de bandas:

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

¹ Se entiende por rendimiento potencial (Evans & Fisher, 1999) al rendimiento de un cultivar adaptado a un determinado ambiente que crece sin limitantes bióticas (plagas, enfermedades y malezas) ni abióticas (agua y nutrientes) y potencial en secano en donde el recurso hídrico es la única limitante.

$$GNDVI = \frac{NIR-G}{NIR+G} \quad (2)$$

$$NDRE = \frac{NIR-RE}{NIR+RE} \quad (3)$$

Dónde: IR=reflectancia en la banda infrarroja, R=reflectancia en la banda roja, NIR= reflectancia en la banda infrarrojo cercano, G= reflectancia en la banda verde, RE= reflectancia en la banda borde rojo.

Análisis estadístico: para cada IV, se ajustaron modelos polinómicos ($R^2 0.89 \pm 0.05$) de tercer grado entre el valor del índice y el tiempo (expresado en días calendario desde la emergencia de cada tratamiento). Para cada IV, se estimó la integral del área bajo la curva del modelo durante el período crítico (IV_{R3-R6}) en cada combinación FS*GM. Mediante correlaciones y regresiones, se evaluó la capacidad predictiva de los IV_{R3-R6} sobre distintas variables asociadas al crecimiento y sobre el rendimiento y sus componentes.

Resultados

En este estudio, las distintas fuentes de variación impactaron sobre la duración de la etapa crítica R3-R6 y permitieron, por ende, explorar rangos amplios de valores de los distintos IV_{R3-R6} . Los coeficientes de variación fluctuaron entre el 20% ($NDVI_{R3-R6}$ y $GNDVI_{R3-R6}$) y el 28% ($NDRE_{R3-R6}$). Los rendimientos alcanzados fluctuaron entre 3366 y 6861 kg ha⁻¹. FSte exhibieron un IV_{R3-R6} en promedio de todos los tratamientos evaluados un 27% superior respecto a FSt, respuesta principalmente debida al efecto positivo de la FSte sobre la duración de la etapa de generación de vainas R3-R6.

Todos los IV_{R3-R6} que estimaron el valor acumulado de NDVI, GNDVI y NDRE exhibieron correlaciones significativas con número de vainas en R7, el rendimiento (kg ha⁻¹) y el número de granos (Tabla 1). No se observaron correlaciones significativas entre los IV_{R3-R6} y las variables PG y biomasa total en R7. Sin embargo, la capacidad predictiva de los IV_{R3-R6} fue mayor cuando se consideró el NG, variable que se define específicamente durante R3-R6 (Kantolic and Slafer, 2007; Pagnan and Vega, 2019). El índice $GNDVI_{R3-R6}$ exhibió no solo mejor capacidad predictiva ($R^2 > 61\%$) que $NDVI_{R3-R6}$ y $NDRE_{R3-R6}$ ($R^2 = 54\%$) sino que permitió la construcción de un único modelo para todos los genotipos evaluados (Figura 1 B) y FS. Considerando la disponibilidad hídrica (Figura 1A), se encontraron dos modelos de tipo plateau-lineal que se diferenciaron en su pendiente cuando $GNDVI_{R3-R6}$ fue mayor a 26. Las FSte exhibieron menor pendiente en seco que bajo riego (80 vs. 106), aspecto que podría ser explicado por procesos relacionados con la eficiencia en el uso de los recursos hídricos o radiativos.

Tabla 1. Matriz de correlación (índice Pearson; números en fuente tipo negrita expresan el p-value de las correlaciones entre variables) para diferentes índices multispectrales ($NDVI_{R3-R6}$, $GNDVI_{R3-R6}$ y $NDRE_{R3-R6}$) durante el período crítico de definición del número de granos y variables eco-fisiológicas relevadas en madurez fisiológica. Biomasa (Biom, gm²), número de vainas (m²), rendimiento (R, kg/ha), peso de granos (PG) y número de granos (NG).

	NDVI	GNDVI	NDRE	Biom [gm ²]	N°vainas [m ²]	R [Kg/ha]	PG	NG [m ²]
$NDVI_{R3-R6}^1$	1	-	-	0.26	0.02	1.20E-3	0.91	1.40E-4
$GNDVI_{R3-R6}$	0.93	1	-	0.27	0.04	3.70E-4	0.75	8.30E-5
$NDRE_{R3-R6}$	0.9	0.93	1	0.4	0.06	0.01	0.86	2.20E-3
Biom [gm ²]	0.19	0.19	0.14	1	9.8E-11	1.80E-4	0.01	8.00E-4
N°vainas [m ²]	0.38	0.35	0.32	0.84	1	8.70E-4	0.52	2.80E-4
R [Kg/ha]	0.52	0.56	0.42	0.65	0.53	1	0.01	0
PG	-0.02	0.06	-0.03	0.43	0.11	0.42	1	0.96
NG [m ²]	0.59	0.61	0.49	0.53	0.57	0.9	0.01	1

¹ Los valores de los índices espectrales corresponden al área bajo la curva del IV y el tiempo durante la fase de determinación del número de granos (R3-R6)

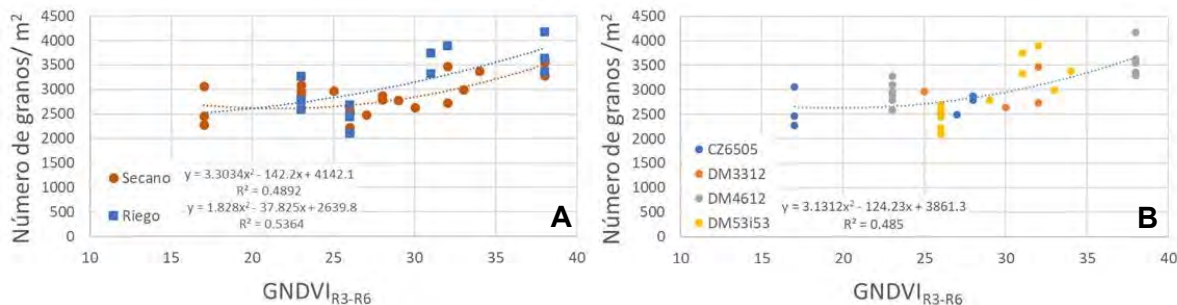


Figura 1. Modelos de respuesta del número de granos/m² para el valor de GNDVI_{R3-R6} separado por condición hídrica (A) y genotipos (B). Cada punto representa una unidad experimental

Conclusiones

En este estudio, se evaluaron diferentes índices e vegetación en términos de su capacidad para caracterizar la producción de rendimiento y sus componentes en soja cultivada bajo distintos ambientes resultantes de la combinación entre fechas de siembra, genotipos y condiciones hídricas. Longitud de ciclo. La capacidad predictiva de los índices evaluados (GNDVI_{R3-R6}, NDVI_{R3-R6} y NDRE_{R3-R6}) siempre fue superior al 50% demostrando su validez como herramientas para evaluar cultivos en términos de su habilidad para la captura de recursos y su relación con procesos eco-fisiológicos que definen el crecimiento. Entre los índices, GNDVI_{R3-R6} presentó un 11.5% de capacidad predictiva superior respecto a los otros índices utilizados (NDVI_{R3-R6} y NDRE_{R3-R6}). Bajo condiciones de distinta condición hídrica, se encontraron modelos distintos entre el GNDVI_{R3-R6} y el número de granos, principal componente del rendimiento. Es probable que dicho hallazgo se relacione con distintos estados fisiológicos de los cultivos según su estado hídrico. Estudios recientes bajo condiciones controladas demostraron que la fotosíntesis (un indicador de la eficiencia en el uso de la radiación) disminuye bajo condiciones de estrés hídrico (Ergo et al., 2021). Estos resultados sientan bases para estudios complementarios que relacionen IV_{R3-R6} con aspectos como el consumo hídrico, la eficiencia en el uso del agua y la radiación. En su conjunto, una mejor caracterización de cultivos bajo distintos manejos mediante el fenotipado con drones permitirá la comprensión de procesos que permitan el cierre de brechas, particularmente en ambientes con limitantes hídricas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado mediante los siguientes proyectos: INTA 2019-PE-E1-I011-001. Intensificación Sustentable de la Agricultura en la Región Pampeana; INTA 2019-PD-E3-I060-001. Adaptación de los cultivos al cambio climático: Bases ecofisiológicas para el manejo y la mejora genética; PROCISUR-BID. Bases fisiológicas y genéticas de las respuestas de trigo y soja a limitantes bióticas y abióticas: estudios orientados a la identificación de caracteres de tolerancia o adaptación de utilidad en el mejoramiento genético y la selección de genotipos adaptados en el Cono Sur.

Referencias

- Andrade, F.H., Sadras, V.O., Vega, C.R.C., Echarte, L., 2005. Physiological Determinants of Crop Growth and Yield in Maize, Sunflower and Soybean. *Journal of Crop Improvement* 14, 51-101.
- Aramburu Merlos, F., Monzon, J.P., Mercáu, J.L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbágy, E., Cassman, K.G., Grassini, P., 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184, 145-154.
- Bacigalupo, S., Bodrero, M.L., Balzarini, M., Gerster, G.R., Andriani, J.M., Enrico, J.M., Dardanelli, J.L., 2011. Main edaphic and climatic variables explaining soybean yield in Argiudolls under no-tilled systems. *European Journal of Agronomy* 35, 247-254.
- Cerrudo, D., Pérez, L.G., Lugo, J.A.M., Trachsel, S., 2017. Stay-green and associated vegetative indices to breed maize adapted to heat and combined heat-drought stresses. *Remote Sens.* 9.
- Cortés, E.J., 2015. Desarrollo de estrategias de siembra del cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merr] en el Departamento San Justo, Córdoba, Argentina. FCA-UNC. UNC, Córdoba, p. 42.
- da Silva, E.E., Rojo Baio, F.H., Ribeiro Teodoro, L.P., da Silva Junior, C.A., Borges, R.S., Teodoro, P.E., 2020. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 18.
- de la Casa, A.C., Ovando, G.G., 2014. Climate change and its impact on agricultural potential in the central region of Argentina between 1941 and 2010. *Agricultural and Forest Meteorology* 195-196, 1-11.
- Di Mauro, G., Cipriotti, P.A., Gallo, S., Rotundo, J.L., 2018. Environmental and management variables explain soybean yield gap variability in Central Argentina. *European Journal of Agronomy* 99, 186-194.
- Ergo, V.V., Veas, R.E., Vega, C.R.C., Lascano, R., Carrera, C.S., 2021. Leaf photosynthesis and senescence in heated and droughted field-grown soybean with contrasting seed protein concentration. *Plant Physiology and Biochemistry* 166, 437-447.
- Fehr, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T., Pennington, J.S., 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop science* 11, 929-931.
- Kantolic, A.G., Slafer, G.A., 2007. Development and Seed Number in Indeterminate Soybean as Affected by Timing and Duration of Exposure to Long Photoperiods after Flowering. *Ann. Bot.* 99, 925-933.
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Hartling, S., Esposito, F., Fritsch, F.B., 2020. Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment* 237.
- Pagnan, L.F., Vega, C.R.C., 2019. Variación del rendimiento y la calidad industrial de soja [*Glycine max* (L.) Merril] en un ambiente con napa freática: efectos de cambios en el manejo de la fecha de siembra y el genotipo. VII Congreso de la Soja Mercosur – Mercosoja 2019 y A Todo Soja, Rosario, Santa Fe - Argentina.
- Salado Navarro, L.R., Sinclair, T.R., 2009. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agricultural Systems* 102, 11-16.
- Santana, D.C., de Oliveira Cunha, M.P., dos Santos, R.G., Cotrim, M.F., Teodoro, L.P.R., da Silva Junior, C.A., Baio, F.H.R., Teodoro, P.E., 2022. High-throughput phenotyping allows the selection of soybean genotypes for earliness and high grain yield. *Plant Methods* 18.
- Vega, C.R.C., Salas, G., 2012. Bases para el manejo del cultivo de soja. In: Héctor E.J. Baigorri (*In memoriam*), Salado Navarro, L.R. (Eds.), *El cultivo de soja en Argentina*. Agroeditorial, Vicente López, AR, pp. 147-162.
- Velusamy, P., Rajendran, S., Mahendran, R. K., Naseer, S., Shafiq, M., & Choi, J. G. (2022). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Precision Agriculture: Applications and Challenges. *Energies*, 15(1), 217.
- Vitantonio-Mazzini, L.N., Gómez, D., Gambin, B.L., Di Mauro, G., Iglesias, R., Costanzi, J., Jobbágy, E.G., Borrás, L., 2021. Sowing date, genotype choice, and water environment control soybean yields in central Argentina. *Crop Science* 61, 715-728.

¿CÓMO AFECTA LA PROFUNDIDAD DEL SUELO AL ÍNDICE DE SUFICIENCIA DE NITRÓGENO EN LA CEBADA Y EL TRIGO?

Marcelo Jose Lopez de Sabando¹, Martín Diaz-Zorita².

Sabando.marcelo@inta.gob.ar. (1) AER INTA Tandil, Rodriguez 370, Tandil, Buenos Aires, Argentina.
(2) Universidad Nacional de La Pampa, RN 35 km 334, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Los objetivos fueron: i) comparar los cambios de rendimientos en grano, índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) y dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) según la profundidad del suelo entre cultivos de cebada y de trigo; ii) evaluar el efecto de la variación de la relación precio grano y precio de fertilizante en ISN. Se llevaron a cabo 16 ensayos de fertilización con N en el sudeste de la región pampeana. En cada sitio se realizó un experimento en cebada y en trigo según dos zonas de profundidad de suelo contrastantes. El cultivo de cebada mostró rendimientos mayores, mayores incrementos de rendimiento asociados a la fertilización con nitrógeno, menor interacción entre la profundidad de los suelos y la fertilización y DOEN independientes del sitio y la profundidad de los suelos. Trigo mostró menores rendimientos y mayor interacción entre la profundidad de los suelos y la fertilización. Al considerar los DOEN en trigo se observó efecto sitio y efecto profundidad de los suelos. En cebada y en trigo las diferencias de disponibilidad de nitrógeno en relación a los DOEN explicaron las variaciones del ISN. La DOEN presentó rango de valores de ISN de 0,95 a 0,97 en cebada y de 0,89 a 0,99 en trigo. La profundidad de los suelos y la relación de precios mostraron efectos sobre ISN. Los suelos profundos alcanzaron DOEN con mayores niveles de ISN que los suelos someros. Los resultados muestran diferencias en la DOEN según campaña y sitio y requieren de herramientas como ISN para ajustar decisiones de manejo durante el ciclo de los cultivos.

Palabras clave. TRIGO, CEBADA, FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, PROFUNDIDAD DE SUELOS.

IMPACTO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE SOJA DE LA ELECCIÓN DE GRUPO DE MADUREZ Y FECHA DE SIEMBRA SEGÚN AMBIENTES

Marcelo José López de Sabando¹, Juan Martín Gutierrez².

Sabando.marcelo@inta.gob.ar. (1) AER INTA Tandil, Rodriguez 370, Tandil, Buenos Aires, Argentina.
(2) Cropsoil, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. Los ambientes de producción de soja en región sudeste de buenos aires presentan variabilidad dentro de los lotes. Las principales diferencias se asocian al periodo libre de heladas y a la profundidad de los suelos. Los objetivos del trabajo fueron: (i) caracterizar zonas de productividad según relieve, profundidad de perfil, profundidad y nivel de resistencia a la penetración de los suelos, (ii) evaluar la fenología del cultivo de soja según grupos de madurez y fechas de siembra y, (iii) cuantificar la producción de soja según zonas de productividad e interacción con fecha de siembra y grupo de madurez. El experimento se realizó en lote de producción con variabilidad espacial de atributos topográficos y tipos de suelos. Los rendimientos mostraron interacción entre cultivar y fecha de siembra según zona de productividad. Considerando todas las variedades evaluadas, en la zona de productividad baja y en la fecha de siembra de 26 de noviembre se observaron los rendimientos mínimos mayores y los rendimientos máximos también mayores. Según cultivar y zona de productividad se observó diferencia entre fechas de siembra. Para siembras con DM 2200 y con DM 40R16, en las tres zonas de productividad, se observaron los mayores rendimientos en la fecha de siembra del 26 de noviembre. Para la siembra con DM 3312 los rendimientos mayores se observaron en la fecha de siembra del 8 de diciembre. Para las variedades de grupo de madurez mayor, DM 46R18 y DM 49R19, la fecha de siembra que permitió obtener los mayores rendimientos depende de la zona de productividad. La variabilidad de propiedades de suelo y relieve de lotes de producción en el sudeste de la región pampeana requieren ajustes de decisiones de manejo del cultivo de soja para permitir maximizar los rendimientos. La correcta caracterización de los ambientes, la elección de la fecha de siembra y del cultivar son factores que determinan el éxito de producción.

Palabras clave. Soja, grado de madurez, rendimiento y fenología, zonas de productividad, periodo libre de riesgo de heladas.

INTRODUCCIÓN

Se han reportado diferencias de producción de soja asociados a variabilidad de los ambientes de producción (Andriani et al. 1991). El ajuste adecuado de ciclo de cultivo y época de siembra permite incrementar la producción de soja bajo condiciones de heterogeneidad dentro de los lotes. Los objetivos del trabajo fueron: (i) caracterizar zonas de productividad según relieve, profundidad de perfil, profundidad y nivel de resistencia a la penetración de los suelos, (ii) evaluar la fenología del cultivo de soja según grupos de madurez y fechas de siembra y, (iii) cuantificar la producción de soja según zonas de productividad e interacción con fecha de siembra y grupo de madurez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante la campaña 2020-2021 en lote de producción en el partido de Balcarce (Longitud: -58,596046; Latitud: -37,773856) seleccionado por su representatividad de variabilidad espacial de atributos topográficos y tipos de suelos. Los suelos corresponden a Argiudoles típicos, Argiudoles petrocálcicos y Hapludoles petrocálcicos. Se identificaron 3 zonas de productividad según posición en el relieve y profundidad del perfil de suelo. Las zonas fueron identificadas como loma, media loma y bajo. Cada zona fue caracterizada según atributos topográficos, profundidad del perfil de suelos, tipo de suelos, resistencia a la penetración y propiedades químicas superficiales. En cada zona de productividad (loma, media loma y bajo) se realizó un experimento factorial doble con cuatro repeticiones considerando fechas de siembra (4 de noviembre, 14 de noviembre, 26 de noviembre y 8 de diciembre de 2020) y cultivares con diferente grado de madurez relativa (DM 2200, DM 3312, DM 40R16, DM 46R18 y DM 49R19).

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES

Los sitios bajo, media loma y loma mostraron diferencias según propiedades de relieve (altimetría y pendiente), TWI, profundidad de suelos y resistencia a la penetración. La posición de bajo se caracterizó por predominio de suelos Argiudoles Típicos con horizonte petrocálcico a los 137 cm y pendiente de 3,3%. En posición de loma se identificaron suelos Argiudoles Petrocálcicos y Hapludoles Petrocálcicos con horizonte petrocálcico en promedio a los 33 cm y pendiente promedio de 5,5%. En la posición de media loma los suelos observados fueron Argiudoles Petrocálcico con horizonte petrocálcico en promedio a 66 cm y pendiente 7,7% (Tabla 1).

Las temperaturas mínimas mostraron niveles menores en posición de bajo en relación a posición de loma con diferencias máximas de 3,5°C que se asociaron a los días con temperaturas mínimas menores. Para las condiciones evaluadas se observó una sola fecha con temperaturas menores a 0,0°C, 12 de mayo.

Tabla 1: Resumen de valores mínimos promedio y máximos observados en cada zona de productividad (Bajo, Loma y Media loma) de pendiente (%), índice topográfico de humedad (TWI), elevación (m sobre nivel del mar) y profundidad de tosca (profundidad donde se identificó horizonte petrocálcico) (cm).

Relieve	Pendiente (%)			TWI			Elevación (m snm)			Profundidad tosca (cm)		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Bajo	2.9	3.3	3.6	7.9	10.1	13.4	207.7	208.1	208.2	100.0	137.5	150.0
Loma	4.5	5.4	6.2	6.5	7.3	8.1	219.5	220.7	221.8	30.0	33.8	40.0
Media loma	7.4	7.7	8.1	6.4	7.2	8.2	209.8	212.4	214.6	60.0	66.3	80.0

FENOLOGÍA

Se observaron diferencias de duración de periodos fenológicos del cultivo de soja según cultivar (grupo de madurez) y fechas de siembra. Los cultivares de ciclo más largo (DM 46R18 y DM 49R19) mostraron mayor duración del ciclo con principales diferencias en la etapa siembra a inicio de floración, inicio de floración a inicio de formación de vainas e inicio de formación de vainas a inicio de llenado de granos. Las fechas de siembra más

tardías mostraron menor duración de las etapas fenológicas con principal efecto sobre la etapa de siembra a inicio de floración. No se observaron efectos sobre la fenología de cultivo según posición en el relieve (datos no presentados).

La fecha de la primera helada se registró el 12 de mayo. Todos las variedades y fechas de siembra evaluadas pudieron completar el ciclo sin efecto de heladas. Las condiciones de la campaña evaluada difieren del registro histórico. En la zona del experimento existe probabilidad de 20 a 30% de heladas entre 01 al 10 abril en la posición de bajo y del 20 de abril al 01 de mayo en la posición de loma (Datos Locales). Con fecha de heladas en 10 de abril los materiales de DM 40R16, DM 46R18 y DM 49R19 en fecha de siembra de 8 de diciembre tendrán en efectos sobre componente de peso de granos, mientras que los materiales DM 46R18 y DM 49R19 en fecha de siembra de 26 de noviembre también tendrían efectos en componente de rendimientos peso de granos.

PRODUCCIÓN DE SOJA

Los rangos de rendimientos observados fueron 1347 a 3726 kg/ha. El número de granos mostró un rango de 898 a 2599 granos m² y el peso de mil granos mostró un rango de 133 a 172 g. Según posición de relieve se observó mayores diferencias entre los rendimientos mínimos y máximos en posición de relieve bajo y loma en relación a posición de media loma. Los valores de rendimientos mínimos fueron similares entre las zonas de productividad, siendo los valores de rendimientos promedios y máximos mayores en la posición de relieve bajo y loma. Las principales diferencias en los promedios entre las zonas de productividad se pueden asociar a los valores máximos mayores observados en las posiciones bajo y loma (Tabla 1).

Según fechas de siembra, también las mayores diferencias se observaron en los rendimientos máximos en relación a los rendimientos mínimos. Las fechas de siembra más tardías, 26 de noviembre y 8 de diciembre, mostraron rendimientos máximos mayores. En promedio, se observaron mayores rendimientos en la fecha de siembra del 26 de noviembre. Al considerar los rendimientos de los diferentes cultivares, también los rendimientos máximos mostraron mayores diferencias que los rendimientos mínimos. En general, en los cultivares que se observaron los rendimientos promedios mayores también se observaron los rendimientos máximos mayores (Tabla 1).

Tabla 1: Resumen de valores mínimos, promedio y máximos de rendimientos (kg/ha) según posición en el relieve, fecha de siembra y cultivar.

Rendimientos de soja (kg/ha)					
	Posición en el relieve				
	Bajo	Loma	Media loma		
Mínimo	1.596	1.448	1.347		
Promedio	2.266	2.193	1.976		
Máximo	3.726	3.193	2.516		
Fecha de siembra					
	04-nov	14-nov	26-nov	08-dic	
Mínimo	1.347	1.373	1.691	1.448	
Promedio	1.943	2.093	2.305	2.241	
Máximo	2.710	2.543	3.193	3.726	
Cultivar					
	DM 2200	DM 3312	DM 40R16	DM 46R18	DM 49R19
Mínimo	1.448	1.373	1.449	1.470	1.347
Promedio	2.153	2.092	2.149	2.231	2.103
Máximo	3.193	3.726	2.879	2.783	2.834

Se observó interacción entre fecha de siembra y cultivar en todas las posiciones de relieve para las variables número de granos, peso de los granos y rendimientos (Tabla 2). En general los mayores números de granos se observaron en las variedades DM 2200, DM 3312 y DM 40R16 y en la fecha de siembra de 26 de noviembre. Los pesos de mil granos se observaron mayores en la variedad DM 49R19 y fechas de siembra 26 de noviembre y 8 de diciembre. Al analizar todos los tratamientos se observó relación entre el número de granos y los rendimientos. Las variedades DM 46R18 y DM 49R19 mostraron mayor peso de granos que resto de las variedades y alcanzaron rendimientos similares con menor número de granos. Los rendimientos máximos se observaron en las variedades DM 2200 y DM 3312. Estas variedades mostraron mayor rango de rendimientos en relación al resto de las variedades; las variaciones de rendimientos se asociaron principalmente al número de granos y en menor medida al peso de los granos. Para las condiciones evaluadas, tanto el número de granos como el peso de los granos

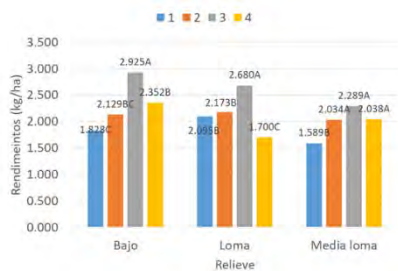
permitió explicar las variaciones de los rendimientos en DM 46R18 y DM 49R19, mientras que el número de granos fue el principal componente de rendimiento para explicar las variaciones de rendimientos en las variedades DM 2200 y DM 3312.

Tabla 2: Valores de p según análisis de la varianza en posiciones de relieve bajo, loma y media loma. Fuentes de variación fechas de siembra (FS), cultivar y FS*Cultivar. Variables dependientes peso de granos, número de granos y rendimientos.

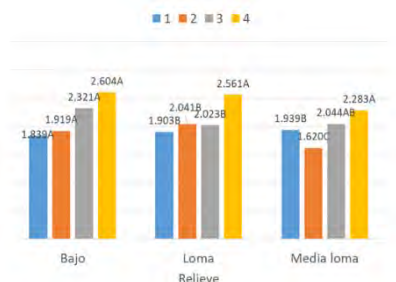
Fuente de variación	Peso granos	Número de granos	Rendimientos
Bajo			
Fecha de siembra (FS)	<0,0001	<0,0001	0,0618
Cultivar	<0,0001	<0,0001	<0,0001
FS*Cultivar	<0,0001	<0,0001	0,0002
Loma			
Fecha de siembra (FS)	<0,0001	0,0059	0,0173
Cultivar	<0,0001	0,0854	0,0649
FS*Cultivar	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Media loma			
Fecha de siembra (FS)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cultivar	<0,0001	0,0001	0,7556
FS*Cultivar	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Los rendimientos mostraron interacción entre cultivar y fecha de siembra según zona de productividad. Considerando todas las variedades evaluadas, en la zona de productividad baja y en la fecha de siembra de 26 de noviembre se observaron los rendimientos mínimos mayores y los rendimientos máximos también mayores. Según cultivar y zona de productividad se observó diferencia entre fechas de siembra. Para siembras con DM 2200 y con DM 40R16, en las tres zonas de productividad, se observaron los mayores rendimientos en la fecha de siembra del 26 de noviembre. Para la siembra con DM 3312 los rendimientos mayores se observaron en la fecha de siembra del 8 de diciembre. Para las variedades de grupo de madurez mayor, DM 46R18 y DM 49R19, la fecha de siembra que permitió obtener los mayores rendimientos depende de la zona de productividad.

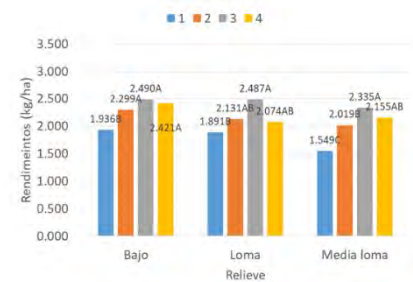
DM 2200



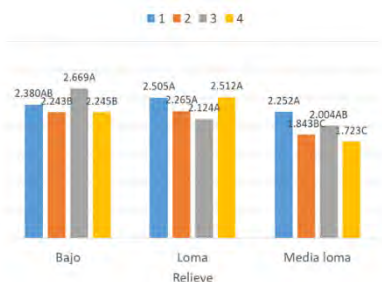
DM 3312



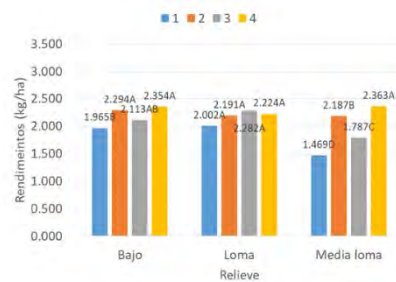
DM 40R16



DM 46R18



DM 49R19



Todas las variedades

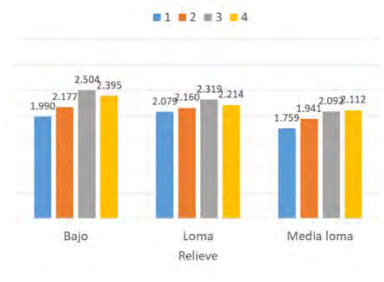


Figura 1: Rendimientos de soja según relieve y fechas de siembra para variedades DM 2200, DM 3312, DM 40R16, DM 46R18 y DM 49R19. 1 (barras en azul), 2 (barras en naranja), 3(barras en gris) y 4 (barras en amarillo) corresponden a fechas de siembra 04 de noviembre, 14 de noviembre, 26 de noviembre y 8 de diciembre, respectivamente. Letras diferentes indican diferencias según test de LSD Fisher ($p < 0,10$) entre fechas de siembra para cada variedad y posición de relieve. Todas las variedades: corresponde al

promedio de rendimientos de todas las variedades para cada posición de relieve y fecha de siembra.

DISCUSIÓN

Una alternativa de incrementar los rendimientos promedio de los lotes es seleccionar para cada zona de productividad el cultivar y la fecha de siembra, incluso seleccionar las zonas de productividad con mayor aptitud de producción. Es poco frecuente la posibilidad de realizar la elección de fechas de siembra y cultivar por zona de productividad siendo corriente la existencia de limitaciones, ejemplo elección de misma fecha de siembra o cultivar para la totalidad del lote o ajustar decisiones para una fecha de siembra establecida.

Para las condiciones evaluadas, en la posición de bajo y de loma se observaron rendimientos mayores que en la posición de media loma. Para estas dos zonas de productividad la combinación de DM 2200 y fecha de siembra de 26 de noviembre permitió lograr los rendimientos mayores. Mientras que, en la posición de media loma, los mayores rendimientos se observaron con DM 49R19 y fecha de siembra de 8 de diciembre.

Para todos los cultivares evaluados la zona de productividad para alcanzar los mayores rendimientos fue la posición de relieve bajo, siendo la fecha de siembra de 26 de noviembre la que permitió mejores resultados para DM 220, DM 40R16 y DM 46R18, y la fecha de siembra de 8 de diciembre la adecuada para DM 3312 y DM 49R19. Considerando las fechas de siembra, la elección de cultivar correspondió a DM 46R18, DM 40R16, DM 2200 y DM 3312 para las fechas 4 de noviembre, 14 de noviembre, 26 de noviembre y 8 de diciembre, respectivamente.

CONCLUSIONES

La variabilidad de propiedades de suelo y relieve de lotes de producción en el sudeste de la región pampeana requieren ajustes de decisiones de manejo del cultivo de soja para permitir maximizar los rendimientos. La correcta caracterización de los ambientes, la elección de la fecha de siembra y del cultivar son factores que determinan el éxito de producción. Para las condiciones evaluadas, cada zona de productividad requiere decisiones de cultivar y fecha de siembra independientes. La cuantificación de los efectos de modificaciones en fecha de siembra y selección de cultivar permiten ajustar las decisiones para condiciones de limitantes operativas a escala de lote de producción. Es necesario seguir evaluado el efecto de fechas de siembra y cultivar en condiciones zonas de productividad contrastante bajo diferentes condiciones meteorológicas, ejemplo régimen de precipitaciones y fecha de primeras heladas.

Referencias

- Andreani, J.M., Andrade, F.H., Suero, E.E. y Dardanelli, J.L. 1991. Their effects on dry matter accumulation, seed yield and its components. Water deficits during reproductive growth of soybean. (pp. 737-746).
- Calviño, P., y V.O. Sadras. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the southeastern Pampas. *Field Crops Res.* 74: 1-11.
- Monzón J.P.; P. Calviño; V.O. Sadras; J. Zubiaurre y F. Andrade. 2018. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. *European Journal of Agronomy* 99:62-71.
- Pazos M. y Silvia A. Mestelan. 2002. Variability of Depth to Tosca in Udolls and Soil Classification, Buenos Aires Province, Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1256-1264 (2002).
- Sadras, V.O.; y P. Calviño. 2001. Quantification of Grain Yield Response to Soil Depth in Soybean, Maize, Sunflower, and Wheat. *Agronomy Journal* 93:577-583.

Efecto de la variabilidad espacio-temporal de la emergencia de maíz sobre el rendimiento y sus componentes

Albarenque, S.^{1,2}, Maestrini, B.³, Davidson, O.⁴, Melchiori, R.J.M², and B. Basso^{1,5}

¹Department of Plant, Soil and Microbial Sciences, Michigan State University, US. ²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-EEA Paraná, Argentina. ³Wageningen Plant Research, Agrosystems Research, Países Bajos. ⁴Digital Agronomy and Spatial Analytics Lab, Department of Earth and Environmental Sciences, Michigan State University

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La desuniformidad del cultivo puede resultar de la variación natural en la emergencia que está relacionada a la variación de la humedad y temperatura del suelo, así como a la variabilidad en la distancia entre plantas causada principalmente durante las operaciones de siembra. La heterogeneidad entre plantas puede reducir el rendimiento. Los objetivos fueron: i) estudiar el efecto de la demora de la emergencia sobre el rendimiento y los componentes de rendimiento (peso y número de grano) por zonas de estabilidad de rendimiento (SZ), and ii) evaluar la relación entre la variación de la distribución de las plantas en el surco y el rendimiento por zonas de estabilidad de rendimiento. Se condujeron 12 experimentos en campos de productores que disponían de varios años de datos de mapas de rendimiento, los que se usaron para delinear zonas de estabilidad de rendimiento (HS: alto rendimiento y estable, LS: bajo rendimiento y estable, MS: rendimiento medio y estable, y UN: inestable). Se registró la emergencia (DAP) y se marcaron las plantas para identificarlas y se midió la distancia entre plantas en el surco. Se calculó el área disponible por planta como la suma de las medias distancias entre una planta y sus vecinas multiplicado por el espaciamiento entre surcos. Las plantas marcadas se cosecharon y se determinó el rendimiento individual, peso y número de granos por planta (PG and NG, respectivamente), y el rendimiento por hectárea del cultivo. La emergencia del cultivo fue afectada significativamente por la SZ en 8 de 12 experimentos, variando entre 5 y 15 días. En general, DAP fue más lenta en las zonas LS, comparada con las otras. El NG fue negativamente afectado por el retraso en DAP y las disminuciones oscilaron entre 16 y 65 granos por día de retraso en la emergencia. En cambio, el PG mostro una respuesta variable a DAP, en algunos casos fue positiva y en otros negativa. La disminución promedio en el rendimiento del cultivo fue de 730kg ha⁻¹ por cada día de atraso en la emergencia, y estaría principalmente asociada a una disminución en el NG por planta. A diferencia de DAP, el GS tuvo un menor impacto en el rendimiento y sus componentes. Solo se detectó un efecto significativo en el NG en 3 experimentos y en 4 experimentos en el PG, sin embargo, el efecto fue menor al 0.01%. En general, el rendimiento tuvo una reducción máxima de 68 kg ha⁻¹ por unidad de desvío standard del GS. Entender los patrones espacio-temporales de la emergencia del cultivo podría ayudar a los productores a tomar decisiones de manejo y podrían incorporarse en modelos de simulación para mejorar las simulaciones del rendimiento del cultivo.

Palabras clave. Maíz, emergencia desuniforme, zonas de estabilidad

Efecto de la emergencia desuniforme y la densidad de siembra en el crecimiento y rendimiento de maíz

Albarenque, S.^{1,2} and B. Basso^{1,3}

¹Department of Plant, Soil and Microbial Sciences, Michigan State University, US. ²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-EEA Paraná, Argentina. ³Digital Agronomy and Spatial Analytics Lab, Department of Earth and Environmental Sciences, Michigan State University, US

Trabajo presentado al
**Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)**
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. El incremento en la densidad de siembra puede aumentar la captura de recursos y el rendimiento del cultivo, sin embargo, en condiciones de emergencia desuniforme la competencia entre plantas incrementa, causando disminuciones del rendimiento. La integración de los efectos combinados la variación espacial y temporal de la emergencia y la densidad de siembra sería de importancia para la toma de decisiones de manejo y contribuir a una agricultura más sustentable. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la emergencia desuniforme y la densidad de siembra sobre el crecimiento y rendimiento en diferentes zonas de estabilidad de rendimiento. Se condujeron tres experimentos (E1, E2, y E3) en campos de productores. Se registró la emergencia (DAP) del cultivo en tres densidades de siembra (alta, media y baja) en diferentes zonas de estabilidad (HS: alto y estable, LS: bajo y estable, MS: medio y estable, UN: inestable). En los estadios V6, V14 y R1 se midió el diámetro del tallo y la altura de la planta para estimar la biomasa del cultivo mediante modelos alométricos. Las plantas fueron cosechadas individualmente para determinar biomasa acumulada, rendimiento y componentes. La biomasa (q planta⁻¹) mostró un efecto negativo de DAP que varió con la densidad de plantas y la zona de estabilidad. En general, la biomasa se vio más afectada en los estadios más tempranos del cultivo (V6-V14), las reducciones por día de retraso en la emergencia oscilaron entre 6 y 24% en V6, 6 y 22% en V14, 2.81 y 15% en R1, y entre 2 y 9.4% en la biomasa final (R6). Las zonas HS y UN acumularon similar biomasa y fue mayor que la que se alcanzó en LS y MS. Sin embargo, la densidad en que se acumuló más biomasa varió entre zonas de estabilidad. Similarmente, el rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹) fue negativamente afectado por DAP y varió entre zonas de estabilidad y densidad de siembra. En el E1, la baja densidad mostró la mayor reducción en el rendimiento por día de retraso en la emergencia (3% por día), y la zona UN fue la que más impactada (6% por día de retraso). En el E2, el efecto de DAP no difirió entre zonas de estabilidad, mientras que sí varió entre densidades, siendo la densidad media la más afectada por el retraso en la emergencia con un 7.6% de reducción del rendimiento por día. El efecto del retraso en la emergencia sobre el rendimiento en el E3 no mostró diferencias entre zonas de estabilidad, pero sí entre densidades de siembra, siendo la densidad alta la más afectada por el retraso en la emergencia (15% reducción por día de retraso). Entender las interacciones entre la variabilidad espacial de la emergencia y las densidades de siembra permitirá incorporarlas en modelos de simulación de cultivo y mejorar las predicciones de rendimiento y ayudar en la toma de decisiones por parte de los productores.

Palabras clave. Maíz, emergencia desuniforme, densidad de siembra, zonas de estabilidad



Evaluación de dos índices espectrales que permitan cuantificar la variabilidad del estado nutricional en un cultivo de maíz.

Naville, Rafael¹; Martín López¹; Facundo Minod¹; Cecilia Cerliani¹, y Gabriel Espósito¹

¹ rnaville@ayv.unrc.edu.ar. Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP 2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La estimación del estado nutricional del cultivo de maíz mediante índices espectrales presenta un gran desafío a la hora de plantear un esquema de fertilización adecuado mediante imágenes satelitales, es ahí donde necesitamos conocer qué índice nos representa mejor la variabilidad nutricional del cultivo. Este trabajo se evaluó mediante imágenes tomadas desde un dron, con procesamiento mediante software específico y su correspondiente análisis estadístico. Se presume que el índice multiespectral NDRE representa de manera más sensible la variabilidad del cultivo que el NDVI, cuando el mismo está en su máximo desarrollo.

Palabras clave.

Maíz; Bandas espectrales; Nutrición; NDVI; NDRE; VANT.

Introducción.

El rendimiento en grano de maíz, no solo depende de su capacidad de crecimiento, sino también de la fracción de ese crecimiento que termina alojada en los granos. La producción de este cultivo es particularmente sensible a las variaciones en la población de plantas, ya que la producción de granos depende de la tasa de crecimiento por planta durante el periodo crítico y cambios en la densidad de plantas generan cambios en la oferta de recursos (Cirilo, 2002).

En la actualidad se utilizan índices de vegetación para evaluar el comportamiento de los cultivos, ya que los mismos tienen correlación con la actividad fotosintética de la planta, mientras más sana y vigorosa está una planta más luz absorbe de la banda roja del espectro de luz visible por lo que mayor es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada -NDVI- (1). El problema con este índice es que en etapas avanzadas de los cultivos el contenido de clorofila alcanza un punto en el que el NDVI tiende a saturarse cercano a su valor máximo 1.0, por lo que la variabilidad del cultivo es difícil de detectar con este índice.

En cambio, el índice borde rojo de diferencia normalizada (NDRE) proporciona una medida que no es tan fuertemente absorbida por las capas superiores de hojas debido a que la banda de borde rojo no tiene una correlación tan alta con la clorofila como la banda roja. El mismo puede dar una mejor perspectiva de los cultivos en estadios vegetativos y posteriores, porque puede medir más en estratos inferiores del cultivo. NDRE (2) también es menos propenso a la saturación en presencia de vegetación densa. Por lo tanto, NDRE a veces puede proporcionar una mejor medición sobre la vegetación al tener mayor variabilidad con respecto a NDVI.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

Donde: IR=reflectancia en la banda infrarroja y R=reflectancia en la banda roja.

$$NDRE = \frac{IR-Re}{IR+Re} \quad (2)$$

Donde: IR=reflectancia en la banda infrarroja y Re=reflectancia en la banda RedEdge.

Descripción general del ensayo experimental

El ensayo se llevó a cabo bajo condiciones de secano. El maíz se sembró en siembra directa sobre diferentes antecesores, los cuales fueron: soja, centeno, vicia, y la consociación de centeno con vicia. Se utilizó el híbrido Next 22.6 PWU, con una distancia entre hileras de 0,7 m. La fertilización se efectuó en el estadio fenológico de V6 (sexta hoja) (Ritchie y Hanway, 1982) y se aplicó en forma de Urea protegida voleada (N: 46%) (UNISEM, 2013).

El trabajo se llevó a cabo el día 14 de febrero del 2022, en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto "Pozo del Carril", La Aguada (Cba.), 32° 58' 5.002" S; 64° 39' 35.026" W. Se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT) modelo "DJI Phantom 4", con una cámara multiespectral "Micasense RedEdge-MX" con 5 bandas (Blue, Green, Red, Rededge, Near IR). El vuelo se realizó en condiciones climáticas ideales para el mismo (al medio día y sin nubosidad), a una altura de 80 m, logrando así un tamaño de pixel de 3,9 cm y un solapamiento del 75 %. El cultivo se encontraba en estadio fenológico V14 (décima cuarta hoja) (Ritchie y Hanway, 1982).

Una vez realizado el vuelo, se procesaron las imágenes multiespectrales con el software "Agisoft Metashape Professional versión 1.6.5". El procesamiento para obtener el ortomosaico del ensayo se realizó a través de las siguientes etapas:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Orientación de fotos, | 4. Creación de malla, |
| 2. Optimización de la orientación de imágenes, | 5. Creación de nube de puntos densa, |
| 3. Creación de Modelo Digital de Elevación, | 6. Creación del ortomosaico. |

Una vez obtenido el ortomosaico, se exportó el mismo al software “QGIS 3.16.” en el cual se realizó el cálculo algebraico de bandas para obtener los índices NDVI y NDRE para su posterior análisis. Mediante la delimitación de las parcelas del ensayo se procedió a obtener el dato de cada índice en cada una de las mismas.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos, se realizó en base a la función cuadrática de la interacción nitrógeno por densidad, a través del software estadístico “Infostat”. Se modeló la respuesta del maíz a la densidad y dosis de nitrógeno como un polinomio de segundo grado según la Ecuación siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 D + \beta_3 N^2 + \beta_4 D^2 + \beta_5 ND + \varepsilon \quad (3)$$

donde Y es el valor de los índices espectrales a evaluar (NDVI o NDRE), β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 y β_5 , son los parámetros de la ecuación de regresión, D es la densidad de siembra (semillas ha⁻¹), N es la dosis de N (kg N ha⁻¹), y ε es el término de error de la regresión.

Diseño Experimental

El diseño experimental se realizó en parcelas subdivididas, donde la dosis de nitrógeno es el factor principal y la densidad el secundario. Con un arreglo espacial en bloques completos aleatorios. Cada cultivo antecesor se consideró como un experimento independiente.

La dosis de Nitrógeno fue de 0 (testigo), 100, 200 y 300 kg ha⁻¹; y las densidades evaluadas fueron de 30.000, 60.000, 90.000 y 120.000 semillas ha⁻¹.

Resultados

Tabla 1. Resultados obtenidos del análisis estadístico mediante Infostat.

NDVI								
Antecesor	P-Valor					AIC	BIC	CV
	N	D	N2	D2	NxD			
Centeno	0,9491	0,0025	0,3253	0,0408	0,2422	-438,81	-418,85	6,29%
Centeno + Vicia	0,0797	0,0012	0,805	0,0786	0,0005	-403,81	-383,90	7,30%
Soja	0,0641	0,0045	0,7646	0,2615	0,0151	-490,18	-471,15	3,91%
Vicia	0,941	0,0319	0,6927	0,2264	0,6944	-556,73	-536,77	4,03%

NDRE								
Antecesor	P-Valor					AIC	BIC	CV
	N	D	N2	D2	NxD			
Centeno	0,2465	0,0001	0,985	0,0001	0,0373	-387,15	-367,18	23,45%
Centeno + Vicia	0,478	0,0401	0,9509	0,1705	0,059	-216,87	-196,96	38,04%
Soja	0,7608	0,0017	0,1395	0,0174	0,4295	-338,07	-319,04	22,41%
Vicia	0,3288	0,0001	0,3061	0,0004	0,6011	-294,01	-274,05	29,76%

Al observar los resultados obtenidos del análisis estadístico (tabla 1), se destaca que, al considerar un p-valor de 0.10, obtenemos diferencias estadísticamente significativas para el parámetro de N (nitrógeno) y N2, sin embargo, hay mayor cantidad de parámetros significativos cuando utilizamos el NDRE que el NDVI. Además, al considerar el parámetro de coeficiente de variación, el índice de borde rojo se destaca por su gran variación comparado con el índice de diferencia normalizada. En condiciones de cultivo en estadios avanzados el NDVI suele saturarse y no presentar diferencias entre tratamientos.

Conclusión

Por lo observado anteriormente en resultados estadísticos, se puede arribar a la conclusión que para evaluar el comportamiento de un cultivo de maíz en etapas fenológicas avanzadas se sugiere utilizar el índice NDRE en lugar del NDVI. Sin embargo, es aconsejable seguir avanzando en investigaciones respecto a estos índices en otros cultivos y condiciones diferentes a las estudiadas en este trabajo.

Referencias

- CIRILO, A. G. 2002. Rendimiento del cultivo de maíz. Manejo de la densidad y distancia entre Surcos en Maíz. *idiaXXI*, 128-133.
- RITCHIE, S.W. y J.J. HANWAY, 1982. "How a corn plant develops", Iowa State Coop. Ext. Serv. Spec. Rep., 48.
- UNISEM. 2013. Concentración de N, P y K en los fertilizantes. En: <https://semillastodoterreno.com/2013/03/concentracion-de-n-p-y-k-en-los-fertilizantes/> 22/10/17.
- MICASENSE. 2020. ¿Qué es el NDRE?. En: <https://micasense.com/es/que-es-el-ndre/>. Consultado: 24-02-2022.

Monitoreo de la variación espacio-temporal en la humedad de suelo y estatus N en maíz a escala de establecimiento

Maltese, N.E.^{1,2,3}; Kemerer, C.A.^{1,2}; Melchiori, R.J.M.¹; Carrillo W.⁴

¹INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Ruta 11 Km 10,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina; ³CONICET; ⁴El Hinojo S.A.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. *Conocer la variabilidad de los sistemas y cómo afecta la productividad de los cultivos es uno de los desafíos más importantes de la agricultura de precisión. Como el estatus N y la condición hídrica interactúan generando variaciones en la respuesta del maíz a la fertilización, conocer la variabilidad de ambos a nivel de establecimiento y cómo se relacionan con índices espectrales resulta clave para plantear estrategias de manejo variable de fertilización. El objetivo fue monitorear, a escala de establecimiento, la dinámica espacio-temporal en la humedad de suelo, el estatus nitrogenado y su interacción en un cultivo de maíz utilizando herramientas de sensoramiento remoto y mediciones dirigidas a campo. El estudio se realizó en el Establecimiento La Palma, Montoya, Entre Ríos. Se seleccionaron puntos sobre suelos con características diferentes en zonas de baja y alta productividad. En cinco momentos del ciclo de cultivo se determinó humedad gravimétrica hasta el metro de profundidad. Se realizaron mediciones con un clorofilómetro Minolta SPAD-502™ para caracterizar el perfil nitrogenado de la canopia. Se evaluó la evolución del cultivo a través de los mapas de NDVI y NDRE. El monitoreo del estado del cultivo y su dinámica a escala de establecimiento permitió explorar los efectos de la variabilidad espacio-temporal de los ambientes evaluados, contribuyendo a la selección de las herramientas de sensoramiento remoto que dieron cuenta de la condición del cultivo. La baja respuesta a la fertilización nitrogenada de las variables monitoreadas fue asociada a la baja disponibilidad de agua en combinación con la baja densidad de plantas utilizada.*

Palabras clave. *NDVI, NDRE, perfil hídrico, perfil nitrogenado*

Introducción

Conocer la variabilidad de los sistemas y cómo esta afecta la productividad de los cultivos, es uno de los desafíos más importantes que tiene la Agricultura de precisión (Mulla y Schepers, 1997). En la actualidad se ha difundido ampliamente el uso de sensores remotos para el monitoreo de cultivos a escala de predio, de lote y parcelas (Asam et al. 2013). El sensoramiento remoto permite, a través de índices espectrales como el NDVI (Rouse et al., 1973) o el NDRE (Gitelson y Merzlyak, 1994) relevar información asociada al vigor, cobertura, biomasa, estatus nitrogenado (N) e hídrico de los cultivos de manera rápida, económica y para grandes escalas (Haboudane et al., 2003; Gitelson et al., 2006). Para el caso del maíz (*Zea mays* L.), la información relevada sirve como soporte a la toma de decisiones de manejo agronómicas.

Respecto a la condición nitrogenada, aún surgen interrogantes relacionados a la precisión con la cual los índices espectrales estiman el estatus N del cultivo, debido a que estos obtienen información de superficie y no se conoce su penetración dentro de la canopia. Asimismo, el estatus hídrico del cultivo también puede monitorearse a partir de índices espectrales y vincularse con datos de humedad de suelo asociados a variabilidad edáfica. Debido a que el estatus N y la condición hídrica del cultivo interactúan generando variaciones en la respuesta a la fertilización nitrogenada, conocer la variabilidad de ambos a nivel de establecimiento y cómo se relacionan con índices espectrales resulta clave para plantear estrategias de manejo variable de fertilización. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue monitorear, a escala de establecimiento, la dinámica espacio-temporal en la humedad de suelo, el estatus N y su interacción en un cultivo de maíz utilizando herramientas de sensoramiento remoto y mediciones dirigidas a campo.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Establecimiento La Palma, ubicado en Montoya, Entre Ríos (Lat. -32.58; Long. -59.80), el que se sembró con maíz el 19 de septiembre de 2021 con una densidad de 55000 pl ha⁻¹ con los híbridos LT720 y NK890. La campaña se caracterizó por presentar escasas precipitaciones, en especial durante el período crítico, a lo que se sumaron temperaturas elevadas y persistentes (figura 1).

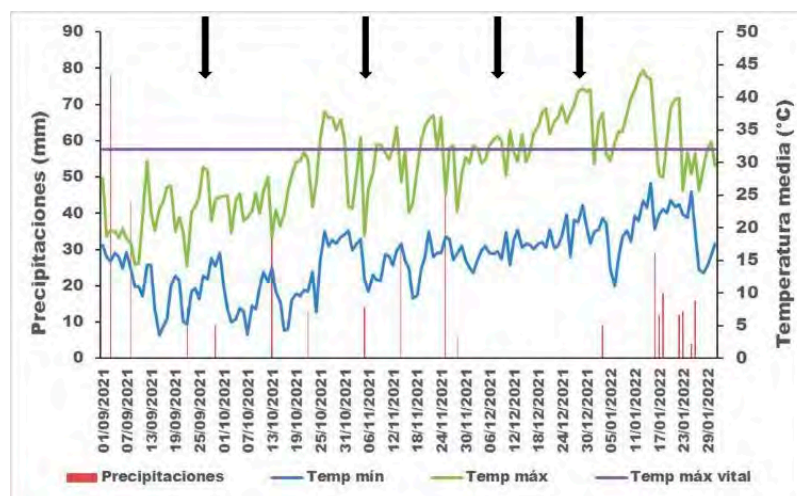


Figura 1. Marcha de las temperaturas mínimas y máximas y distribución de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento del cultivo, obtenidas en la Estación Meteorológica Automática Montoya (Lat. -32.58; Long. -59.89) de la Red de Estaciones de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos y registros manuales. Las flechas indican los momentos de muestreo. La línea continua horizontal representa la temperatura máxima de crecimiento del cultivo (33°C).

El establecimiento cuenta con una delimitación de ambientes realizada en base a información previa de mapas de rendimiento disponibles, que separa zonas de baja (BP) y alta (AP) productividad. En función de esta ambientación se seleccionaron puntos sobre suelos con características diferentes (figura 2). Se realizaron muestreos de suelo para determinar humedad gravimétrica en intervalos de 20 cm hasta un metro de profundidad. Adicionalmente, el 9/12/2021 y el 29/12/2021 se realizaron mediciones en cinco hojas centradas en la espiga con un clorofilómetro Minolta SPAD-502™ en un total de cinco plantas a fin de caracterizar el perfil N de la canopia. Se evaluó la evolución del cultivo a través de los mapas de NDVI y NDRE para todo el ciclo de crecimiento desde la plataforma de Auravant (<https://www.auravant.com/>).

Tabla 1. Descripción de análisis de suelo, N objetivo y dosis de fertilización con N para los ambientes de baja (BP) y alta (AP) correspondientes al establecimiento La Palma, en Montoya, E. Ríos (Lat. -32.58; Long. -59.80).

Ambiente	MO (%)	N-NO ₃ (kg ha ⁻¹) 0-60 cm	P disponible (ppm)	PH	N objetivo	Dosis N (kg N ha ⁻¹)
BP	2.95	37	8	5.5	120	83
AP	2.08	44	11	5.4	160	116

Resultados

Entre los puntos evaluados se observó un gradiente de variabilidad de suelos que evidenciaron respuestas diferentes a nivel de cultivo. Sin embargo, entre algunos de ellos se presentaron similitudes que permiten agruparlos. Los puntos 9 y 2 corresponden a suelos arenosos, mientras que los puntos 4 y 5, en el otro extremo, corresponden a suelos arcillosos, ubicándose los demás en condiciones intermedias.

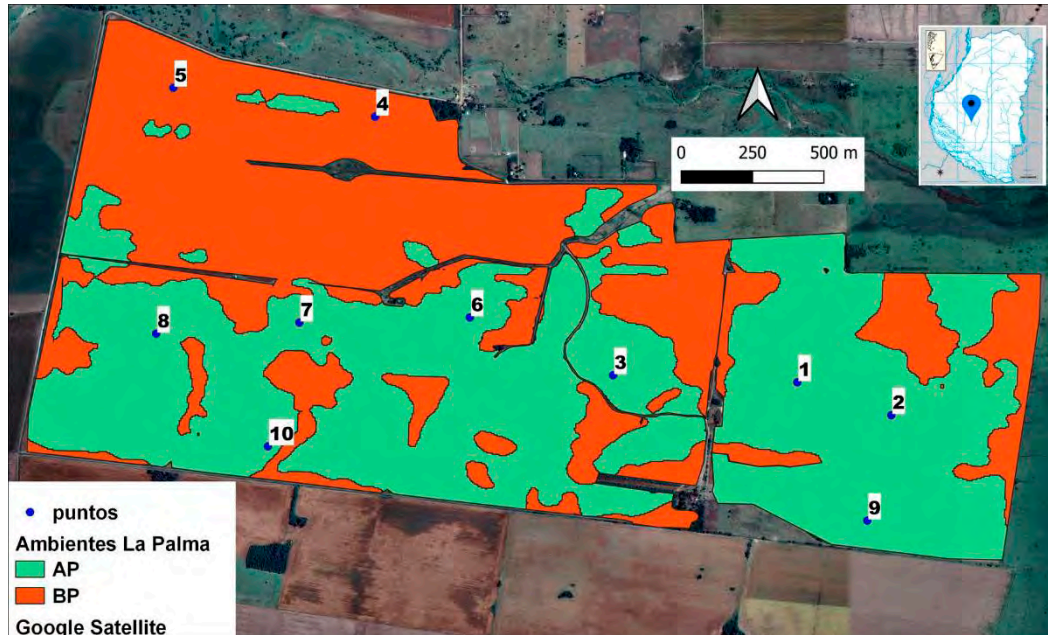


Figura 2. Delimitación de ambientes de baja (BP) y alta (AP) productividad y puntos de muestreo.

Los perfiles de humedad obtenidos en las distintas fechas evaluadas muestran variaciones según el tipo de suelo (figura 3). El punto 9 mostró las mayores disminuciones a través del tiempo en el contenido hídrico en todo el perfil, pero especialmente en las capas superiores. El punto 4 presentó los valores más elevados de humedad en todo el perfil para todas las fechas. La falta de precipitaciones en el mes de diciembre (figura 1) determinó disminuciones importantes en el contenido hídrico en todos los casos en todas las capas evaluadas.

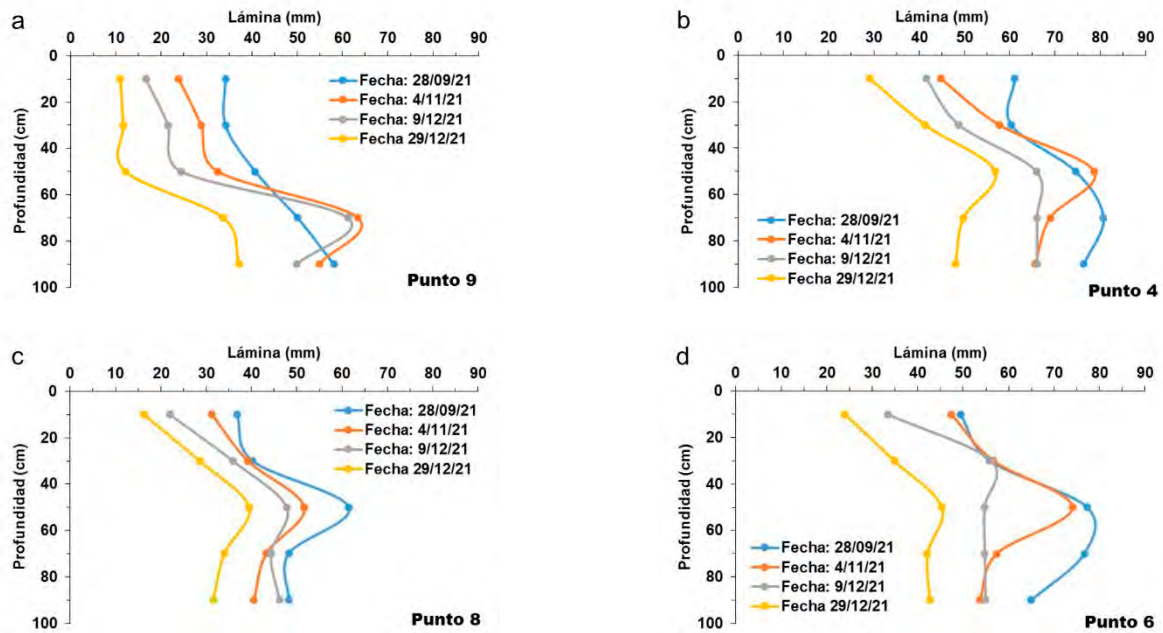


Figura 3. Perfiles de humedad para las fechas evaluadas en los puntos 9 a); 4 b); 8 c) y 6 d)

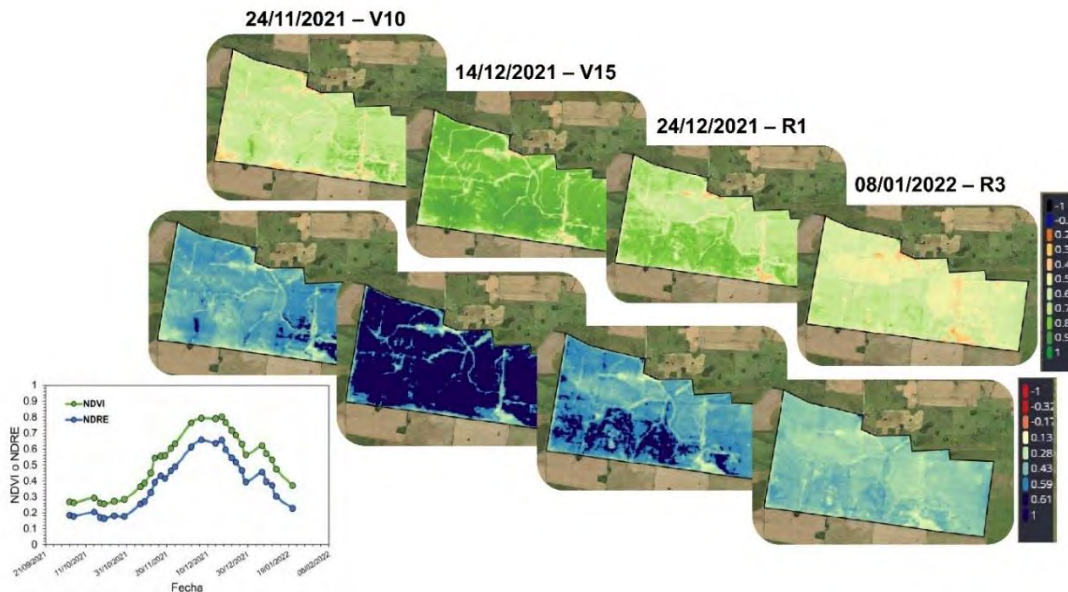


Figura 4. Variabilidad espacio-temporal del NDVI y el NDRE desde siembra a R4 en el establecimiento La Palma. El cuadro inserto corresponde al valor medio para todo el establecimiento.

Llamativamente, el cultivo presentó un crecimiento inicial lento, alcanzando valores bajos de NDVI y NDRE hasta el estadio de V10, lo cual pudo haber estado asociado a déficits hídricos puntuales y la baja densidad de plantas utilizada, conduciendo a bajos niveles de cobertura (figura 4). Comparando ambos índices, se puede observar que presentan una evolución similar durante todo el ciclo de crecimiento. Sin embargo, al estadio de R1 el NDRE permite separar mejor algunos ambientes comparado con NDVI, el cual tiene mayor tendencia a saturar en valores cercanos a 0.8.

Los perfiles de estatus N mostraron variaciones para los diferentes tipos de suelo y ambientes de productividad (figura 5). En general, para todos los puntos evaluados, se puede observar un mayor estatus N en los estratos superiores y medios de la canopía, mientras que en los estratos basales el estatus disminuye acorde a la removilización de fotoasimilados desde las hojas más adultas hacia los destinos reproductivos. Las mayores variaciones del estatus N entre estratos foliares se observaron en el Punto 9 y las menores en el Punto 8, mientras que los Puntos 6 y 4 mostraron variaciones intermedias.

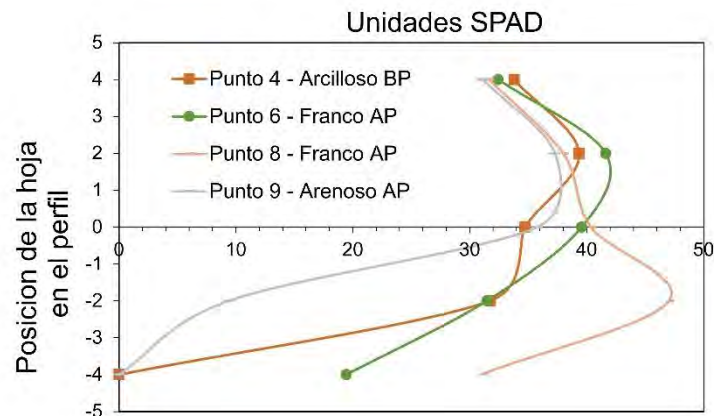


Figura 5. Perfiles de estatus N medidos con SPAD-502™ para puntos contrastantes en su textura de suelo (Arcilloso, Franco, Arenoso) y productividad (Alta, AP y Baja BP) para el 29/12/2021. El valor “0” sobre el eje Y corresponde a la hoja de la espiga.

Conclusiones

El monitoreo del estado del cultivo de maíz y su dinámica a escala de establecimiento permitió explorar los efectos de la variabilidad espacio-temporal de los diferentes ambientes evaluados, contribuyendo a la selección de las herramientas de sensoramiento remoto que dieron cuenta de la condición real del cultivo. En esta experiencia, la baja respuesta a la fertilización con N pudo haber estado asociada a la baja disponibilidad de agua en diciembre combinado con la baja densidad de plantas utilizada.

Agradecimientos

A la empresa El Hinojo S.A. por su colaboración para llevar adelante este trabajo. El mismo fue financiado con fondos del proyecto Proyecto I177 del INTA.

Referencias

- Asam, S., Fabritius, H. Klein, D., Conrad, C. & Dech, S. (2013) Derivation of leaf area index for grassland within alpine upland using multi-temporal RapidEye data. *International Journal of Remote Sensing*, doi.org/10.1080/01431161.2013.845316
- Gitelson, A. & Merzlyak, M. (1994) Quantitative estimation of chlorophyll using reflectance spectra. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(93\)06963-4](https://doi.org/10.1016/1011-1344(93)06963-4)
- Gitelson, A., Viña, A., Verma, S., Rundquist, D., Arkebauer, T., Keydan, G. & Suyker, A. (2006). Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: Implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2005JD006017>
- Haboudane, D., Miller, J., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. & Strachan, I. (2003) Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture, *Remote Sensing of Environment* <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>
- Mulla, D. J.; Schepers, J. S. (1997). Key processes and properties for site-specific soil and crop management. The state of site-specific management for agriculture, 1-18.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. & Deerin, D. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. N. SP-351. Ed Third ERTS Symposium. 1: 309-317. Washington.



Multi-class weed detection and classification system for tomato (*Solanum lycopersicul L.*) using neural networks.

Angel Toledo¹, Juan LOPEZ-CORREA¹, Dionisio ANDUJAR¹

¹ Centre for Automation and Robotics, CSIC-UPM, Arganda del Rey, 28500 Madrid, Spain

* d.andujar@csic.es

Industrial tomato (*Solanum lycopersicum L.*) is one of the most important agricultural crops worldwide. Weed control is of high importance due to the associated cost on this crop. Although weeds are heterogeneously present on the field creating weed patches, the conventional approach is to carry out an uniform herbicide application. Thus, site-specific management plays an important role by detecting and spatial positioning weed distribution within the fields. Object detection systems, using neural networks based on deep learning, are a potentially viable option given their extraordinary versatility. The present work aims to develop an automatic weed detection and classification system for the following species: *Portulaca oleracea L.*, *Cyperus rotundus L.*, *Solanum nigrum L.* *Echinocloa cruzgalli L.*, *Setaria italica L.* It employs one-stage object detection algorithm based on neural networks. For this purpose, a data set formed by RGB images, properly labeled in the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) code, was developed and trained using Retina Net Object Detection Model. The performance evaluation with the mean Average Precision (mAP) metric, showed a result of correct classification higher than 90%, discriminating between tomato crops and the two groups broadleaf and narrowleaf weeds. In addition narrow leaf weeds were properly separated, such as, *Cyperaceae and Poaceae* families. This research is the basis of the development of intelligent tools for weed control in tomato fields looking for a more sustainable agriculture.



Mapeo digital de la dinámica de herbicidas en suelos

Franca, Giannini-Kurina¹; Susana Hang²; Mónica Balzarini^{1,2}.

¹CONICET-UFYMA Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola; ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen

Los procesos de retención y disipación lideran la dinámica de herbicidas en suelos. El mapeo a escala de paisaje de los parámetros relacionados con la adsorción en el suelo (Kd) y la disipación (vida media, $t_{1/2}$) de fitosanitarios resulta crucial para la uso, manejo y conservación de ambientes productivos. En este trabajo se ajustaron modelos de regresión espacial que utilizan propiedades de suelo como variables explicativas de Kd y $t_{1/2}$, obtenidas desde muestreos de suelo que fueron procesados en laboratorio. Como variables explicativas, se seleccionaron variables edafoclimáticas y relativas al uso del suelo usando técnicas de aprendizaje automático y medidas de capacidad predictiva. Con las variables seleccionadas se ajustaron modelos jerárquicos bayesianos de regresión (RB) adicionando efectos aleatorios de sitio correlacionados espacialmente mediante el software R-INLA. Los modelos ajustados fueron usados para predecir parámetros de la dinámica de atrazina y Glifosato sobre una grilla espacial fina que permitió mapear la variabilidad espacial de Kd y $t_{1/2}$ en la provincia de Córdoba. Para atrazina, la variabilidad del Kd se predijo bien usando como predictoras balance hídrico, carbono orgánico total y arcilla, mientras que la retención de Glifosato se explicó a partir de valores de óxidos de aluminio, pH y arcilla. La $t_{1/2}$ de atrazina resultó significativamente menor en suelos con historial de cultivos de gramíneas. Los mapas de comportamiento regional de Kd y $t_{1/2}$ de atrazina se utilizaron conjuntamente para estimar riesgos ambientales. El protocolo de análisis desarrollado es extensible a otras moléculas de fitosanitarios.

Palabras clave. Predicción espacial, Datos espaciales, Mapeo basado en modelos, Atrazina, Glifosato.

Introducción

El centro de Argentina es una región de intensa producción extensiva de granos con riesgos ambientales de contaminación por aplicación de fitosanitarios, especialmente herbicidas (Maggi et al. 2019; Tang et al. 2021). Existen numerosos esfuerzos por reducir el uso de éstos productos y su impacto ambiental, orientados a controlar pérdidas no deseadas de fitosanitarios debidas a la deriva del rociado, volatilización, infiltración y escorrentía en las áreas tratadas (Mottes et al. 2014). La magnitud riesgo de contaminación asociado a la aplicación de herbicidas depende de la dosis, las prácticas y las características del ambiente de aplicación como así también de las propiedades intrínsecas de la sustancia en sí. Particularmente los herbicidas usados en pre siembra interactúan con el suelo y son las características fisicoquímicas y la posición en el paisaje las que regularán el destino y la potencialidad contaminante de la sustancia aplicada (Mamy et al. 2015; Silva et al. 2019). La dinámica de herbicidas en suelo depende de los procesos de retención y disipación que son caracterizados por el coeficiente de adsorción (K_d) y la vida media ($t_{1/2}$), respectivamente. El coeficiente K_d expresa la relación entre la concentración de la molécula retenida en la fase sólida y la concentración de la misma en fase acuosa. Los valores de K_d determinados para cada herbicida no son constantes y varían en función de las propiedades edáficas particulares de cada suelo. Se expresan en unidades de volumen por masa; mientras mayor es el K_d , mayor será la adsorción del herbicida al suelo. En términos de riesgo ambiental la erosión con arrastre de sólidos incrementa la peligrosidad de los herbicidas en suelos con altos K_d , mientras que valores bajos de retención sugieren mayor potencial de pérdida por lixiviación y escurrimiento de la molécula. El parámetro vida media ($t_{1/2}$) representa el tiempo transcurrido hasta alcanzar la mitad la concentración de aplicada. La $t_{1/2}$ indica la persistencia del compuesto en el suelo que está condicionada por procesos de fotólisis, hidrólisis, degradación microbiana y óxido reducción. En los sitios donde las moléculas del herbicida alcanzan mayor vida media, es decir, son más persistentes, la molécula está más disponible para ser lixiviada (Sinkkonen and Paasivirta 2000).

La variabilidad de estos parámetros de la dinámica ha sido rigurosa y extensamente descrita en la literatura científica asociada a distintos tipos, usos y manejos de suelos y de herbicidas. Si bien, estos estudios han permitido comprender y profundizar la naturaleza fisicoquímica de los procesos de retención y disipación, no son suficientes para describir la variabilidad espacial de los riesgos de contaminación difusa. Las determinaciones de laboratorio necesarias para procesar las muestras de suelos en búsqueda de estos parámetros indicadores son costosa y por lo tanto difícil de generar en volúmenes para estudios a escala regional. En este sentido, adquieren especial relevancia las técnicas de análisis englobadas bajo el mapeo digital de suelo, el cual tiene por objetivo describir la variabilidad espacial de una propiedad edáfica a través de modelos de predicción espacial que explican la relación que existe entre la variable de interés y covariables sitio-específicas (McBratney et al. 2003) los cuales son estimados desde un número de muestras de suelo donde las determinaciones son económicamente viables. En este trabajo se implementaron nuevas herramientas estadísticas en el contexto del mapeo digital de suelos con el objetivo de integrar mediciones de variables ambientales (edafoclimáticas y de uso de suelo) con mediciones de K_d y $t_{1/2}$ para dos herbicidas ampliamente usados en la región central de Argentina. Los objetivos del trabajo fueron generar modelos estadísticos capaces de proveer predicciones espaciales de la dinámica de los herbicidas en un dominio espacial continuo a partir de un muestreo discreto de suelos e implementar estos modelos para el mapeo digital de índices de la dinámica de herbicidas con la finalidad de interpretar los potenciales riesgos en un contexto ambiental.

Materiales y métodos

Se construyó una base de información ambiental georreferenciada para la provincia de Córdoba que incluye datos de propiedades edáficas proveniente de un muestreo de suelos realizado a escala regional previamente (Hang et al. 2015). El muestreo de suelo se realizó sistemáticamente a través del territorio de la provincia de Córdoba con una grilla regular de resolución 20 x 20 km. Cada sitio fue caracterizado a partir de variables edáficas medidas en laboratorio y una serie de variables topográficas y ambientales derivadas de bases de datos georreferenciadas (Giannini-Kurina et al., 2019). Para un subconjunto de aproximadamente 100 muestras de suelos, de las distintas zonas, se determinó el coeficiente de K_d para atrazina y para Glifosato. Además, se obtuvieron los tiempos de $t_{1/2}$ modelando curvas de disipación desde datos generados en incubaciones. Las curvas sitio-específicas se estimaron a partir del ajuste de un modelo no lineales mixto exponencial con efecto

aleatorio de sitio sobre la pendiente, y desde cada una se derivó el tiempo de vida media de cada suelo (Giannini-Kurina et al. 2022).

Para caracterizar la variabilidad espacial de los parámetros, se diseñó una secuencia metodológica orientada a la obtención de modelos predictivos espaciales y el posterior mapeo digital basado en modelos. La metodología desarrollada involucra tres etapas: 1) selección de variables edafoclimáticas y de uso de suelo con potencialidad de explicar los procesos de retención o disipación mediante aprendizaje automático y optimización de errores de predicción, 2) ajuste de un modelo de regresión donde se expresa el índice del proceso como dependiente de las variables seleccionadas. Se utilizaron regresiones jerárquicas bayesianas mediante aproximación integrada por Laplace (R-INLA) incluyendo un efecto aleatorio de sitio valuado mediante ecuaciones diferenciales parciales estocásticas (Cameletti et al. 2013; Krainski et al. 2018). 3) mapeo digital de los índices de interés a mayor resolución y escala regional. Se obtuvo la distribución a posteriori predicha en cada uno de los sitios de predicción en una grilla de resolución de 2.5x2.5 km, se informaron la media de dichas distribuciones como la predicción puntual y el intervalo intercuartílico relativo a la media del sitio como medida de la incertidumbre de la predicción (Huang et al. 2017).

Resultados y Discusión

Los modelos de regresión ajustados son el logaritmo natural del Kd o la vida media ya que las distribuciones de los índices resultaron asimétricas. Las variables edáficas que maximizaron la capacidad predictiva de cada uno de los índices se presentan en la Tabla 1. Además, como se trata de regresiones que contemplan la dependencia espacial entre observaciones vecinas se muestran los parámetros que modelan esa dependencia en el término aleatorio de sitio.

Tabla 1: Parámetros de la dinámica de Atrazina y Glifosato en suelo en función a propiedades edafoclimáticas

	<i>ln(Kd)</i> Glifosato	<i>ln(Kd)</i> Atrazina	<i>ln(t_{1/2})</i> Atrazina
<i>Parámetros de regresión</i>			
Intercepto	4.11±1.09 [†]	Intercepto	-4.332±1.772
Arcilla	0.05±0.01	TvsPP ^{††}	3.577±1.101
Al(Ox)	21.26±6.89	pp	0.005±0.001
Al(Ox)	-51.07±24.73	COS	0.018±0.008
pH	-0.56±0.12	COS ²	0.0004±0.0002
		Arcilla	0.006±0.003
<i>Hyperparámetros de autocorrelación espacial</i>			
Rango	48176±12212	Rango	70395±13386
Sill	0.35±0.060	Sill	0.419±0.099
<i>Desempeño predictivo</i>			
EPG (%)	13±7	EPG (%)	27±5
ESE <25%	66±8	ESE <25%	74±6
		EPG (%)	22±3
		ESE <25%	86±12

[†]Se informan las medidas resúmenes (Media±DE) de la distribución a posteriori predicha de cada parámetro de regresión ^{††}TvsPP: cociente entre temperatura media anual y pluviometría anual; pp: precipitación anual acumulada; COS: Carbono Orgánico de Suelo; Al(Ox): Oxidos de Aluminio. ^{†††}EPG: Error de predicción global calculado como la raíz cuadrada del error cuadrático medio de predicción relativo a la media global.

Los resultados sugieren que los procesos involucrados en la adsorción de moléculas orgánicas al suelo están condicionados por fenómenos que ocurren en el complejo de intercambio del suelo. Estos son procesos coloidales, en los que la acidez, el contenido de arcilla y el COS son variables influyentes ya que favorecen la adhesión de moléculas a la superficie del suelo (Calvet 2005; Weber et al. 2004). Los sitios con suelos con mayor contenido de óxidos de aluminio aumentaron la retención del Glifosato, mientras que el pH del suelo disminuyó la retención aumentando el riesgo de pérdida de moléculas por lixiviación o escorrentía. En el caso de la atrazina, la precipitación anual, la relación temperatura media/precipitación, el COS y el contenido de arcilla de los suelos del sitio incrementaron la capacidad de retención de las moléculas del herbicida. Si bien se ha reportado que el pH del suelo tiene un papel clave en el Kd de atrazina, tal relación no fue evidente en los suelos de la Provincia de Córdoba. Se ha encontrado que el COS y la arcilla favorecen los procesos de retención, mientras que un aumento en el pH reduce los sitios disponibles para que las moléculas se adhieran a la superficie del suelo. Respecto a la influencia de óxidos de aluminio Al(ox), se conoce que el Glifosato forma enlaces de coordinación con cationes polivalentes (Al³⁺, Fe³⁺) adsorbidos a planos basales de minerales y espacios entre capas de arcillas expansivas (Meng et al. 2003). Por otro lado, las variables climáticas pp (precipitación anual acumulada) y TvsPP

(precipitación anual acumulada/temperatura media, como indicador de balance hídrico) resumen el papel que el clima tiene como factor formador del suelo y su consecuencia sobre la dinámica del herbicida.

En el modelo de $t_{1/2}$ de Atrazina, el COS y el uso del suelo fueron las dos variables que mejor predijeron la variabilidad de su vida media. La vida media de atrazina más baja en los suelos cultivados con gramíneas. Como lo muestra el coeficiente de regresión para la variable COS, se encontró que la vida media de la atrazina disminuyó significativamente con valores crecientes de COS. La aplicación de atrazina cada dos años es suficiente para el desarrollo de microorganismos adaptados a la mineralización del anillo de triazina (Krutz et al. 2008). En los suelos de la Provincia de Córdoba, la vida media varió entre 16 y 41 días según el historial de atrazina en el desarrollo de una microflora degradante (Hang et al. 2003). La posible adaptación de la microflora del suelo a la degradación de la atrazina ha sido demostrada en muestras de suelo del centro de Argentina y es el agente causal de la mineralización acelerada, con porcentajes que pueden llegar al 60% de la atrazina aplicada en pocos días (Barriuso and Houot 1996).

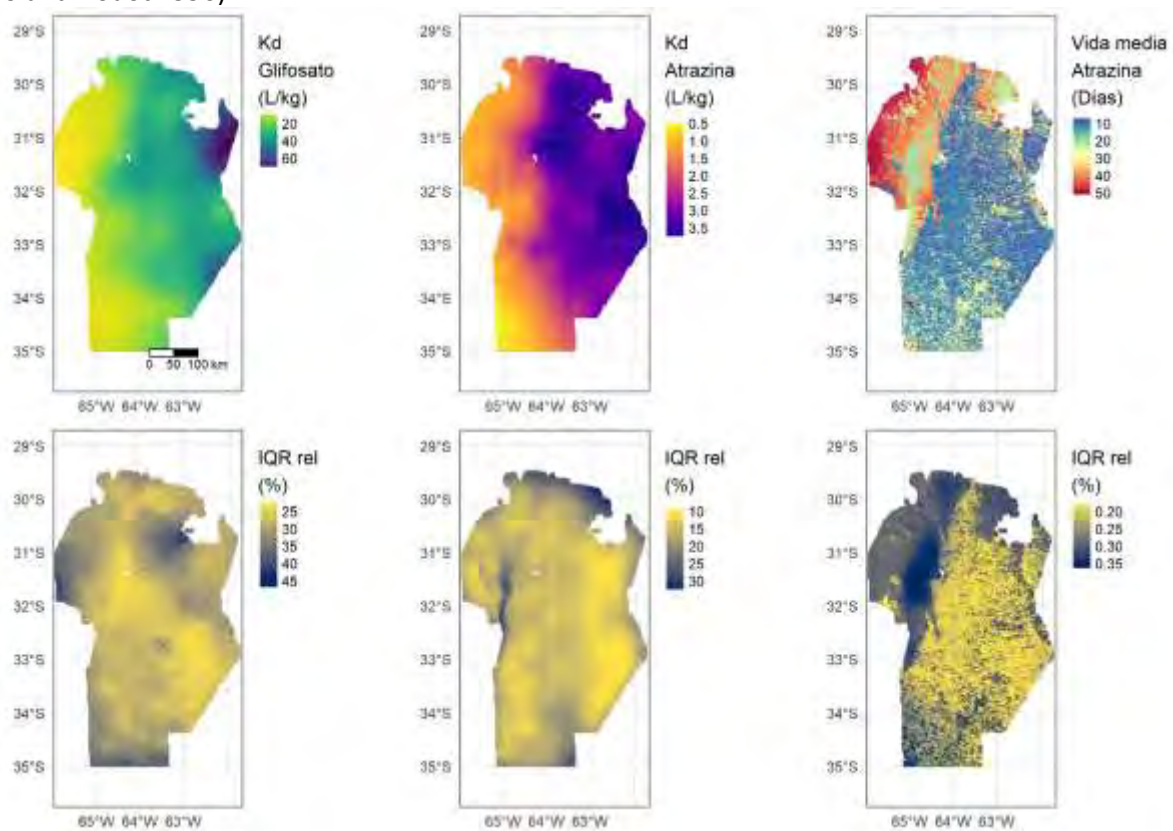


Figura 1: Mapeo de los parámetros de la dinámica de Atrazina y Glifosato en suelo en Córdoba, Argentina (arriba). Incertidumbre de las predicciones medida como rango intercuartílico expresada como porcentaje del valor predicho (abajo).

La implementación de la metodología de mapeo digital, basada en los modelos de regresión bayesianos, permitió evaluar el comportamiento ambiental de los procesos de retención y vida media generando mapas que cuentan con medidas de incertidumbre de las predicciones (Figura 1). A través de estos mapas, se identificaron situaciones con potencialidad contaminante en función a los diferentes desplazamientos que podrían experimentar las moléculas de herbicida en suelo. Comparando los mapas generados en este trabajo con mapas publicados de erosión hídrica y eólica potencial, topografía y limitantes por drenaje de la provincia de Córdoba se pudo comprender la variabilidad de la peligrosidad ambiental debida al uso de herbicidas a través del territorio. Para el caso de atrazina se identificó que en el centro-este existe mayor propensión a la contaminación por transporte de la molécula adherida a partículas de suelo. En la región suroeste hay mayor riesgo debido a pérdidas por lixiviación, mientras que, en el noroeste de la provincia de Córdoba, la molécula puede salir del sistema disuelta o adsorbida a partículas de suelo. Por otra parte, los mapas generados para atrazina fueron consistentes con el

conocimiento existente sobre el impacto de la historia de uso del herbicida sobre la persistencia. Los suelos que reciben recurrentemente Atrazina desarrollan una microflora adaptada causante de la mineralización acelerada, es decir el herbicida pierde efectividad por dilución y no por resistencia de las malezas como erróneamente se podría interpretar. Para el caso de Glifosato el mapa resultante muestra que las características edáficas tienen fuerte dominio sobre el comportamiento espacial, más aún debido a que la degradación responde a mecanismos relacionados a una microflora inespecífica. Las zonas identificadas por su mayor retención, al este de la Provincia, se correspondieron con las de mayor vulnerabilidad frente a la erosión hídrica. Aquí, las moléculas de Glifosato podrían ser transportado junto con suelo por erosión eólica. Mientras que, al oeste, con baja retención, se incrementa el riesgo de salida de la molécula en solución, ya sea en dirección horizontal o vertical.

El potencial de contaminación depende luego de diversas causas que implican la salida de la molécula del ambiente suelo, usualmente debidas a procesos de erosión eólica o hídrica (adsorbido o en solución). Es decir, que prácticas de conservación de suelo y tratamiento de la erosión, como la sistematización de terrenos, sistemas de siembra directa acoplados a rotaciones coherentes y siembras contra pendiente constituyen importantes herramientas para reducir la potencialidad contaminante de estos herbicidas.

Conclusiones

El enfoque metodológico de la predicción basada en modelos, aplicado al muestreo de suelos disponible para la provincia de Córdoba, resultó apto para la obtención de mapas de variabilidad espacial de los procesos de retención y disipación de herbicidas en suelo. El mapeo digital de retención y disipación a partir de características del ambiente permitió analizar la dinámica del herbicida en suelo junto con información del contexto resultando así en un enfoque superior al propuesto en estudios realizados sobre muestras de suelos aisladas y desvinculadas de las características ambientales de variables espaciales y su correlación en el espacio.

Referencias

- Barriuso, E., & Houot, S. (1996). Rapid mineralization of the s-triazine ring of atrazine in soils in relation to soil management. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(10–11), 1341–1348.
- Calvet, R. (2005). *Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales*. France Agricole Editions.
- Cameletti, M., Lindgren, F., Simpson, D., & Rue, H. (2013). Spatio-temporal modeling of particulate matter concentration through the SPDE approach. *ASIA Advances in Statistical Analysis*, 97(2), 109–131. <https://doi.org/10.1007/s10182-012-0196-3>
- Giannini-Kurina, F., Balzarini, M., Rampoldi, A., & Hang, S. (2019). Site-specific data on herbicide soil retention and ancillary environmental variables. *Data in Brief*, 104754. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104754>
- Giannini-Kurina, F., Borello, J., Cañas, I., Hang, S., & Balzarini, M. (2022). Mapping atrazine persistence in soils of central Argentina using INLA. *Soil and Tillage Research*, 219, 105320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105320>
- Hang, S., Barriuso, E., & Houot, S. (2003). Behavior of 14 C-atrazine in Argentinean topsoils under different cropping managements. *Journal of environmental quality*, 32(6), 2216–2222.
- Hang, Susana, Negro, G., Becerra, A., & Rampoldi, A. E. (2015). *Suelos de Córdoba: Variabilidad de las propiedades del horizonte superficial*. Córdoba, Argentina.: Jorge Omar Editorial.
- Huang, J., Malone, B. P., Minasny, B., McBratney, A. B., & Triantafyllis, J. (2017). Evaluating a Bayesian modelling approach (INLA-SPDE) for environmental mapping. *Science of the Total Environment*, 609, 621–632.
- Krainski, E. T., Gómez-Rubio, V., Bakka, H., Lenzi, A., Castro-Camilo, D., Simpson, D., et al. (2018). *Advanced spatial modeling with stochastic partial differential equations using R and INLA*. Chapman and Hall/CRC.
- Krutz, L. J., Shaner, D. L., Accinelli, C., Zablotowicz, R. M., & Henry, W. B. (2008). Atrazine dissipation in s-triazine-adapted and nonadapted soil from Colorado and Mississippi: implications of enhanced degradation on atrazine fate and transport parameters. *Journal of environmental quality*, 37(3), 848–857.
- Maggi, F., Tang, F. H. M., la Cecilia, D., & McBratney, A. (2019). PEST-CHEMGRIDS, global gridded maps of the top 20 crop-specific pesticide application rates from 2015 to 2025. *Scientific Data*, 6(1), 170. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0169-4>
- Mamy, L., Patureau, D., Barriuso, E., Bedos, C., Bessac, F., Louchart, X., et al. (2015). Prediction of the fate of organic compounds in the environment from their molecular properties: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(12), 1277–1377. <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.955627>
- McBratney, A. B., Mendonça Santos, M. L., & Minasny, B. (2003). *On digital soil mapping*. *Geoderma* (Vol. 117). [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- Meng, J., Zhang, H., Evans, G. D., & Duan, X. (2003). Studies on assembly and structure of supramolecular glyphosate intercalated magnesium-aluminum layered double hydroxide. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 24(7), 1315–1319.
- Mottes, C., Lesueur-Jannoyer, M., Le Bail, M., & Malézieux, E. (2014). Pesticide transfer models in crop and watershed systems: a review. *Agronomy for sustainable development*, 34(1), 229–250.
- Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>
- Sinkkonen, S., & Paasivirta, J. (2000). Degradation half-life times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling. *Chemosphere*, 40(9–11), 943–949.
- Tang, F. H. M., Lenzen, M., McBratney, A., & Maggi, F. (2021). Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature Geoscience*, 14(4), 206–210.
- Weber, J. B., Wilkerson, G. G., & Reinhardt, C. F. (2004). Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties. *Chemosphere*, 55(2), 157–166.

Evaluación de la calidad de aplicación de herbicida y control de malezas con dron y con equipo pulverizador terrestre en el cultivo de soja

Brunori, A.^{1,2,3}; Muñoz, S. ¹; Belluccini, P. ¹; Bergman, N. ⁴; Antonelli Rosch⁴, Franco

¹EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. ²Facultad de Cs. Agrarias Universidad Nacional de Rosario, Argentina. ³Instituto Académico Pedagógica de Cs. Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María. ⁴Vistaguay

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

En los últimos años se incrementó el uso de drones para diferentes prácticas en la agricultura, entre ellas la aplicación de fitosanitarios. Sin embargo, hay escasa información acerca de la calidad de aplicación que producen. En la campaña agrícola 2020/21, en la Estación Experimental de INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina, se evaluó la calidad de la aplicación de herbicidas y el control de malezas con equipo de aplicación aéreo dron AGRAS MG 1-p y con equipo pulverizador terrestre de arrastre. En un lote de soja en estadio fenológico R5 con presencia de Eleusine indica se aplicó 1080 g e.a. de glifosato. El diseño del experimento fue factorial en bloques completos aleatorizados. El primer factor fue el volumen de aplicación por hectárea con 4 niveles, 5 L, 10 L, 18 L y 110 L, y el segundo factor fue la boquilla hidráulica con dos niveles, abanico plano y cono hueco. Se colocaron tarjetas hidrosensibles en cada parcela en los estratos inferior, medio y superior del cultivo de soja, a los 10 cm, 30 cm y 60 cm sobre el nivel del suelo, respectivamente. Luego de la aplicación las tarjetas fueron escaneadas y analizadas con el software CIR 1.5. A los 30 días después de la aplicación se determinó el porcentaje de control de malezas. Los datos fueron analizados bajo el modelo lineal generalizado mixto con el software Infostat. Se determinaron diferencias significativas con el test LSD Fisher ($p < 0,05$). En el estrato inferior, el mayor número de gotas se registró con el volumen de aplicación de 110 L/ha y fue de 10 gotas/cm², no existiendo diferencias entre boquillas hidráulicas. Luego, con menores valores y sin diferencias entre ellos se encontraron el resto de los tratamientos. En el estrato medio se determinó interacción entre el tipo de boquilla y el volumen de aplicación. Los mayores números de gotas/cm² se hallaron en un rango entre 16 y 31 con el volumen 110 L/ha independientemente de la boquilla utilizada y el volumen de 10 L/ha con cono hueco. Luego, sin diferencias entre ellos se encontraron el resto de los tratamientos. En el estrato superior se determinó interacción entre tratamientos. La mayor cantidad de gotas/cm² fue de 70 con el volumen de 110 L/ha con cono hueco, seguido por el mismo volumen con abanico plano y 10 L/ha con cono hueco. Con valores menores a 19 gotas/cm² se encontraron el resto de los tratamientos, sin diferencias entre ellos. A los 30 días después de la aplicación se alcanzó

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022

INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

un porcentaje de control promedio de 90 %, con excepción de los tratamientos aplicados con dron con un volumen de 5 L/ha. A diferencia de la tasa de aplicación, el tipo de boquilla no fue determinante en los controles alcanzados. A pesar de la baja cantidad de gotas logrados con aplicación de dron en los volúmenes de 18 y 10 l/ha, el adecuado control de malezas pudo deberse a que el glifosato es un herbicida con marcada sistemía en la planta y a que los volúmenes de aplicación reducidos produjeron gotas con mayor concentración de ingrediente activo lo cual favoreció su absorción modulada por gradiente de concentración. Además de la recomendación de un fitosanitario efectivo, la técnica de aplicación es determinante en el éxito del control de malezas, por lo cual estos valiosos resultados permitirán optimizar el uso drones en la aplicación de fitosanitarios.

Palabras clave. Control de malezas, Dron, Calidad de Aplicación

Evaluación de la calidad de aplicación y del control de malezas con dron y con equipo pulverizador terrestre en barbecho

Muñoz, S. ¹; Brunori, A.^{1,2,3}; Belluccini, P. ¹; Bergman, N. ⁴; Antonelli Rosch⁴, Franco

¹EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. Facultad de Cs. Agrarias Universidad Nacional de Rosario, Argentina. ³Instituto Académico Pedagógica de Cs. Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María. ⁴Vistaguay

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

*En los últimos años se incrementó el uso de drones para la aplicación de fitosanitarios. Sin embargo, hay escasa información acerca de la calidad de aplicación que producen. En la campaña agrícola 2020/21, en la Estación Experimental de INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina, se evaluó la calidad de la aplicación y el control de malezas con equipo de aplicación aéreo dron AGRAS MG 1-p y con equipo pulverizador terrestre de arrastre. En un lote en barbecho con presencia de *Chloris virgata* de 30 cm de altura se aplicó 1080 g e.a. de glifosato. El diseño del experimento fue factorial en bloques completos aleatorizados. El primer factor fue el volumen de aplicación por hectárea con 4 niveles, 5 L, 10 L, 18 L y 110 L, y el segundo factor fue la boquilla hidráulica con dos niveles, abanico plano y cono hueco. Se colocaron tarjetas hidrosensibles en cada parcela a 10 cm sobre el nivel del suelo. Luego de la aplicación las tarjetas fueron escaneadas y analizadas con el software CIR 1.5. A los 7 días después de la aplicación (DDA) se determinó el porcentaje de control de malezas. Los datos fueron analizados bajo el modelo lineal generalizado mixto con el software Infostat. Se determinaron diferencias significativas con el test LSD Fisher ($p < 0,05$). Los tratamientos con equipo terrestre con un volumen de 110 L/ha presentaron los mayores números de gotas por cm^2 , los cuales fueron de 278 y 144 con el uso de boquilla cono hueco y abanico plano, respectivamente. Luego, con una marcada diferencia, el resto de los tratamientos con dron alcanzaron en promedio 30 gotas por cm^2 . Los menores valores de Diámetro Mediano Volumétrico se registraron con cono hueco con 5, 10 y 110 L/ha y con abanico plano con 5 L/ha, alcanzado en promedio 240 μm . Respecto al DV 0,10, el mayor fue de 185 μm con la boquilla abanico plano con 110 L/ha. A los 7 DDA, el mayor control de maleza fue de 90 % con dron y boquillas abanico plano, erogando un volumen de 10 y 18 L/ha. Esto puede deberse a que la menor cantidad de gotas producidas con el dron contenían mayor concentración de ingrediente activo lo cual favoreció su absorción modulada por gradiente de concentración. Además, estos resultados indican que, del análisis del número de gotas para evaluar la calidad de aplicación debe considerarse la tasa. La técnica de aplicación es determinante en el éxito del control de malezas, por lo cual estos valiosos resultados permitirán optimizar el uso drones en la aplicación de fitosanitarios.*

Palabras clave. Control de malezas, Dron, Calidad de Aplicación

Nutritional analysis of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium, Iron, Manganese and Boron in “Rojo Brillante” Persimmon leaves by VIS/NIR reflectance spectroscopy

Maylin Acosta^{1,2*}, Isabel Rodríguez², Fernando Visconti², Sandra Munera², José Miguel de Paz², Ana Quiñones², José Blasco²

¹ Polytechnic University of Valencia, Camí de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. ² Valencian Institute of Agricultural Research (IVIA), CV-315, km 10.7, 46113 Moncada Valencia, Spain

*Correspondence: Maylin Acosta, maylinacostatello@gmail.com

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Nowadays, the nutritional diagnosis of plants is carried out by means of expensive chemical analysis of leaf ionomics in the laboratory. With the advance of agricultural technology, the spectroscopy technique could substituted the destructive analyses to determining or predict certain plant's characteristics, such as the nutritional status of plants through foliar analysis. For this reason, the objective of this work is to develop a method to estimate the concentrations of macronutrients (nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg)) and micronutrients (iron (Fe), manganese (Mn) and boron (B)) in "Rojo Brillante" persimmon leaves, using a rapid and non-destructive spectral measurement. For the nutritional diagnosis, six leaves/treatment/repeat were taken from two rootstocks belonging to the spring budding without terminal fruit in the months of april, june, july, september, october and november of 2020. The sampling was done randomly, seventy-two leaves/ rootstock/month were collected and reflectance spectral measurements were obtained with a spectral range of 430 - 1040 nm. Leaf ionomics was determined by emission spectrometry (ICP-OES) for P, K, Ca, Mg, Fe, Mn and B after microwave digestion, and by the Kjeldahl method for N quantification. A regression model based on partial least squares (PLS-R) was constructed where the measured variables were correlated with the spectral reflectance data of the different samples, using 75 % of them to calibrate and validate the model by cross validation. The remaining 25 % were left as an independent test set (external validation). Previous to that, some spectral pre-treatments were performed in order to improve the predictive capacity of the constructed models. The Results obtained for the test set were: $R^2 = 0.74$ for N, $R^2 = 0.74$ for P, $R^2 = 0.54$ for K, $R^2 = 0.77$ for Ca, $R^2 = 0.60$ for Mg, $R^2 = 0.39$ for Fe, $R^2 = 0.69$ for Mn and $R^2 = 0.83$ for B.

Palabras clave.

Spectroscopy, reflectance, foliar analysis, VisNIR

DetECCIÓN DE CICATRICES DE INCENDIOS SOBRE CULTIVOS EN LA LLANURA TUCUMANA APLICANDO TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG

¹⁻² Federico J. Soria, ¹⁻² Javier I. Carreras Baldres, ¹ Pablo Scandaliaris y ¹ Carmina Fandos

¹ Sección Sensores Remotos y SIG, Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC). Las Talitas, Tucumán, Argentina. ² Instituto de Estudios Geográficos “Guillermo Rohmeder”, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Tucumán.

federicos@eeaoc.org.ar - jcarreras@eeaoc.org.ar - pablos@eeaoc.org.ar
carminaf@eeaoc.org.ar

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

La Sección Sensores Remotos y SIG de la EEAOC realiza el seguimiento de los principales cultivos y sus prácticas agrícolas en la provincia de Tucumán, como así también de los fenómenos meteorológicos y antrópicos que los afectan.

Las líneas de trabajo de la Sección incluyen el monitoreo de quema en cultivos de caña de azúcar, en otros cultivos y coberturas vegetales como ser monte natural y otras no identificadas (pastizales, cultivos no recurrentes o esporádicos, etc).

Entre los efectos negativos del fuego sobre la cobertura del suelo se destaca la disminución en el control sobre la erosión hídrica y eólica; de la estructuración del suelo, de la infiltración y almacenaje de agua y del contenido de materia orgánica. Además se reduce el secuestro de carbono y aumenta la emisión de GEI.

Existen escenarios predisponentes para la propagación de este fenómeno en el área productiva de la llanura tucumana. Es el caso del día 26 de octubre de 2021, en el cual los registros dieron muestra de una temperatura del aire que llegó hasta los 39° centígrados, la temperatura del aire a 20 cm del suelo se elevó a 43,3° centígrados y la humedad relativa del aire era muy baja, 7%, en tanto que el viento predominante del N y del NNE llegó a una velocidad media de 29 km/hora, con rachas de hasta 46,7 km/hora. En este escenario se declararon varios incendios en los departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales, extendiéndose en algunos casos hasta la provincia de Santiago del Estero, conformando el área de estudio del presente trabajo.



La información de las condiciones del tiempo se obtuvo de la estación meteorológica Javicho, representativa del sector en estudio, integrante de la Red de Estaciones Meteorológicas on line de la EEAOC.

La metodología empleada se basó en la teledetección y el empleo de SIG. A los efectos de realizar un relevamiento de la superficie involucrada en dichos incendios, se realizó el análisis digital y analógico de imágenes satelitales Sentinel 2A y 2B y de imágenes categorizadas de los cultivos que ocuparon el área en el presente año, a fin de cuantificar la superficie afectada por los incendios y los cultivos involucrados.

Esta información fue utilizada por la Dirección de Agricultura de la provincia de Tucumán para determinar el alcance de la Emergencia Agropecuaria.

En el presente Congreso se presentarán los resultados obtenidos para este trabajo, en los cuales se identificó un total de 7.700 ha afectadas aproximadamente.

Palabras clave. *Teledetección, Quemas, Emergencia agropecuaria.*

NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MITIGAR ADVERSIDADES EN APLICACIONES DE FITOSANITARIOS EN ZONAS PERIURBANAS.

**Ing. Agr. Ulises Loizaga; Dr., Ing. Agr. Ramón Hidalgo; Ing. Agr. Mgs. Alejandra Ledda;
Ing. Agr. Fabio Domínguez**

loizaga.ulises@inta.gob.ar (AER Balcarce, Argentina); ri_hidalgo@yahoo.com.ar (Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE); ledda.alejandra@inta.gob.ar (EEA Las Breñas); i_fabi Dominguez@yahoo.com.ar ((Facultad de Ingeniería, UNNE);

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Las aplicaciones en zonas periurbanas conllevan ciertas controversias entre distintos actores, por un lado, las posturas de los municipios, sociedad y por otro, las de los aplicadores, productores, técnicos que al no ponerse de acuerdo queda un área, considerablemente amplia, sin poder utilizarse para la producción.

El siguiente trabajo evalúa la eficacia de la incidencia de deriva física (exoderiva) utilizando un sistema selectivo para control de malezas realizado en momentos críticos de variables ambientales: temperatura promedio 39,7 °C, velocidad de viento promedio 17,6 km/h y humedad relativa ambiente promedio 35,5%, consideradas inapropiadas para aplicaciones de fitosanitarios de forma terrestre.

Se evaluaron dos tipos de pastillas, HYDRO 0.2 abanico plano acero inoxidable y APS 0.3 abanico plano cerámica para aplicación selectiva ambas con ángulo de apertura de 30 grados para aplicación en banda utilizándose solamente agua para la evaluación.

Las variables respuestas fueron Cobertura (gotas/cm²) Diámetro Medio, Factor de dispersión a distintas distancias 0 (debajo de los picos); 20 cm; 1; 5; 10; 30; 40 y 50 m (estas medidas fueron tomadas desde el final del botalón).

La cobertura de malezas en el lote seleccionado para el ensayo fue de un 95%. Por lo tanto, se trabajó como cobertura total.

El análisis estadístico indica diferencias significativas en cuanto a la cobertura (gotas/cm²) a las distintas distancias analizadas para ambas pastillas evaluadas, alcanzando números de impactos de 21 imp/cm² para la pastilla 0,2 y 31 imp/cm² para la pastilla 0,3 a los 10 metros desde el borde del botalón, no registrándose impactos a los 50 metros.

Ensayos con productos agroquímicos son necesarios de ser realizados estimándose que con el agregado de aditivos (coadyuvantes) la incidencia de la deriva será inferior a los resultados de este



ensayo utilizándose solamente agua.

Palabras clave. *WeedIT – Deriva – Cobertura – pastillas.*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Manejo variable del maíz para reducir la huella de carbono

Ing Agr. Adrián Etcheto¹, Dr. Rodolfo Bongiovanni² y Dr. Gabriel Espósito³

¹ Asesor, Tres Arroyos. ² INTA Manfredi. ³ Universidad Nacional de Río Cuarto

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

Argentina se comprometió a alcanzar la carbono-neutralidad en 2050 con algunas metas específicas a 2030. El sector agropecuario contribuye al 39 % de las emisiones totales del país (144 Mt CO₂ eq por año), el 20,7% atribuibles a ganadería y el resto a la agricultura (MAyDS). Reducirlas implica primero medirlas adecuadamente, luego desarrollar tecnologías alternativas, y finalmente transferirlas a los productores y las agroindustrias que sean conscientes del impacto ambiental de su actividad. En el presente trabajo se cuantificó y comparó la huella de carbono (HdeC) en la producción de maíz en el sudeste bonaerense, bajo tres planteos de manejo agrícola distintos. Los resultados indican que la fertilización nitrogenada es la de mayor impacto en la HdeC, determinando que el uso de la dosis óptima económica permitió disminuir en un 18% la HdeC respecto de la dosis de máximo rendimiento. Por otro lado, la comparación entre manejos variables y uniformes no permitió detectar grandes diferencias concluyentes en la HdeC, por lo que se requieren más estudios sobre el tema

Palabras clave.

Maíz; Nitrógeno; impacto ambiental

Introducción

Como gases de efecto invernadero, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC), incluye: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, SF₆, NF₃, SF₅CF₃, éteres halogenados y otros hidrocarburos no cubiertos por el Protocolo de Montreal. Cada uno de estos gases tiene un potencial de calentamiento global, que define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂. A modo de ejemplo el dióxido de carbono tiene un potencial de 1, el metano 21 y el óxido nítrico de 296 (IPCC, TAR 2001).

La Huella de Carbono es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero. La huella de carbono es el equivalente en gramos de CO₂ de los gases de efecto invernadero (GEI) asociados a la producción de un producto o servicio y su cálculo debe abarcar todo el ciclo de vida del mismo.

La norma ISO 14067 es la que describe la Huella de Carbono de producto, como una evaluación de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para un solo impacto: cambio climático o potencial de calentamiento global (GWP): “Huella de carbono de producto (HCP) es la suma de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI en un sistema producto, expresadas como CO₂ equivalente y basadas en una evaluación del ciclo de vida (ACV), utilizando la categoría de impacto única de cambio climático” (IRAM-ISO 14067, 2019).

Una herramienta que tiene el potencial de optimizar la huella de carbono es la Agricultura de Precisión, una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (ISPA, 2019).

El sur de Buenos Aires (Argentina), con más de 2 millones de hectáreas, es una región agrícola/ganadera (Molfese, 2016) con un paisaje de extensas llanuras suavemente onduladas, a veces muy marcadas, generalmente caracterizadas por la presencia de un horizonte calcáreo (tosca) a profundidad variable entre 50 y 100 centímetros. También existen áreas con suelos sin tosca, lo cual hace que estos ambientes tengan en general mayor capacidad de almacenar agua para los cultivos (Duhalde y Forján, 1985).

En esta región resulta de interés evaluar la huella de carbono en los sistemas agrícolas y comparar la huella de carbono en un sistema manejado de forma uniforme vs uno manejado de forma variable.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la zona costera del partido de Tres Arroyos y se eligieron 3 lotes ubicados sobre la ruta provincial N°73: uno manejado de forma tradicional con insumos uniforme, coordenadas -38,6668658, -60,0821659, otro en el cual se hizo una segunda fertilización con urea de forma variable, coordenadas -38,6855802, -60,0605007 y un último lote donde tanto siembra como fertilización se realizaron de forma variable, coordenadas -38,6431739, -60,1139407. Cabe aclarar, que se trataba de tres productores distintos, por lo que, las recomendaciones en las dosis utilizadas fueron en base a los insumos disponibles de cada uno de ellos.

La siembra del lote de maíz que se hizo de forma variable se realizó el 7/10/20, mientras que el que se varió urea solamente y el manejado en forma fija se sembraron el 13/10/20. La aplicación de urea se hizo con el maíz en V6, en la Tabla 1 se puede observar en detalle las densidades de semilla y dosis de fertilizante utilizados.

Tabla 1: Densidad de siembra y dosis de fertilizante

Ítem	Departamento	Siembra y fertilización variable					Urea variable				Fijo
		Amb 1	Amb 2	Amb 3	Amb 4	Amb 5	Amb 1	Amb 2	Amb 3	Amb 4	
Semilla	Semilla (kg/ha)	7,9	8,5	9	10,1	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	11,3
Fertilizante	Urea (kg/ha total)	160	180	190	200	230	240	260	300	330	270
	Fosfato monoamónico (kg/ha total)	60	60	80	90	100	80	80	80	80	130

La cosecha del lote con siembra y fertilización variable se realizó el día 06/05/21 obteniendo un rendimiento de 8,12 t/ha, el de urea variable el día 20/05/21 con un rinde promedio de 10,35 t/ha y el lote manejado fijo se cosechó el día 22/05/21 arrojando un rinde de 10,53 t/ha. De los dos lotes manejados en forma variable, se obtuvieron los mapas de rinde, los cuales fueron procesados en el programa SMS y convertidos en formato shapefile (shp) para poder ser trabajados en Qgis.

Para el cálculo de la huella de carbono se utilizó la Plataforma Huellas Ambientales, con sede en INTA Manfredi para la huella de carbono del maíz, en la cual se pudo calcular el impacto que tiene cada insumo y cada labor realizada en la producción de una tonelada de maíz, con énfasis en los gases CO₂, N₂O y CH₄.

Resultados

Entre los diferentes insumos empleados en la producción del maíz, los fertilizantes nitrogenados fueron los de mayor impacto en la huella de carbono representando un 67% del total de equivalente C emitido. En este sentido vale resaltar que la evaluación de la respuesta al N en uno de los sitios permitió identificar la dosis óptima agronómica (DOAN, 150 kg/ha) y económica de nitrógeno (DOEN, 100 kg/ha) conjuntamente con la huella de C generada por el uso del fertilizante, 118 y 100 kg CO₂ eq / t, significando un 18% de reducción en la Huella de C mediante el uso de la DOEN respecto de la DOAN.

Se encontraron resultados similares entre los 3 manejos evaluados, siembra y fertilización variable, siembra uniforme con refertilización de urea variable y siembra con fertilización uniforme, con resultados que van desde valores cercanos a 170 kg CO₂ eq/t en el manejo totalmente variable a valores de 190 kg CO₂ eq/t en el manejo de solo urea variable, mientras que el manejo uniforme en el medio con valores de 183 kg CO₂ eq/t (Tabla 2).

Tabla 2. Estimación de la huella de C (HdeC) en manejo variable y uniforme (Sudeste de Buenos Aires, Argentina)

		HdeC (kg CO ₂ eq/t)	Participación (%)	Rendimiento (t/ha)	Prom Pond
Siembra y fertilización variable	Amb 1	184	13%	6,27	168,95
	Amb 2	187	4%	6,74	
	Amb 3	169	21%	8,24	
	Amb 4	165	46%	9,03	
	Amb 5	164	15%	10,30	
Urea variable	Amb 1	176	4%	9,63	189,58
	Amb 2	177	14%	10,19	
	Amb 3	189	36%	10,53	
	Amb 4	195	46%	11,03	
Fijo		183	100%	10,53	183

Conclusión

En la producción de maíz, los fertilizantes nitrogenados son los determinantes del resultado final en el cálculo de huella de carbono. Es por esto, que aplicar agricultura de precisión y realizar un manejo

diferencial por zonas sería una estrategia que ayudaría a reducirla. No obstante, los resultados encontrados no han sido suficientemente concluyentes, por lo que se requieren más estudios.

Referencias

- Duhalde J; Forján H. 1985. Caracterización agroecológica y productiva de la zona mixta triguera. Documento de circulación interna. Chacra Experimental de Barrow. 8 pp.
- Molfese, ER. y Astiz, V.-2016- Trigo: Anticipos de la calidad campaña 2015/16, Material de divulgación.
- ISPA (2019) - Precision Agriculture. <https://www.ispag.org/about/definition>
- MAYDS. 2022. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) - <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/cuarto-informe-bienal>.
- IPCC, TAR (2001). Climate change 2001. The scientific basis.
- IRAM-ISO 14067. (2019). Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación. Primera edición 2019-11-08. 68 pp. Obtenido de <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/12261>

Calidad de trabajo de una pulverizadora neumática con sistema de aplicación dirigida Weed-IT®

Platz, P.²; Merani, V.H.¹; Mur, M.¹; Vazquez, J.M.¹; Larrieu, L.¹; Ferro, D.¹; Guilino, F.¹; Pereira, E.¹; Giambelluca, A.L.¹; Miolano, G.³; Tourn, S.².

victor.merani@agro.ulp.edu.ar, matilde_mur@hotmail.com, pedroplatz@gmail.com,
juanmvaz@hotmail.com, larrieuluciano@gmail.com, daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar,
fquilino_33@hotmail.com, pereiraestebanivan@gmail.com, giambellucalau@gmail.com,
tourn.santiago@gmail.com.

¹ CISSAF FCAyF UNLP, La Plata, Buenos aires, Argentina. ²: Mecanización Agrícola, FCA Balcarce-UNMdP, Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

³ Geosistemas, Venezuela 676, CABA, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. El aumento de especies resistentes a herbicidas y la demanda creciente de tratamientos con menor impacto ambiental han favorecido la difusión de sistemas de aplicación dirigida (AD) en base a detección y pulverización de malezas en detrimento de las aplicaciones en cobertura total. Con el objeto de evaluar la calidad de aplicación de diferentes alternativas tecnológicas, se realizaron ensayos con un sistema de aplicación dirigida Weed-IT®. Se utilizaron pastillas Hypro 3003E® con una tasa de aplicación de 50-140 l ha⁻¹ 3,0 m s⁻¹ (11 km h⁻¹). Se evaluó la calidad de aplicación a partir de la densidad de impactos (imp cm⁻²), Área de Cobertura (AC %), y Diámetro Volumétrico mediano (DVM). La evaluación se realizó sobre pales fotográficos de 3 m de largo por 1 m de ancho, esto permite visualizar el trabajo completo de las pastillas en un largo representativo. Se obtuvieron valores aceptables de densidad de impactos, DVM y AC% para un correcto control. No se registraron zonas con aplicaciones deficientes o sin aplicación. La sincronización entre detección de malezas y aplicación fue correcta y consiguió valores de 160 imp cm⁻² con gotas de 110-130 µm, con una tasa real de aplicación de 26 l ha⁻¹ (70 l ha⁻¹ con un PWM 37 %) La alternativa tecnológica permite reducir el uso de producto sin resignar calidad de aplicación.

Palabras clave. densidad de impactos, cobertura, diámetro volumétrico mediano, precisión, velocidad de avance.

Introducción y antecedentes

El progresivo incremento de la incidencia y severidad de malezas resistentes y tolerantes a distintos principios activos en lotes productivos ha producido un permanente aumento de los costos para mantener dicho problema en niveles inferiores al daño económico, como así también para mantener constante la cantidad de herbicidas aplicada. Por otro lado, existe una mayor demanda de la sociedad en general por un uso responsable de fitosanitarios, lo que ha generado, como consecuencia, una mayor conciencia ambiental, tanto a nivel de profesionales y técnicos vinculados a la producción agropecuaria como a productores y empresarios del medio agrario. En este contexto, la combinación de tecnologías de censado remoto y agricultura de precisión juegan un rol cada vez más importante en la producción agrícola (*Ruixiu Sui et al., 2008*).

Existen diversas alternativas tecnológicas que abarcan sistemas de visión artificial, censado remoto, como también aquellos que identifican y realizan la aplicación en tiempo real. La pulverización dirigida o Spot Spraying System (SSS) aparece como una herramienta que permite contribuir tanto a la reducción de los costos de aplicación de herbicidas como a la reducción de la tasa de aplicación de producto por unidad de superficie, contribuyendo a la disminución del impacto ambiental (*Vélez et al., 2014*).

Existen diferentes sistemas para la detección de malezas, los sensores opto-electrónicos son los más difundidos a nivel mundial, dentro de estos podemos encontrar desarrollos como DetectSpray®, Weed-Seeker®, Green Seeker®, entre otros. El sistema Weed-it® (*Kempenaar et al., 2006*) utiliza un sensor que escanea una banda de un metro de ancho por medio de un sensor infrarrojo cercano (NIR) con una fuente de luz. En acuerdo con el fabricante, el sistema es aplicable hasta velocidades de 25 km h⁻¹ sobre rastrojos, con máquinas autopropulsadas. Este sistema, a diferencia de otros, no requiere de calibración previa ya que se auto-calibra de manera constante y permite el cambio en la sensibilidad por parte del operador. Los sensores están espaciados 1 m, operan a una altura en promedio de 1 m sobre el suelo y cada uno de ellos controla 5 válvulas solenoides a distancia entre las mismas de 0,20 m (*Baille, 2013*).

La nueva generación de Weed-it®, denominada Quadro® trabaja, a diferencia de las anteriores, con luz azul y con un ancho de trabajo de cada canal de 0,25 m. Los sistemas PWM optimizan la aplicación a través de técnicas electrónicas de precisión que controlan tanto de forma general al botalón, como a las pastillas de manera individual (*Luck et al., 2010 a, 2010b*), la frecuencia de solapamiento y la compensación por los giros, tratando de mejorar la tasa de aplicación deseada como también el tamaño de gota.

La tasa es controlada por pulsos de una válvula solenoide con una frecuencia variable según la marca. El flujo es cambiado por la modificación del tiempo que cada válvula solenoide permanece abierta (ciclo de trabajo). Por lo tanto, el flujo puede modificarse en tiempo real sin alterar otros aspectos como la presión de trabajo usual en otros sistemas (*Anglund & Ayers, 2003*). La forma de modificación del flujo en PWM, puede traer dificultades para controlar la homogeneidad de la pulverización, especialmente en la dirección de avance (*Tian & Zheng 2000; Huanyu et al., 2016*). Por lo antedicho, el siguiente ensayo pretende evaluar la calidad de pulverización de un sistema de pulverización dirigida, con censado remoto y sistema de válvula solenoide de 50Hz marca Weed-It®.

Materiales y métodos:

El ensayo se realizó en la Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Mar del Plata y el INTA Balcarce (37°46'14,9"S 58°18'21,9"O).

Se trabajó con un pulverizador prototipo de diseño montado con un botalón de 8 m de ancho de labor efectivo y el sistema de pulverización dirigido Weed-IT® con sensores ubicados a 1 m de distancia entre los mismos y pastillas de pulverización distribuidas cada 0,20 m de distancia entre sí.

En las evaluaciones dinámicas, se utilizaron dos tipos de boquillas abanico plano uniforme (APU) 3003 (HyproE®) y 6004 (Manojet®). La primera fue la pastilla utilizada para la evaluación de todos los parámetros ya que es la recomendada principalmente por el fabricante, mientras que la segunda se utilizó para comparación.

La evaluación consistió en el pasaje de la maquina con una sola pastilla funcionando a una velocidad de 11 km h⁻¹ por encima de papel fotográfico blanco con un ancho de 0,9 m y un largo de 3 m. Para la evaluación de aplicación dirigida se colocaron pequeñas malezas de 6-7 cm aproximadamente de diámetro sobre el papel fotográfico. El caldo estaba compuesto con una solución acuosa de trazador azul brillante.

Se evaluaron diferentes calibraciones que se describen en la Tabla 1. El objetivo de estas calibraciones consistió en visualizar las características de aplicación obtenida al forzar a la maquina a trabajar en diferentes diseños de pastilla y configuración de aplicación (cobertura total con PWM bajo y detección de malezas), ciclos de trabajo, tasa de aplicación, altura de botalón, sensibilidad y tamaño de baldosa.

Tabla 1. Tratamientos y condiciones de trabajo del conjunto pulverizadora-Weed-IT®: T: BIAS cobertura total con PWM, Aplicación dirigida si/no; Ciclo de trabajo: porcentaje de tiempo de trabajo por pulso; TA tasa de aplicación; AB: Altura de Botalón S: nivel de sensibilidad; TB: Tamaño de Baldosa

Pastilla	T	Subtratamiento Sistema	Ciclo de trabajo (%)	T. A. l ha ⁻¹	AB (m)	S	M
Manojet 3003	T1	Cobertura en BIAS	25	70	0,6		
	T2	Cobertura en BIAS	25	70	0,8		
	T3	Cobertura en BIAS	25	140	0,7		
	T4	Cobertura en BIAS comparada con APU 6004	25	50	0,6		
	T5	Aplicación Dirigida	37	70	0,6	3	3
	T6	Aplicación Dirigida	37	70	0,6	3	1

Sobre los diferentes tratamientos se evaluaron en forma visual la distribución de gotas en relación con la posición de la maleza y zonas sin aplicación.

Sobre las aplicaciones se evaluaron: cobertura (%), densidad de impactos (Imp.cm⁻²), eficiencia de aplicación (%) y tamaño de gota (DVM). Estos parámetros fueron evaluados por medio de digitalización de las improntas obtenidas en los papeles fotográficos y procesamiento de las mismas con el programa CIR1.5.

Resultados y Discusión

En la Figura 1 podemos apreciar como pequeños cambios de altura del botalón afectan las características de la aplicación, se observa un aumento en la cobertura en la zona de superposición de los dos abanicos generados por las pastillas (círculo rojo). Esta zona posee un 38 % más de cobertura, esta particularidad genera una desuniformidad en las aplicaciones con excesos en determinadas posiciones y déficits en otras. El trabajo con sistemas de cobertura total por medio de PWM y pastillas de abanico plano uniforme requiere de extremar las precauciones en el manejo de las alturas del botalón. No se observan diferencias en la Densidad de impactos, pero si en el tamaño de gotas DVM (Tabla 2), esto puede deberse a la gran superposición de impactos que se visualizan en esa zona lo que confunde al programa que contabiliza más de un impacto como una gota grande.

En la Figura 2 podemos apreciar que no existen diferencias de cobertura a lo largo de la misma. Esta imagen posee un largo de 80 cm y un ancho de 22 cm, se corresponde con una pasada de la maquina a 0,7 m de altura con pastillas APU3003 a 11 km/h, en estas condiciones de trabajo el sistema PWM con un ciclo de trabajo de 25% de apertura de las pastillas no presentan ninguna zona con déficits de gotas y reducción de la cobertura.

Esto difiere con lo expresado por *Tian & Zheng (2000)* y *Huanyu et al., (2016)*. Esto puede deberse a

que ante situaciones de exceso de velocidad en relación al área de cobertura que posee cada pastilla, correspondiente al avance en función del tiempo que la válvula se encuentra abierta, la computadora del sistema Weed-It posee la capacidad de modificar este tiempo de apertura a fin de evitar posibles zonas con reducción de producto, evitando de esta forma errores no deseados en la aplicación.

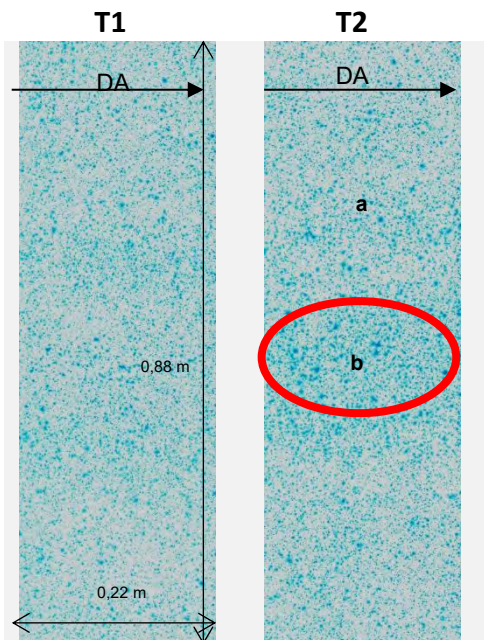


Figura 1: T1 y T2: imagen corte transversal de la pasada de pulverización con pastillas a 0,6 m (T1) y 0,8 m (T2) pastilla APU3003. DA (dirección de avance de la pulverizadora).

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de dos pastillas diferentes trabajando con igual velocidad y PWM (25%). En la misma se puede observar correctos niveles de cobertura en ambas pastillas, pero con diferente cobertura, densidad de impactos y DVM esto se debe a que erogan a igual presión diferentes caudales, 3003 aplica $1,2 \text{ l min}^{-1}$ y 6004 $1,6 \text{ l min}^{-1}$. En la tabla 2 se pueden observar que las pastillas APU6004 presentan mayor cantidad de impactos con igual tamaño mejorando la cobertura.

En la Figura 4 podemos observar una pasada de la maquina sobre el papel con malezas colocadas en forma azarosa, la configuración de la maquina es la que coincide con el tratamiento 5 (tabla 1).

En las Figuras 4 y 5 podemos visualizar los tratamientos 5 y 6, los mismos poseen las mismas configuraciones a excepción del tamaño de baldosa, T5 posee un tamaño de baldosa 3, apertura 15 cm antes de la maleza y cierre 15 cm después de la maleza y T6 posee una baldosa de 1 apertura 5 cm antes de la maleza y cierre 5 cm después de la maleza.

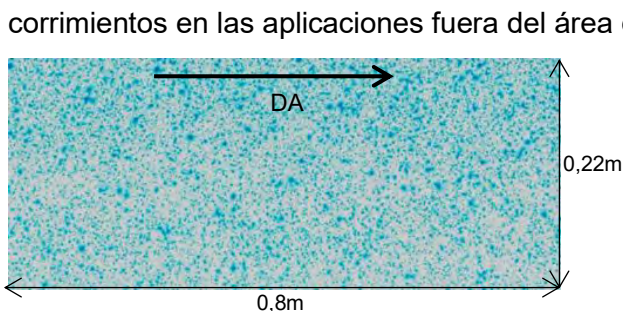


Figura 2: T3: imagen corte longitudinal de la pasada de pulverización con pastillas a 0,7 m pastilla APU3003 11km/h PWM 25%. DA (dirección de avance de la pulverizadora).

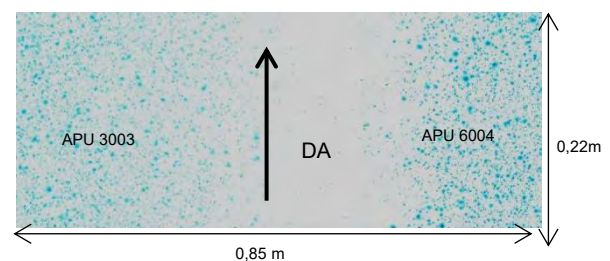


Figura 3: T4: Imagen de corte transversal pulverización con botalon a 0,6 m con dos pastillas en posiciones intercaladas APU3003 y APU 6004, 11km/h PWM 25%. DA (dirección de avance de la pulverizadora).

Tabla 2: Resultados del análisis de las imágenes con el programa CIR1.5

Tratamiento	Densidad de Impactos (Imp cm ⁻²)	DVM (μm)	Eficiencia (%)	Cobertura (%)
Fig 1 T2 posicion b	160	160	22	5
Fig 1 T2 posicion a	160	106	13	3,6
Fig 3 APU 3003	63	158	8	1,8
Fig 3 APU 6004	88	157	11	2,6
Fig 5 T5	154	106	12	3,4
Fig 5 T6	158	131	15	3,9

La determinación del tamaño de maleza y la sensibilidad utilizada estarán fuertemente influenciadas por el tamaño de la maleza como así también por el nivel de ahorro de producto buscado. En T5 se

puede observar que se realiza el mojado de un área mucho mayor que en T6 y en ambas aplicaciones se consigue similar cobertura y densidad de impactos (Tabla 2).

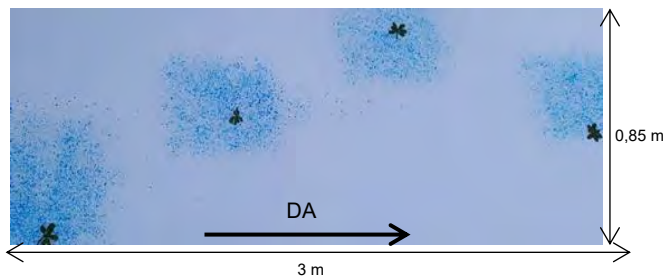


Figura 4: T5: imagen corte longitudinal de la pasada de pulverización con botalón a 0,6 m de altura, pastilla APU3003 11km/h detección. Sensibilidad 3, Baldosa 3. DA (dirección de avance de la pulverizadora).

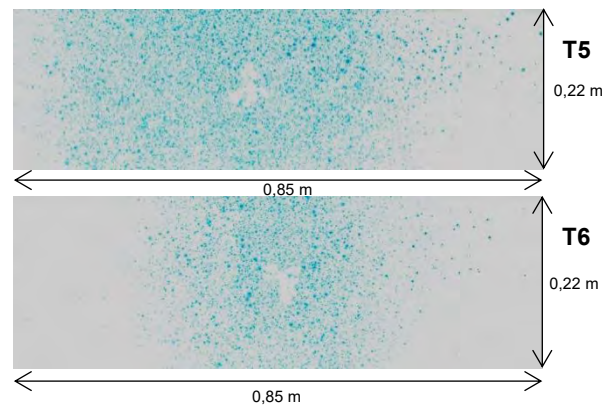


Figura 5: T5 y T6: imagen corte longitudinal de la pasada de pulverización con botalón a 0,6 m de altura, pastilla APU3003 11km/h detección. Sensibilidad 3, Baldosa 3 (T5). Sensibilidad 3, Baldosa 1 (T6) DA (dirección de avance de la pulverizadora).

Conclusiones

La utilización de sistemas de pulverización dirigida o PWM permiten optimizar el uso de agroquímicos sin rescindir calidad en la aplicación. Para el uso de estas herramientas es necesario profundizar en diferentes características de regulación que no se relacionan con las convencionales. Es necesario profundizar el estudio sobre estas herramientas a fin de mejorar las configuraciones de su uso y conseguir aplicaciones más eficientes y menos contaminantes.

Agradecimientos

Se agradece a la gente de Geosistemas por facilitar la máquina para realizar este ensayo y la colaboración a lo largo del mismo. El trabajo se realizó con aporte del PEi177 de INTA.

Referencias

- Anglund, E.A., Ayers, P.D., (2003). Field evaluation of response times for a variable rate (pressure-based and injection) liquid chemical applicator. *Appl Eng Agric* 19, 273–282. <https://doi.org/10.13031/2013.13659>
- Baille, C. (2013). Evaluating commercially precision weed spraying technology for detecting weeds in sugarcane farming systems. *Sugar Research eLibrary*. Disponible en <http://sugarresearch.com.au/hdl.handle.net/11079/14045> agosto de 2019. 88p.
- Harris, M., Karper, E., Stacks, G., Hoffman, D., DeNiro, R., Cruz, P., et al. (2001). Writing labs and the Hollywood connection. *Journal of Film Writing*, 44(3), 213–245.
- Huanyu Jiang; Lujun Zhang, Weinan Shi. (2016). Operating Parameters for Dynamic PWM Variable Spray System on Spray Distribution Uniformity. Disponible en WWW.sciencedirect.com, IFAC PapersOnLine. 49-16: 216-220.
- Kempenaar, C.; Groeneveld, R.M.W.; Uffing, A.J.M. (2006). Evaluation of Weedit IT Model 2006 MKII. Spray Volumen and Dose response Tests. *Plant Research International Wageningen UR: Wageningen, The Netherlands, October 2006, Note 418*. 26 p
- Luck, J.D., Pitta, S.K., Shearer, S.A., Mueller, T.G., Dillon, C.R., Fulton, J.P., Higgins, S.F., (2010a). Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles. *Comput Electron Agr* 70, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.003>
- Luck, J.D., Zandonadi, R.S., Luck, B.D., Shearer, S.A., (2010b). Reducing pesticide overapplication with map-based automatic boom section control on agricultural sprayers. *T ASABE* 53, 685–690. <https://doi.org/10.13031/2013.30060>
- Ruixiu Sui, J., Thomasson, J. A., Hanks, J., Wooten J. (2008). Ground – based Sensing system for weed mapping in cotton. *Computers and electronics in agricultura* 60:31-38.
- Tian, L., & Zheng, J. (2000). Dynamic deposition pattern simulation of modulated spraying. *Transactions of the ASAE*, 43 (1) 5.
- Vélez, J. P., Scaramuzza, F., Méndez, A., & Villarroel, D. (2014). Pulverización selectiva. Ahorro de insumos e incremento en el rendimiento. *Curso internacional de agricultura de precisión*.



Manejo selectivo de herbicidas y fertilizantes por microambientes con dron en caña de Azúcar

Eugenio José Lobo Vallejo

eugenio.lobov@efficatia.pro

Efficatia S.A.S, Technology Manager, Yerba Buena, Tucumán, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

*Control de Tupulo (*Sicyos polyacanthus*) con dron en cultivo de caña de azúcar. Manejo nutricional por ambientes con imágenes, fertilización diferencial y aplicación de enmienda con dron.*

Se tomo dos problemas muy recurrentes en el cultivo de caña de azúcar en el norte de nuestro país, el Tupulo que es una enredadera anual que se posiciona sobre el cañaveral en forma de rodales y donde la única opción de manejo es arrancada a mano, y los problemas nutricionales generados por mosaicos de suelos donde el cultivo necesita un plus de fertilización y enmienda por rodales y en momentos donde por la altura del cañaveral no se puede ingresar al lote con la maquinaria convencional. En ambos casos se procedió mediante imágenes satelitales y de alta resolución capturadas con dron, tanto RGB como Multiespectrales, a la identificación de los rodales de maleza y de las deficiencias nutricionales, para luego poder generar la prescripción y tratarlas de manera selectiva puntal con un dron aplicador. El primer año se evaluó de manera experimental distintas combinaciones de herbicidas postemergentes para el control de esta maleza, encontrando el que mejor se adapta a esta tecnología de aplicación. El año siguiente se llevo a lotes comerciales. Y se evaluaron herbicidas preemergentes para tratar los mismos rodales de años anteriores, la maleza se repite año a año en el mismo lugar del lote. El año siguiente se trataron estos sitios de manera preventiva con aplicaciones selectivas con el dron de preemergente, combinados con un manejo nutricional para favorecer el cierre del cañaveral y el sombreado, con excelentes resultados de manejo del problema. Esta técnica desarrollada para el manejo de esta maleza clave resultado de vital importancia ya que aproximadamente el 70% de la superficie cultivada con caña de azúcar se encuentra en zonas periurbanas o pedemontanas donde es imposible considerar una aplicación aérea tradicional, y por las características del cultivo luego que este cierra no puede ingresarse con ninguna maquinaria por su altura. La técnica nos permite primero identificar y cuantificar el efecto de la maleza para poder tomar una decisión de manejo con información real y actualizada. Para luego si es que fuese conveniente tomar la decisión de aplicar de manera selectiva con dron, con todo lo que esto significa por su impacto ambiental y económico, utilizando en promedio un 70% menos de agroquímicos y fertilizantes con un control 100% efectivo.

Palabras clave.

*efficatia.pro, tupulo, *Sicyos polyacanthus*, dji, agrasT20, micasense, djiterria, agricultura por ambientes, ndvi, ndre, nitrocomplex, nitrodoble, urea.*

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Monitoreo de malezas en lote mediante técnicas de detección automática de objetos

Guaita, Nicolás¹; Barrionuevo, Néstor²

¹ Córdoba, Argentina. ² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de marzo y 1 de abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen.

El objetivo de este trabajo se basa en poder utilizar varias herramientas informáticas que permitan entender la disposición espacial de la maleza en un lote agrícola y poder realizar una prescripción para la aplicación de fitosanitarios. Para llevar a cabo esta tarea se realizaron varios procedimientos: primero se realizó un vuelo con un vehículo área no tripulado el día 31 de octubre de 2021 en un lote de 15 hectáreas y posteriormente fue generado un mosaico. Posteriormente se realizaron 100 muestras de la imagen que fueron etiquetados como maleza y sin maleza que servirán como capa de entrada para entrenar una red neuronal. Luego fue modificado un algoritmo de detección de objetos en imágenes desarrollado en Python utilizando varias librerías que realizan la detección clasificación supervisada automática. El resultado del aprendizaje del conjunto de datos fue de un 96% de precisión y que la detección de maleza fue muy aceptable. Luego se realizaron limpieza de los datos rasters y se generaron los vectores del tipo polígono de las malezas en cuadrículas de 10 por 10 metros. Utilizando la herramienta de geoprocetos dissolve brindó como resultado un área a aplicar de 1,33 has. Por último, fue exportado el resultado al software de prescripción de la empresa Verion para ser legible por el pulverizador. En cuanto a lo económico podemos observar el claro ahorro en hacer la aplicación mediante la prescripción, pasando de U\$S 141.3 a U\$S 12.81, generando un ahorro de U\$S128.49 en el total de la superficie.

Palabras clave: Red neuronal; python; detección automática; malezas.

Introducción

En la actualidad la Agricultura de Precisión (AP) permite gestionar la variabilidad espacial y temporal de diferentes parámetros del proceso productivo agrícola, la composición del suelo, la masa vegetal y otros parámetros que elaboren una estrategia de manejo específica que permita incrementar la eficiencia productiva. Por lo tanto, la detección de malezas era una tarea a partir de observaciones visuales y localización de los diferentes parches con dispositivos GPS.

Más adelante, se reemplazó la observación visual por la utilización simultánea de la información de posicionamiento suministrada por receptores satelitales y de imágenes del terreno obtenidas mediante cámaras digitales. Se fue más allá y diseñó algoritmos capaces de reconocer varios tipos de malezas a partir de imágenes satelitales (Søgaard, 2005).

Para realizar la detección de malezas en un lote agrícola de un mosaico de fotogramas provisto por un VANT, se propone realizar una clasificación supervisada automática. Para llevar a cabo este procedimiento se realizó un algoritmo desarrollado en lenguaje Python, utilizando conocimiento profundo (*deep learning*). La misma es una tecnología que permite entrenar una red neuronal para identificar la maleza en un lote.

Materiales y Métodos

El área de estudio se encuentra en cercanía de la localidad de Mattaldi, departamento de General Roca en la provincia de Córdoba. El lote se encuentra -34.528374 Latitud Sur y -64.162269 Longitud Oeste (figura 1).



Figura 1: Área de estudio.

Se realizó el vuelo sobre el lote el 31 de octubre de 2021 a una altura de 200 metros. Las imágenes

fueron procesadas y se generó el ortomosaico. Dando una dimensión de 15 hectáreas con una resolución espacial de 7 cm x 7 cm por píxel. La resolución espectral de tres bandas del visible (verde, rojo y azul) y la resolución radiométrica es de 16 bits para cada banda.

En SIG se realizaron dos conjuntos de recortes de imágenes de muy alta resolución de un vuelo de un vehículo aéreo no tripulado (VANT). Los mismos fueron las capas de entrada para que una red neuronal para que "aprenda" a discernir qué áreas tienen o no maleza en el mosaico de fotogramas del lote. Posteriormente fue desarrollado un algoritmo de detección de objetos en imágenes para que a partir de una red neuronal convolucional pueda generar una clasificación de malezas en el lote.

En nuestro caso, la red neuronal se generó empleando las herramientas de código abierto Keras y Google TensorFlow, que facilitan la construcción y entrenamiento de los modelos. Estas herramientas crean capas de abstracción e interfaces de diseño y evaluación rápida de las arquitecturas *Deep Learning* (DL).

Resultados y Propuesta de manejo

El modelo de aprendizaje automático por redes neuronales fue de un 96 por ciento de certeza de encontrar valores de píxel que son maleza. En el lote la detección de maleza generó un ráster que detectó 22373 píxeles que luego fue vectorizado esa clasificación resultante y calculada su superficie, la cual fue de 0,114 hectáreas.

Utilizando la herramienta "Unir atributos por localización" en el software Qgis se fusionaron estos vectores en una cuadrícula de 10 mts por 10 mts, ya que fue la mejor configuración encontrada para que el software Agromapas capte dichas malezas. Continuando con la disolución de la capa para solo dejar dos filas, una aplicar con dosis llena y la otra dosis cero, conjuntos al dato de área (figuras 2).

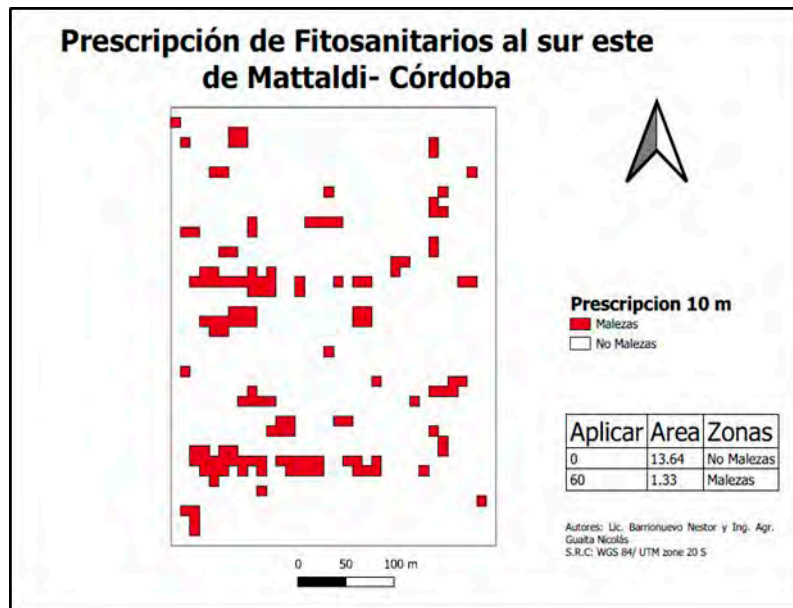


Figura 2: Análisis dissolve de los pixeles con malezas en el lote. 10 por 10mts.

Luego fue exportado hacia Agromapas en formato vectorial sin proyectar, dando como resultado esta prescripción que condice con mayor precisión (figura 3).

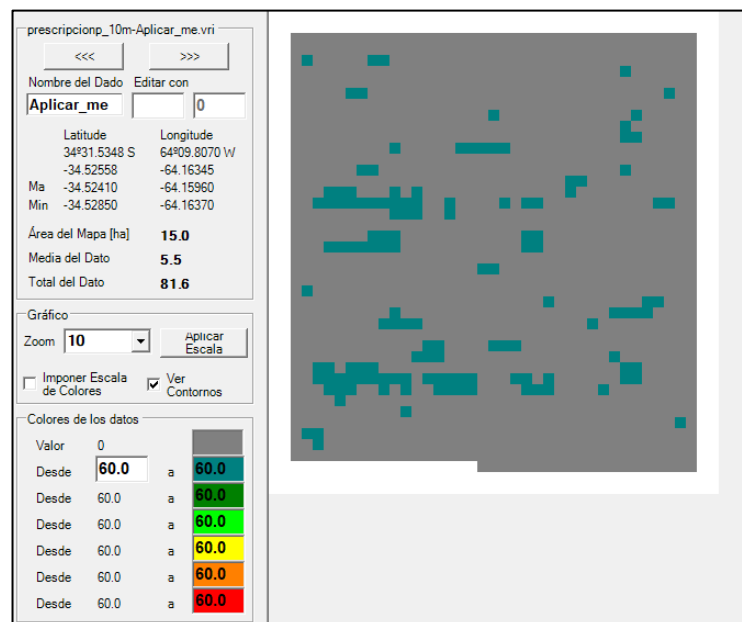


Figura 3: Mapa de prescripción Verion de la empresa Agromapas. 10 por 10 mts.

Analizando la salida de Agromapas podemos observar que el área del mapa total la cuantifica con 15 ha., la media del dato explica el volumen total de caldo seleccionado, en nuestro caso 60 lts/ha., y a este lo divide en el total de las ha. dando como un dato de media 5.5 lts/ha., es un dato sin relevancia

para este tratamiento. Luego si tomamos el total del dato de 81.6 lts. y lo dividimos por la dosis de 60 lts/ha. nos arroja el valor de 1.36 ha. a aplicar. Que luego una vez realizada la aplicación hay que chequear con los registros de trabajo para cotejar el área realizada y si se condice con lo prescripto.

Resultado económico

En el momento que se procedió a la captura de imágenes por medio del VANT, se realizó un monitoreo de las malezas presentes por medio de un Ingeniero Agrónomo matriculado, dando como resultado que la maleza presente fue Sorghum halepense (L.) resistente a glifosato, debido a que esta sobrevivió a un tratamiento de barbecho en la cual la mezcla incluida a dicho activo.

Teniendo esta premisa la siguiente aplicación se realizará con un graminicida para su control. A su vez en dicho análisis se integra al caldo de aplicación Corrector de pH y secuestrantes de cationes, como la adición de coadyuvante con tecnología de nanoemulsion para que el mismo ayude en la penetración de las cutículas de dicha maleza además de formar micelas más pequeñas que un aceite premium logrando una excelente emulsión. Sumado a la capacidad de ser tensioactivo logrando aumentar la superficie de mojado sobre esta maleza de difícil control.

A partir del analisis económico se pudo observar un ahorro en la aplicación en base al mapa de malezas debido a que solo tendríamos que aplicar 1.36 ha, en vez de aplicar en la totalidad del sitio, que es de 15 ha. otorgandonos un ahorro de U\$S 128.49 en todo el sitio de estudio. Dichos cálculos están sostenidos por el costo de la aplicación que es de U\$S9.42/ ha multiplicado por 1.36 ha dando como resultado U\$S12.81 en vez de U\$S141.3

Conclusiones

El presente trabajo presenta una opción en la aplicación de diferentes tecnologías actuales que están disponibles para llevarla a cabo: ortomosaicos de VANT, SIG y software de gestión de fitosanitarios. Además de analizar el costo de aplicación en base al mapa de malezas se debería observar también que implica un menor impacto ambiental para el sitio, debido al menor uso de fitosanitarios.

Referencias

Søgaard, H. T. (2005). Weed Classification by Active Shape Models. Biosystems Engineering 91 (3):271-281.

Optimización del uso de herbicidas mediante mapas de tratamiento localizado obtenidos con tecnología dron

Ana I de Castro¹, Clara Horno², José Dorado-Gómez³, José Manuel Peña³

¹Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, CSIC, Madrid (España)

²Tecnifield-Departamento Técnico de Cucurull Pascual S.A. (Cupasa), Lleida (España)

³Grupo tec4AGRO, Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC, Madrid (España)

Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen.

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo prioritario a nivel mundial, cuyo rendimiento está muy condicionado por la aparición de malezas, especialmente en sus primeras etapas de desarrollo. En las zonas maiceras de España preocupan especialmente las infestaciones de sorgo (*Sorghum halepense* L.), ya que esta maleza es poco sensible a los herbicidas de pre-emergencia, siendo necesaria la utilización de tratamientos de post-emergencia que suponen un alto coste económico. En este trabajo se describe el procedimiento basado en imágenes tomadas con dron para: 1) detección y cartografía de plantas de sorgo en parcelas comerciales de maíz en estados iniciales de desarrollo, y 2) generación de mapas de prescripción para control localizado de malezas. Además, se evalúa la eficiencia del uso de dichos mapas en comparación con un tratamiento uniforme convencional. Los resultados mostraron una gran eficiencia en el uso de herbicida de los tratamientos localizados, con ahorros económicos de 23-24 €/ha. La tecnología descrita permite obtener, además, beneficios ambientales, así como una reducción del tiempo empleado en el tratamiento y en la compactación del suelo en aquellas zonas en que no sea necesario el paso de la maquinaria.

Palabras clave. Manejo localizado de malezas, teledetección, análisis de imagen, OBIA, mapeo de malezas

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales grano de mayor importancia a nivel mundial por su gran producción, aproximadamente 1162 M tn (FAOSTAT, 2020), siendo también uno de los cultivos extensivos de mayor importancia en España, tanto en términos de superficie cultivada como de valor aportado. Sin embargo, este cultivo es muy sensible a la aparición de malezas, especialmente en estados iniciales de desarrollo, donde su competencia genera elevadas pérdidas en la producción (Montull *et al.*, 2016). En concreto, la especie monocotiledónea *Sorghum halepense* L. (sorgo) supone un grave problema en las zonas maiceras de España, considerada también como una de las diez peores malezas en USA, que requiere para su control la utilización de herbicidas selectivos (de la familia de las sulfonilureas como nicosulfuron, rimsulfuron o foramsulfuron) en post-emergencia temprana cuando el maíz alcanza las 3-6 hojas de desarrollo (Montull *et al.*, 2016). Sin embargo, tanto la alarma social como el actual marco político europeo y nacional abogan por el Uso Sostenible de Productos Fitosanitarios (Directiva 2009/128/CE y Real Decreto 1311/2012), destacando “el fomento del bajo consumo (reducción de las aplicaciones) y la utilización de dosis adecuadas y ajustadas a la superficie a tratar”. Estos componentes están incluidos en el fundamento agronómico del control localizado de malezas (SSWM, *Site-Specific Weed Management*) que busca realizar tareas y tratamientos localizados adaptados a las necesidades del cultivo, de manera que se consigue reducir costes y aumentar la rentabilidad y la sostenibilidad del sistema agrícola.

Las técnicas de teledetección, consistentes en la adquisición y procesamiento de imágenes, han mostrado una gran utilidad para detectar y cartografiar malezas en diferentes estados de desarrollo del cultivo, tanto en estados iniciales de su desarrollo (Torres *et al.*, 2013) como en avanzados (de Castro *et al.* 2013). A partir de estos mapas de malezas se pueden elaborar mapas de tratamiento para la aplicación localizada de herbicidas (Peña *et al.*, 2015). El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el uso de la tecnología de teledetección a escala comercial para optimizar la aplicación de herbicidas mediante mapas de tratamiento localizado elaborados con imágenes tomadas con dron en parcelas de maíz.

Material y métodos

2.1. Zona de estudio

El trabajo se llevó a cabo en tres parcelas comerciales de maíz localizadas en Lleida (Cataluña, España), cuyas características se presentan en la Tabla 1. Las parcelas fueron sembradas a finales de abril con una variedad comercial ciclo FAO 600. Seguidamente, recibieron tratamiento de pre-emergencia (3 L/ha Lumax: Terbutilzaina 18.75% + Mesotriona 3.75% + S-metolacloro 31.25%), que consiguió eliminar la emergencia de la mayoría de las especies a excepción del sorgo. Todas las parcelas contaban con riego por aspersión mediante sistema de pivot para cubrir las necesidades hídricas del cultivo durante el período productivo.

2.2. Adquisición de las imágenes

Las imágenes fueron adquiridas en junio de 2019 con una cámara convencional de bajo coste (Sony Alpha A6300) acoplada a un quadrotor modelo md4-1000 volando a 100 m de altura y con un solapamiento transversal y longitudinal que permitiese el posterior mosaicado preciso de las imágenes. La duración de cada vuelo y del procesamiento de las imágenes se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Característica de las parcelas donde se realizaron los vuelos

Parcela	Superficie (ha)	Duración vuelo	Duración procesamiento imágenes
La Clamour	4.99	4 min	30 min
Cobertura	6.31	5 min	35 min
Pivot	34.57	28 min	2h 30 min

2.3. Procesamiento de las imágenes

Mosaicado de las imágenes. Las imágenes individuales se ortomosaicaron con el programa Agisoft Photoscan, obteniendo así una única imagen para cada parcela con información espectral (Azul-Verde-Rojo) y espacial (X, Y) de cada punto de la misma (Figura 1a). La resolución espacial de los mosaicos generados fue de 2.5 cm/píxel.

Mapa de vegetación. Los ortomosaicos fueron segmentados y analizados con técnicas de análisis de imagen basada en objetos (algoritmos OBIA, *Object-Based Image Analysis*), que permitió, en una primera fase, generar objetos que representen plantas individuales. En la segunda fase, se utilizó el índice de vegetación *Excess Green* (ecuación 1) (Woebbecke et al., 1995), para discriminar entre objetos de vegetación y de suelo desnudo, generando así el mapa de vegetación (Figura 1.b). Todo el proceso de análisis de las imágenes se realizó con el programa eCognition Developer.

$$ExG = 2G - R - B \quad (1)$$

Donde: G, R y B representan la reflectancia en las banda verde, rojo y azul, respectivamente.

Mapa de malezas. Sobre el mapa de vegetación se superpuso el archivo vectorial de líneas de cultivo aportado por la sembradora de precisión, sobre el que se aplicó un buffer de 10 cm a ambos lados ajustado al tamaño de las plantas de maíz (3-4 hojas, V4). El mapa de malezas (Figura 1.c) se obtuvo enmascarando las hileras de cultivo, de manera que el resto de objetos de vegetación fueron clasificados como maleza. En el caso de no disponer del archivo vectorial de hileras, las plantas de cultivo y maleza podrían discriminarse siguiendo el algoritmo desarrollado por Peña et al. (2013).

Mapa de prescripción. Sobre el mapa de malezas se generó una estructura de malla de 1x1 m adaptada a los requerimientos de la maquinaria de tratamiento, ya que el algoritmo desarrollado permite ajustar el tamaño de la malla a demanda del usuario. En este caso, la separación de las boquillas de pulverización de la maquinaria utilizada por la empresa colaboradora de esta investigación fue de 0.5 x 0.5 m. En cada celda de la malla se determinó la presencia y cobertura de malezas, considerando en este trabajo un umbral de tratamiento económico de 1 planta/m² (Sartorato et al. 1996), generando así el mapa de prescripción para el control localizado (Figura 1d).

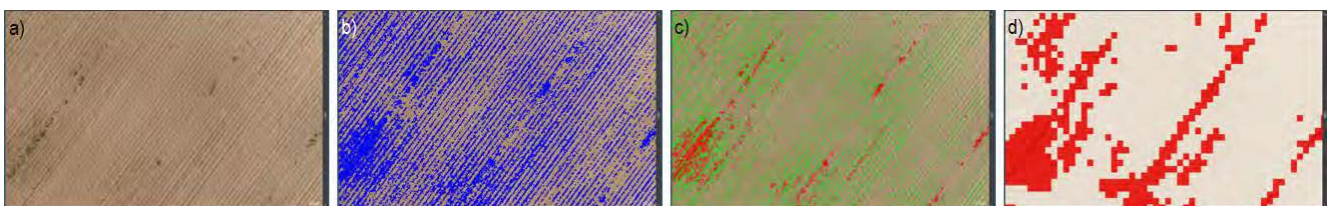


Figura 1. Detalle del proceso de análisis de la imagen seguido: a) ortomosaico; b) segmentación y clasificación de vegetación; c) mapa de cultivo vs. malezas; d) mapa de prescripción (■ pulverización; ■ no tratamiento).

Resultados

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en el análisis de los mapas de prescripción elaborados siguiendo el procesamiento descrito (Figura 1). La exactitud de dichos mapas depende de la exactitud de los mapas de malezas, cuyos procedimientos han sido previamente validados por Peña et al. (2015) y Torres et al. (2013). Los resultados indicaron que gran parte de la superficie de las parcelas no presentaba infestaciones de malezas, con valores de superficie libre de tratamiento comprendidos entre 4.68 y 30.72 ha, lo que supone entre el 6.18 y el 11.74 % del total de la misma (Tabla 2). Para el cálculo del coste del tratamiento se ha tenido en cuenta el precio medio del herbicida usado en España (Nicosulfurón del 4%, a 17€/litro). Usando como base este precio, los ahorros económicos alcanzados con el uso de mapas de prescripción generados en comparación con un tratamiento uniforme convencional se situaron entre 23 y 24 €/ha, con valores totales para las parcelas desde 120 hasta

783€. Obviamente, estos valores son dependientes de la infestación de malezas propia de cada parcela y cada campaña. Es importante incidir en que el mapa de tratamiento se realizó para un umbral económico de 1 planta/m² y con un diseño de malla de 1x1 m, por lo que, si se modifican estos valores, p.ej. umbrales menos restrictivos y/o un diseño de malla más ajustado, podrían obtenerse mayores reducciones en la aplicación de herbicida. Estos ahorros en la superficie a tratar se traducen también en beneficios ambientales dados por la aplicación localizada del tratamiento fitosanitario y en un ahorro del coste de tiempo empleado en dicha tarea, todo ello mediante el uso de mapas de prescripción obtenidos con imágenes de dron analizadas con la metodología descrita en este trabajo.

Tabla 2. Reducción del uso de herbicida y ahorro económico

Parcela	Superficie libre tratamiento (ha)	Superficie a tratar (ha)	Superficie a tratar (%)	Ahorro económico total (€)	Ahorro económico (€/ha)
La Clamour	4.68	0.31	6.21	120	24
Cobertura	5.92	0.39	6.18	151	24
Pívot	30.72	3.85	11.74	783	23

Conclusiones

El análisis de imágenes tomadas con dron siguiendo el procedimiento descrito en este trabajo permitió elaborar mapas de sorgo en parcelas comerciales de maíz en estados tempranos de desarrollo cuando es más eficiente el tratamiento selectivo de post-emergencia. Este procedimiento permitió generar mapas de prescripción con los que conseguir un uso más eficiente del herbicida mediante aplicaciones localizadas, que se tradujo en un ahorro económico de 23-24 €/h y beneficios ambientales derivados, así como el ahorro del tiempo empleado en el tratamiento y la reducción de compactación del suelo en aquellas zonas en que no sea necesario el paso de la maquinaria.

Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos PDC2021-121537-C22 y PID2020-113229RBC41 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y NextGenerationEU/PRTR). Los autores agradecen a CUPASA S.A. (Lleida) el uso de sus parcelas para realizar los vuelos y la información aportada.

Referencias

- DE CASTRO, A. I., LÓPEZ GRANADOS, F., & JURADO-EXPÓSITO, M. (2013) BROAD-SCALE CRUCIFEROUS WEED PATCH CLASSIFICATION IN WINTER WHEAT USING QUICKBIRD IMAGERY FOR IN-SEASON SITE-SPECIFIC CONTROL. *PRECISION AGRICULTURE*, 14(4), 392–413.
- FAOSTAT. (2020) ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. [HTTPS://WWW.FAO.ORG/FAOSTAT/ES/#DATA/QCL/VISUALIZE](https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize). ACCESSED 28 FEBRERO 2022
- MONTULL, J., LLENES, J., & TABERNER, A. (2016) ESTRATEGIAS BÁSICAS EN EL CONTROL DE MALAS HIERBAS EN MAÍZ. *GRANDES CULTIVOS*, 58.
- PEÑA, J. M., TORRES-SÁNCHEZ, J., SERRANO-PÉREZ, A., DE CASTRO, A. I. & LÓPEZ-GRANADOS, F. (2015) QUANTIFYING EFFICACY AND LIMITS OF UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) TECHNOLOGY FOR WEED SEEDLING DETECTION AS AFFECTED BY SENSOR RESOLUTION. *SENSORS*, 15, 5609-5626.
- SARTORATO, I., BERTI, A., & ZANIN, G. (1996) ESTIMATION OF ECONOMIC THRESHOLDS FOR WEED CONTROL IN SOYBEAN (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.). *CROP PROTECTION*, 15(1), 63–68.
- TORRES-SÁNCHEZ, J., LÓPEZ-GRANADOS, F., DE CASTRO, A.I., PEÑA-BARRAGÁN, J.M. (2013) CONFIGURATION AND SPECIFICATIONS OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) FOR EARLY SITE SPECIFIC WEED MANAGEMENT. *PLOS ONE*, 8(3), e58210.
- WOEBBECKE, D.M., MEYER, G.E., VON BARGEN, K., MORTENSEN, D.A. (1995) SHAPE FEATURES FOR IDENTIFYING YOUNG WEEDS USING IMAGE ANALYSIS. *T ASABE*, 38, 271–281

PRESCRIPCIÓN SIMPLIFICADA PARA APLICACIONES SELECTIVAS SOBRE MALEZAS CON UAV RGB

Agustina Forbice; Néstor Di Leo

Teledetección Aplicada y Sistemas de Información Geográfica - FCA - Universidad Nacional de
Rosario, Zavalla, Santa Fe, Argentina

Email de contacto: agusforbice@gmail.com

Trabajo presentado al

**Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)**

30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina

Resumen. *En un contexto donde la resistencia de malezas a ciertos grupos agroquímicos aumenta y el control se complejiza, resulta relevante la detección espacial de las mismas. Poder mapear con precisión la infestación actual de las malezas implica la posibilidad de generar ahorros significativos en el empleo de herbicidas selectivos que redundará en beneficios tanto económicos como ambientales. Dado que en la actualidad hay una creciente popularización y empleo de tecnologías digitales y/o automatismos en la agricultura, los vehículos aéreos no tripulados (UAVs - drones), son cada vez más frecuentes en el agro. Estos pueden adquirir imágenes de alta resolución espacial y temporal para la detección y cuantificación de diversos estadios de cultivos y/o, en este caso, especies maleza. En un lote con moderada a alta incidencia de malezas se realizó un vuelo del cual se obtuvo un fotomosaico RGB, que permitió el cálculo del índice NGRDI, el cual fue segmentado en tres rangos mediante rupturas naturales. Los dos rangos mayores indicaron la necesidad de aplicar herbicidas, a partir de esto se encontró que el mejor tamaño de grilla/celdas a efectos de realizar el prorrateo espacial de los valores del índice equivale a la distancia entre surcos (0,38 m), para el caso de este trabajo. Por lo tanto la generalización de este grillado categorizado se constituye en mapa de prescripción para la aplicación selectiva de malezas adecuado. La metodología aquí presentada es sustancialmente más simple que otras que buscan cubrir similares objetivos.*

Palabras clave. *UAV's, drones, aplicación selectiva, post-emergencia del cultivo.*

Introducción

En un contexto donde la resistencia de malezas a ciertos grupos agroquímicos aumenta y el control se complejiza, resulta fundamental la detección espacial de las mismas, siendo relevante tanto la determinación de los sitios como el estado de desarrollo en el cual se encuentran. Aun empleando herbicidas selectivos para el cultivo que se encuentre en el lote, el hecho de poder mapear con precisión la infestación actual de las malezas implicar la posibilidad de generar ahorros significativos que redundará en beneficios tanto económicos como ambientales. Los métodos de relevamiento actuales para realizar prescripciones para aplicaciones selectivas, sean manuales o con distintos niveles de automatización (i.e. WeedSeeker o WeedIt), son lentos, poseen costos económicos o de temporales altos, y/o cubren una superficie muy pequeña, haciendo que muchas veces las aplicaciones no se realicen en tiempo y forma, lo cual actúa como barrera a la adopción de tecnologías de aplicación selectiva, ya que se presenta un escenario inseguro para quien toma las decisiones (Trigolo Plixo et al, 2016).

Dado que en la actualidad hay una creciente popularización y empleo de tecnologías digitales y/o automatismos en la agricultura, los vehículos aéreos no tripulados (UAVs - *drones*), son cada vez más frecuentes. Esto es gracias a la diversidad de formatos, prestaciones y/o costos relativamente bajos, que los vuelven una herramienta accesible. Los UAVs pueden adquirir imágenes de alta resolución espacial y temporal para la detección y cuantificación de diversos estadios de cultivos y/o, en este caso, especies maleza. Además no están limitados por las condiciones de terreno/falta de piso que podrían dificultar el acceso humano o de vehículos terrestres. Es por esto que con alta frecuencia surgen y se evalúan distintas aplicaciones para los mismos, que abarcan una amplia gama de situaciones.

Hace algunos años se afianzo la posibilidad de realizar relevamiento con UAVs portando cámaras RGB (digitales a color) normales, cuyo objetivo es relevar y distinguir malezas en los cultivos (Novara et al, 2019). Esta posibilidad depende del estado fenológico de ambas, hasta un momento donde se torna muy dificultosa la visualización por la superposición de las estructuras vegetativas en el canopeo (Forbice & Di Leo, 2021).

El propósito de este estudio es evaluar una metodología simplificada para la formulación de prescripciones espaciales en aplicaciones selectivas, utilizando índices de verdor generados a partir de cámaras RGB y evaluando la mejor configuración analítica para la ambientación en entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) abiertos.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en un sector de un lote de 200 ha, sembrado con maíz, ubicado en las cercanías de la ciudad de Colon, provincia de Buenos Aires (33°56'19" S; 60°56'34" O.), la fecha de siembra fue el 5 de octubre de 2021, la distancia entre surcos era de 0,38 cm y el material genético empleado fue el híbrido simple Dekalb 7210.

El lote presentaba una moderada a alta incidencia de malezas, fundamentalmente *Eleusine indica*, la cual tiene la particularidad de presentarse en un arreglo agrupado (matas o manchones), lo que hace fácil su visualización e identificación, y por ende se presta para aplicaciones espacialmente selectivas (Figura 1).

Se realizó un vuelo automático sobre un sector del lote, el 18 de noviembre de 2021, alrededor de las 13:00 horas en pos de evitar el excesivo sombreado de las plantas de maíz, la cuales se encontraban en V3. El *drone* utilizado fue un DJI Phantom 4 Pro (Dá-Ji ang Innovations, Shenzhen, China) equipado con una cámara color convencional rojo-verde-azul (RGB), de 20 megapíxeles de resolución.

El software utilizado para la gestión automática del vuelo fue Pix4d Capture (Pix4D, Lausana, Suiza). Las especificaciones del mismo fueron: altura de 40 metros ATO, que implicó una resolución espacial de 1cm/píxel, superposición tanto frontal como lateral, de 90%, la superficie cubierta fue de cuatro hectárea y el tiempo total de vuelo fue de 15 minutos 33 segundos.



Figura 1: Manchón de maleza Eleucín (*Eleusine indica*), en el lote.

El software utilizado para el geoprocesamiento de las imágenes RGB fue Pix4D Mapper Ag (Pix4D, Lausana, Suiza), que genera el fotomosaico rectificados RGB, así como el modelo de superficies digital (DSM) respectivo. Para el computo de cocientes entre bandas, segmentaciones y trazado de polígonos con las prescripciones se empleó QGis v 3.16.

Con el fotomosaico se construyó el Índice de Diferencia Normalizada Verde-Rojo (NGRDI) (Hunt et al, 2005), ese es un índice adimensional, que pretende resaltar las zonas con más vegetación respecto del contraste con el fondo que implica el suelo o los rastrojos. La fórmula es:

$$NGRDI = \frac{\text{Banda verde} - \text{Banda roja}}{\text{Banda verde} + \text{Banda roja}}$$

Donde “Banda verde” y “Banda roja” hacen referencia a los canales mixtos de la imagen RGB en números digitales. Sobre éste se trazaron cuadrículas de diferentes tamaños: 0.38-0.48-0.58-0.68-0.78-0.88 m, tomando como mínimo la distancia entre surcos hasta abarcar dos surcos completos en incrementos de 10 cm, con el propósito de comparar estos tamaños y definir el mejor de ellos para capturar la condición de presencia de malezas, y por ende necesidad de control.

En estas se calculó la estadística de zona del índice y para su identificación se aplicó una escala graduada según el algoritmo de “rupturas naturales” (Jenks) en tres rangos. De los cuales solamente el rango que se corresponde con un menor valor del índice quedaría prescripto para no aplicar. Los otros dos serían asignados ulteriormente al polígono que indica que sí se aplicará sobre esa área. Este criterio intenta emular al reconocido como “verde-sobre-verde”, común en dispositivos automáticos de reconcomiendo de malezas en post-emergencia de los cultivos.

Esto fue validado con una evaluación a campo. Para esta se ubicaron al azar en el lote ocho cuadrados de un 1 m² y en estos se trazaron las cuadrículas de diferentes tamaños consistentes en mallas de alambre espaciadas según las distancias antedichas. En cada cuadrícula se registró la condición de necesidad real de aplicar herbicida o no mediante una codificación binaria, la cual luego fue comparada con las mismas cuadrículas categorizadas a partir de la segmentación del índice NGRDI calculado a partir del fotomosaico.

Resultados

En la figura 2 se muestra el fotomosaico resultante del geoprocesamiento fotogramétrico realizado en Pix4D Mapper Ag, junto con el índice NGRDI calculado a partir del mismo. Se observa claramente que hay una alta coincidencia entre los valores más altos del índice y los sectores donde se aprecia una mayor cobertura verde, correspondiente a malezas que ocupan el entresurco del cultivo de maíz. En estos casos se deben tener algunos recaudos en cuanto al horario y la orientación de las líneas de vuelo del *drone* respecto de la posición del sol, con la finalidad de evitar situaciones de reflejos especulare que alteran fácilmente la radiometría, ya que una cámara RGB color convencional no cuenta

en drones de bajo costo suelen no contar con otros elemento auxiliares para la calibración radiométrica.

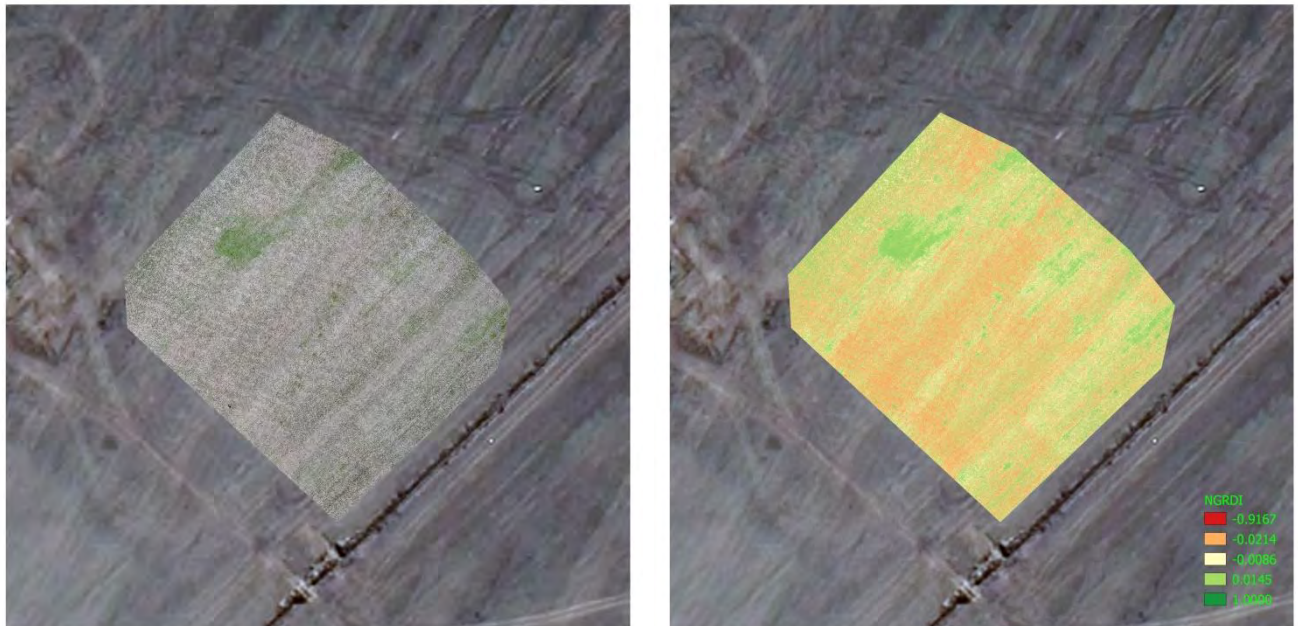


Figura 2: Índice NGRDI (derecha), obtenido a partir del fotomosaico RGB logrado en el vuelo (izquierda).

La figura 3 muestra el detalle de la evaluación a campo que oficia de validación metodológica. Luego de realizar los procedimientos mencionados, a efectos de comparar los tamaños de grilla que ofrecieren mejores precisiones y coincidencias entre las decisiones de aplicar o no, los resultados se muestran en la tabla 1.

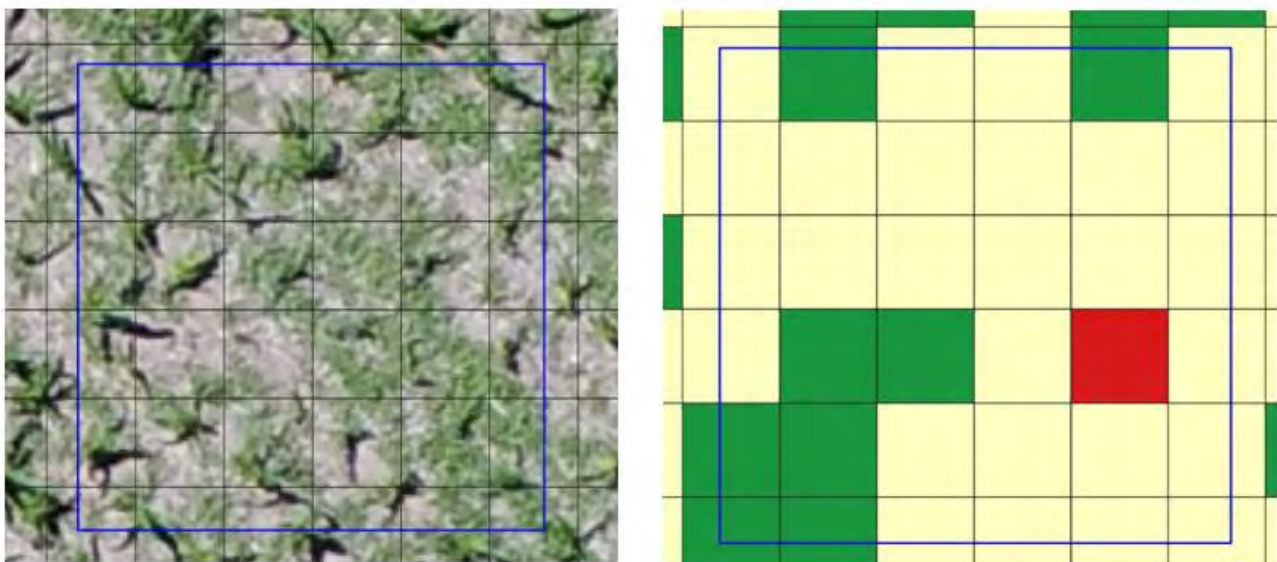


Figura 3: Cuadrícula sobre sector con malezas en sitio de muestreo para validación (izquierda), y mismo espacio según la segmentación generada mediante Rupturas naturales del índice NGRDI (derecha). En este caso existió un solo error (rojo) en donde en un área que se considera se debe aplicar en su totalidad aparece una celda como de no aplicación.

Tabla 1: Resultados de las magnitudes de los errores según los tamaños de grilla/celdas empleados

Tamaño de grilla/celdas (m)	Error de omisión promedio corroboración visual versus segmentación de los valores del NRDGI (%)
0,38	11,0
0,48	17,2
0,58	13,9
0,68	18,1
0,78	45,8
0,88	21,9

Según lo que se puede observar en la tabla anterior y teniendo en cuenta los promedios en los errores entre la evaluación/validación a campo y lo relevado por la segmentación del índice NRDGI, el tamaño de grilla ideal para el prorrateo espacial del verdor captado por el *drone* es el que coincide con la distancia entre surcos, ya que presentan menor magnitud de error de omisión.

Conclusiones

Abordar problemas con índices a partir de cámaras RGB, genera resultados satisfactorios y a muy bajo costo. En el presente trabajo, el índice NRDGI se ha mostrado como lo suficientemente robusto para distinguir las zonas con mayor o menor nivel de infestación por malezas.

Analizando los diferentes tamaños de grilla/celdas se puede concluir que la distancia entre surcos, en este caso 0,38 m, es la que mejores prestaciones posee en virtud de presentar menores errores de omisión, y por lo tanto la generalización de este grillado categorizado se constituye en mapa de prescripción para la aplicación selectiva de malezas adecuado.

La metodología aquí presentada es sustancialmente más simple que otras que buscan cubrir similares objetivos. Para futuros trabajos sería necesaria la realización de diferentes vuelos en lotes con distinta distancia entre surco y/o con distintos niveles de infestación de malezas. También comparar el desempeño de cámaras RGB con las de tipo multiespectral, y realizar validaciones cruzadas entre ambas.

Referencias

- Forbice, A.; Di Leo, N. (2021). Detección de la densidad y uniformidad de siembra en maíz mediante vehículos aéreos no tripulados (*drones*) y software orientado a objetos. *En actas: VI Jornadas de Ciencia y Tecnología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario*. 21 a 25 de junio de 2021. Zavalla, Santa Fe, Argentina
- Hunt, E.R., Cavigelli, M., Daughtry, C.S.T. et al. Evaluation of Digital Photography from Model Aircraft for Remote Sensing of Crop Biomass and Nitrogen Status. *Precision Agriculture* 6, 359–378 (2005). <https://doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5>
- Novara, M.; Estergaard, S.; Olmos, D.; Rasjido, J.; Soto, A. (2019). Comparación de índices espectrales RGB, a partir de imágenes VANT, para la identificación de coberturas vegetales en ambientes urbanos y rurales patagónicos esteparios. Conferencia: II Jornadas Patagónicas sobre Tecnicatura Universitaria en SIG y Teledetección. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. 17 de noviembre de 2019. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
- Plixo L., Nisczak, E., & Faulin, G. (2016). Metodología para estimativa de plantas daninhas utilizando imagens pontuais a baixa altura do solo. In Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – Con Bap 2016 (pp. 201–206).

Ajuste de modelos predictivos de estimación temprana de rendimiento de maní mediante NDVI

Cerliani, C. y F.D. Morla

ccerliani@ayv.unrc.edu.ar. Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y veterinaria, Universidad nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La cadena agroalimentaria del maní representa un componente importante dentro de la producción nacional. Es una economía regional localizada principalmente, tanto en su etapa primaria como industrial, en la región centro/sur-oeste de la provincia de Córdoba, siendo casi la totalidad de su producción destinada a la exportación. Por lo que la estimación adelantada del rendimiento resulta de interés en la gestión de la cadena de producción agroindustrial del cultivo. El objetivo de este trabajo fue determinar modelos predictivos de rendimiento según el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) registrado al comienzo del periodo crítico del cultivo para la definición del rendimiento (R3). Para ello, en un total de 86 lotes de producción de la región manisera de Córdoba, y en distintas campañas agrícolas (2015/16-2016/17-2017/18-2018/19-2019/20), se calculó el NDVI en el estadio fenológico R3 (periodo que abarcó desde mediados de enero a comienzo de febrero), y a cosecha se tomaron manualmente muestras para la determinación del rendimiento de maní en caja. Posteriormente se ajustó un modelo de regresión lineal entre el rendimiento y el NDVI para cada campaña evaluada, para el conjunto de campañas, y se evaluó, mediante análisis de coeficiente de correlación (R2) y test de comparación de pendientes, si el modelo ajustado para cada campaña difería del modelo único ajustado con los datos agrupados. El rango de valores de NDVI a R3 encontrados en el conjunto de datos analizados fueron desde 0,337 a 0,873, mientras que los rendimientos finales variaron entre 3355 a 8437 kg ha⁻¹. Los resultados encontrados indicaron que cuando se ajustó un único modelo con todos los datos se alcanzó un R2 de 0,62 (p<0,0001), obteniéndose un modelo de regresión descripto como: Rendimiento=6243*NDVI+1547. Al comparar los modelos ajustados para cada campaña individual en relación con este único modelo, se encontró que todas las campañas presentaron valores de los parámetros del modelo estadísticamente iguales a los del modelo único, excepto la campaña 2015/16. En la cual el modelo obtenido fue: Rendimiento=4910*NDVI+2357 (R2=0,62; p<0,0001) con un mayor valor de ordenada al origen y una menor pendiente. La diferencia encontrada en esta campaña respecto al resto, puede deberse principalmente a las condiciones ambientales caracterizadas por las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, que fueron superiores a la normal. Esto pudo favorecer a aquellos cultivos con menor NDVI a R3 e ir en detrimento de aquellos en los que el desarrollo del canopeo era mayor, provocando mayor ataque de enfermedades fúngicas del rizoplaneo (Marchitamiento-Hongo blanco y Tizón por Sclerotinia, principalmente) características del cultivo en años húmedos hacia el final de su ciclo. Por lo que aun con altos valores de NDVI en R3, los rendimientos fueron más bajos que los esperados. Estos resultados indicarían que, si bien es posible realizar una estimación temprana del rendimiento de maní en base al NDVI al comienzo del periodo crítico del cultivo, deben considerarse otros aspectos como son las condiciones climáticas y sanitarias posteriores, y seguir obteniendo datos y ajustando diferentes modelos según la ocurrencia (momento e intensidad) de las mismas.

30-31 de Marzo y 1 de Abril 2022
INTA MANFREDI / CÓRDOBA-ARGENTINA

GESTIONANDO LA VARIABILIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE



Palabras clave.

Índice Espectral, estimación de rendimiento, Arachis hypogaea L.

Modelos digitales de elevación y rendimientos de maíz: comparación entre VANT y otras fuentes

F.A. Oreiro¹, M.N. Pose¹, R.I. Pueyo¹, M.E. Sanahuja², M.M. Zubillaga^{*2}

¹ Dto. de Agrimensura, Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires (Av. Las Heras 2214, Buenos Aires, Argentina), ² Dto. Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra, Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires (Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina) *autor de referencia

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La topografía suele jugar un papel importante en la variabilidad de los rendimientos de maíz a escala de lote. El estudio se llevó a cabo en Morse, localidad de Junín, provincia de Buenos Aires. Se evaluó el uso de modelos de superficie de diferentes fuentes para fines agrícolas: Imágenes de vehículos aéreos no tripulados (VANT) y datos de elevación adquiridos por un monitor de rendimientos (AFS 700) acoplados a una cosechadora (MR) y también se aplicó un filtrado gaussiano a este último modelo (MR_filtrado). Los resultados muestran similitud de correlación entre todos los modelos analizados con el rendimiento; no se observaron diferencias significativas. Sin embargo, el filtrado de los datos topográficos adquiridos del monitor de rendimiento muestra un mejor ajuste con los datos provistos por el VANT. Las pendientes y las cotas de los modelos de superficie fueron correlacionados con los rendimientos del maíz. La respuesta a la fertilización N fue mayor en sitios de menores cotas y pendientes máximas positivas de menor magnitud.

Palabras clave. Vehículo aéreo no tripulado, RTK, modelos digitales de elevación, rendimientos de maíz

Introducción

La variabilidad espacial del rendimiento puede explicarse por atributos topográficos (Zhang et al., 2002). Estos atributos (pendiente, aspecto, curvatura y dirección del flujo) pueden ser derivados a partir de los modelos digitales de elevación (DEM). Los datos de elevación se pueden adquirir de tres fuentes principales: levantamientos terrestres, existentes mapas topográficos y técnicas de teledetección (Ouédraogo et al., 2014). La adquisición mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) es una técnica de recolección de datos que se ha popularizado recientemente. Entre las ventajas se logran imágenes de alta resolución espacial y alta frecuencia temporal, siendo un complemento eficaz para la agricultura de precisión. Los VANT podrían ser menos costosos y más prácticos en contraste con los sistemas satelitales y aerotransportados para datos de alta resolución de detección remota (Zhang & Kovacs, 2012). Otra técnica para recolectar datos de elevación es la utilización de los monitores de rendimientos de cosechadoras con DGPS que utilizan un sistema de posicionamiento global cinemático en tiempo real (RTK-GPS). El objetivo de este estudio es discutir la efectividad de los MDE de diferentes fuentes con diferente resolución espacial para la explicación del rendimiento de maíz en una parcela agrícola en el NO de Buenos Aires.

Materiales y Métodos

El campo experimental está ubicado en Morse, localidad de Junín (34°46'49.2"S; 60°49'9.3"O) región Pampa Arenosa subhúmeda. El tamaño del lote es de aproximadamente 35 ha, seleccionando para el

experimento una sección del lote de aproximadamente 25 ha. El terreno de la parcela es ondulado con una pendiente media de aproximadamente el 1 %, y su elevación varía de 96 a 105 m sobre el nivel medio del mar (99.3 m en promedio). El suelo se puede clasificar como Hapludoles típicos en las partes bajas del terreno y Hapludoles enticos en las lomas. La precipitación media es de 1014 mm por año y la temperatura media es de 16.9 °C. La parcela está bajo siembra directa y el antecesor fue un cultivo de cobertura de centeno que fue secado previo a la siembra del maíz. El área se fertilizó con 6 franjas de N (N0, N50, N100, N150, N200 y N250 correspondiente a 0, 50, 100, 150, 200 y 250 kg N/ha).

Los datos topográficos se obtuvieron a partir de 1) imágenes perpendiculares tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (VANT) utilizando el enfoque de fotogrametría y 2) datos de un monitor de rendimientos (AFS700). Las fotografías aéreas se tomaron el 2 de julio de 2021 con la cámara RGB DJI Zenmuse X4S, de distancia focal fija de 8.65 mm, montada en la plataforma octocóptero DJI Matrice 200. La ruta del VANT fue planificada a una altura de vuelo de 100 m, con una superposición longitudinal de 80% y lateral de 70%. La alineación de las imágenes se realizó con el software Pix4d utilizando 9 puntos de control terrestre, distribuidos a lo largo y ancho del terreno, a los que se les asignó coordenadas mediante el método GNSS cinemático en tiempo real (Stop & Go), utilizando dos receptores Trimble R8s. El modelo digital del terreno fue creado a partir de 470 imágenes superpuestas con una resolución espacial de 0.25 m x 0.25 m utilizando el mismo software (Figura 1).

Los rendimientos de maíz y los datos de elevación en el segundo modelo de terreno se adquirieron del monitor de rendimientos AFS 700 acoplado a una cosechadora CASE, y un receptor GNSS diferencial con una precisión del sistema es de $\pm 0,1$ a 0,3 m en horizontal y de $\pm 0,2$ a 0,6 m en vertical. Los datos de rendimiento y elevación se almacenaron con las coordenadas cada segundo, obteniendo 18665 observaciones, distribuidas cada 2 m en sentido longitudinal y cada 7 m en sentido lateral. Los valores de rendimiento del maíz se filtraron eliminando todos los valores que excedieron el rango definido como media ± 3 desviaciones estándar. El modelo del terreno se obtuvo a través de interpolación, utilizando el método TIN, para obtener una grilla regular de 0.25 m x 0.25 m de resolución espacial con el software QGIS. Las comparaciones se realizaron considerando 3 modelos: 1) el que surge de las elevaciones que se obtuvieron del monitor de rendimientos (MR), 2) el que surge de haber filtrado las elevaciones de este modelo con un filtro gaussiano de 19 x 19 celdas, corrido 200 veces (MR_Filtrado), y, 3) el modelo del VANT. La Figura 1 muestra una imagen tridimensional de los 3 modelos.

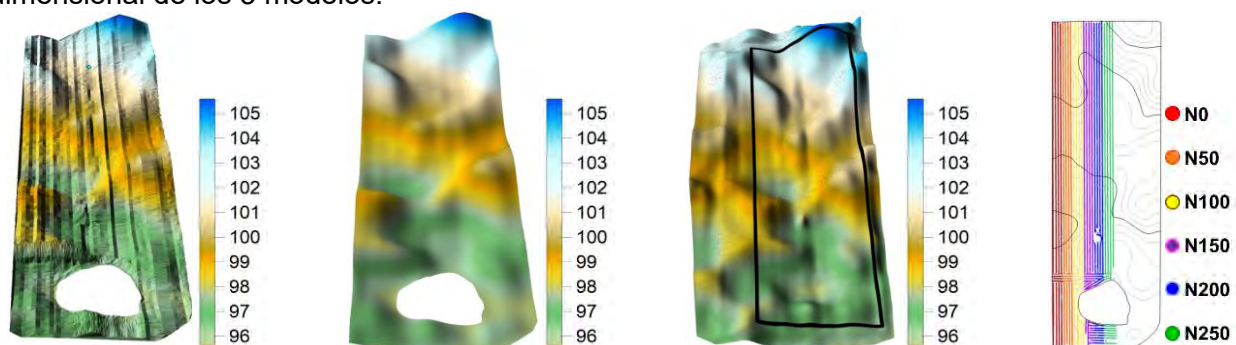


Figura 1. Modelos obtenidos con los datos de elevación. Desde la izquierda MR, MR_Filtrado y VANT. La figura de la derecha muestra la ubicación de las dosis de N aplicadas. El rectángulo negro de VANT indica la sección del lote del experimento. Las elipses blancas de MR y MR_Filtrado indican ausencia de mediciones.

Además, para cada uno de estos puntos se calcula la pendiente de mayor magnitud (positiva o negativa) considerando los 8 nodos que lo rodean en la grilla regular de 0.25 m de cada modelo. La pendiente se calculó considerando que, si el punto de interés se encuentra por debajo del punto que genera la pendiente de mayor magnitud, se obtiene una pendiente positiva, mientras que si se encuentra por encima se obtiene una pendiente negativa. Con esta comparación se busca identificar si las pendientes positivas, que implicarían acumulación de agua, presentan características diferentes en el rendimiento respecto de las pendientes negativas que implicarían zonas de pérdida de agua. La

comparación entre los modelos se realiza correlacionando las cotas y las pendientes obtenidas de cada modelo con los puntos medidos de la variable “Rendimiento de maíz”.

Resultados y Discusión

La Figura 2 muestra el valor del rendimiento medido en función de la cota correspondiente a la ubicación en donde se realizó la medición, para cada uno de los modelos. Los rendimientos de maíz en las regiones con menores cotas son mayores y más dispersos. En las posiciones más elevadas del lote el

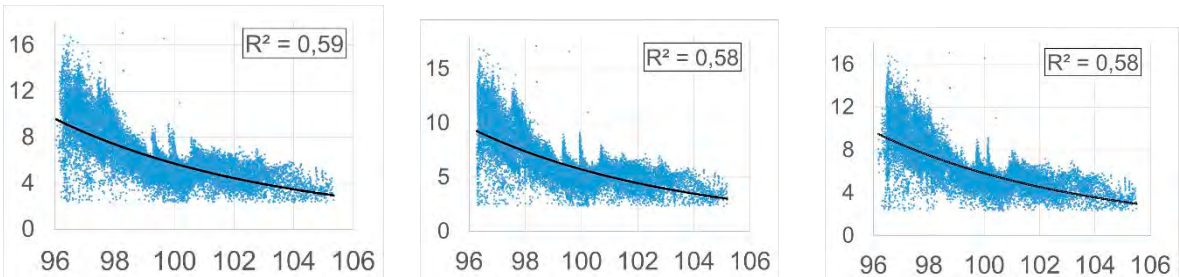


Figura 2. Comparación del rinde de maíz en función de la cota. Izquierda modelo MR, MR_Filtrado, derecha VANT.

rango de variación de los rendimientos es menor. En la Figura 3 se muestra la relación entre la pendiente de mayor magnitud y los rendimientos de maíz. En todos los modelos se puede reconocer una diferencia en la distribución de los puntos entre pendientes positivas y negativas. Se puede

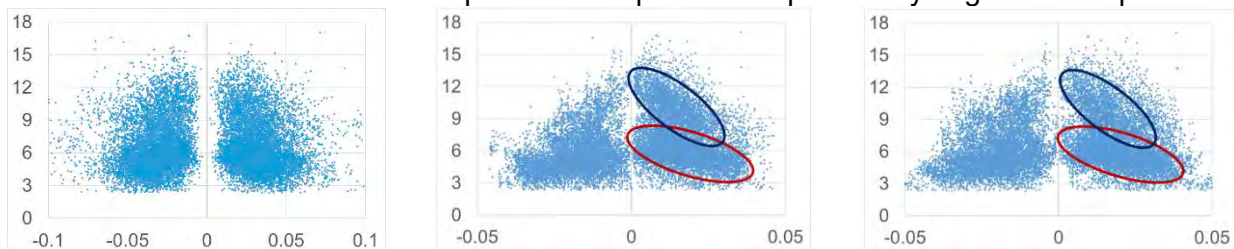
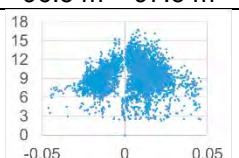
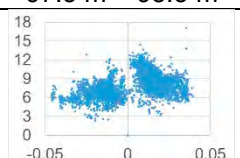
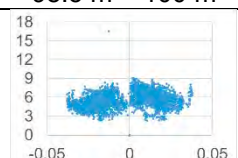
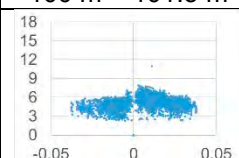
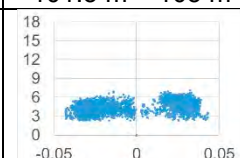


Figura 3. Comparación del rinde de maíz en función de la pendiente de mayor magnitud para los modelos MR (izq.), MR_Filtrado (medio) y VANT (der.). Las elipses azul y roja destacan dos agrupamientos que se puede identificar en la distribución de los puntos.

identificar que el modelo MR presenta una mayor dispersión de los datos de rendimientos. Los modelos VANT y MR_Filtrado permiten identificar dos regiones de agrupamiento de los puntos para pendientes positivas (Figura 3 - elipses azul y roja), en donde el rinde aumenta a medida que se reduce la magnitud de la pendiente, pero con incrementos marcadamente diferentes. La región de la elipse roja toma valores aproximadamente entre 3 y 7 Mg ha⁻¹, mientras que la de la elipse azul lo hace entre 5 y 12 Mg ha⁻¹. El coeficiente de determinación de las rectas de regresión entre el modelo VANT y los modelos MR (0.30) y MR_Filtrado (0.79) demuestran la similitud que presentan el modelo MR_Filtrado y el VANT. Para separar los dos agrupamientos de datos que se identificaron en la Figura 3, se realiza el análisis del rinde en función de la magnitud de la mayor pendiente, separando previamente los puntos por intervalos de cota que contengan una cantidad similar de observaciones (Figura 4). Si se comparan

los rendimientos en los intervalos de cota extremos (95.5-97.5 y 101.5-105) se puede identificar que,

	96.5 m – 97.5 m	97.5 m – 98.5 m	98.5 m – 100 m	100 m – 101.5 m	101.5 m – 105 m
MR_Filtrado					

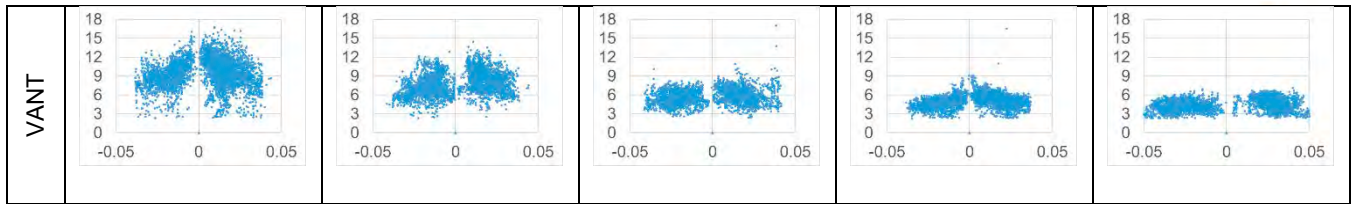


Figura 4. Rinde en función de la magnitud de la mayor pendiente, separados por intervalos de cota.

para la mayoría de las observaciones de las cotas más bajas, el rendimiento de maíz varía entre 6 y 14 Mg ha⁻¹, mientras que para las más altas varía entre 2 y 6 Mg ha⁻¹. Además, se puede reconocer que la influencia de la pendiente es más importante para las cotas más bajas que para las más altas. Finalmente, la Figura 5 presenta el efecto de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos y atributos topográficos. Las diferencias por dosis de N se presentan en las posiciones con menores cotas

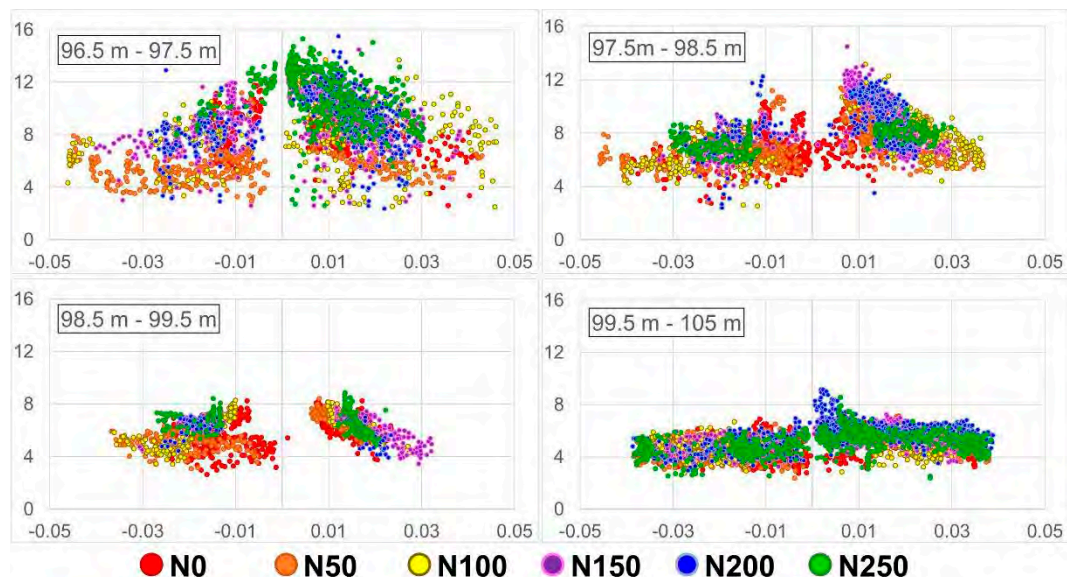


Figura 5. Rinde de maíz en función de la magnitud de la mayor pendiente, separados por intervalos de cota del modelo MR_Filtrado.

y con pendientes de menor magnitud. La respuesta a la fertilización nitrogenada se relaciona con los atributos topográficos, siendo mayor la respuesta no solo en las posiciones más bajas del lote sino también donde las pendientes son positivas y de menor magnitud.

Conclusiones

Los atributos derivados de los modelos de elevación se relacionan con los rendimientos del cultivo de maíz. El modelo derivado del monitor de rendimiento sin filtrar tiene mayor variabilidad y no presenta un buen ajuste con las cotas del modelo derivado del VANT. El filtrado permitió mejorar el ajuste entre los datos de los modelos filtrado y VANT.

El análisis de pendientes separado por intervalos de cota permite identificar comportamientos diferentes en el rinde, lo que lleva a una mejor estimación. La respuesta a la fertilización nitrogenada fue mayor en los sitios de menor cota y pendientes positivas de menor magnitud.

Agradecimientos

Se agradece a UBACyT 20020190100111BA, al Establecimiento La Cabaña donde se llevó a cabo la experimentación, y al Agrim. Gerardo Moroni, el Agrim. Fernando Carbone y a Mariano de Laurentis quienes estuvieron a cargo del relevamiento con VANT y el apoyo GNSS para los puntos de control.

Referencias

- Ouédraogo, M. M., Degré, A., Debouche, C., & Lisein, J. (2014). The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology*, 214, 339-355. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.02.016 .
- Zhang, S., Zhang, X., Huffman, T., Liu, X., & Yang, J. (2011). Influence of topography and land management on soil nutrients variability in Northeast China. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 89(3), 427-438. DOI: 10.1007/s10705-010-9406-0.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision agriculture*, 13(6), 693-712. DOI: 10.1007/s11119-012-9274-5.