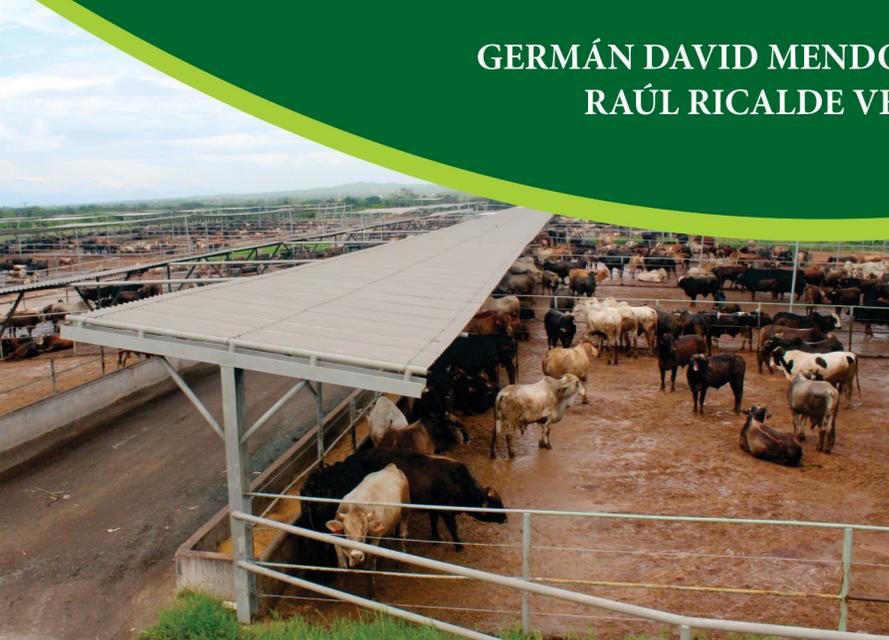


Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano

8
CBS
Serie
Textos

GERMÁN DAVID MENDOZA MARTÍNEZ
RAÚL RICALDE VELASCO †



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Germán David Mendoza Martínez

Raúl Ricalde Velasco



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General

Dr. Salvador Vega y León

Secretario General

M. en C. Q. Norberto Manjarrez Álvarez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-XOCHIMILCO

Rectora

Dra. Patricia E. Alfaro Moctezuma

Secretario

Lic. G. Joaquín Jiménez Mercado

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE SALUD

Director

Mtro. Rafael Díaz García

Secretaria Académica

Dra. Leonor Sánchez Pérez

Responsable del Programa Editorial

Lic. Zyanya Patricia Ruiz Chapoy

Comité Editorial

Esp. Marco Antonio Díaz Franco

Dr. Román Espinosa Cervantes

Dr. Jordan Golubov Figueroa

Dra. María Angélica Gutiérrez Nava

M. en C. Alejandro Meléndez Herrada

M. en C. Dorys Primavera Orea Coria

Dra. Norma Ramos Ibáñez

Dr. Ernesto Sánchez Mendoza

“Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano”

Segunda edición: 2016

ISBN: 978-607-28-1031-0

Fotografías de portada: Luis Corona y Alejandro Plascencia.

D.R. © 2015 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Unidad Xochimilco

Calzada Del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Del. Coyoacán,

C.P. 04960, México D.F.

Tel.: 54 83 70 00 ext. 3783

Hecho en México

ÍNDICE

ÍNDICE

DEDICATORIA

INTRODUCCIÓN

1

CAPÍTULO I

ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN

3

G.D. MENDOZA M., R. RICALDE V., P.A. HERNÁNDEZ G.

CAPÍTULO II

DEGRADACIÓN RUMINAL DEL ALMIDÓN

7

G.D. MENDOZA M. G.D., F.X. PLATA P., P.A. HERNÁNDEZ G., L.A. MIRANDA R.

CAPÍTULO III

MODELOS DE DIGESTIÓN RUMINAL DEL ALMIDÓN

15

G.D. MENDOZA M. G.D., F.X. PLATA P., P.A. HERNÁNDEZ G.

Modelos de digestión simple

16

Modelo con fracción indigestible

17

Modelos con retención selectiva de partículas

18

Modelo con fase lag

19

CAPÍTULO IV

TASA DE DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN

21

G.D. MENDOZA, F.X. PLATA P., J.A. MARTÍNEZ G., P.A. HERNÁNDEZ G.

Factores asociados al grano

21

Factores asociados al forraje

26

Factores asociados al nitrógeno

28

Factores asociados a las grasas

32

Factores asociados a los microorganismos ruminales

33

Factores asociados al animal

41

Factores asociados a minerales

42

Comentarios

43

CAPÍTULO V

MEZCLAS DE GRANOS

44

G.D. MENDOZA, H.A LEE RANGEL, J.A. MARTÍNEZ G., P.A. HERNÁNDEZ G.

Efectos asociativos

44

Combinaciones de granos

44

Combinaciones de residuos de destilería y granos

49

CAPÍTULO VI	
ACIDOSIS	50
G.D. MENDOZA, F.X. PLATA, P.A. HERNÁNDEZ G.	
CAPÍTULO VII	
PROGRAMAS DE RECEPCIÓN	55
A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M., J.A. MARTÍNEZ G.	
Nutrientes en raciones de recepción	61
CAPÍTULO VIII	
FORRAJES EN CORRALES DE ENGORDA	63
A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M., P.A. HERNÁNDEZ G.	
Recomendaciones prácticas del uso de forrajes en dietas de finalización	66
CAPÍTULO IX	
PROCESAMIENTO DE LOS GRANOS	69
L. CORONA G., G.D. MENDOZA M.	
Factores que afectan la utilización del almidón	69
Métodos y grado de procesamiento	70
Molido	70
Quebrado	71
Alto en humedad	72
Hojueleado al vapor	73
Extrudizado	73
Relación del cereal con procesamiento del grano	74
Procesamiento del sorgo y comportamiento de bovinos en finalización	76
Procesamiento del maíz y comportamiento de bovinos en finalización	81
Evaluación de condiciones de proceso de granos	83
Enzimas exógenas	84
Comentarios	85
CAPÍTULO X	
USO DE GRASAS EN LA ALIMENTACIÓN DE GANADO DE ENGORDA	85
F.X. PLATA, A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M., J.A. MARTÍNEZ G., P.A. HERNÁNDEZ G.	
Uso de grasas en alimentación animal	85
Los lípidos	87
Digestión de grasas en rumiantes	88
Efecto de las grasas en el consumo voluntario	89
Efectos asociativos de las grasas en la digestión ruminal	90
Efecto del nivel de grasas en la digestión intestinal de ácidos grasos	91

Efecto de las grasas en el comportamiento productivo en corrales	91
Efecto de las grasas en la calidad de la canal	93
Efectos de las grasas en las emisiones de metano	95
Recomendaciones para inclusión de grasas en dietas en corrales	95

CAPÍTULO XI

VITAMINAS EN EL GANADO BOVINO DE ENGORDA 97

M. RAMÍREZ M., G.D. MENDOZA M., A. PLASCENCIA J.

Vitaminas liposolubles	98
Vitamina A	98
Recomendaciones vitamina A en corrales de engorda	99
Vitamina D	99
Recomendaciones de vitamina D en corrales de engorda	101
Vitamina E	101
Recomendaciones de vitamina E en corrales de engorda	103
Vitamina K	103
Vitaminas hidrosolubles	103
Tiamina	104
Recomendaciones de tiamina en corrales de engorda	104
Biotina	104
Recomendaciones de biotina en corrales de engorda	105
Colina	105
Niacina	106
Consideraciones generales para el uso de vitaminas del complejo B	106
Vitamina C	107
Manejo de vitaminas	107

CAPÍTULO XII

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES 108

G.D. MENDOZA M., P.A. HERNÁNDEZ G., M.M. CROSBY G., G.C. ORTEGA N.

Concentración de nutrientes en raciones de engorda	111
Conocimiento de las raciones en base húmeda	112
Análisis de alimentos	113
Cálculo de ración en base seca	114
Estimación de contenido de nutrientes	114
Información de los animales y la temperatura ambiental	115
Estimación de consumo	117
Estimación de la ganancia	118
Estimación de la eficiencia	119
Análisis del desarrollo de lote por medio de la eficiencia alimenticia	120
Análisis económico	122
Formulación de raciones	122
Programación lineal	122

Elaboración de Modelo	123
Restricciones	124
Variables	126
Resultados	128
Ecuaciones especiales	132
Proporción de nutrientes	132
Otras ecuaciones	135
CAPÍTULO XIII	
IMPLANTES	136
J.L. ARCOS G., S.M. FERRARO S., A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M.	
Implantes más conocidos	137
Dietilestilbestrol	137
Lactona del ácido resorcílico	138
Benzoato de estradiol	139
Acetato de trembolona	139
Estradiol 17- β	141
Aspectos a considerar para el uso de implantes en bovinos	142
Mecanismos de acción de los anabólicos	143
Mecanismo de acción de estrógenos	144
Relación estrógenos hormona del crecimiento	144
Mecanismo de acción de andrógenos	146
Acetato de trembolona combinada con estradiol	147
Matrices y tasas de liberación	149
Consideraciones de seguridad	150
CAPÍTULO XIV	
ADITIVOS ALIMENTICIOS	152
J.A. MARTÍNEZ G., P.A. HERNÁNDEZ G., G.D. MENDOZA M., F.X. PLATA P.	
IONÓFOROS	152
ANTIBIÓTICOS	157
SUPRESORES DE ESTROS	158
AMORTIGUADORES	159
PROBIÓTICOS	161
β -ADRENERGICOS	163
OTROS PRODUCTOS	164
CAPÍTULO XV	
IMPORTANCIA DEL BIENESTAR EN LA PRODUCCIÓN DE BOVINOS DE CARNE EN CORRAL	165
M.E. ORTEGA C.	
Nutrición y bienestar	165
Condiciones ambientales	167

Instalaciones	167
Manejo	169
Enfermedades y procedimientos de manejo que causan dolor a los animales	172
Transporte	173
Sacrificio	174
CAPÍTULO XVI	
USO DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN CORRALES DE ENGORDA	176
G.C. ORTEGA N., G.D. MENDOZA M.	
Conceptos básicos	176
Modelos en corrales de engorda de bovinos	179
Aplicaciones prácticas de modelos en corrales de engorda	182
Modelo para estimar la merma del ganado por efecto del tiempo de traslado y temperatura ambiental	182
Modelo para determinar la energía neta de mantenimiento	184
Modelo para determinar la dispersión de humedad residual en corral de engorda	185
Modelo para estimar comportamiento productivo basado con el uso del programa del NRC	188
Modelo para estimar comportamiento productivo en función a la calidad el sorgo	190
Comentarios	192
CAPÍTULO XVII	
EJERCICIOS	193
A. PLASCENCIA J., G.C. ORTEGA N., R. RICALDE V., G. D. MENDOZA M.	
CAPÍTULO XVIII	
REFLEXIONES	205
G.D. MENDOZA M.	
LITERATURA	207

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.1	
CARACTERÍSTICAS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE VARIOS ALIMENTOS	3
CUADRO 1.2	
CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA Y GRADO DE POLIMERACIÓN DE VARIOS SUSTRATOS	4
CUADRO 2.1	
CLASIFICACIÓN DE LAS ENZIMAS MICROBIANAS INVOLUCRADAS EN LA DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN	7
CUADRO 2.2	
DERIVADOS DE LA DIGESTIÓN DE LA AMILOSA CON ENZIMAS EXTRACELULARES AMILOLÍTICAS DE BACTERIAS RUMINALES	8
CUADRO 2.3	
CARACTERÍSTICAS DE LAS ENZIMAS AMIOLÍTICAS DE LOS MICROORGANISMOS RUMINALES	10
CUADRO 2.4	
EFFECTO DE LA RACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ESPECÍFICA (UNIDADES/mg DE PROTEÍNA DE ENZIMAS AMIOLÍTICAS RUMINALES	10
CUADRO 2.5	
EFFECTO DE COMBINAR DOS GRANOS (FERMENTACIÓN RÁPIDA Y LENTA) EN LA ACTIVIDAD AMIOLÍTICA	11
CUADRO 2.6	
EFFECTO DEL SUSTRATO EN EL CULTIVO SOBRE LA ACTIVIDAD AMIOLÍTICA DE BACTERIAS RUMINALES	12
CUADRO 2.7	
EFFECTO DE LA DEFAUNACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD AMIOLÍTICA DE LA POBLACIÓN MICROBIANA EN EL RUMEN	12
CUADRO 2.8	
EFFECTO DEL SUSTRATO UTILIZADO PARA MEDIR LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA SOBRE LA ACTIVIDAD AMIOLÍTICA DE ENZIMAS LIBERADAS CON LISOZIMA	13
CUADRO 4.1	
EFFECTO DE LA TASA DE DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN <i>IN VITRO</i> Y EL COMPORTAMIENTO DE BOVINOS	23
CUADRO 4.2	
EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA CINÉTICA DE DIGESTIÓN DEL MAÍZ	24

CUADRO 4.3	
EFFECTO DEL PERLADO EN ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE UN HÍBRIDO DE SORGO	25
CUADRO 4.4	
EFFECTO DEL NIVEL DE GRANO EN LA DIGESTIÓN DE ALMIDÓN Y DE FDN	27
CUADRO 4.5	
EFFECTO DEL NIVEL DE UREA EN EL COMPORTAMIENTO DE OVINOS ALIMENTADOS CON DIETAS CON DIETAS ALTAS EN CEBADA	28
CUADRO 4.6	
EFFECTO DE LA FUENTE DE NITRÓGENO EN RACIONES DE FINALIZACIÓN (85% MAÍZ CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD)	30
CUADRO 4.7	
EFFECTO DE LA FUENTE DE NITRÓGENO EN EL COMPORTAMIENTO DE BOVINOS	31
CUADRO 4.8	
EFFECTO DEL NIVEL DE UREA EN LA PRODUCCIÓN Y PROPORCIÓN MOLAR DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES	32
CUADRO 4.9	
EFFECTO DE LA COMBINACIÓN DE GRANOS SOBRE LA POBLACIÓN DE PROTOZOARIOS	35
CUADRO 4.10	
EFFECTO DE LOS PROTOZOARIOS EN EL CONSUMO Y EN LA TASA DE FERMENTACIÓN <i>IN SITU</i> DE GRANOS	36
CUADRO 4.11	
EFFECTO DE LOS PROTOZOARIOS EN EL CONSUMO DE ALMIDÓN Y EN EL SITIO Y EXTENSIÓN DE LA DIGESTIÓN EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL	37
CUADRO 4.12	
EFFECTO DEL NIVEL DE CALCIO EN EL COMPORTAMIENTO DE NOVILLOS EN CORRALES DE ENGORDA	42
CUADRO 4.13	
EFFECTO DE LA FUENTE DE CALCIO EN LA DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN	43
CUADRO 4.14	
EFFECTO DEL NIVEL DE CALCIO EN EL COMPORTAMIENTO DE NOVILLOS DE ENGORDA	43
CUADRO 5.1	
COMPORTAMIENTO RELATIVO BOVINOS DE RACIONES CON BASE DE TRIGO	44
CUADRO 5.2	
COMPORTAMIENTO DE NOVILLOS ALIMENTADOS CON MAÍZ CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD Y SORGO ROLADO	45
CUADRO 5.3	
FINALIZACIÓN DE NOVILLOS ALIMENTADOS CON MAÍZ CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD, SORGO ROLADO Y MAÍZ ROLADO	46

CUADRO 5.4	
COMPORTAMIENTO DE NOVILLOS ALIMENTADOS CON COMBINACIONES DE TRIGO ROLADO Y MAÍZ ROLADO	47
CUADRO 5.5	
COMPORTAMIENTO DE GANADO ALIMENTADO CON MAÍZ DE ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD Y COMBINACIONES CON GRANO SECO (SORGO ROLADO, MAÍZ, MAÍZ ROLADO)	47
CUADRO 5.6	
EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL MAÍZ SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE NOVILLOS	48
CUADRO 6.1	
COMPARACIÓN ENTRE ACIDOSIS AGUDA Y SUBAGUDA	51
CUADRO 6.2	
EFFECTO DE LOS ABSCESOS HEPÁTICOS EN EL COMPORTAMIENTO DE CORRALES DE ENGORDA	53
CUADRO 7.1	
CONSUMO DE ALIMENTO EN BECERROS RECIÉN LLEGADO (EXPRESADO COMO PORCENTAJE DE SU PESO VIVO)	56
CUADRO 7.2	
EFFECTO DE LA ADICIÓN DE UN COCCIDIOSTATO EN EL COMPORTAMIENTO DE BECERROS EN RECEPCIÓN	57
CUADRO 7.3	
EFFECTO DEL ZERANOL EN EL ESTRÉS DE TRANSPORTE Y RECEPCIÓN	57
CUADRO 7.4	
EFFECTO DEL NIVEL DE POTASIO EN RACIONES DE RECEPCIÓN DE BOVINOS	58
CUADRO 7.5	
EFFECTO DEL POTASIO EN RACIONES DE RECEPCIÓN DE GANADO BOVINO	58
CUADRO 7.6	
COMPORTAMIENTO DE BOVINOS AÑOJOS CON VITAMINA E Y SELENIO	59
CUADRO 7.7	
EFFECTO DEL NIVEL DE VITAMINA A EN EL CRECIMIENTO DE BOVINOS	60
CUADRO 7.8	
GANANCIA DIARIA PROMEDIO (kg) EN GANADO SUPLEMENTADO CON NIACINA AL ARRIBAR A CORRALES DE ENGORDA	60
CUADRO 7.9	
RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES PARA RECIBIR BECERROS (135 – 180 kg)	62
CUADRO 8.1	
EFFECTO DEL NIVEL DE FORRAJE EN RACIONES DE ENGORDA EN COMPORTAMIENTO DE BOVINOS	65

CUADRO 8.2	
EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL HENO DE ALFALFA EN EL COMPORTAMIENTO EN OVINOS ALIMENTADOS CON DIETA ALTA EN GRANO	65
CUADRO 9.1	
PRINCIPALES MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE GRANOS	71
CUADRO 9.2	
EFFECTO DEL MÉTODO DE PROCESO Y TIPO DE GRANO EN LA DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN	75
CUADRO 9.3	
IMPACTO DE LA TÉCNICA DE PROCESAMIENTO SOBRE EL GRANO Y SU DIGESTIÓN	76
CUADRO 9.4	
EFFECTO DEL PROCESAMIENTO DEL GRANO DE SORGO EN EL COMPORTAMIENTO DE BOVINOS	77
CUADRO 9.5	
RESUMEN Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PROCESAR EL GRANO DE SORGO	77
CUADRO 9.6	
COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DE GRANO DE SORGO	78
CUADRO 9.7	
EFFECTO DEL GRANO DE SORGO CULTIVADO CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD O RECONSTITUIDO COMPARADO CON GRANO DE SORGO MOLIDO	79
CUADRO 9.8	
EFFECTO DEL NIVEL DE HUMEDAD EN EL GRANO DE SORGO RECONSTITUIDO	79
CUADRO 9.9	
RESUMEN DE EFECTOS EN LA CONVERSIÓN ALIMENTICIA DEL SORGO PROCESADO EN GANADO DE ENGORDA	79
CUADRO 9.10	
PRESERVATIVOS USADOS PARA LA CONSERVACIÓN DE GRANOS	81
CUADRO 9.11	
EFFECTO COMPARATIVO DE MAÍZ SECO ENTERO VERSUS PROCESOS EN SECO (ROLADO GRUESO, QUEBRADO) SOBRE LA GANANCIA, CONSUMO Y VALOR ENERGÉTICO DEL MAÍZ	82
CUADRO 9.12	
EFFECTO DE MOLIDO O ROLADO FINO VERSUS PROCESOS EN SECO (ROLADO GRUESO, QUEBRADO) SOBRE LA GANANCIA, CONSUMO Y VALOR ENERGÉTICO DEL MAÍZ	82
CUADRO 9.13	
EFFECTOS COMPARATIVOS DE MAÍZ ALTO EN HUMEDAD VERSUS PROCESOS EN SECO (ROLADO GRUESO, QUEBRADO) SOBRE LA GANANCIA, CONSUMO Y SU VALOR DE EN	83

CUADRO 10.1	
TIPOS DE GRASAS QUE SE USAN PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	89
CUADRO 10.2	
EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE GRASA AMARILLA EN CONSUMO, GANANCIA Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO	92
CUADRO 10.3	
EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE GRASAS DE ORIGEN ANIMAL EN CONSUMO, GANANCIA Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO	93
CUADRO 10.4	
EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL EN CONSUMO, GANANCIA Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO	93
CUADRO 11.1	
VITAMINAS LIPOSOLUBLES E HIDROSOLUBLES Y SINÓNIMOS	98
CUADRO 12.1	
EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA METABOLIZABLE PARA MANTENIMIENTO Y GANANCIA DE PESO	109
CUADRO 12.2	
PESO EQUIVALENTE DE ALGUNAS RAZAS	110
CUADRO 12.3	
REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA (Mcal/DÍA) PARA NOVILLOS CON GANANCIA DE 1.1 kg/DÍA	110
CUADRO 12.4	
CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES RECOMENDADA PARA LA RECEPCIÓN Y ADAPTACIÓN A DIETAS ALTAS EN GRANO	111
CUADRO 12.5	
CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES RECOMENDADA PARA RACIONES DE FINALIZACIÓN EN CORRALES	112
CUADRO 12. 6	
RACIÓN EN BASE HÚMEDA USADA EN CORRAL DE ENGORDA	112
CUADRO 12. 7	
NUTRIENTES DE LOS ALIMENTOS DE LA RACIÓN	113
CUADRO 12.8	
CÁLCULOS PARA ESTIMAR UN KILOGRAMO DE RACIÓN EN BASE SECA	114
CUADRO 12.9	
CÁLCULOS PARA ESTIMAR EL CONTENIDO DE PROTEÍNA DE LA RACIÓN	114
CUADRO 12.10	
CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA DE MANTENIMIENTO LA RACIÓN	115

CUADRO 12.11	
CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA DE GANANCIA DE LA RACIÓN	115
CUADRO 12.12	
CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA METABOLIZABLE DE LA RACIÓN	116
CUADRO 12.13	
INDICADORES PRODUCTIVOS, CONSUMOS DE PROTEÍNA Y ENERGÍA UTILIZANDO DISTINTOS NIVELES DE UREA EN LA DIETA.	121
CUADRO 12.13	
ESTABLECIMIENTO DE LA FUNCIÓN OBJETIVO PARA FORMULAR UNA RACIÓN.	123
CUADRO 12.14	
MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA FORMULACIÓN DE UNA RACIÓN EN CORRALES DE ENGORDA	127
CUADRO 12.15	
SOLUCIÓN ÓPTIMA OBTENIDA CON PROGRAMACIÓN LINEAL	130
CUADRO 12.16	
INTERPRETACIÓN DE NUTRIENTES EN UNA RACIÓN FORMULADA POR PROGRAMACIÓN LINEAL	130
CUADRO 12.17	
MODIFICACIONES DE RESTRICCIONES PARA FORMULAR UNA RACIÓN POR PROGRAMACIÓN LINEAL	131
CUADRO 12.19	
INTEGRACIÓN DE RELACIÓN CALCIO FOSFORO EN RESTRICCIONES PARA PROGRAMACIÓN LINEAL	134
CUADRO 13.1	
IMPLANTES PROMOTORES DE CRECIMIENTO APROBADOS POR LA FOOD AND DRUG ADMINISTRATION DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA CORRALES DE ENGORDA	137
CUADRO 13.2	
EFFECTO DE LA MERMA DESPUÉS DE IMPLANTAR CON ZERANOL DURANTE EL TRANSPORTE	138
CUADRO 13.3	
EFFECTO DE IMPLANTES DE ACETATO DE TREMBOLONA COMBINADO CON ESTRADIOL SOBRE LA GANANCIA DIARIA DE PESO Y TASA DE DEPOSICIÓN DE PROTEÍNA EN LA CANAL DE NOVILLOS	141
CUADRO 13.4	
ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE REVALOR XS	142

CUADRO 13.5	
CONCENTRACIONES DE INSULINA EN SUERO Y	143
CARACTERÍSTICAS PULSÁTILES EN ANIMALES IMPLANTADOS	
CUADRO 13.6	
HORMONA DEL CRECIMIENTO EN GLÁNDULA PITUITARIA	145
DE NOVILLOS TRATADOS CON DIETILESTILBESTROL	
CUADRO 13.7	
METABOLITOS EN SANGRE DE NOVILLOS IMPLANTADOS CON 36 mg DE ZERANOL	145
CUADRO 13.8	
PORCENTAJE DE FUSIÓN Y NÚCLEOS DE MIOTUBOS EN CULTIVOS	148
DE CÉLULAS SATÉLITES AISLADAS DE MÚSCULO SEMIMEMBRANOSO	
DE NOVILLOS IMPLANTADOS Y NO IMPLANTADOS	
CUADRO 13.9	
CONTENIDO DE BENZOATO DE ESTRADIOL Y ACETATO	150
DE TREMBOLONA AL USAR SYNOVEX-PLUS® CON O SIN RECUBRIMIENTO	
CUADRO 13.10	
CONTENIDO DE ESTRÓGENOS DE VARIOS ALIMENTOS	150
CUADRO 14.1	
EFFECTO DEL NIVEL DE MONENSINA EN EL COMPORTAMIENTO Y	154
METABOLISMO RUMINAL.	
CUADRO 14.2	
EFFECTO DEL NIVEL DE MONENSINA SOBRE LA MEDIA DE LA VARIACIÓN	154
DEL CONSUMO DIARIO MEDIO A VARIOS INTERVALOS.	
CUADRO 14.3	
RESUMEN DE CAMBIOS OBSERVADOS CON IONÓFOROS EN EL CONSUMO	155
EN CORRALES DE ENGORDA.	
CUADRO 14.4	
EFFECTO DE LA MONENSINA Y TILOSINA EN RACIONES DE FINALIZACIÓN	156
CUADRO 14.5	
RESUMEN DE META-ANÁLISIS POR EL EFFECTO DE MONENSINA SOBRE	156
EL RENDIMIENTO EN EL CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN	
CUADRO 14.6	
EFFECTO DE NIVELES DE MONENSINA EN EL CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN	157
DE GANADO DE UN META-ANÁLISIS	
CUADRO 14.7	
EFFECTO DE NIVELES DE ACETATO DE MELENGESTROL EN EL COMPORTAMIENTO	159
PRODUCTIVO Y EFFECTO ESTRAL DE VAQUILLAS EN FINALIZACIÓN	

CUADRO 14.8	
EFFECTO DEL NIVEL DE PREBIÓTICO (<i>LACTOBACILLUS TORULOPSIS</i> Y <i>ASPERGILLUS ORYZAE</i>) EN RACIONES DE FINALIZACIÓN (85% MAÍZ ROLADO)	161
CUADRO 14.9	
EFFECTOS PRINCIPALES DEL NIVEL DE FIBRA Y DE UN PROBIÓTICO CON <i>SACCHAROMYCES CERVISIAE</i> EN BOVINOS	162
CUADRO 14.10	
EFFECTO DEL β -AGONISTA ADRENÉRGICO (ZILPATEROL) EN LA GANANCIA DE PESO Y VARIABLES DE LA CANAL DE NOVILLOS CEBUINOS EN FINALIZACIÓN	163
CUADRO 16.1	
TIPOS DE MODELOS O ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA ENGORDA DE BOVINOS	180
CUADRO 16.2	
ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA NETA PARA MANTENIMIENTO DE BOVINOS CONSUMIENDO DIFERENTES TIPOS DE ALIMENTOS	185
CUADRO 16.3	
ENTRADAS Y SALIDAS DE PROGRAMA NRC CON DISTINTOS ESCENARIOS	188
CUADRO 16.4	
ENTRADAS Y SALIDAS DE PROGRAMA NRC CON DISTINTOS COMPOSICIONES NUTRIMENTALES DE SORGO	191
CUADRO 17.1	
RACIONES CON DISTINTO NIVEL DE MELAZA PARA BOVINOS EN BASE HÚMEDA	194
CUADRO 17. 2	
ECUACIONES USADAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ESPERADO EN UN CORRAL DE ENGORDA	195
CUADRO 17.3	
INFORMACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE DOS LOTES DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN	195
CUADRO 17. 4	
INDICADORES PRODUCTIVOS OBTENIDOS CON DISTINTAS DIETAS CON BASE A MAÍZ O SORGO	196
CUADRO 17.5	
EFFECTO DE LA SOMBRA EN EL COMPORTAMIENTO DE NOVILLOS EN CORRAL	197
CUADRO 17.6	
INFORMACIÓN DE COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE TOROS EN FINALIZACIÓN	197
CUADRO 17.7	
FACTORES DE AJUSTE PARA LA ENERGÍA NETA DE MANTENIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	199
CUADRO 17.8	
COMPOSICIÓN DE LAS RACIONES EN BASE SECA DE ACUERDO AL NIVEL DE MELAZA	199
CUADRO 17.9	
CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LAS TRES RACIONES CON MELAZA PARA BOVINOS	200

CUADRO 17.10	
CONSUMO DE MATERIA SECA ESPERADO CON DISTINTAS ECUACIONES CON LAS TRES RACIONES CON MELAZA	200
CUADRO 17.11	
CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA GANANCIA DIARIA DE PESO EN FUNCIÓN DEL CONSUMO DE MATERIA SECA PARA MANTENIMIENTO Y GANANCIA	200
CUADRO 17.12	
INDICADORES PRODUCTIVOS OBTENIDOS FINALIZANDO BOVINOS CON DIETAS A BASE DE MAÍZ O DE SORGO	203
CUADRO 17.13	
ESTIMACIÓN DE CONSUMO ESPERADO Y CONSUMO OBSERVADO EN NOVILLOS CON O SIN SOMBRA	204

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN EN LOS ANIMALES RUMIANTES.	2
FIGURA 1.1	
FRACCIÓN DE LA AMILOPECTINA DEL MODELO DE RACIMO	4
FIGURA 1.2	
ESTRUCTURA DOBLE HÉLICE DE LA AMILOPECTINA	5
FIGURA 1.3	
NIVELES DE ORGANIZACIÓN DEL ALMIDÓN	5
FIGURA 3.1	
MODELO DE DIGESTIÓN SIMPLE	16
FIGURA 3.2	
MODELO DE DIGESTIÓN SIMPLE CON FRACCIONES DIGESTIBLE E INDIGESTIBLE	18
FIGURA 3.3	
MODELO DE DIGESTIÓN CON RETENCIÓN SELECTIVA DE PARTÍCULAS	19
FIGURA 3.4	
MODELO DE DIGESTIÓN CON RETENCIÓN SELECTIVA DE PARTÍCULAS Y FASE LAG	20
FIGURA 4.1	
CLASIFICACIÓN RELATIVA DE GRANO DE ACUERDO A LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN RUMINAL DEL ALMIDÓN	22
FIGURA 4.2	
CONTENIDO DE ALMIDÓN DIGESTIBLE DE DIFERENTES VARIEDADES DE SORGO	23
FIGURA 8.1	
RELACIÓN DEL CONTENIDO DE FDN CON EL CONSUMO DE MATERIA SECA Y ENERGÍA EN DIETAS PARA GANADO	67
FIGURA 10.1	
COMPARACIÓN DE CARBOHIDRATO SIMPLE CON ÁCIDOS GRASOS	87
FIGURA 13.1	
LUGAR DE APLICACIÓN DEL IMPLANTE ANABÓLICO EN BOVINOS	136
FIGURA 15.1	
CORRAL DE ENGORDA DONDE SE APRECIA CANTIDADES EXCESIVAS DE LODO	166
FIGURA 15.2	
CORRAL DE ENGORDA DONDE SE OBSERVA QUE LA SOMBRA ES INSUFICIENTE Y NO PROTEGE COMPLETAMENTE DE LA RADIACIÓN	168
FIGURA 15.3	
DISEÑO DE MANGA DE MANEJO RECOMENDADA SIN ESQUINAS Y SIN POSIBILIDAD DE VISTA A PERSONAS	171
FIGURA 16.1	
REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA	177

FIGURA 16.2	
CLASIFICACIÓN DE MODELOS	178
FIGURA 16.3	
ETAPAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO	179
FIGURA 16.4	
EFFECTO DEL TIEMPO DE TRASLADO Y TEMPERATURA AMBIENTAL EN LA PÉRDIDA DE PESO DE GANADO BOVINO	183
FIGURA 16.5	
CORRAL DE ENGORDA DE BOVINOS CON EXCESO DE LODO	186
FIGURA 16.6	
MODELO EN CÓDIGO NUMÉRICO DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD EN UN CORRAL DE ENGORDA DE BOVINOS	187
FIGURA 16.7	
MODELACIÓN UTILIZANDO HOJA DE CÁLCULO EXCEL	187

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE RAÚL RICALDE VELASCO
(1947-2005)



Al maestro, al profesional
Al compañero y mejor amigo
y mejor formador
A quien pudo a través de su formación formar

Dios ha puesto el placer tan cerca del dolor que muchas veces se llora de alegría

George Sand

Estudia las frases que parecen ciertas y ponlas en duda

David Riesman

Se pierde la virginidad de la fe para adquirir la maternidad de la razón

Nicolás Salmerón

Si das pescado a un hombre hambriento lo nutres durante una jornada. Si le enseñas a pescar, lo nutrirás toda su vida.

Lao Tse

Yo no enseño a mis alumnos, solo les proporciono las condiciones en las que puedan aprender.

Albert Einstein

INTRODUCCIÓN

G.D. MENDOZA M., R. RICALDE V.

El conocimiento de los fenómenos biológicos desde sus elementos básicos y el análisis crítico de los resultados de investigaciones, son las mejores herramientas con las que cuenta el estudiante de la producción animal, por lo que en este libro se contemplan aspectos básicos que van desde la estructura del almidón y las enzimas de las bacterias y protozoarios, hasta las recomendaciones prácticas como el uso de aditivos en corral de engorda, la formulación de raciones y la predicción de comportamiento de bovinos en corrales de engorda alimentados con granos.

El estudio de la utilización del almidón es muy importante debido a que es el principal componente energético de las raciones en corrales de engorda. Los cambios económicos que se han dado con el uso de granos para elaboración de biodiesel así como los incrementos en los precios de los mismos, hacen que se analicen nuevas estrategias para optimizar el uso de los nutrientes de los cereales en las raciones de corrales de engorda.

En México sigue existiendo una gran variedad en cuanto al nivel de grano utilizado en los sistemas de alimentación de ganado en confinamiento, los cuales varían del 40 al 90%. El uso de elevados niveles de grano en la ración puede alterar el metabolismo del animal, al exponerlo a la presencia de acidosis, por lo que es importante considerar los principios fisiológicos de animales alimentados con alta concentración de almidón y las herramientas de manejo nutricional para evitar trastornos metabólicos.

El uso de cantidades elevadas de grano afecta la población microbiana, los productos de la fermentación y el equilibrio ácido-básico del animal. Por otra parte, el almidón de distintos tipos de granos varía en sus propiedades fisicoquímicas y el sitio y la extensión de la digestión en el tracto gastrointestinal. El tipo de proceso interacciona con las características intrínsecas del almidón o de la matriz proteínica del grano y modifica el valor energético del mismo.

La digestión y utilización del almidón es el resultado de la interacción de factores inherentes al grano, factores relacionados con los procesos y otros componentes dietarios, aspectos microbiológicos y del animal, que se descri-

ben en este libro (Figura 1) para que el estudiante del área cuente con las herramientas de trabajo necesarias en el manejo nutricional de corrales de engorda.

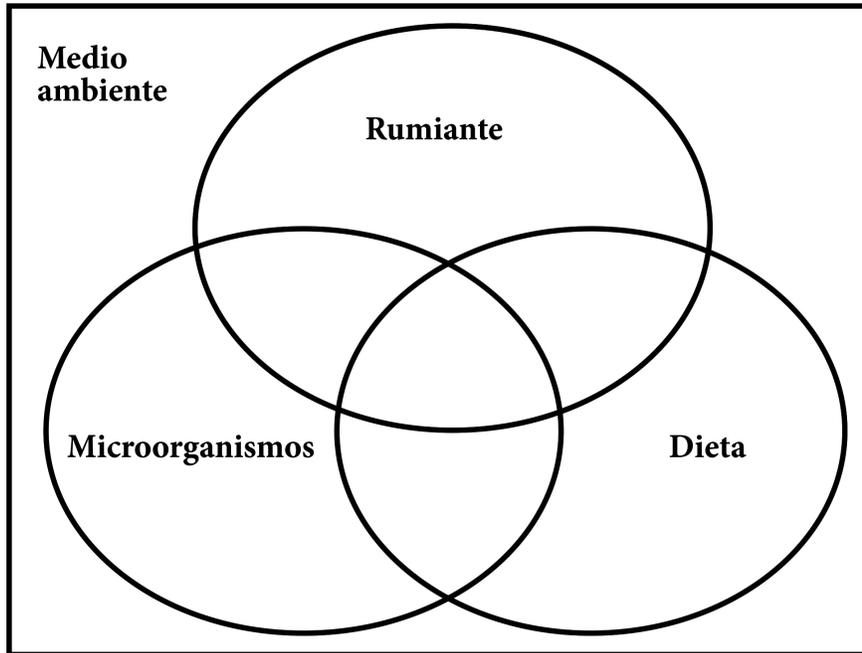


Figura 1. Factores que intervienen en la digestión del almidón en los animales rumiantes.

Finalmente es importante considerar que los rumiantes son animales que evolucionaron con dietas basadas en forrajes y que su maquinaria biológica está diseñada para controlar su consumo voluntario y los productos de la fermentación bajo esas condiciones. Además, el hombre, al utilizar granos en su alimentación, alimenta a un animal no adaptado para eso, lo que pone en peligro su homeostasis. Por eso conviene conocer a fondo cuáles son los cambios que ocurren al utilizar grandes cantidades de almidón en la ración y cuáles las opciones para que el animal no sufra trastornos metabólicos y se obtenga la mayor producción. También es necesario saber cuáles son las bases de la biotecnología ruminal dentro de los procesos de engorda en corrales

En esta segunda edición del libro, se incorporan nuevos capítulos como el de uso de grasas, vitaminas, uso de modelos de simulación para predicción de comportamiento, el de bienestar animal, y se incorporan nuevos ejercicios. Participan investigadores reconocidos de las principales instituciones de educación superior de México con distinguidos miembros del Sistema Nacional de Investigadores, donde aportan experiencia de sus trabajos de investigación en nutrición de corrales de engorda.

CAPÍTULO I

ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN

G.D. MENDOZA M., R. RICALDE V., P.A. HERNÁNDEZ G.

El almidón es un polímero de condensación de glucosa en una proporción de átomos de C, H y O de 6:10:5 que está presente en forma granular en las semillas, tuberculosy raíces. La forma y el tamaño del gránulo varía con el grano (Cuadro 1.1) El almidón no es un producto uniforme, la mayoría de los almidones continen dos polímeros: amilosa y amilopectina que se encuentran en proporciones diferentes en los granos (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.1 Características de los gránulos de almidón de varios alimentos.

	Almidón, %	Tipo	Diámetro del gránulo, μm	Forma
Maíz	71	Cereal	3-26	R, P
Papa	82	Tubérculo	5-100	O, S
Trigo	74	Cereal	2-35	R, l
Yuca	77	Raíz	4-35	O, S
Maíz (Waxy)	71	Cereal	3- 26	R, P
Sorgo	75	Cereal	3-8	P, A
Arroz	89	Cereal	3-8	R, D

R: redondo; **P:** poligonal; **O:** Oval; **S:** esférico; **L:** lenticular; **T:** truncado; **A:** angular

Fuente: Adaptado de Swinkels (1985).

La amilosa es un polímero lineal que contiene hasta 6 000 unidades de glucosa con enlace α - 1,4; con algunas ramificaciones que contienen de 3 a 20 cadenas de glucosa. Por otro lado, la amilopectina tiene una estructura altamente ramificada (Figura 1.1); ésta consiste en cadenas cortas de amilosa conectada con enlaces α - 1,6 (Swinkels, 1985).

Cuadro 1.2 Contenido de amilosa y amilopectina y grado de polimerización de varios sustratos.

	Amilosa %	Amilopectina %	GP Amilosa	GP Amilopectina
Maíz	28	72	800	2 000 000
Papa	21	79	3 000	2 000 000
Trigo	28	72	800	2 000 000
Yuca	17	83	-	2 000 000
Maíz (Waxy)	0	100	-	2 000 000
Sorgo	28	72	-	-
Arroz	17	83	-	-

GP=Grado de polimerización.

Fuente: Adaptado de Swinkels (1985).

Los gránulos de almidón tienen regiones amorfas y cristalinas. La región cristalina tiene un alto grado de organización y se compone principalmente de amilopectina, mientras que la amorfa es rica en amilosa y tiene menor organización (Rooney y Pflugfelder, 1986). Debido a la complejidad de la amilopectina se han postulado varios modelos para describir su estructura.

En general se considera que la amilopectina tienen una estructura tipo racimo (Figura 1.1) compuesta por tres tipos de glucanos A, B y C.

Las cadenas A son adyacentes y ligadas al resto de la molécula por el grupo reductor potencial; la B son similares y están ligadas por el grupo reductor y también se enlazan con la posición 6 de un o más residuos llevando una o más cadenas A; las cadenas C tienen un grupo reductor libre (Rooney y Pflugfelder, 1986; Chesson y Forsberg, 1988; Manners, 1989).

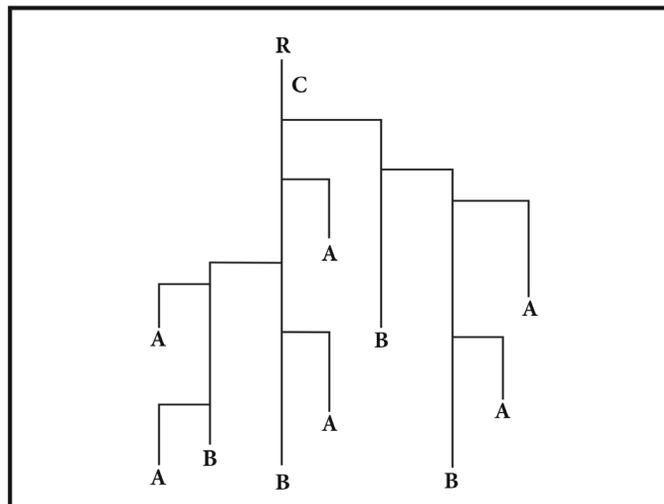


Figura 1.1 Fracción de la amilopectina del modelo de racimo

Fuente: Adaptado de Manners (1989).

Con base a los estudios de difracción de rayos X se puede considerar que el almidón tiene diferentes niveles de organización: a) unidades de glucosa (Figura 1.2); b) doble hélice en la amilopectina compuesta por 20 unidades de glucosa; c) lamella conformada por alrededor de 100 hélices de doble cadena; d) una súper hélice o superestructura helicoidal; e) anillos de crecimiento (con unas estructuras internas denominadas blockets); y f) gránulos (Figura 1.3) (Imberty *et al.*, 1998; Perez y Bertoft, 2010; Perez *et al.*, 2009).

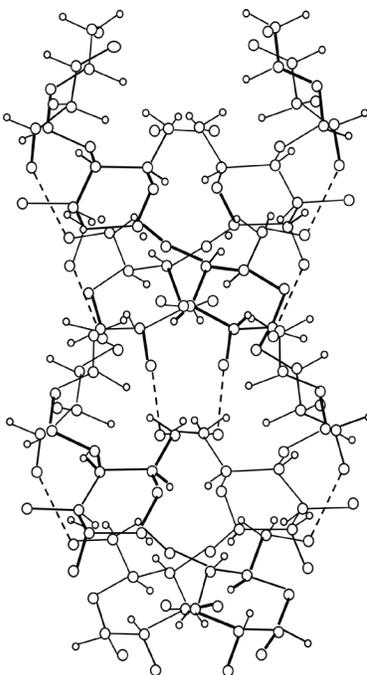


Figura 1.2 Estructura doble hélice de la amilopectina
Fuente: Adaptado de Imberty *et al.* (1998).

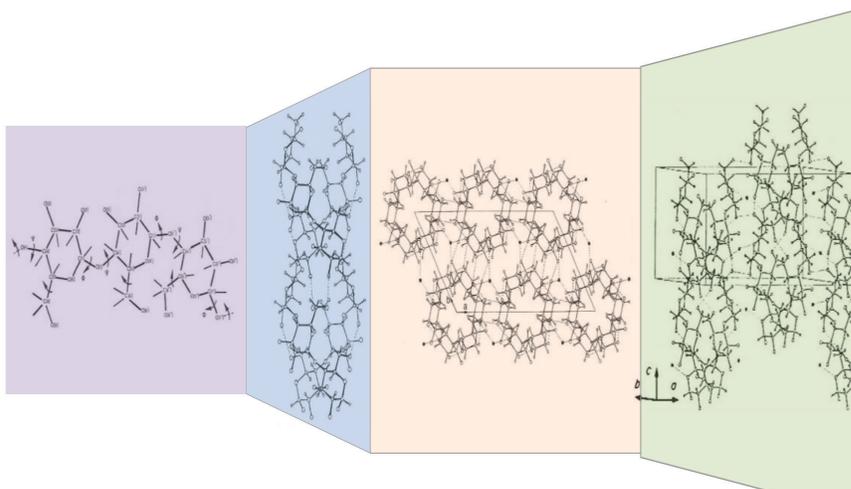


Figura 1.3 Niveles de organización del almidón
Fuente: Adaptado de Imberty *et al.* (1998).

Debido a los avances de la biotecnología, existen líneas de granos mutantes que han permitido realizar estudios de la biosíntesis del almidón (Yao *et al.*, 2004) y a través de estudios de dispersión de rayos X y microscopía electrónica de barrido, se puede estudiar la estructura interna de los gránulos de almidón con diferente contenido de amilosa para conocer los valores de los parámetros estructurales de los aglomerados de amilopectina y el tamaño de la laminilla cristalina y amorfa (Yuryev *et al.*, 2004). Se han revisado las interacciones entre el almidón y los lípidos, las diferentes formas cristalinas de almidón (Buleon *et al.*, 1998). La relación de esta información con los procesos digestivos es algo que tendrá que incluirse en estudios futuros de digestión animal.

El estudio de la estructura del almidón estará orientado a descifrar la estructura en forma fina de las cadenas, su longitud y distribución. Se están estudiando el peso molecular (número, promedio), el grado de polimerización, la longitud de las cadenas y su distribución, la poli-dispersión, por medio de cromatografía de exclusión de tamaño (conocidas en inglés como SEC y HP-SEC), electroforesis de carbohidratos fluoroforo-asistida (FACE), cromatografía de alta resolución de intercambio aniónico (HPAEC) entre otros (Buleon *et al.*, 1998; Imberty *et al.*, 1998; Yao *et al.*, 2004).

Otro aspecto que la nutrición de rumiantes deberá de considerar, es involucrar el concepto de almidón resistente, el cual es el almidón que resiste la digestión de la α -amilasa pues existe mucho trabajo orientado a clasificar y trabajar en categorías ese almidón (Leszczyński, 2004) y no se ha estudiado la relación que tiene con la degradación ruminal pero las categorías I, II, III o IV podrían estar relacionadas con la tasa de degradación en el rumen. Por ejemplo, la categoría IV comprende almidón que resulta de modificaciones químicas que interfiere con la digestión enzimática (Leszczyński, 2004).

El uso de líneas mutantes de granos y el estudio permitirá el obtener no solo granos de mayor rendimiento sino de mayor digestibilidad. Sin embargo, para lograr modificaciones genéticas exitosas se requiere conocer a profundidad los procesos de biosíntesis de almidón, las enzimas involucradas y su posible manipulación.

CAPÍTULO II

DEGRADACIÓN RUMINAL DEL ALMIDÓN

G.D. MENDOZA M., L.A. MIRANDA R., P.A. HERNÁNDEZ G.

La hidrólisis del almidón en el rumen es fundamentalmente microbiana como resultado de diversas enzimas amilolíticas (Cuadro 2.1). Durante la degradación del almidón por parte de los microorganismos se producen cantidades diversas de glucosa y oligosacáridos derivados de la maltosa [α -d-glucopiranosil (1 \rightarrow 4) α -d-glucopiranososa] como la maltotriosa (3 glucosas), maltotetraosa (4 glucosas), maltopentosa (5 glucosas), maltohexosa (6 glucosas) y maltoheptosa (7 glucosas) (Baldwin y Allison, 1983; Cotta, 1988; Cuadro 2.2); así como α dextrinas las cuales son oligosacáridos ramificados que contienen de uno a tres enlaces α -(1 \rightarrow 6), uno o más enlaces adyacentes α -(1 \rightarrow 4) y una mezcla heterogénea con grados de polimerización de 4 a 19 glucosas. Los resultados de investigación obtenidos por Cotta (1988), demuestran que la cantidad y tipo de oligosacárido derivado de la actividad amilolítica de enzimas extraídas de las principales especies microbianas del rumen, varía de acuerdo al tiempo de incubación y la especie bacteriana involucrada (Cuadro 2.2).

Entre los principales microorganismos amilolíticos del rumen se encuentran: *Ruminobacter amylophilus* (anteriormente clasificado como *Bacteroides amylophilus*), *Prevotella ruminicola* (denominado anteriormente como *Bacteroides ruminicola*), *Streptococcus bovis*, *Succinomonas amylolytica* y los protozoarios del rumen. El hongo ruminal *Neocallimastix frontalis* tiene una alfa amilasa; sin embargo, su importancia en la digestión del almidón es desconocida (Mountfort y Asher, 1988).

Cuadro 2.1 Clasificación de las enzimas microbianas involucradas en la digestión del almidón.

α -Amilasa	EC 3.2.1.1, α - (1,4)- Glucano - Glucanohidrolasa
Glucoamilasa	EC 3.2.1.1, α - (1,4)- Glucano - Glucanohidrolasa
Isoamilasa	EC 3.2.1.68, Glucógeno 6- Glucanohidrolasa
Pululanasa	EC 3.2.1.41, Puluan 6- Glucanohidrolasa

Fuente: Adaptado de Swinkels (1985).

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Los productos que resultan de la incubación de la amilosa con bacterias amilolíticas, indican que las bacterias poseen endoamilasas con actividad similar a la de α -amilasa. La liberación de glucosa sugiere que la enzima glucoamilasa se encuentra presente (Cotta, 1988). La α -amilasa es una endohidrolasa que rompe predominantemente los enlaces glucosídicos α -(1 \rightarrow 4) de los polisacáridos y que producen oligosacáridos de bajo peso molecular. La glucoamilasa es un exohidrolasa que incide principalmente en los enlaces α -(1 \rightarrow 4) en el grupo no reductor al final de la cadena de almidón y de los fragmentos (oligosacáridos) de almidón producidos por la acción hidrolítica de la α -amilasa. La glucoamilasa también desdobla de forma limitada enlaces α -(1 \rightarrow 6). La enzima α -amilasa hidroliza aleatoriamente; mientras que la β -amilasa lo hace en forma escalonada en enlaces alternos, con lo que se libera maltosa de las cadenas lineales del almidón. La β -amilasa es una exohidrolasa que actúa en el grupo final no reductor de la molécula (Reilly, 1985). La β -amilasa no puede hidrolizar o sobrepasar los enlaces α -(1 \rightarrow 6), que dan origen a ramificaciones en las cadenas de almidón (Manners, 1989), por lo que la presencia de ramificaciones inhibe la acción de la β -amilasa y limita la extensión de la degradación del almidón (Chesson y Forsberg, 1988).

Cuadro 2.2 Derivados de la digestión de la amilosa con enzimas extracelulares amilolíticas de bacterias ruminales.

Bacteria	Tiempo h	Oligosacáridos producidos (mg/ml)							
		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Total
<i>Ruminococcus amylophilus</i>	3	0.2	4.4	3.2	0.4	-	-	-	8.2
	6	0.2	3.7	2.4	0.2	-	-	-	6.5
	12	0.4	4.3	2.7	-	-	-	-	7.3
	24	0.6	5.3	2.6	-	-	-	-	8.5
<i>Prevotella ruminicola</i>	3	-	0.8	1.1	0.7	0.5	1.0	1.0	5.0
	6	-	0.9	1.6	1.1	1.1	1.3	1.1	7.1
	16	-	2.1	2.6	1.7	1.1	1.2	0.8	9.61
	24	0.1	2.4	3.1	1.8	1.3	1.1	0.6	10.3
<i>Streptococcus bovis</i>	0.25	0.2	1.1	1.1	0.4	-	-	-	2.7
	0.50	-	1.2	2.0	3.4	-	-	-	6.6
	2.00	0.2	1.9	2.4	3.1	-	-	-	7.5
	6.00	-	2.7	2.3	0.9	-	-	-	5.9

G=número de unidades de glucosa.

Fuente: Adaptado de Cotta (1988).

Las enzimas desramificadoras hidrolizan el enlace glucosídico (α -1 \rightarrow 6) entre las cadenas de la amilopectina (Manners, 1989). La pululanasa es una enzima de este tipo, y ha sido aislada en *Prevotella ruminicola* 118B por Thurn y Kotarski (1987) (Cuadro 2.3).

Referente a los protozoarios del rumen, los estudios de Coleman (1986) mostraron que varias especies de protozoarios ruminales poseen alfa amilasa y que *Entodinium caudatum* presenta la mayor actividad amilolítica. Mould y Thomas (1958) encontraron α y β -amilasa en protozoarios holotricos. Las α -amilasas aisladas en *Isotricha* sp y *Dasytricha* sp tienen diferentes pesos moleculares, puntos isoeléctricos y pH's óptimos de actividad. Otros investigadores (Mould y Thomas, 1958) también detectaron una enzima R en protozoarios holotricos. La enzima R descrita en algunos estudios de los años cincuenta se ha identificado ahora como dextrinasa (Manners, 1989).

La actividad específica de las enzimas microbianas puede ser modificada por el tipo de dieta. Palmquist y Baldwin (1966) encontraron una mayor actividad amilolítica de células lavadas cuando se incrementó el concentrado en la dieta (Cuadro 2.4). La actividad amilolítica *in vitro* de protozoarios es mayor en medios de cultivo con almidón que con forrajes (Coleman, 1986). Existe poca información acerca de los cambios de la actividad amilolítica debido al uso de diferentes granos. Mendoza *et al.* (1995; 1999) evaluaron la actividad enzimática amilolítica por efecto de dos granos solos o combinados (Cuadro 2.5); maíz con alto contenido de humedad, caracterizado por contener almidón de tasa de fermentación rápida y; sorgo seco rolado, cuyo almidón se fermenta lentamente en el rumen (Britton y Stock, 1986). En términos generales Mendoza (1991) observó una mayor actividad amilolítica con la combinación de grano que en los granos solos. De hecho, se ha observado que los rumiantes tienen un mejor comportamiento productivo en los corrales de engorda, cuando son alimentados con una combinación de granos de distinta fermentación (Stock *et al.*, 1987 a, b), lo cual puede estar asociado a los cambios en la actividad amilolítica.

Cuadro 2.3 Características de las enzimas amilolíticas de los microorganismos ruminales.

Enzima	Sustrato	Productos	Observaciones
α amilasa	Enlaces no terminales (1 \rightarrow 4)- α -d	maltosa oligosacáridos (α dextrinas) maltotriosa glucosa	aleatoria posiblemente requiere >5 residuos de glucosa actividad variable endohidrolasa
Glucoamilasa	maltosa oligosacáridos grupo no reductor enlaces (1 \rightarrow 4)	glucosa maltosa fragmentos maltosa maltotriosa glucosa dextrina limite	exohidrolasa Hidroliza Lentamente (1 \rightarrow 6).
β amilasa	amilopectina		Escalonada Alternando enlaces, no Hidroliza o "saltar" (1 \rightarrow 6)
Pululanasa	amilopectina dextrinas Pululan		exohidrolasa hidroliza (1 \rightarrow 6).
Isoamilasa	Amilopectina Maltodextrinas		hidroliza (1 \rightarrow 6).
α amilasa fungal	almidón	maltosa en mayor proporción	Similar a la bacterial

Fuente: Elaborado con datos de Chesson y Forsberg (1988), Manners (1989) y Reilly (1985).

Cuadro 2.4 Efecto de la ración sobre la actividad específica (unidades/mg de proteína de enzimas amilolíticas ruminales).

Enzima	Alfalfa	Alfalfa 50% + Concentrado 50%	Concentrado
	(Unidades/mg de proteína)		
α amilasa	5.29	8.04	9.45
β amilasa	5.28	8.49	9.63

Fuente: Adaptado de Palmquist y Baldwin (1966).

Cuadro 2.5 Efecto de combinar dos granos (fermentación rápida y lenta) en la actividad amilolítica.

Item	Maíz con alto contenido de humedad: Sorgo seco rolando				
	100:0	67:33	33:67	0:100	EE
Experimento con ovinos Actividad amilolítica ^a Unidades/mg proteína ^b	0.836	0.627	0.605	0.389	21
Experimento con bovinos	0.672	1.511	ND	1.225	0.38

EE=Error estándar de la media.

^aUnidad enzimática=1 mol de glucosa equivalente formado por min.

^bLineal (P<.21), ^cCuadrático (P<.21).

Fuente: Mendoza (1991); Mendoza *et al.* (1995; 1998).

Estudios microbiológicos conducidos por Cotta (1988) mostraron la actividad amilolítica de especies de *Bacteroides* (actualmente clasificado como *Prevotella*), *Ruminobacter* y *Streptococcus*, fue modificada por el tipo de carbohidrato en el cultivo y la tasa de crecimiento microbiana (Cuadro 2.6). Dicha actividad fue menor en el medio en cuya fuente de carbono fue la glucosa y fue mayor en el medio con almidón o maltosa. Hobson y Summers (1967) demostraron que la actividad de la amilasa de *Ruminococcus amylophilus* tiene dos máximos de acuerdo con tasa de crecimiento pero la actividad máxima de amilasa se registró a un pH de 6.1 en cultivos con 1.11 mg de bacterias secas/mL.

La presencia o ausencia de protozoarios el rumen puede modificar la actividad amilolítica. Mendoza *et al.* (1993) reportaron que la actividad amilolítica es menor en ovinos faunados (Cuadro 2.7), lo cual se ve reflejado en una menor digestión ruminal del almidón y una menor caída del pH ruminal post-alimentación. Esto último implicaría que los protozoarios están involucrados en la regulación del pH ruminal y en la reducción del riesgo de que dietas altas en granos induzcan una acidosis subaguda.

La determinación de la actividad amilolítica de los protozoarios tiene el inconveniente de no poder diferenciar la actividad enzimática propia del protozoario de la de enzimas intracelulares de las bacterias que han sido consumidas por el protozoario (Chesson y Forsberg, 1988); de hecho las estimaciones de la actividad amilolítica de ciliados separados mostró resultados contrarios a los observados *in vivo* (Mendoza y Britton, 1990).

Cuadro 2.6 Efecto del sustrato en el cultivo sobre la actividad amilolítica de bacterias ruminales.

Especie	Sustrato	Tasa de crecimiento K/h	Actividad Unidades/mg proteína
<i>Ruminococcus amylophilus</i> H 118	Glucosa	No hubo crecimiento	-
	Maltosa	1.06	16.91
	Almidón	1.30	18.21
<i>Bacteroides rumenicola</i> 23	Glucosa	0.39	0.10
	Maltosa	0.30	0.75
	Almidón	0.38	0.99
<i>Streptococcus bovis</i> J B1	Glucosa	2.07	1.20
	Maltosa	1.38	14.46
	Almidón	1.98	16.55

Fuente: Adaptado de Cotta (1988).

Cuadro 2.7 Efecto de la defaunación sobre la actividad amilolítica de la población microbiana en el rumen.

Item	Tratamientos		EE	P
	Defaunado	Faunado		
Consumo de MS, kg/d	1.440	1.380	0.067	0.55
pH ruminal	5.38	5.52	0.29	0.39
Actividad amilolítica, Unidades/mg proteína ^a	0.3992	0.1740	0.0578	0.03

MS=materia seca; EE=error de estándar de la media; P=valor de probabilidad,

^aUnidad enzimática=1 mol de glucosa equivalente formado por min.

Fuente: Mendoza (1991), Mendoza *et al.* (1993).

En estudios sobre la actividad amilolítica del fluido extracelular e intracelular, Cotta (1988) observó que la localización de la amilasa en las bacterias podría variar con el sustrato usado en el medio; sin embargo, en esos estudios no fue posible dilucidar si la actividad de la enzima detectada en el líquido extracelular se debía a la producción extracelular o a la lisis bacteriana (Anderson y Salyers, 1989a). Sin embargo, estudios realizados con líquido ruminal de animales alimentados con dietas altas en grano, indican que la mayor actividad amilolítica puede ser intracelular o asociada a la membrana (Mendoza y Britton, 1991).

Estudios realizados por Anderson y Salyers (1989 ab) con *Bacteroides thetaiotaomicron*, indican que la mayoría de las enzimas amilolíticas están asociadas a la célula y no son extracelulares, y otras enzimas como la α -glucosidasa

y la maltasa se localizan en el citoplasma. La presencia de enzimas ligadas a la célula ha sido demostrada en algunas bacterias ruminales. *Streptococcus bovis* posee dos amilasas ligadas y una amilasa extracelular que es liberada durante el crecimiento (Walker, 1965). Entre 80 y 90% de la actividad de la pululanasa y la amilasa en *Prevotella ruminicola* 118B corresponde a enzimas ligadas a la célula (Thurn y Kotarski, 1987).

Anderson y Salyers (1989b) encontraron que células de *Bacteroides thetaiotaomicron* ligaban almidón radiactivo. Esta actividad mostraba una cinética de saturación y se reducía por el tratamiento con proteinasa K. Por lo tanto, los autores plantearon la hipótesis de que existe una proteína ligadora de almidón en la superficie de la célula. La actividad ligadora del almidón y la actividad amilolítica fueron estimuladas por maltosa y se presume que ambas están controladas por los mismos genes en la bacteria.

Anderson y Salyers (1989b) sugieren que la adherencia al almidón por *Bacteroides thetaiotaomicron*, podría ser el primer paso en la utilización del almidón. En términos generales, las especies de bacterias son muy similares en su metabolismo y comparten propiedades comunes entre miembros del mismo género. Por lo tanto, es posible que existan sitios específicos de adherencia en *Bacteroides* ruminales similares a los descritos en las bacterias del colon. Sin embargo, esta actividad no ha sido estudiada en bacterias ruminales y es posible que la adherencia al almidón sea resultado de propiedades de la enzima.

En estudios realizados con enzimas amilolíticas liberadas con lizozima (Mendoza, 1991) se encontró una mayor actividad amilolítica al usar almidón de maíz, comparado con almidón purificado de sorgo, de papa o soluble (Cuadro 2.8); sin embargo, esta mayor actividad estaba relacionada a un mayor contenido de azúcares reductores iniciales, por lo que se considera ésta fue una fuente de error en las estimaciones de actividad amilolítica, y se recomienda utilizar almidón de papa debido a su bajo contenido inicial de azúcares reductores que resultan en menor variación (Mendoza y Britton, 1991).

Cuadro 2.8 Efecto del sustrato utilizado para medir la actividad enzimática sobre la actividad amilolítica de enzimas liberadas con lizozima.

	Actividad ^a Unidades/mg proteína	Coefficiente de variación
Almidón de maíz	0.1580	7.20
Almidón de sorgo	0.1096	5.45
Almidón de papa	0.1081	3.35
Almidón soluble	0.1000	8.24

^aUnidad enzimática=1 mol de glucosa equivalente formado por min.

Fuente: Mendoza y Britton (1991).

Las herramientas de biología molecular están ahora permitiendo conocer mejor las enzimas y los genes que los codifican, por ejemplo de origen microbiano se han identificado en *Butyrivibrio fibrisolvens* endoglucanasas (genes H17c *endI*; A46 *celA*) una Celloextrinasa (gen H17c *cedI*), una b-Glucosidasa (gen H17c *bg1A*) y una enzima ramificadora de glucógeno (gen H17c *glgB*). En *Prevotella ruminicola* se ha identificado una endoglucanasas (gen AR20 *celA*) y en *Streptococcus bovis* una amilasa (gen *amyA*). En los hongos se han encontrado endoglucanasas *Neocallimastix frontalis* (gen MCH3 *celA*), *N. patriciarum* (gen *celB*) y *Orpinomyces joyonii* (gen *celA*) y en el protozoario *Epidinium ecaudatum* una endoglucanasas (gen *epi3*) (Selinger *et al.*, 1996).

A pesar de que en el campo de microbiología y enzimática ruminal hay pocos estudios, experimentos con *Bacteroides thetaiotaomicron* en co-cultivo con otros microorganismos muestran que se pueden potenciar las actividades enzimáticas de una u otra bacteria en co-cultivo (Sonnenburg *et al.*, 2006), lo cual es algo que se debe de explorar en microorganismos ruminales.

Este conocimiento es importante dado que la digestión del almidón en el rumen de muchos granos es incompleta y será necesaria la manipulación de la actividad enzimática o la adición de otras enzimas exógenas hidrolíticas con actividad excepcional o especificidad, en los pasos clave de digestión limitante en la hidrólisis del almidón. Los avances en la tecnología de ADN recombinante facilitará la incorporación de nuevas enzimas y nuevos suplementos enzimáticos que permitan mejorar la digestión (Selinger *et al.*, 1996).

CAPÍTULO III

MODELOS DE DIGESTIÓN RUMINAL DEL ALMIDÓN

G.D. MENDOZA M., F.X. PLATA P., P.A., HERNÁNDEZ G.

La evolución de los sistemas de evaluación de alimentos hacia herramientas que permiten la predicción de diversas formas de respuesta animal tales como eficiencia, conversión y calidad del producto requieren de una integración cuantitativa del conocimiento del sitio y la extensión de la digestión de los alimentos, la cual impacta fuertemente en la cantidad y tipo de nutrientes que se liberan hacia los tejidos periféricos (Nozière *et al.*, 2010). En este sentido, los modelos matemáticos son ecuaciones que describen ciertos fenómenos biológicos y pueden considerarse de varios tipos: empíricos, teóricos y mixtos. En la alimentación de los rumiantes es esencial la comprensión de ciertos modelos básicos dinámicos de digestión ruminal, los cuales se empezaron a desarrollar en forrajes (Waldo *et al.*, 1972), y son aplicables a varios nutrientes. Es importante tener presente que la digestión es un proceso enzimático y mecánico que puede expresarse en términos de cinética de primer orden.

La digestión ruminal de nutrientes puede describirse matemáticamente por varios componentes (Mertens, 1977). En el caso del almidón, los componentes más importantes son la tasa de digestión, la extensión de la digestión y la tasa de pasaje. La tasa de digestión puede ser descrita por cinética de primer orden con una tasa fraccional constante (Mertens y Ely, 1982; Mahasukhonthachat *et al.*, 2010). Algunas de las relaciones dinámicas de los componentes descritos para la digestión de la fibra (Mertens, 1977; Mertens, 1987; Allen y Mertens, 1988) pueden ser aplicadas a la digestión del almidón (Ewing *et al.*, 1986) sin embargo, una diferencia conceptual importante, es que no existe la fracción indigestible en los granos. Con esos modelos es posible predecir la extensión de la digestión; la cual, está directa y positivamente relacionada con la tasa de digestión del almidón, mientras que la tasa de pasaje tiene una influencia negativa en dicha predicción. Entonces es importante entender cómo cambian estos parámetros en función de modificaciones tanto del manejo alimenticio como del procesamiento de granos, niveles de forraje, grasas, aditivos etc. A continuación se describen los modelos más simples que permiten describir la digestión del almidón.

MODELOS DE DIGESTIÓN SIMPLE

En este modelo se definen kd y kp como la cantidad de almidón digerido y que pasa del rumen por unidad de tiempo. Existe un consumo de la fracción digestible (D) la cual desaparece por una competencia entre digestión y pasaje (Figura 3.1). La digestibilidad (Dig) se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$\text{Digestibilidad (Dig)} = \frac{kd}{kd+kp}$$

De acuerdo con dicha fórmula, la tasa de pasaje tendría un efecto negativo más reducido en la digestibilidad de ingredientes de alta tasa de degradación como son los granos, y mostraría depresiones en la digestibilidad de forrajes o esquilmos con lenta tasa de fermentación en el rumen. Entre los factores que modifican la kd , estarían las características fisicoquímicas del grano (tipo de grano, procesamiento; Gahid *et al.*, 2009; Mahasukhonthachat *et al.*, 2010), las características de la población microbiana (actividad amilolítica, presencia de protozoarios) y las condiciones del ambiente ruminal. Dentro de los factores que pueden alterar el consumo, destacan el volumen, la gravedad específica y el tamaño de la partícula del alimento consumido.

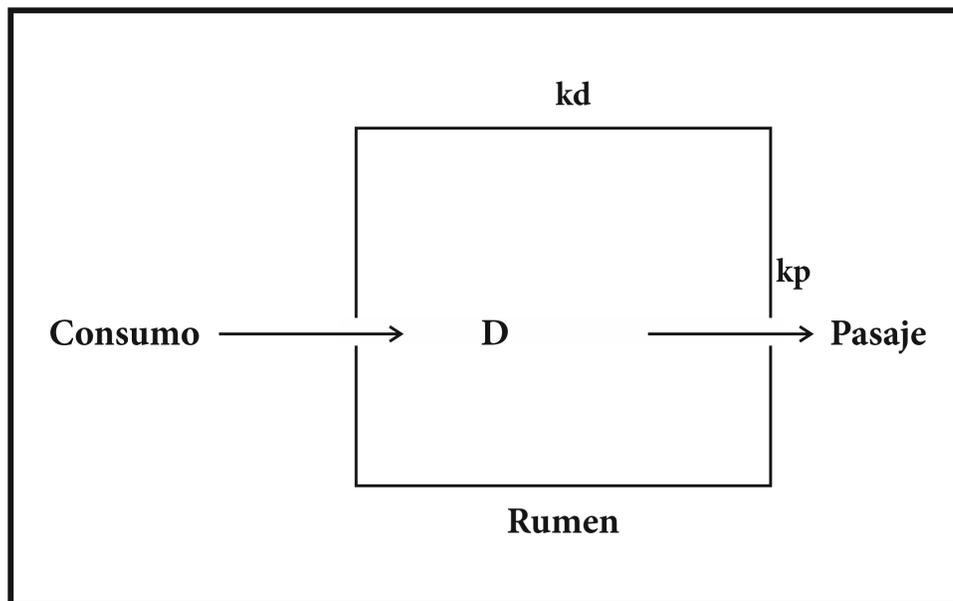


Figura 3.1 Modelo de digestión simple
Fuente: Adaptado de Allen y Mertens (1988).

Un ejemplo de su efecto está demostrado por Krehbiel *et al.* (1995) quienes mostraron que la adición de grasas en dietas altas en grano reduce la kd e incrementan la kp , lo cual en conjunto reduce la digestibilidad ruminal del almidón. Mendoza *et al.* (1995) demostraron que la deficiencia de nitrógeno degradable reduce la kd *in vitro* y la presencia de protozoarios también reduce la tasa de degradación (Mendoza *et al.*, 1993). El uso de enzimas amilolíticas exógenas ha demostrado que puede incrementar la kd del almidón *in vitro* (Rojo *et al.*, 2001), *in situ* (Gutiérrez *et al.*, 2005) e *in vivo* (Rojo *et al.*, 2005). Factores como dosis (Plata *et al.*, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2005) y la velocidad con que se libere la enzima exógena pueden modificar la tasa de degradación del almidón (Crosby *et al.*, 2012).

MODELO CON FRACCIÓN INDIGESTIBLE

Este modelo es similar al anterior pero adicionalmente incluye dos fracciones del nutrimento (Figura 3.2), la digestibilidad (D) y la indigestibilidad (I), las cuales ingresan al rumen en función de su consumo (fd y fi). La fracción indigestible sólo desaparece del rumen por pasaje (kp), mientras que la digestibilidad se remueve por digestión (kd) y pasaje (kp). En este modelo la digestibilidad (Dig) se puede estimar:

$$\text{Digestibilidad (Dig)} = \frac{fd \cdot kd}{kd + kp}$$

La digestibilidad será directamente proporcional a la cantidad de fracción digestible del grano, y los factores que pueden alterar la digestibilidad son similares a los del modelo simple. A pesar de que existe poca información acerca de la presencia de una fracción indigestible del almidón en los granos, es posible que existan fracciones indigestibles en el rumen que podrían estar asociadas a las características de la estructura del almidón. Por ejemplo algunas variedades de sorgo tienen una digestión ruminal de 50% (Britton y Stock, 1986) mientras que otras pueden llegar al 80% (Mendoza, 1991). Existe una gran variabilidad en la cantidad de almidón digestible dentro del grano de sorgo (Duran *et al.*, 2004; Calderón *et al.*, 2011). Por otro lado, tanto la matriz proteínica que envuelve al grano como la presencia de taninos podrían limitar su digestión (Hibberd *et al.*, 1983). No se sabe si los nuevos materiales de granos mutantes desarrollados con biotecnología tengan una fracción equivalente a la indigestible, lo cual deberá ser evaluado.

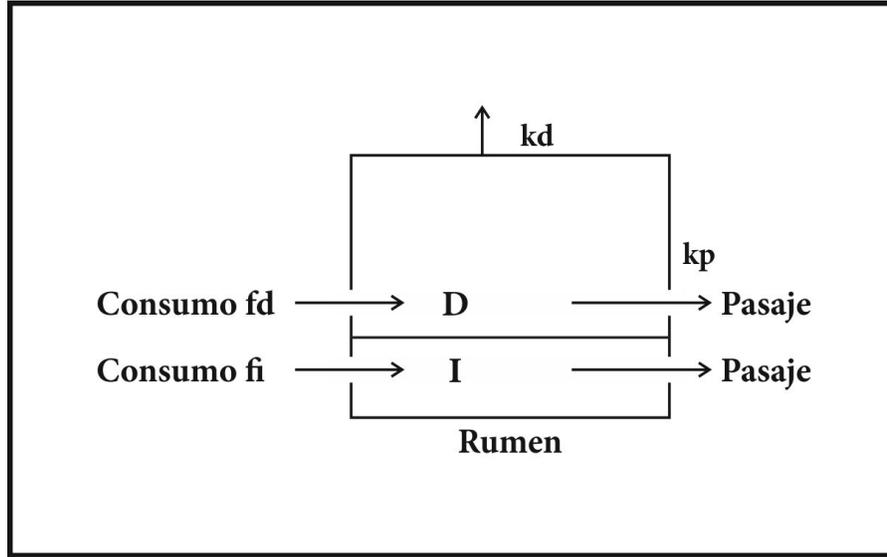


Figura 3.2 Modelo de digestión simple con fracciones digestible e indigestible
Fuente: Adaptado de Allen y Mertens (1988).

A pesar de que la digestión en el rumen puede ser limitada en algunos granos como el sorgo, no se considera que esto constituya una fracción indigestible pues el almidón que llega al duodeno se digiere en intestino delgado o grueso (Harmon *et al.*, 2004).

MODELOS CON RETENCIÓN SELECTIVA DE PARTÍCULAS

En este modelo, las fracciones digestibles (D) e indigestibles (I) son divididas en dos pozas de acuerdo con su probabilidad de salir del rumen, una poza de partículas que escapan (ED y EI) y otra de no escapan (ND y NI). Las partículas deben de tener un tamaño mínimo para pasar a través del orificio retículo omasal. Dicho tamaño es alcanzado a una velocidad o tasa de reducción (kr) y entonces las partículas que escapan, salen del rumen a una tasa se escape ke (Figura 3.3). En este modelo de dos pozas secuenciales, la digestibilidad (Dig) y la tasa de pasaje (kp) se pueden estimar con las siguientes fórmulas:

$$\text{Digestibilidad (Dig)} = \frac{fd \cdot kd}{kd + kr} \left(1 + \frac{kr}{kd + ke} \right)$$

$$kp = \frac{kr \cdot ke}{kd + kr + ke}$$

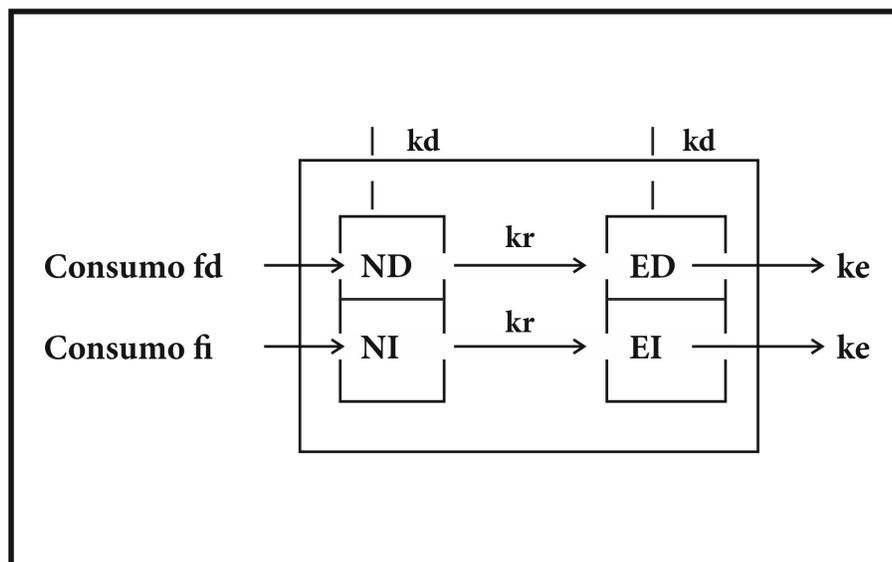


Figura 3.3 Modelo de digestión con retención selectiva de partículas
Fuente: Adaptado de Allen y Mertens (1988).

MODELO CON FASE LAG

La fase Lag ha sido definida como el tiempo en que se inicia la digestión como una cinética de primer orden y representa el tiempo en que se adhieren las bacterias para empezar la digestión. En el caso del almidón, la fase Lag representaría el inicio de la colonización del grano. Se han reportado valores de fase Lag exclusivamente para la pared celular de los granos (Varga y Hoover, 1983) pero es muy pequeña y posiblemente no pueda ser detectada una fase Lag para la digestión del almidón. En este modelo las fracciones digestible (D) e indigestible (I) entran al rumen sin ser colonizadas (SND y SIN); posteriormente las fracciones son colonizadas a una tasa de adherencia ka (fase Lag) y se inicia la digestión y reducción de partículas en la fracción digestible adherida (AED). La fracción indigestible adherente (AEI) inicia su reducción de tamaño de partícula y desaparece del rumen sólo por escape (Figura 3.4). La digestibilidad en este modelo se estima con la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad (Dig)} = \frac{fa \cdot kd}{kd + kr} \star \frac{(1 + kr)}{kd + ke}$$

De acuerdo con la ecuación de la fase Lag no afectaría la digestión ruminal del nutriente, sin embargo esto debe corroborarse experimentalmente. Las partículas del alimento son hidratadas con el fluido ruminal y entra en contacto con los microorganismos y sus enzimas para iniciar la digestión. Algunos de

los factores que pueden modificar la fase Lag incluyen la presencia de grupos hidrofílicos en las partículas, la tensión superficial, la concentración de gases, la estructura de la partícula, la rumia y los movimientos del rumen (Allen y Mertens, 1988).

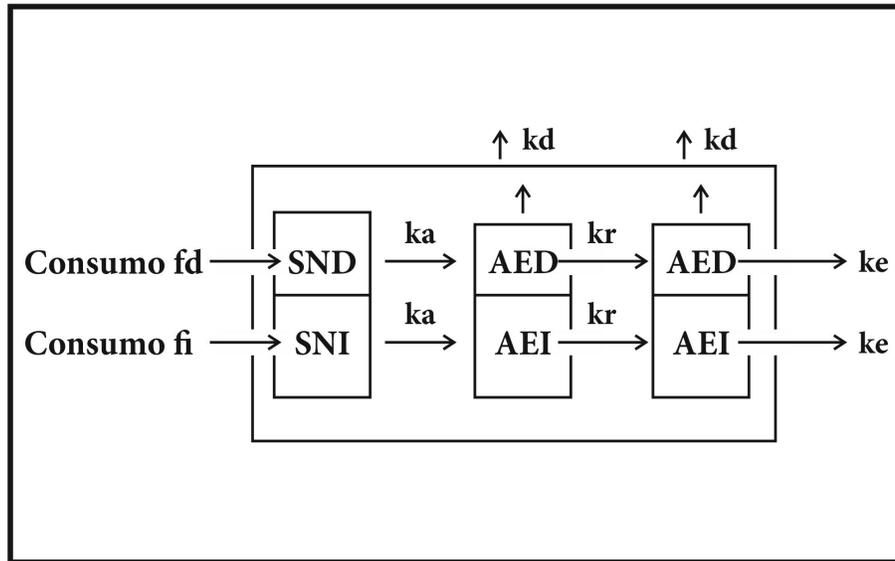


Figura 3.4 Modelo de digestión con retención selectiva de partículas y fase lag
Fuente: Adaptado de Allen y Mertens (1988).

Existen muchas preguntas biológicas sobre aditivos que aún no han sido contestadas en términos de cinética de digestión con estos modelos, como el efecto de los ionóforos en la tasa de digestión del almidón, el efecto del calcio (cofactor de la amilasa) y el efecto de enzimas fibrolíticas exógenas, entre otros.

Es importante que estos modelos se usen para evaluar los nuevos granos genéticamente modificados y que además se usen para explicar y relacionar los resultados de los distintos parámetros (kd , kp , lag) con el conocimiento básico de la estructura a nivel molecular que se está generando descrito en el primer capítulo de este libro.

CAPÍTULO IV

TASA DE DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN

G.D. MENDOZA, F.X. PLATA P., J.A. MARTÍNEZ G.,
P.A. HERNÁNDEZ G.

Biológicamente, la tasa de digestión del almidón es el resultado de factores que interactúan, entre los cuales se pueden considerar, las propiedades fisicoquímicas del grano, factores de tipo microbiano y del animal (Figura 4.1).

FACTORES ASOCIADOS AL GRANO

La tasa de degradación del almidón en el rumen depende de las características intrínsecas del almidón y de los procesos a los que haya sido sometido el grano (Ørskov, 1986). Varios estudios realizados con enzimas microbiales y de mamíferos, han demostrado que el procesamiento del almidón modifica la susceptibilidad a las enzimas. Por ejemplo, Lee *et al.* (1985) estudiaron amilasas pancreáticas de humanos y conejos, encontraron que la gelatinación del almidón incrementó la tasa y la extensión de la hidrólisis del almidón *in vitro*. Resultados similares se han observado con amilasas microbiales (Glennie, 1987) y con amilasas pancreáticas de porcinos y bovinos (Osman *et al.*, 1970). El incremento en la degradación del almidón asociado a la gelatinización, puede ser modificado si se presenta el fenómeno de retrogradación del almidón. La retrogradación es un proceso complejo donde el almidón pasa de un estado disuelto a uno asociado y es afectado por varios factores, tales como la fuente de almidón, contenido de almidón, procedimientos de cocimiento, temperatura, tiempo de almacenaje, pH y procedimiento de enfriado (Swinkels, 1985).

El almidón de diferentes granos es digerido a distintas tasas en el rumen (Figura 4.1). En general, el almidón de trigo y cebada tienen las tasas de degradación más rápidas, mientras que el grano de maíz y el sorgo roloado son lentos (Britton y Stock, 1986). Resultados similares se observan en la digestión de esos granos con amilasa pancreática (Osman *et al.*, 1970). El almidón de la papa tiene una tasa de degradación más rápida que la del sorgo y el maíz, pero menor que del trigo (Offner *et al.*, 2003) por lo que su incorporación en dietas de corral de engorda debe de hacerse en proporciones moderadas (25 a 30%).

Las tasas de degradación del almidón, aunque relativas, son importantes y deben de considerarse cuando se elaboran raciones para ganado en corrales de engorda, ya que aquellos granos de mayor velocidad de fermentación como el trigo y la cebada, pueden causar problemas severos de acidosis; de hecho la velocidad de degradación del trigo es la causa por la cual se recomienda incluirlo en niveles menores al 25% de la ración. Por otra parte, es necesario tener presente que el principal granos utilizado en la alimentación animal en México es el sorgo, que tiene la menor tasa de degradación y por lo tanto, el menor valor energético. Así, se puede observar que los medios de procesamiento del sorgo incrementan su tasa de digestión, efecto deseable para obtener un mayor contenido de energía para el animal y por lo tanto una mayor ganancia de peso.

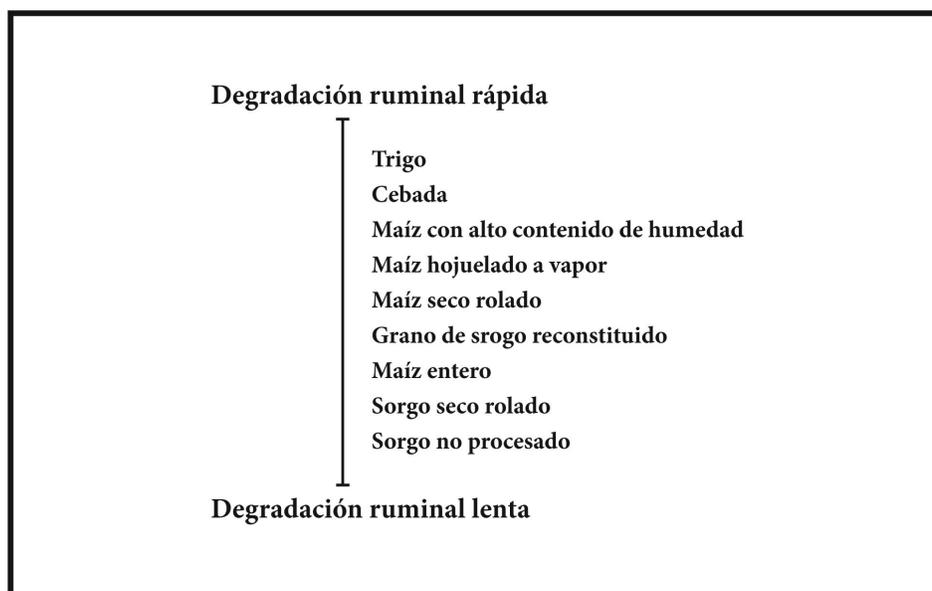


Figura 4.1 Clasificación relativa de grano de acuerdo a la velocidad de degradación ruminal del almidón.

Fuente: Adaptado de Britton y Stock (1986).

La variación de la tasa de digestión no sólo se presenta entre ingredientes, sino dentro de ingredientes como lo reportaron Duran *et al.* (2004) al evaluar 20 variedades de sorgo (Figura 4.2). Evaluaciones realizadas por Gramlich (1988), Wester (1989) y Wester *et al.* (1992) indican que existe una gran variación entre las tasas de degradación de los híbridos comerciales de sorgo. Los resultados de Duran *et al.* (2004) y Calderón *et al.* (2011) confirman que la digestibilidad del almidón ruminal puede ser tan baja como 50% o tan alta como 80%. Este aspecto es de gran importancia ya que si la tasa de degradación del almidón es heredable en los granos, sería posible seleccionar variedades de mayor tasa de digestión, y se lograría un mayor beneficio a nivel nacional que con la utilización de procesos de granos tales como rolado, hojueado, etc., para mejorar su valor nutritivo.

Cuadro 4.1 Efecto de la tasa de digestión del almidón *in vitro* y el comportamiento de bovinos.

Tasa de digestión, %/h	6.95	6.75	6.67	6.48
Consumo MS, kg/d	9.90	9.40	10.00	9.50
GDP, kg	1.33	1.24	1.29	1.22
Conversión	7.40	7.60	7.70	7.80

MS=materia seca; **GDP**=ganancia diaria de peso.

Fuente: Elaborado con datos de Gramlich (1988).

Los resultados de Gramlich (1988) indican que a mayor tasa de degradación del almidón, es posible obtener mayores ganancias y mejor eficiencia alimenticia (Cuadro 4.1). Es interesante mencionar que la diferencia entre las tasas de degradación de los híbridos comerciales probados por Gramlich (1988), era poca por lo que se esperarían efectos más pronunciados si la diferencia en la tasa de degradación fuera mayor. En términos generales, es posible esperar un mayor consumo con granos de menor tasa de fermentación, y en el caso específico del sorgo, no necesariamente conlleva a mayores ganancias de peso.

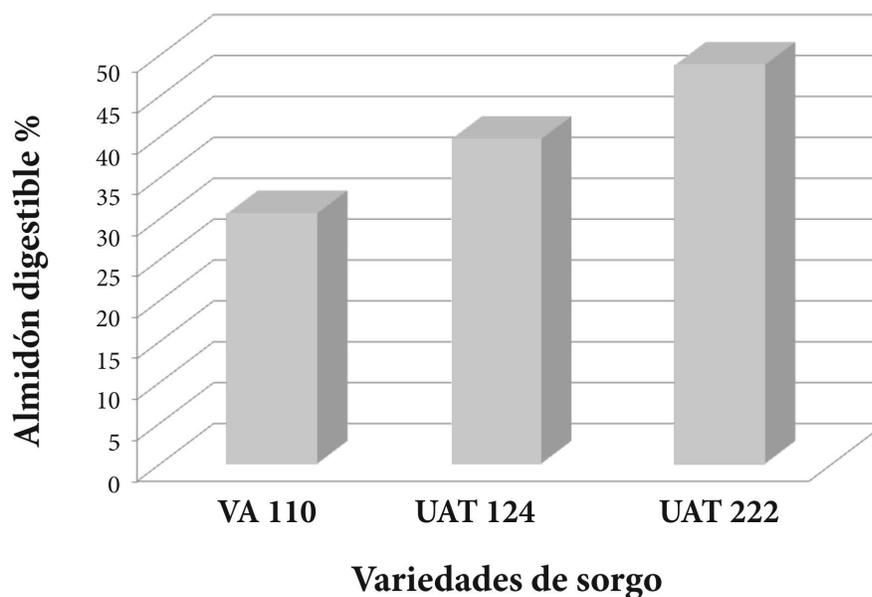


Figura 4.2 Contenido de almidón digestible de diferentes variedades de sorgo

Fuente: Elaborado con datos de Duran *et al.* (2004).

Se han realizado pocos estudios donde participen los mejoradores de granos y los expertos en nutrición animal. Duran *et al.* (2004) no encontraron diferencias en el contenido de almidón total y degradable de acuerdo al genotipo de sorgo, caracterizado por su resistencia a la sequía. Sin embargo, algunas variedades destacaron por su contenido de almidón digestible. Calderón *et al.* (2011) evaluaron el rendimiento agronómico de 10 variedades de sorgo digestible en Puebla y el rango estuvo entre 2.12 a 2.98 ton por hectárea.

Existen muchas posibilidades de investigación en México relacionadas a formas de incrementar el valor nutritivo del sorgo para rumiantes. Los resultados de enzimas amilolíticas de Gutiérrez *et al.* (2005), Rojo *et al.* (2005) y Crosby *et al.* (2006) demostraron que amilasas y glucoamilasas termoestables, permiten incrementar la tasa de digestión de granos como el maíz y sorgo en el rumen.

El tamaño de partícula del grano afecta la tasa de digestión y la tasa de pasaje. Estudios conducidos por Galyean *et al.* (1981) mostraron que la desaparición de la materia seca del maíz o sorgo, se incrementaba cuando se reducía el tamaño de partícula. Ewing *et al.* (1986) reportaron que la tasa de pasaje de maíz aumentaba linealmente con la reducción de la partícula (Cuadro 4.2). Es importante considerar que en algunos de los procesos de grano, se altera el tamaño de partícula y por lo tanto su tasa de digestión y de pasaje. Hale (1973) indicó que la degradación de la matriz proteínica del grano de sorgo permitía el acceso de los microorganismos y sus enzimas al gránulo de almidón. Se ha sugerido que la degradación de la matriz proteínica, es un factor importante para mejorar la utilización del almidón (McNeil *et al.*, 1975; Theurer, 1986).

Cuadro 4.2 Efecto del tamaño de partícula en la cinética de digestión del maíz.

Tamaño de Partícula, mm	Tasa de pasaje %/h	Tasa de digestión %/h
>8.0	1.9	0.000
>4.76 y <8.0	2.5	1.98
>1.19 y <4.76	3.1	1.88
<1.19	4.6	

Fuente: Adaptado de Ewing *et al.* (1986).

La presencia de inhibidores como los taninos, ha sido considerada como otro factor que limita la digestión del almidón (Baldwin y Allison, 1983). Para probar esta hipótesis, Wester (1989) removió el germen y el pericarpio (por perlado) de un híbrido de sorgo con taninos. La tasa de digestión *in vitro* del grano perlado fue 8.5% más rápido que la del grano original (P=0.03); sin embargo,

no se puede obtener conclusiones definitivas de este experimento, ya que no se sabe si el tanino residual era suficiente para limitar la digestión del almidón o si están involucradas características inherentes al híbrido (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3 Efecto del perlado en algunas características de un híbrido de sorgo.

Muestra	% tanino	% PC	% almidón	Kd %/h
No procesada	4.84	9.6	69.5	5.3
Perlada	0.61	8.4	80.5	5.8

PC=proteína cruda; Kd=Tasa de digestión.

Fuente: Elaborado con datos de Wester (1989).

El contenido de amilosa limita la digestión del almidón (Baldwin y Allison, 1983). La digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa (Rooney y Pflugfelder, 1986). La pared celular de grano podría también restringir el acceso de las enzimas amilolíticas (Chesson y Forsberg, 1988). Normalmente es poca la atención para la FDN de los granos y en el caso del sorgo puede haber una variación de 9.1 a 22.4% (Calderón *et al.*, 2011), lo cual puede afectar la cantidad de almidón en el grano y presumiblemente la tasa de digestión.

Algunos investigadores (McNeil *et al.*, 1971; Ørskov, 1986; Theurer, 1986) han sugerido que el incremento de la digestión del almidón en el rumen puede mejorar la eficiencia de la utilización, ya que los granos de mayor degradabilidad ruminal exhiben la mayor digestibilidad total en el tracto gastrointestinal. Esto podría ser parcialmente correcto, para granos de digestión lenta o media como el sorgo. Los resultados de Wester (1989), mostraron que novillos alimentados con un híbrido de sorgo con una tasa de degradación rápida (6.9%/h), mostró mayores ganancias de peso (8.6%) que un grano de menor tasa de digestión (6.4%/h). Sin embargo, este principio no puede ser aplicado a todos los granos, ya que granos con tasas de degradación rápidas están asociados con problemas de acidosis aguda o subaguda (Britton y Stock, 1986). Además, la energía del almidón se puede usar más eficientemente si éste es completamente digerido y absorbido en el intestino delgado (Owens *et al.*, 1986; Theurer, 1989). Sin embargo, no existe evidencia de que incrementar la digestión del almidón en intestino delgado repercuta en mayor productividad de los rumiantes.

FACTORES ASOCIADOS AL FORRAJE

El forraje es usado en las raciones del corral de engorda para diluir el contenido de almidón en la ración y para la prevención de acidosis (Stock, 1988). Los efectos del forraje en la digestión ruminal de almidón, están relacionados con cambios en la rumia y en la secreción de saliva que incrementan la capacidad amortiguadora en el rumen. También reduce el tiempo de digestión como resultado de incrementar la tasa de pasaje (Ørskov, 1986; Owens y Goetsch, 1986).

Algunas investigaciones han mostraron que la inclusión de 40% de forraje en dietas con grano de cebada, incrementó la cantidad de almidón que llegaba al intestino delgado, observando depresiones en la digestión ruminal de almidón cuando se adicionaba alfalfa a una ración con grano de maíz. A pesar de estos resultados, en esos estudios, el grano sustituía el forraje en la ración, lo cual confunde el efecto del nivel de forraje con la cantidad de almidón consumido (Ørskov *et al.*, 1969; Karr *et al.*, 1966).

En un experimento conducido por Brink y Steel (1985) en el que utilizaron tres niveles de maíz en una ración basada ensilaje de maíz (Cuadro 4.4), observaron que, con bajos niveles de grano, la digestión ruminal del almidón era menor. Esto podría relacionarse con la mayor tasa de pasaje. Por otro lado, la inclusión de altos niveles de grano resultó en un efecto asociativo negativo, al deprimir la digestibilidad del forraje. Resultados similares fueron reportados por Plata *et al.* (1994).

Datos reportados por Cole *et al.* (1976a) con consumo constante de almidón y aumentando el nivel de forraje, se incrementó el consumo de materia seca y la digestión ruminal del almidón, se reducía cuando se incrementaba el forraje asociado a la tasa de pasaje. De sus datos se puede estimar que el flujo duodenal, el cual se incrementó hasta un 40% con la adición de forraje. En este estudio los efectos de consumo y tasa de pasaje están confundidos, y se podría considerar el análisis de los datos, usando al consumo como covariable. Sería interesante conocer cómo se modifica la tasa de digestión, debida a los cambios del ambiente ruminal con animales alimentado a distintos niveles de forraje.

Stock (1988) señala que el efecto del forraje sobre la tasa de pasaje puede ser beneficioso en raciones altas en concentrados cuyos granos tengan una fermentación rápida, ya que se puede reducir la producción total de ácidos y los riesgos de acidosis; sin embargo, los cambios en la tasa de pasaje podría ser detrimentales en aquellos granos de fermentación lenta, reduciendo con ello la digestibilidad ruminal. Una tasa de pasaje rápida puede reducir el tiempo para la acción de las enzimas ruminales y posiblemente ocurre lo mismo en el intestino delgado.

Cuadro 4.4 Efecto del nivel de grano en la digestión de almidón y de FDN.

	% de maíz en la ración		
	50	70	90
Consumo almidón, kg	3.68	4.22	4.51
FDN, kg	2.45	1.59	0.87
Digestión del almidón, % del consumo			
Rumen	45.40	62.10	66.30
Post-rumen	44.40	33.10	30.30
Total	95.40	95.20	96.60
Digestión de FDN, % del consumo			
Rumen	71.50	69.50	33.10
Post-rumen	5.30	7.70	40.90
Total	76.80	77.10	74.10

Fuente: Elaborado con datos de Brink y Steel (1985).

En algunos experimentos no se han encontrado cambios en la digestión ruminal del almidón al incrementar el nivel de forraje, posiblemente por un menor consumo que aumenta el tiempo de permanencia en el rumen (Cole *et al.*, 1976b; Hart, 1987).

Las características asociadas al forraje, tales como tiempo de retención, tamaño de partícula y densidad, pueden afectar la respuesta animal en dietas altas en grano (Gill *et al.*, 1981). Los resultados de Thompson y Lamming (1972) indican que la tasa de almidón se incrementó cuando se redujo el tamaño de partícula de forraje. Todos estos factores de nivel, tamaño de partícula, forma y fuente de forraje podrían ser considerados para elaborar modelos de simulación para predecir los cambios en la digestión del almidón.

Pueden presentarse varias interacciones entre el forraje y el grano. Mould *et al.* (1983) observaron que el grano de cebada redujo el pH ruminal en menor magnitud que la cebada peletizada o molida-peletizada en raciones con 75% de grano; sin embargo, cuando los granos constituían 50% de la ración, el pH ruminal no fue afectado.

La relación entre la tasa fraccional de pasaje de forrajes y concentrados fue analizada con datos de la literatura por Owens y Goetsch (1986). El pasaje del concentrado se incrementó linealmente como respuesta a incrementos en consumo de concentrado, pero tuvo una respuesta cuadrática, mostrando una máxima tasa de pasaje cuando el consumo de forraje era de 1.95% del peso vivo. La ecuación obtenida muestra que la pendiente de la respuesta de pasaje del concentrado cambia continuamente cuando el consumo de forraje se modifica. El modelo presentado por Owens y Goetsch (1986) no considera ninguna interacción entre las variables independientes, la cual podría existir. Por su

parte Ewing *et al.* (1986) concluyeron que la tasa de pasaje puede ser descrita en función del consumo de fibra detergente neutro por un modelo asintótico con un valor máximo de tasa de pasaje de 4.5%/h. La descripción matemática de esta relación puede ser compleja si se consideran las interacciones biológicas potenciales entre las fuentes de almidón, el nivel de forraje, el proceso del grano, tamaño de partícula, pH ruminal, presión osmótica, rumia y flujo de saliva, además del consumo y presencia de acidosis.

FACTORES ASOCIADOS AL NITRÓGENO

La tasa de digestión puede ser reducida y/o limitada si el nitrógeno degradable en rumen es limitado (Mendoza y Britton, 1991; Mendoza *et al.*, 1995). Sin embargo, no se conoce la concentración óptima de nitrógeno amoniacal (Bergen y Yokoyama, 1977) y la dinámica del metabolito complica la solución de esa pregunta. Las estimaciones de requerimientos han variado desde 5 mg NH₃-N/100 ml (Satter y Slyter, 1974) hasta 23 mg NH₃-N/100 ml (Mehrez *et al.*, 1977). En esos estudios ha habido diferencias en criterio y metodología. Por ejemplo, Satter y Slyter (1974) usaron el rendimiento microbiano como variable respuesta en fermentadores continuos, mientras que Mehrez *et al.* (1977) se basaron en la máxima tasa de degradación del almidón de cebada *in situ*. Los resultados con bolsa de dacrón suponen que el material que desaparece de la bolsa es degradado, lo cual podría no ser totalmente verdadero.

Desde un punto de vista práctico, la limitación de nitrógeno degradable en el rumen puede tener consecuencias adversas en el consumo, ganancia de peso y eficiencia (Cuadro 4.5), por lo que debe de considerarse como crítica la presencia de ingrediente nitrogenados de alta degradación ruminal. Es interesante mencionar que en el estudio de Mehrez y Ørskov (1978) no se detectan diferencias notables en la digestión total de la materia seca, pero es posible que la digestión a nivel ruminal haya sido limitada. Los estudios que se realicen sobre digestión ruminal deben considerar el sitio y la extensión de la digestión del almidón como variable respuesta para poder interpretar los resultados sobre una base biológica.

Cuadro 4.5 Efecto del nivel de urea en el comportamiento de ovinos alimentados con dietas altas en cebada.

Urea, g/k,	Consumo, g/d	GDP, g	Conversión	Digestibilidad ms, %
0	689	171	4.03	78.9
6	797	195	4.09	79.7
12	896	259	3.46	79.5
18	924	256	3.61	77.2

GDP=ganancia diaria de peso; **MS**= materia seca.

Fuente: Mehrez y Ørskov (1978).

Odle y Schefer (1987) observaron que la concentración de amoníaco requerida para incrementar la tasa de digestión del grano de maíz fue mayor que para la paja de cebada. Los resultados de Wallace (1979) muestran diferencias en la magnitud de la respuesta a la adición de urea en la desaparición de la materia seca de la cebada rolada, gluten de trigo y salvado de maíz. Estos resultados sugieren que el requerimiento de nitrógeno degradable podría variar con la tasa de digestión del almidón o con la cantidad de almidón fermentado en el rumen debido a la relación entre la síntesis de proteína microbiana y la materia orgánica fermentable en rumen.

Los datos obtenidos en estudios *in situ* indican que pueden existir microambientes donde la concentración de amoníaco medido en líquido ruminal, no es la misma que aquélla presente en comunidades microbiales en crecimiento activo, debido a que el intercambio de líquido entre la bolsa de dacrón y el rumen podría no ser homogénea (Britton 1991, comunicación personal).

Existe poca información acerca del efecto del tipo de proteína degradada en el rumen y en la digestión del almidón. Resultados obtenidos por Sindt *et al.* (1993) mostraron que la tasa de digestión del almidón se puede modificar con la fuente de proteína; a pesar de esto, no existen diferencias importantes debido a la fuente de proteína en el comportamiento de bovinos en corrales de engorda (Schindler y Farlin, 1980). Los resultados de los dos experimentos (Cuadro 4.6), no mostraron diferencias al utilizar dos compuestos nitrogenados de distintas degradaciones ruminal, lo que indica que si los microorganismos del rumen reciben cantidades suficientes de amoníaco se pueden utilizar los compuestos más económicos de nitrógeno como la urea, gallinaza o pollinaza, para la formulación de raciones en dietas altas en grano.

Es importante señalar que en ocasiones hay respuesta a la suplementación con proteína de escape (Gutiérrez, 1990) a ingredientes que aportan aminoácidos limitantes (lisina y metionina) a nivel del duodeno, como las harinas de sangre, de alfalfa y de pluma (esta última proporciona cantidades importantes de cisteína).

Algunos investigadores han postulado que la sincronización de la degradación ruminal de la energía y proteína puede mejorar la eficiencia de la fermentación (Riquelme, 1984; Herrera- Saldaña y Huber, 1989). Sin embargo, la teoría de sincronización ha subestimado la capacidad del rumiante para reciclar nitrógeno y no considera que en raciones altas en grano, el pH tiende a ser más ácido y debido al pK del amoníaco, la absorción del mismo será menor y los microorganismos del rumen tendrán mayor disponibilidad del nitrógeno amoniacal.

Cuadro 4.6 Efecto de la fuente de nitrógeno en raciones de finalización (85% maíz con alto contenido de humedad).

Experimento 1			
	Urea	Gluten de maíz	Urea + Gluten de maíz
Peso inicial, kg	265	264	268
CMS, kg	8.61	8.77	8.66
GDP, kg	1.22	1.20	1.19
Conversión	7.16	7.44	7.17
Experimento 2			
	Urea	Harina de sangre	
Peso inicial, kg	289	289	
CMS, kg	8.96	9.08	
GDP, kg	1.09	1.14	
Conversión	8.10	8.00	

CMS=Consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

Fuente: Schindler y Farlin (1980).

Un aspecto que ha sido ignorado en estudios de la sincronización de proteínas y energía, es la dinámica del nitrógeno amoniacal y la absorción ruminal en función de su pK. Las tasas de transporte relativos de NH_3 o NH_4^+ están determinadas por el pH ruminal en función de la ecuación de Henderson-Hasselbalch (Abdoun *et al.*, 2007). En condiciones ácidas, el NH_4 estaría disponible por más tiempo en el rumen, mientras que en la mayoría de condiciones dietas alcalinas, el NH_3 sería absorbido rápidamente y el reciclaje de N es el más importante. Esto invalida la teoría de la sincronización que tiene pocas evidencias de funcionar *in vivo* (Hall y Huntington, 2008), con dietas altas en granos donde el pH es relativamente más ácido y permanece más tiempo el ion amonio. Esto se confirma con los resultados de diversas fuentes comerciales de urea de lenta liberación, donde los efectos *in vivo* indican que no se modifica la tasa de digestión de los nutrientes (Galo *et al.*, 2003; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2010; Highstreet *et al.* 2010; Xin *et al.*, 2010; Lizarazo *et al.*, 2013).

Prokop y Klopfenstein (1977) no encontraron diferencias en el comportamiento de ovinos y bovinos alimentados con urea *versus* urea de lenta degradación, lo cual sugiere que el tiempo de liberación en el rumen no es tan importante como la cantidad de nitrógeno (Cuadro 4.7). En estos estudios la ventaja observada a favor de la pasta de soya es explicada por la cantidad de proteína de escape de la misma; pero la comparación de la urea de lenta degradación con la urea nos permite observar los efectos del tiempo de liberación en el rumen. Estudios realizados en la Universidad de Nebraska (EUA), al comparar infusiones continuas de urea (24 h) con la administración de la misma

cantidad una vez al día, indica que el reciclaje de nitrógeno puede minimizar los efectos del tiempo de degradación (Britton, 1991; comunicación personal).

Por otra parte, Garza *et al.* (1992) tampoco encontraron cambios en la eficiencia de síntesis de proteína microbial al comparar la infusiones de urea en el rumen a diferentes frecuencias (1.2 veces /día y cada tercer día). Indicaron que la sincronización del amoniaco no es una causa limitante para la utilización de nitrógeno, debido a los cambios en el reciclaje del mismo.

Cuadro 4.7 Efecto de la fuente de nitrógeno en el comportamiento de bovinos.

	Pasta de soya	Urea	Urea lenta
Experimento con ovinos			
N retenido, g/d	3.7	1.97	2.43
Experimento con bovinos			
Consumo ms, kg/d		6.9	6.9
GDP, kg		1.11	1.12
Experimento con terneros			
Consumo ms. Kg/d	6.4	6.2	6.0
GDP, kg	0.85	0.73	0.72
Conversión	7.6	8.5	8.4

CMS= Consumo de materia seca; **GDP**= ganancia diaria de peso.

Fuente: Prokop y Klopfenstein (1977).

En las investigaciones que han estudiado la sincronización con variables de producción animal (Herrera-Saldaña y Huber, 1989; Nares 1996) existen efectos confundidos entre la velocidad de la degradación, la cantidad total de nitrógeno o almidón degradable en rumen. No es posible estimar los efectos de sincronización en variables de producción animal porque están confundidos, los de la fermentación ruminal con la proteína de escape. En el estudio de Herrera-Saldaña y Huber (1989) se observó una mayor eficiencia con una combinación de nitrógeno y energía rápidamente degradable en el rumen; no obstante, la eficiencia microbial podría estar relacionada con la tasa de pasaje y no con la sincronización.

Por otro lado se ha observado que las bacterias pueden producir ácidos grasos volátiles aun con niveles bajos de nitrógeno amoniacal (Satter y Slyter, 1974; Mendoza, 1991), lo cual indica que las bacterias pueden fermentar carbohidratos aun en condiciones limitantes de nitrógeno (Cuadro 4.8). Este fenómeno ha sido llamado fermentación desacoplada por Neijssel y Tempest (1976), y se ha observado en bacterias aeróbicas y anaeróbicas (Crabbendam *et al.*, 1985). Las bacterias ruminales también presentan dicho fenómeno; Russell (1986) observó que *Selenomonas ruminantium* y *Prevotella* (antes conocido

como *Bacteroides) ruminicola* cultivadas bajo condiciones limitantes de nitrógeno fueron capaces de fermentar la glucosa con cambios poco significativos en la síntesis de proteína microbial, acompañados con un incremento en la producción de calor. Los mecanismos celulares asociados con este fenómeno aún no se han dilucidado.

Sí se considera el sistema de proteína metabolizable de Burroughs *et al.* (1974; 1975) donde se estima la síntesis de proteína microbial con base en los carbohidratos fermentables y el nitrógeno degradable en el rumen, y no se considera la tasa de degradación, es posible predecir una mayor síntesis de proteína microbial en raciones cuyos ingredientes tengan mayor digestibilidad en el rumen, que correspondería a las raciones con ingredientes de mayor tasa de degradación, sin implicar una sincronización. Por otro lado, el término sincronización es ambiguo ya que no existe un sistema de clasificación para definir los ingredientes de acuerdo a su velocidad de degradación, y existen factores no relacionados al alimento que pueden modificar la tasa de degradación del mismo ingrediente (Mendoza, 1991).

Cuadro 4.8 Efecto del nivel de urea en la producción y proporción molar de ácidos grasos volátiles.

Urea, mg/g grano incubado						
Variable	0	5	10	20	30	SE
Total de ácidos grasos volátiles, mM						
	60.9	64.6	63.6	61.5	62.8	1.8
% molar						
Acetato	63.4	63.7	63.7	63.7	68.8	0.5
Propionato	23.0	22.1	23.3	23.5	23.3	0.6
Butirato ^a	8.0	8.3	7.7	7.8	7.4	0.2
Isobutirato	1.5	1.6	1.3	1.2	1.4	0.08
Isovalerato	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	0.09
Valerato	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	0.02

^a Efecto lineal del nivel de urea (P<0.02).

Fuente: Mendoza (1991).

FACTORES ASOCIADOS A LAS GRASAS

Krehbiel *et al.* (1995) evaluaron varios niveles de sebo y grasa amarilla en la tasa de digestión y pasaje del almidón en novillos en dietas altas en grano. Los resultados muestran que al aumentar la proporción de grasas se reduce la tasa de digestión y se incrementa la de pasaje, lo cual resulta en una disminución en la digestibilidad ruminal del almidón con efectos negativos arriba del 6% de grasa.

FACTORES ASOCIADOS A LOS MICROORGANISMOS RUMINALES

Cualquier factor que modifique el crecimiento microbial (nitrogeno degradable, pH, tasa de pasaje, etc.), puede alterar la digestión ruminal del almidón. Dentro de la población ruminal destacan dos grupos de microorganismos: las bacterias y los protozoarios ruminales. La importancia de estos últimos en el rumen (Hungate, 1984) y particularmente en raciones altas en grano, ha sido debatida por varios años. Con relación a dietas con altos niveles de granos, en un estudio de Eadie *et al.* (1970) se reportó que los protozoarios desaparecerían del rumen en dietas altas en grano. Es importante mencionar que en esos estudios se utilizó el grano de cebada en la ración y que la cebada es uno de los granos de mayor tasa de fermentación (Figura 4.1); debido a la acidez, los protozoarios pueden ser eliminados (Hungate, 1966). Sin embargo, otros estudios han demostrado que puede existir una gran población de ciliados en dietas con diferente tipos de grano, por lo que la importancia biológica de los protozoarios en las dietas con alto contenido de grano debe ser evaluada (Towne *et al.*, 1990).

Los protozoarios pueden jugar un papel muy importante en las dietas con concentrados ya que estabilizan el pH ruminal (Eadie y Mann, 1970). Algunos investigadores argumentan que eso se debe a la rápida ingestión del almidón disponible para las bacterias. A pesar de ello, cuando se considera la cantidad de almidón que ingiere un bovino en una ración de corral de engorda, es poco probable que la población de protozoarios pueda captar tal cantidad de almidón (Harmon, 1991; comunicación personal). Es más probable que el efecto estabilizador del pH ruminal esté asociado a una menor población de bacterias totales. Otra posible explicación podría estar asociada con el menor metabolismo del protozoario por su mayor tamaño, en este sentido Abou Akkada y Howard (1960) reportaron que el *Entodinium caudatum* podría ingerir gránulos de almidón sin causar un cambio inmediato en la concentración de ácidos durante la fermentación.

El pH ruminal ha sido reportado más ácido en animales defaunados, presumiblemente porque la ausencia de protozoarios incrementa la disponibilidad de almidón y carbohidratos fácilmente fermentables para las bacterias (Bonhome, 1990). La caída del pH ruminal posprandial es menos abrupta cuando los protozoarios están presentes bajo diversas condiciones dietarias, incluyendo raciones altas en grano (Slyter *et al.*, 1970; Veira *et al.*, 1983; Veira, 1986; Nagaraja *et al.*, 1990). Sin embargo, las diferencias en el pH ruminal no siempre son detectadas (Jounay *et al.*, 1981), esto debido a diferencias en los ingredientes de la dieta, tiempo de muestreo y variación experimental.

Existe una importante interrelación entre los protozoarios, la degradación ruminal de los carbohidratos, el pH y el consumo voluntario. Las concentración de protozoarios en el rumen en raciones con 90% de grano, son bajas para trigo comparadas con cebada, maíz o grano de sorgo (Slyter *et al.*, 1970). La menor población observada en grano de fermentación rápida pueden estar re-

lacionada a la acidez ruminal causada por la tasa de degradación. La cantidad de almidón consumida también tiene un efecto en la población de ciliados, debido a la cantidad de ácidos orgánicos producidos y el pH ruminal. Eadie *et al.* (1970) observaron que cuando los animales eran alimentados con una dieta a base de cebada en forma restringida, se desarrollaba una elevada población de protozoarios, mientras que en animales alimentados *ad libitum* la población se reducía drásticamente.

Los resultados de dos experimentos conducidos por Mendoza (1991) muestran que la combinación de dos granos, uno de rápida fermentación (maíz con alto contenido de humedad) y uno de lenta fermentación ruminal (sorgo seco rolado), incrementaba la población de protozoarios por encima de los promedios observados con los granos solos (Cuadro 4.9). La razón por la cual hay una menor población con maíz de alto contenido de humedad es la rápida tasa de fermentación, mientras que con sorgo, es posible que la menor concentración de glucosa en el rumen (por la menor tasa de degradación) fuera el factor limitante. Cuando estos dos granos se combinan la población se incrementa, debido a que las condiciones del rumen no son tan ácidas para limitar el crecimiento de los protozoarios, y la concentración de glucosa y otros azúcares no es limitante, por lo que se multiplican los protozoarios en mayor proporción.

La importancia de los protozoarios en la digestión del almidón en el rumen y en los intestinos fue estudiada por Mendoza *et al.* (1993), utilizando ovinos con cánula ruminal, duodenal e ileal. La ración experimental contenía 75% de grano en base seca, formulada con base en la combinación de 67% de maíz con alto contenido de humedad y 33% de sorgo seco rolado, debido a que esta ración incrementaba la población de protozoarios (Cuadro 4.9). La población de protozoarios de los ovinos se encontraba en un promedio inicial de 51,286 organismos/ml, los cuales, fueron reducidos a 13,987 organismos/ml, alimentando una ración con 9% de sebo y 27 mg/kg de monensina sódica en base seca, por 13 días. Los ovinos fueron defaunados por infusión de ácido láctico y por lavado ruminal.

Cuadro 4.9 Efecto de la combinación de granos sobre la población de protozoarios.

Variable	Maíz con alto contenido de humedad: sorgo seco rolado					Efecto cuadrático
	100:0	67:33	33:67	0:100	EE	
Experimento con bovinos:						
Población de protozoarios, microorganismos/g						
<i>Entodinium</i>	95,586	196,673	-	96,914	56,177	0.20
<i>Holotricos</i>	12,277	7,071	-	6,605	2,106	0.14
Total	107,863	203,744	-	103,519	57,412	0.22
pH ruminal	6.16	6.20	-	6.21	0.05	
Experimento con ovinos:						
Población de protozoarios, microorganismos/g						
<i>Entodinium</i>	183,697	556,995	244,618	118,734	178,468	0.19
<i>Holotricos</i>	311	1,554	5,595	12,127	3,282	0.02
	558,549	250,213	130,856	178,572	184 007	0.20
pH ruminal	5.75	6.34	5.69	6.22	0.08	

EE= error estándar de la media.

Fuente: Elaborado con datos de Mendoza (1991); Mendoza *et al.* (1995; 1998).

La tasa de fermentación del almidón era menor cuando los protozoarios se encontraban presentes en el rumen (Cuadro 4.10). La tasa de digestión del almidón *in situ* fue reducida en 35% y en la digestibilidad *in vitro* fue reducida 9% cuando los protozoarios estaban presentes. Estos resultados soportan el concepto de que los protozoarios reducen la fermentación ruminal del almidón (Eadie y Mann, 1970; Mackie *et al.*, 1978). Además contrastan con el reporte *in vitro*, los cuales se debieron al incremento en la concentración de nitrógeno amoniacal. En los experimentos *in vivo* (Mendoza, 1991; Mendoza *et al.*, 1993) no existía limitación de amoníaco, por lo que los efectos en la reducción de la tasa de digestión podría atribuirse a la supuesta capacidad de los protozoarios para almacenar los gránulos de almidón (Abou Akkada y Howard, 1960), al reducir el almidón disponible para el crecimiento microbial (Eadie y Mann, 1970) y probablemente debido a la actividad predatoria del protozoario sobre las bacterias ruminales (Coleman, 1964; Wallis y Coleman, 1967). De lo anterior resulta una reducción de la población bacteriana y la síntesis de células microbianas (Klopfenstein *et al.*, 1966; Demeyer y Van Nevel, 1979).

Los resultados de Mendoza *et al.* (1993) mostraron que la digestión del almidón en el rumen se incrementó en los animales defaunados, mientras que la digestión en el intestino delgado se redujo (Cuadro 4.11). A pesar de que la cantidad de almidón digerido en el intestino delgado en presencia de protozoarios fue incrementada, no hubo cambio en la capacidad de digestión del intestino delgado.

El cambio en el sitio de digestión podría ser benéfico en los animales defaunados, debido a que la digestión del almidón en el intestino delgado reduce la pérdida energética asociada con la fermentación (Waldo, 1973; Orskov, 1986). Pero la eficiencia de la fermentación ruminal, entendida como la relación de la energía en los ácidos grasos volátiles con la energía de las hexosas fermentables, calculadas con la relación publicada por Czerkawski (1986), indica que los animales defaunados tuvieron una fermentación más eficiente que los animales del grupo testigo (0.83 vs. 0.78); y esto podría compensarse por el cambio en el sitio de digestión en los rumiantes defaunados.

Cuadro 4.10 Efecto de los protozoarios en el consumo y la tasa de fermentación *in situ* de granos.

Variable	Tratamiento			
	Defaunado	Faunado	EE	P
Consumo de ms, kg/d	1.440	1.380	0.067	0.55
pH ruminal	5.38	5.52	0.29	0.39
N-amoniaco, mg/dl	15.15	21.17	1.48	0.82
Presión osmótica, mOsmol/kg	321	245	13	0.006
Tasa de digestión <i>in situ</i> , %/h				
Sorgo seco rolando	5.19	3.37	0.56	0.009
Maíz con alto contenido de humedad	22.34	14.72	1.11	0.02

MS=materia seca; EE=Error estándar de la media; P=valor de probabilidad.

Fuente: Mendoza (1991); Mendoza *et al.* (1993).

Whitelaw *et al.* (1984) al alimentar en forma restringida a ganado con una ración a base de cebada (90%), no encontraron diferencias en la producción de calor debidas a la defaunación. El ganado faunado tenía una mayor producción de metano y una menor proporción molar de propionato y butirato. Si la presencia de protozoarios representa una mayor ventaja energética para el animal cuando es alimentado con dietas altas en grano, puede variar con el sitio y la extensión de la digestión del almidón; con los cambios en la proporción de los principales ácidos grasos volátiles y con la capacidad biológica del rumiante para digerir almidón en el intestino delgado y para utilizar los productos finales de su digestión.

Cuadro 4.11 Efecto de los protozoarios en el consumo de almidón y en el sitio y extensión de la digestión en el tracto gastrointestinal.

Variable	Tratamiento		EE	P
	Defaunado	Faunado		
Consumo, g/d	792	773	42	0.76
Fermentado en el Rumen, g/d	744	653	42	0.18
Digerido en el intestino Delgado, g/d	41	105	8	0.002
Fermentado en el intestino grueso, g/d	3	12	3	0.10
Excretado en heces, g/d	4	5	1	0.54
Digestión del almidón, como % del consumo				
Rumen	93.7	84.2	1.2	0.001
Intestino delgado	5.3	13.6	1.1	0.002
Intestino grueso	0.4	1.6	0.40	0.08
Tracto total	99.5	99.3	0.1	0.54
Digestión del almidón, como % de la fracción que entraba al segmento				
Intestino delgado	83.6	86.1	3.0	0.56
Intestino grueso	34.9	65.9	13.0	0.14

EE=error estándar de la media; P=valor de probabilidad.

Fuente: Mendoza (1991); Mendoza *et al.* (1993).

De acuerdo con estos experimentos, se postula que cualquier factor que altere la población de protozoarios, puede potencialmente afectar la población bacteriana y la tasa de digestión del almidón. Algunos compuestos que se utilizan en corrales de engorda como que la monensina sódica tiene efecto tóxico para los protozoarios. Estudios *in vitro* han mostrado reducciones de la población de 5 a 35% (Wallace *et al.*, 1981; Hino y Russell, 1987), mientras que las reducciones *in vivo* varían de 30 a 65% (Jonay y Senaud, 1978; Poos *et al.*, 1979). En términos generales, al incrementar la dosis de monensina se reducen los protozoarios, siendo los holotricos los más susceptibles (Wallace *et al.*, 1981), sin llegar a acusar defaunación (Mendoza, 1991). Existe información limitada sobre el efecto de la monensina sobre los protozoarios en raciones altas en grano, sin embargo, datos de Gylulai y Baran (1988) indican que el efecto antiprotozoario de la monensina, es más pronunciado en raciones basadas en concentrados que en forrajes. Algunos experimentos muestran que los protozoarios pueden establecerse en raciones altas en granos aun cuando la monensina es incluida en la dieta (Mendoza *et al.*, 1990; Towne *et al.*, 1990). La mayor frecuencia de alimentación también estimula el desarrollo de los protozoarios (Bonhomme, 1990).

La incorporación de grasa en la ración también reduce la población de protozoarios (Czerkawski *et al.*, 1975). Resultados de Czerkawski (1973) muestra-

ron que la adición de aceite de linaza en forma progresiva, reducía la población de ciliados a 2% del grupo testigo. Resultados similares fueron reportados por Ikwuwgbu y Sutton (1982) quienes lograron defaunar animales después de 42 días de infusión intrarruminal de 49 ml de aceite de linaza. Los hidrolizados de aceite de soya se pueden usar para defaunar animales (Demeyer, 1988; Broudiscou *et al.*, 1990). Towne *et al.* (1990) observaron que el uso de sebo al 3.5% en raciones con monensina redujeron los conteros de protozoarios en 15%. El efecto de las grasas sobre los protozoarios está relacionado con el tipo de grasa y con la proporción de ácidos poli-insaturados. Aparentemente existe una relación negativa entre el contenido de ácidos no saturado y los efectos detrimentales sobre los protozoarios. Como los protozoarios pueden jugar un papel importante en la prevención de acidosis, convendría considerar la evaluación de grasas protegidas en raciones altas en grano.

El pH ruminal es uno de los factores que más afectan a los protozoarios, los cuales son afectados en valores de pH inferiores a 5.5 (Hungate, 1966). Hino *et al.* (1973) encontraron que al mantener un cultivo por 48 h en pH debajo de 4.5 eliminaba a los *Entodinium*. Los resultados de Newbold *et al.* (1986) mostraron que los protozoarios eran reducidos al recibir infusiones de lactato en dietas con 40% de heno. Mendoza *et al.* (1993) redujeron el pH ruminal a 5.52 después de 2 días de infusiones continuas de lactato y lograron defaunar animales.

Los valores reducidos de pH en el rumen han sido asociados con reducciones del consumo hasta en un 50% (Bhattacharya y Warner, 1967). La infusión de ácido láctico incrementa la utilización de lactato en el rumen; Huntington y Britton (1978) mostraron que la utilización se incrementó por 1 µg/min/ml, al incorporar por varios días el lactato en la ración. Es necesario mencionar que la importancia biológica de este incremento es mínima.

Las concentraciones ruminales de lactato generalmente son mayores en animales defaunados (Jounay *et al.*, 1981). Newbold *et al.* (1986) reportaron que la defaunación resultó en incrementos en la concentración de L-lactato de 3.4 a 8.9 mM en una dieta baja en forraje; aunque Nagaraja *et al.* (1990) y Mendoza (1991) no encontraron cambios en dietas altas en grano. En estudios conducidos por Marounek *et al.* (1989), la utilización de lactato era menor en un inoculo libre de protozoarios, lo que podría incrementar la metabolización del ácido láctico en el rumen.

En rumiantes alimentados con dietas altas en granos es posible que se presenten valores de pH suficientemente ácidos para eliminar los protozoarios. Sin embargo, los protozoarios del omaso pueden jugar un papel importante para defaunar dicho animal. Eadie y Oxford (1957) sospecharon la posibilidad de la refaunación por protozoarios del omaso, mientras que Towne y Nagaraja (1990) reportaron una ligera elevación en la población que confirmaron las sospechas de Eadie y Oxford (1957).

Los experimentos con animales defaunados han mostrado resultados contradictorios con respecto al patrón de ácidos grasos volátiles (Veira *et al.*, 1983), los cuales son explicados por diferencias en la relación de forraje concentrado, tipo de grano y a la capacidad de protozoarios como el *Entodinium caudatum* para almacenar gránulos de almidón sin causar producción inmediata de ácidos orgánicos (Abou Akkada y Howard, 1960).

La defaunación puede cambiar el patrón de fermentación a un incremento en propionato asociado con reducciones en el acetato y butirato (Demeyer y Van Nevel, 1979; Jounay *et al.*, 1981; Mendoza, 1991; Mendoza *et al.*, 1993). A pesar de ello, los cambios en el butirato no siempre se presentan (Eadie *et al.*, 1970). Los cambios en las proporciones molares de ácidos grasos volátiles no son consistentes en los estudios de defaunación (Williams y Coleman, 1988). La mayoría de los estudios han mostrado incrementos en la concentración de ácidos orgánicos en rumiantes faunados (Abou Akkada y El-Shazly, 1964; Jouany *et al.*, 1981; Mendoza, 1991; Mendoza *et al.*, 1993).

Los estudios conducidos por Mackie *et al.* (1978) en periodos de adaptación a raciones altas en grano, mostraron que el número de protozoarios se incrementaba proporcionalmente a la cantidad de carbohidratos fácilmente fermentables hasta el 60%, donde el pH ruminal permanecía sobre 5.5. A mayores cantidades de concentrados la población de ciliados era drásticamente reducida (pH inferior a 5.5).

El pH óptimo de los protozoarios es de alrededor de 6.5, y son severamente afectados en pH arriba de 8 y menos de 5.5 (Hungate, 1966); sin embargo, algunas especies pueden mostrar diferentes susceptibilidades a la acidez. Grain *et al.* (1979) demostraron que la implantación de *Isotricha* no era posible en ovinos que recibían más de 35% de almidón en la ración. Varios investigadores han reportado que la población de holotricos es sustancialmente reducida con dietas altas en granos (Eadie y Mann, 1970; Mackie *et al.*, 1978).

La población de protozoarios ruminales puede ser incrementada en forma lineal hasta cinco o seis veces por la adición de almidón, hasta un punto crítico donde las condiciones acídicas del rumen los afectan en forma negativa. Cualquier factor relacionado con el consumo como el tipo de forraje, nivel de forraje, consumo de almidones, tasa de digestión, aditivos alimenticios y otros, puede modificar la población de protozoarios presumiblemente por cambio en el pH ruminal y/o tasa de pasaje.

La concentración de nitrógeno amoniacal es mayor en animales faunados en la mayoría de las condiciones dietarias (Abou Akkada y El Shazly, 1964; Klopfenstein *et al.*, 1966; Jouany *et al.*, 1981; Veira *et al.*, 1983; Newbold *et al.*, 1986; Hsu *et al.*, 1989; Williams y Coleman, 1988), y posiblemente como resultado de la ingestión de bacterias y la proteólisis (Coleman, 1964; Wallis y Coleman, 1967). Los efectos en la concentración amoníaco también han sido observados *in vitro* (Hino y Russell, 1987; Mendoza y Britton, 1991).

En la mayoría de los estudios, la defaunación ha propiciado incrementos significativos en el número total de bacterias cultivables bajo diferentes condiciones dietarias (Klopfenstein *et al.*, 1966; Demeyer y Van Nevel, 1979; Newbold *et al.*, 1986). Los protozoarios reducen la síntesis neta de células microbiales (Demeyer y Van Nevel, 1979) y el flujo de amoniácidos al duodeno (Veira *et al.*, 1983); pero la reducción en el flujo de aminoácidos puede también estar relacionada con el fenómeno de retención selectiva de protozoarios en el rumen (Veira, 1986; Matanobu y Iriki, 1989).

La contribución de nitrógeno por los protozoarios es alrededor del 20 a 30% del bacterial, debido a un considerable grado de secuestro de protozoarios en partículas de la digesta o en la pared ruminal (Weller y Pilgrim, 1974; El-Fouly, 1983; NRC, 1984) y también por su menor tasa de crecimiento comparada con las bacterias.

Williams y Coleman (1988) han postulado que la presencia de los protozoarios puede reducir la eficiencia de utilización del nitrógeno por el animal. Bergen y Yokoyama (1977) plantearon que las limitaciones de nitrógeno degradable en rumen podrían ser más crítico en rumiantes faunados con dietas altas en granos. El balance de nitrógeno en ovinos defaunados tiende a reducirse a medida que se incrementa la energía de la ración (Klopfenstein *et al.*, 1966). Sin embargo, los efectos de la defaunación sobre la utilización de nitrógeno son limitados. De hecho, se ha postulado que los protozoarios tienen una proteína de mayor valor biológico que la de las bacterias.

Los cambios que ocurren en las bacterias durante la adaptación a raciones con elevada concentración de almidón y melaza fueron descritos por Mackie *et al.* (1978), quienes mostraron que el número de bacterias amilolíticas se incrementaba en forma lineal hasta que la ración tenía 70% de concentrados (grano y melaza) para estabilizarse posteriormente, mientras que las bacterias celulolíticas redujeron paulatinamente su población. Las bacterias utilizadoras de lactato siguieron la misma tendencia que las amilolíticas, pero su población era menor.

En resumen, se puede decir que los protozoarios ruminales reducen la tasa de digestión del almidón en el rumen, al cambiar la digestión del rumen al intestino delgado en animales alimentados con dietas altas en grano, todo esto sin cambiar la capacidad de digestiva del intestino delgado. La defaunación incrementa la eficiencia de la fermentación ruminal al incrementar la proporción de propionato, reduciendo el acetato y butirato. Existe la posibilidad de que los protozoarios jueguen un papel benéfico en la reducción de la acidosis subaguda, al reducir la cantidad total de almidón fermentado en el rumen y la cantidad total de ácidos producidos. La presencia de los protozoarios en estas condiciones podría dar mayor energía disponible para el rumiante, si el almidón es digerido en el intestino y si los productos finales de su digestión pueden ser absorbidos eficientemente.

FACTORES ASOCIADOS AL ANIMAL

Dentro de los aspectos más importantes del animal alimentado con dietas altas en grano, se encuentran el consumo, la masticación, la rumia y la secreción de saliva. Es importante tener presente que debido a la evolución de los rumiantes con forrajes, no existen mecanismos perfectos de regulación de consumo voluntario en dietas altas en grano, ya que debido a la mayor inclusión de almidón en la dieta, existe un riesgo permanente de acidosis subaguda, la cual estará en función del consumo de almidón fermentable en rumen. Así, factores como la tasa de digestión del grano, población microbiana, o bien cambios ambientales que alteren el consumo, son factores involucrados en la acidosis subaguda. Por otro lado, el forraje juega un papel importantísimo en la secreción de saliva y en la amortiguación de los ácidos orgánicos provenientes de la fermentación

Otro aspecto que se debe tener presente en corrales de engorda, es que los bovinos se encuentran en grupos; por lo tanto, se observan consumos promedio, lo cual puede enmascarar la presencia de animales que no estén consumiendo. Al respecto, existen estudios que permiten conocer algunas de estas respuestas que ocurren en los corrales de engorda, y que se han basado en la alimentación individual de bovinos.

Fulton *et al.* (1979) realizaron estudios con alimentación a base de maíz y trigo, usando distintos niveles de concentrado en la ración. Sus resultados sugieren que la cantidad de almidón consumido y la tasa de fermentación del almidón están relacionadas estrechamente con los patrones de consumo y pH ruminal. En estos estudios se encontró que el consumo era deprimido con 55% de concentrado cuando el grano de la ración era trigo, y se observó que con dicho grano las variaciones de consumo de un día al otro eran mucho mayores que las observadas con maíz. Es importante mencionar que el consumo de alimento se suspendía por acidosis subaguda asociada con valores de pH menores a 5.5. El pH volvía a valores neutrales debido a que el animal dejaba de consumir almidón fermentable y la producción de ácidos orgánicos era limitada. Cuando el pH del rumen era mayor a 5.5, los animales volvían a consumir alimento, por lo que este valor de pH puede considerarse como el valor crítico para determinar la presencia de acidosis subaguda (Britton, 1991; comunicación personal).

Otra valiosa observación de los trabajos de Fulton *et al.* (1979), es que estudiaron los patrones de consumo de acuerdo al nivel y tipo de grano durante periodos de 24 h. Estas observaciones indican que a medida que se incrementa el nivel de grano en la ración, la cantidad de alimento consumida en la primer comida (0 a 4 h. postprandial) se reduce de 4.5 kg (35% de concentrado) a 0.5 a 2 kg (90% de concentrado). Asimismo, los consumos de la tarde eran de menor cantidad; por eso es recomendable hacer los cambios de adaptación de raciones en las tardes para reducir los problemas de acidosis subaguda.

FACTORES ASOCIADOS A MINERALES

Entre los minerales que pueden influir en la tasa de digestión del almidón se encuentra el calcio, debido a que es importante cofactor de las enzimas amilolíticas. Los resultados de Warner y Woods (1972) demuestran cómo puede afectar una ración limitada en calcio el comportamiento del ganado de engorda al recibir 85% de concentrado en la ración (Cuadro 4.12).

Por otro lado, es importante considerar la disponibilidad de las fuentes de calcio (Cuadro 4.13); así, el fosfato dicálcico tendió a dar una mayor digestibilidad del almidón en el rumen (Steele y Brink, 1983).

Cuadro 4.12 Efecto del nivel de calcio en el comportamiento de novillos en corrales de engorda.

	Ca, %			
	0.18	0.28	0.37	0.45
Peso inicial, kg	335	335	336	343
GDP, kg	1.09	1.24	1.27	1.19
CMS, kg	8.5	9.16	9.25	8.88

CMS=consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Warner y Woods (1972).

Los resultados de seis experimentos realizados por Steele y Brink (1983) se muestran en el Cuadro 4.14, donde se observa que en general la suplementación de calcio mejora la eficiencia, al reducir el consumo y mejorar la ganancia. Este aspecto debe tenerse presente durante la formulación de raciones para un corral de engorda.

Algunos experimentos indican que la digestibilidad puede incrementarse con la suplementación de minerales, lo cual solo se puede atribuir a una mayor actividad de los microorganismos del tracto gastrointestinal. Vázquez *et al.* (2011) reportan incrementos en la digestibilidad *in vitro* de 2 a 3% con Zn y Cu. A su vez, Sharma *et al.* (2004) suplementaron niveles de 110% de los requerimientos de Ca, P, S, Zn y Mn y encontraron incrementos en la digestibilidad de 10 a 17%. Ninguno de estos experimentos determinó el efecto en la digestión del almidón. Estos resultados indican que hay preguntas biológicas de importancia para identificar los cambios que se dan en la diversidad de la microbiota asociados a la digestión usando técnicas de biología molecular (Kim *et al.*, 2014).

Cuadro 4.13 Efecto de la fuente de calcio en la digestión del almidón.

Sitio de la digestión	Carbonato de calcio	Fosfato dicálcico
	% consumo	
Rumen	58.4	60.4
Post-rumen	37.5	33.9
Total	95.9	94.2

Fuente: Steele y Brink (1983).

Cuadro 4.14 Efecto del nivel de calcio en el comportamiento de novillos de engorda.

	Nivel, %	
	0.35	0.70
Consumo, kg	9.29	8.88
Ganancia, kg/d	1.319	1.306
Conversión	7.04	6.48
Incremento relativo observado en seis experimentos (1982-1983)		
%		
Consumo, kg	- 0.69	
Ganancia, kg/d	+ 1.4	
Conversión	- 2.5	

Fuente: Steele y Brink (1983).

COMENTARIOS

La tasa de digestión del almidón es el factor más importante a tener presente en el uso de granos en la engorda de corrales con dietas intensivas. Granos con alta tasa de fermentación pueden llevar a problemas de acidosis subaguda y menor eficiencia, mientras que granos de baja tasa de fermentación tendrán menor eficiencia en el animal, por lo que deberán considerarse los distintos procesos que pueden mejorar a aumentar la tasa de digestión de estos últimos. Cualquier cambio en la dieta o uso de aditivo debe evaluarse en términos de sus efectos en la tasa de digestión del almidón.

CAPÍTULO V

MEZCLAS DE GRANOS

G.D. MENDOZA, H.A LEE RANGEL, J.A. MARTÍNEZ G.,
P.A. HERNÁNDEZ G.

EFFECTOS ASOCIATIVOS

Los efectos asociativos se presentan cuando la digestión de un alimento no es independiente de otro u otros alimentos, y se detectan estadísticamente cuando la combinación de dos alimentos muestran una respuesta no lineal (Hart, 1987). Esas interacciones entre alimentos, han sido observadas en combinaciones de forrajes con grano (Teeter *et al.*, 1981; Mould *et al.*, 1983; Hart, 1987) y con mezcla de granos (Kreikemeier *et al.*, 1987; Stock *et al.*, 1987ab; Bock *et al.*, 1988). Los efectos asociativos han sido medidos en digestibilidad y en variables productivas (cambios de peso, consumo y conversión), y también se han expresado como la desviación de la media de los ingredientes individuales.

COMBINACIONES DE GRANOS

Desde hace varios años se sabe que las combinaciones de trigo con otros granos producen un mejor comportamiento (Cuadro 5.1); ello se puede atribuir a la reducción de acidosis subaguda debido a la dilución del grano de trigo con granos de menor fermentabilidad (Lanzas *et al.*, 2006) y a la presencia de efectos asociativos.

Cuadro 5.1 Comportamiento relativo bovinos de raciones con base de trigo.

Grano	GDP, %		CMS, %	
	Trigo	Combinado	Trigo	Combinado
Maíz	97	102	91	96
Sorgo	90	98	84	91
Cebada	98	98	92	97

GDP=ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca.

Fuente: Stock y Mader (1974).

Stock *et al.* (1987b) estudiaron los efectos de la alimentación *ad libitum* de raciones de maíz con alto contenido de humedad con sorgo seco rolado en novillos en finalización. Los novillos alimentados con la mezcla de granos, fueron más eficientes que aquellos alimentados con cada grano solo (efectos cuadráticos, $P < 0.05$). Los efectos asociativos o complementarios, en conversión alimenticia, medidos como la desviación de la media observada con la media ponderada de los granos individuales, variaron entre 6 y 14%. Las mezclas de granos tendieron a ser más eficientes cuando se evaluaron en los primeros 28 días del periodo de alimentación. Esto mostró que los novillos alimentados con las mezclas presentaron menos problemas de acidosis subaguda. En el Cuadro 5.2 se presenta un resumen de tres experimentos conducidos con estos granos.

Cuadro 5.2 Comportamiento de novillos alimentados con maíz con alto contenido de humedad y sorgo rolado.

	Maíz con alto contenido de humedad: Sorgo seco rolado			
	100:0	75:25	50:50	0:100
Consumo de MS, kg/d	9.13	9.30	9.51	10.05
GDP, kg	1.31	1.36	1.36	1.28
Conversión	7.04	6.71	6.99	7.75
Efecto asociativo, %		7.4	5.5	

MS=Materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Stock (1988).

El tipo de grano y la proporción en la mezcla parece ser uno de los factores más importantes en la presencia de efectos asociados. Teeter *et al.* (1979) no encontraron diferencia en novillos alimentados con una combinación de 50% de maíz seco rolado y 50% de maíz con alto contenido de humedad, a pesar de que la conversión fue mejorada en 3.5% comparada con los granos solos. Sindt *et al.* (1987) reportaron efectos complementarios (o asociativos) de 2.6% y 4.2% en la conversión usando el mismo tipo de mezclas en combinaciones de 50:50 y 75:25 de maíz con alto contenido de humedad: sorgo seco rolado respectivamente (efecto cuadrático, $P < 0.15$). Varios experimentos muestran ventajas cuando un grano con almidón de rápida tasa de fermentación se combina con uno de fermentación lenta en una relación 3:1 (rápido: lento).

Uno de los factores más importantes en las combinaciones de granos es la tasa de digestión del almidón de los granos. Comparando la pendiente de la respuesta observada en varios experimentos realizados en Nebraska, Stock (1988) encontró que los efectos asociativos positivos en ganancia de peso, eran de mayor magnitud para combinaciones de sorgo seco rolado con maíz de alto contenido de humedad que las desviaciones de combinaciones con maíz seco, lo cual indica que a mayor diferencia en la tasa de degradación del almidón de

los granos combinados, se puede obtener una mayor respuesta (Cuadro 5.3). Además, estas mezclas pueden modificar el sitio de digestión en el tracto gastrointestinal y reducir la incidencia de acidosis subaguda comparada con otras combinaciones (Britton y Stock, 1986), presumiblemente debido a un incremento en el almidón digerido en el rumen del almidón con fermentación lenta y /o por una reducción en la cantidad digerida del almidón de rápida fermentación. La relación entre mezclas de granos y acidosis se muestra al reducir la presencia abscesos hepáticos en las mezclas (efecto cuadrático, $P < 0.05$, Stock *et al.*, 1988).

Las combinaciones de trigo con maíz también presentan efectos asociativos especialmente al combinarse en una proporción de 75 a 25% (Cuadro 5.4). Estadísticamente los efectos asociativos se detectan cuando la respuesta es cuadrática y no lineal.

Los mayores beneficios al combinar granos con diferentes tasas de degradación se presentan en los primeros 21 a 28 días con dietas altas en grano (Stock, 1988), lo cual concuerda con lo descrito por Bevans *et al.* (2005) quienes afirman que es el periodo en el que los animales son más susceptibles a la acidosis subaguda. Kreikemeier *et al.* (1987) estudiaron los efectos combinar maíz seco rolando con trigo seco rolando en dieta de adaptación en corral de engorda (100:0, 67:33, 33:67 y 0:100, respectivamente). Un grupo de ganado fue adaptado a su respectivo tratamiento mientras que otro se adaptó con maíz seco rolando y se le cambió la ración al tratamiento posteriormente. El consumo fue reducido en los primeros 56 días en el ganado que se cambió de maíz seco rolando a una combinación de trigo rolando comparado con el ganado adaptado con la mezcla de grano correspondiente. Los novillos que cambiaron de maíz seco rolando a alguna combinación con trigo pudieron presentar problemas de acidosis subaguda debido a la mayor velocidad de degradación del almidón del trigo. Castro-Pérez *et al.* (2013) obtuvieron resultados similares en un ensayo al combinar granos de maíz en las mismas presentaciones para la alimentación de corderos en finalización.

Cuadro 5.3 Finalización de novillos alimentados con maíz con alto contenido de humedad, sorgo rolando y maíz rolando.

	MAH	MAH: MR		MAH: SR			
	100	75:25	50:50	0:100	75:25	50:50	0:100
Consumo MS, kg/d	10.63	11.19	10.45	10.58	10.59	10.82	11.05
GDP, kg	1.63	1.67	1.66	1.65	1.65	1.65	1.57
Conversión	6.45	6.17	6.25	6.37	6.37	6.49	6.94
Efecto asociativo, %		4.2	2.6		3.1	3.0	

MAH=Maíz con alto contenido de humedad; **SR**= sorgo rolando; **MR**=maíz rolando (MR); **MS**=materia seca; **GDP**=ganancia diaria de peso.

Fuente: Stock (1988).

En el Cuadro 5.5 se presenta una recopilación de Stock (1988) con el promedio de 9 experimentos realizados en Nebraska (144 corrales). Una de las razones de los efectos asociativos en la mayor población de protozoarios observada en combinaciones (Mendoza, 1991; Mendoza *et al.*, 1998; 1999), ello indica que está reduciendo la acidosis subaguda, la presencia de abscesos hepáticos y las fluctuaciones y reducciones en el consumo voluntario. Se obtiene así un valor energético de la combinación superior al promedio de cada grano; por eso, la estrategia de utilización de granos en corrales de engorda debe ser considerada. Desde hace varios años muchos nutriólogos combinan granos y diversas empresas que formulan concentrados para engorda acostumbra incluir combinaciones de granos en forma regular.

Cuadro 5.4 Comportamiento de novillos alimentados con combinaciones de trigo rolado y maíz rolado.

	Trigo : Maíz			
	100:0	75:25	50:50	0:100
Consumo MS, kg/d	8.48	8.74	9.13	9.63
GDP, kg	1.20	1.30	1.31	1.31
Conversión	6.99	6.66	6.99	7.29
Efecto asociativo, %		6.0	2.8	

MS=materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

Fuente: Stock (1988).

La combinación de granos es una estrategia que permite evitar los efectos negativos de los sorgos con altos niveles de taninos. Larraín *et al.* (2009) combinaron maíz molido con sorgo alto en taninos (100:0; 50:50 y 0:100) y se observó un efecto asociativo positivo del 8% dado que la ganancia esperada sería de 1.66 kg/d pero la combinación resultó en 1.8 kg/d.

Cuadro 5.5 Comportamiento de ganado alimentado con maíz de alto contenido de humedad y combinaciones con grano seco (sorgo rolado, maíz, maíz rolado).

Variable	Maíz con alto contenido de humedad				
	100	75-76	50	33-25	0
Consumo MS, kg	9.33	-9.33	9.51	9.71	9.81
Efecto asociativo, %	-1.45	-0.62	+0.46		
GDP, kg	1.43	1.46	1.45	1.44	1.39
Efecto asociativo, %	2.72	2.81	2.83		
Conversión	6.47	6.32	6.51	6.65	6.99
Efecto asociativo, %	-4.5	-3.2	-2.6		

MS=Materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Stock (1988).

Los efectos complementarios en las combinaciones de granos pueden presentarse al modificar el tamaño de partícula. Combinaciones de maíz entero quebrado con grano entero, fueron más eficientes que el grano solo (Lanzas *et al.*, 2006); sin embargo, en ese estudio no se muestra ninguna información relacionada con el sitio y la extensión de la digestión del almidón o del metabolismo ruminal (Cuadro 5.6). A menor tamaño de partícula se incrementan la tasa de digestión y la de pasaje en granos (Huck *et al.*, 1998).

Se ha reportado que combinaciones de maíz entero sin embargo, en ese estudio no se muestra ninguna información relacionada con el sitio y la extensión de la digestión del almidón o del metabolismo ruminal (Cuadro 5.6). A menor tamaño de partícula se incrementan la tasa de digestión y la de pasaje en granos (Galyean *et al.*, 1981; Ewin *et al.*, 1986). Existen concentrados comerciales que tienen granos con diferente tamaño de partícula que aprovechan este tipo de ventajas.

Los efectos asociados se han relacionado a cambios en la digestión ruminal del almidón. Resultados de Stock *et al.* (1987b) y Al-Suwaiegh *et al.* (2002) han confirmado que mezclas de 75:25 o 50:50 de maíz con alto contenido de humedad y maíz seco rolado, incrementaron la digestibilidad ruminal del almidón al pasar de 13 a 15% respectivamente, sobre las medias esperadas. Sin embargo, Mendoza *et al.* (1998; 1999) encontraron respuesta lineal a las mismas combinaciones y Streeter *et al.* (1989) reportaron efectos negativos en la digestión ruminal de mezclas de maíz con alto contenido de humedad y maíz seco rolado (efecto cuadrático, $P < 0.05$). En el trabajo de Streeter *et al.* (1989) los granos seleccionados no presentaban marcadas diferencias en la tasa de digestión del almidón.

Cuadro 5.6 Efecto del tamaño de partícula del maíz sobre el comportamiento de novillos.

	Entero	Troceado	Molido fino	50:50 Entero: troceado	50:50 Entero: molido
CMS, kg	7.32	7.84	7.76	7.48	7.84
GDP, kg	1.24	1.34	1.34	1.38	1.38
Conversión	5.90	5.85	5.79	5.42	5.68

CMS=Consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Turgeon *et al.* (1983).

Los resultados de Mendoza *et al.* (1998; 1999) en dos experimentos mostraron que la combinaciones de maíz con altos contenidos de humedad y sorgo seco rolado, incrementaron la población de protozoarios. Otro estudio demostró que los protozoarios reducían la tasa de digestión del almidón en el rumen. Esto indica que las combinaciones permiten condiciones ruminales que esti-

mulan la población de protozoarios y que éstos a su vez reducen la cantidad de almidón digerido en el rumen y la producción total de ácidos orgánicos y subsecuentemente, disminuye la acidosis subaguda; con ello incrementan también la cantidad de almidón que llega al intestino delgado donde se puede digerir en forma más eficiente, lo que explica los efectos benéficos de las combinaciones de granos.

COMBINACIONES DE RESIDUOS DE DESTILERÍA Y GRANOS

La industria del etanol está ofertando la disponibilidad de varios subproductos de destilería que pueden combinarse con granos en las raciones de finalización en corrales de engorda (Stock, 2000) y se les han atribuido efectos benéficos en el control de la acidosis y la disminución en la utilización de forrajes (Farran *et al.*, 2006).

La presencia de efectos asociados dependerá de la cantidad de almidón residual que tengan estos subproductos. Por ejemplo, en un experimento de May *et al.* (2009), combinaciones de maíz hojueado (69:15 y 56:30) no mostraron grandes desviaciones de lo esperado, solo con 15% de solubles de destilería se redujo un poco el consumo asociado a un menor contenido de almidón con menor ganancia de peso pero sin cambios en digestibilidad.

Loza *et al.* (2010) encontraron que la GDP se mejora de un 15 a un 20% con la combinación de grano húmedo de destilería con gluten de maíz húmedo de destilería comparado con maíz en dietas de finalización para ganado, sugiriendo que se puede sustituir hasta un 75% del total de maíz con este tipo de subproductos de destilería en base seca. Los mismos efectos han sido reportados por Leibovich *et al.* (2009) quienes en sus trabajos evaluaron la mezcla de granos de maíz termoprocesados, granos de maíz rolados con grano de sorgo húmedo proveniente de destilería.

Klopfenstein *et al.* (2007) señalan que debido a la composición de estos subproductos cuando los granos de destilería se usan en niveles de 15 a 20% son usados como fuente de proteína pero niveles mayores el rumiante los usa como fuente de energía. Los granos húmedos de destilería con solubles muestran una respuesta cuadrática con la mejor respuesta al 30% de inclusión pero a niveles mayores se disminuye la ganancia de peso. Por el contrario, la sustitución de maíz con gluten de maíz húmedo muestra una respuesta lineal, lo que indica la falta de efectos asociados. Sin embargo, la inclusión de una mezcla de gluten de maíz húmedo con granos húmedos de destilería con solubles (50:50) en niveles de 25 y 50% sustituyendo el grano de la ración fue mejor que el 75 o el 0%.

Los resultados mostrados en este capítulo indican que es importante tener presente los posibles efectos asociativos en los corrales de engorda, a fin de buscar las combinaciones de alimentos que permitan obtener mayores nutrientes de los mismos. Las mezclas pueden permitir obtener mayor energía que el esperado de sus proporciones.

CAPÍTULO VI

ACIDOSIS

G.D. MENDOZA, F.X. PLATA, P.A. HERNÁNDEZ G.

La acidosis puede considerarse como el principal problema metabólico que se presenta en la engorda de rumiantes con dietas altas en grano. La acidosis se define con el estrés bioquímico y fisiológico causado por una rápida producción y absorción de ácidos orgánicos ruminales y endotoxinas (Britton, 1991; Plaizier *et al.*, 2007). Esta definición se refiere a todos los ácidos orgánicos y no únicamente al láctico; es importante considerar que la acidosis puede estar presente sin cantidades significativas de lactato. La acidosis es resultado de la inclusión de grandes cantidades de carbohidratos fermentables, principalmente cuando los costos del grano permiten una mayor incorporación, con lo que se reducen los periodos cortos de engorda y es también consecuencia de los mecanismos imperfectos de regulación de consumo en animales alimentado con grano. Los efectos fisiológicos son similares lo que difiere es el grado en que se manifiestan en el animal (Cuadro 6.1).

La acidosis subaguda es uno de los problemas más importantes que se presentan tanto en los corrales de engorda (Stone, 1999) y ha sido definida como la reducción del pH ruminal entre 5.2 y 5.6, usualmente se considera que por debajo de 5.8 los animales se encuentran en este estado (Owens *et al.*, 1998). Se estima que las pérdidas económicas por animal están alrededor de 15 a 20 dólares en corrales de engorda (Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2003).

El problema de acidosis se presenta después de que el ganado es alimentado con grandes cantidades de almidón u otros azúcares rápidamente fermentables (Owens *et al.*, 1998), lo que resulta en una liberación excesiva de glucosa en el rumen lo cual permite que aumente el crecimiento de bacterias como *Streptococcus bovis* y *Lactobacillus* que normalmente se encuentran en concentraciones reducidas en el rumen; bacterias productoras de lactato (Slyter y Rumsey, 1991; Owens *et al.*, 1998), aunque la acidosis no necesariamente se da por lactato, y puede ser resultado de la producción total de ácidos orgánicos de todas las bacterias (Britton, 1991). Cuando la liberación de glucosa es excesiva (acidosis aguda), otras bacterias de tipo oportunista proliferan y al morir

liberan sustancias tóxicas amidas y endotoxinas que afectan la estructura ruminal y pueden tener efectos en otras partes del cuerpo (Nikkhah *et al.*, 2005). Los cambios en la concentración de glucosa en rumen modifican la presión osmótica del mismo y producen deshidratación en el animal, lo que hace que se limite la absorción de ácidos grasos y baje aun más el pH. Esto hace que el animal deje de consumir alimento, se reduce la digestibilidad, mueren protozoarios y muchas bacterias debido al pH ácido (Slyter *et al.*, 1966).

Cuadro 6.1 Comparación entre acidosis aguda y subaguda.

	Respuesta	
	Aguda	Subaguda
↓ bacterias ruminales gram-	++	+
↑ bacterias ruminales gram+	++	+
↑ lactobacilos	++	+
↓ protozoarios ruminales	++	+
Rumenitis	++	±
Estasis ruminal	++	±
↓ pH de orina	+	±
Deshidratación y hemoconcentración	++	-
↑ lactato ruminal	++	+
↑ lactato sanguíneo	++	-
↓ pH ruminal	++	+
↓pH sanguíneo	++	±
↑ presión osmótica ruminal	++	+

Fuente: Britton (1991).

La acidosis es un problema metabólico que está asociado con múltiples problemas (Britton y Stock, 1986; Enemark, 2009) entre los que podemos encontrar laminitis, poliencefalomalacia, rumenitis, absceso hepáticos, muerte repentina, síndrome no-consumo, mala absorción, e infecciones clostridiales. Existen dos tipos de acidosis aguda y subaguda (Khafipour, 2007). La forma aguda presenta un alto riesgo de mortalidad y daño en absorción que puede ser irreversible (Nagaraja *et al.*, 2007a).

La laminitis ha sido asociada con las fluctuaciones y reducciones anormales del pH ruminal (Nocek, 1997), las cuales ocasionan la muerte de diversos tipos de microorganismos que liberan sustancias vaso activas al torrente sanguíneo, estas sustancias vaso activas ocasionan congestión en el riego sanguíneo de la zona, hemorragias y aumentan la fragilidad del tejido, lo cual predispone a la proliferación de microorganismos patógenos en la zona, lo cual produce la erosión de la pezuña (Nikkhah *et al.*, 2005).

Los problemas de acidosis se presentan principalmente durante la adaptación; sin embargo, pueden presentarse por problemas de manejo en cualquier etapa de la engorda. Los principales factores son relacionadas al grano (tipo, nivel, procesos), características del forraje (FDN, nivel, tamaño de partícula) y uso de aditivos dado que estos afectan el consumo, la producción de ácidos orgánicos y la producción de saliva y la rumia teniendo un impacto en el balance ácido base del animal (González *et al.*, 2014).

La forma aguda se presenta cuando los animales tienen acceso a grano sin previa adaptación, y pueden presentarse por la inclusión de granos de rápida fermentación en grandes cantidades. La acidosis subaguda presenta efectos más sutiles y en general es mucho más difícil de determinar, ya que la principal respuesta es una reducción en el consumo (Britton y Stock, 1986; Stock, 2000; Garry, 2002) y una mayor variación entre el consumo de un día al otro (Brown *et al.*, 2000; Krajcarski-Hunt *et al.*, 2002). La dificultad para su detección se debe a que en los corrales de engorda se observan consumos promedio; por otra parte, se puede detectar mediante las observaciones del comportamiento de los animales. Un signo importante es la tasa respiratoria, pues como se sabe un animal en condiciones acidóticas trata de mantener el pH sanguíneo por la respiración y a largo plazo por ajustes del riñón (Huber, 1976; Slyter, 1976). En el Cuadro 6.1 se puede observar una comparación entre las formas de presentación de acidosis, aguda y subaguda. Los trabajos de Brown *et al.* (2000) muestran que existe una gran variación individual en la respuesta a la acidosis ruminal subclínica.

En la prevención de acidosis subaguda juegan un papel muy importante algunos aditivos alimenticios. Los ionóforos reducen el consumo de alimento y esto puede servir para prevenir las acidosis. También se han encontrado que los ionóforos reducen la variación de consumo entre corrales (Stock *et al.*, 1995; Osborne *et al.*, 2004). La monensina sódica reduce el número de comidas (frecuencia) y el tamaño de la ración (porción), por lo cual reduce la producción de ácidos orgánicos; mientras que el efecto del bicarbonato de sodio dependerá de la dosis, ya que a 12.5 g/kg incrementa la frecuencia de alimentación, pero a dosis de 50 g/kg tiene los efectos contrarios disminuyendo la rumia (González *et al.*, 2014).

Otro problema que se presenta con la acidosis es la presencia de abscesos hepáticos. Varios investigadores (Brink y Lowry, 1985; Kleen *et al.*, 2003) han encontrado que existe una incidencia de abscesos en animales alimentados con dietas altas en grano, y que aquellas con más de dos abscesos tenían menos ganancia de peso y menor eficiencia (Cuadro 6.2).

Cuadro 6.2 Efecto de los abscesos hepáticos en el comportamiento de corrales de engorda.

Tipo de absceso %	No. animales	GDP	CMS	CMS/GDP
Sin absceso	326	2.63	18.55	6.94
1 o 2 abscesos muy pequeños	50	2.73	18.60	6.71
2 a 4 abscesos menores de 1" de diámetro	35	2.59	18.22	6.94
1 o más abscesos activos con inflamación del tejido hepático y adherencias del diafragma al hígado	60	2.32	17.88	7.63

GDP=Ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca.

Fuente: Brink and Lowry (1985).

Además de los ionóforos es recomendable usar antibióticos del tipo de las clortetraciclinas, oxitetraciclinas, bacitracina y tilosina, los cuales reducen los abscesos hepáticos (Stock y Mader, 1991) debido a su acción sistémica en el organismo.

Se debe tener presente que la presentación de la acidosis se da cuando se pierde el balance entre la producción de ácidos orgánicos y su neutralización por la saliva y su absorción. Cuando se tiene forraje con partículas pequeñas se reduce el tiempo de rumia y se produce menos saliva reduciendo la capacidad de neutralizar los ácidos. La adaptación y número de comidas también es importante, pues si el alimento se distribuye en mayor frecuencia (número de comidas) se reduce el tiempo de producción de ácidos favoreciendo el equilibrio producción y neutralización (González *et al.*, 2014). Al menos se recomienda dividir el alimento en dos comidas al día.

Cualquier componente dietario que reduzca el consumo en teoría podría reducir la acidosis pero tiene que revisarse en función de los efectos en la dinámica de digestión y en el metabolismo del animal. Krehbiel *et al.* (1995) evaluaron el sebo como una alternativa para reducir la acidosis pero concluyeron que no podía funcionar como tal, dado que si bien reduce la tasa de digestión del almidón también incrementa la tasa de pasaje, lo cual al final reduce la digestión ruminal que tendría efectos negativos en el comportamiento en corral. Una alternativa que se ha evaluado en ovinos que podría funcionar, es la inclusión de 1 a 2% de propionato de calcio en sustitución de 15% de grano lo cual ha permitido mantener el comportamiento sin mostrar los efectos hipofágicos del propionato y reducir el nivel de grano y la cantidad de ácidos orgánicos en el rumen (Lee *et al.*, 2012) o la inclusión de enzimas amilolíticas y en forma simultánea la reducción del grano (Mota *et al.*, 2011; Mendoza *et al.*, 2013a) que solo han sido evaluados con ovinos en finalización.

Existen aditivos que pueden tener algún beneficio en la acidosis subclínica, pero los resultados deben de evaluarse cuidadosamente. A pesar de que

algunas compañías indiquen que las levaduras ayudan en la acidosis no hay evidencia contundente en la literatura científica *in vivo* que estabilicen el pH y reduzcan el problema en animales con acidosis subaguda (Vyas *et al.*, 2014).

Durante la acidosis el epitelio ruminal se lesiona mediante una quemadura, lo cual permite que las bacterias pasen por la vía porta al hígado lo cual resulta en abscesos hepáticos (Cuadro 6.2). Algunos antibióticos como la virginiamicina han mostrado reducciones importantes en abscesos al incorporarse a la ración (Owens *et al.*, 1998).

La evaluación de extractos de plantas, ácidos orgánicos, o antibióticos policlonales contra *Streptococcus bovis* (González *et al.*, 2014) deberá ser estricta para asegurarse de las recomendaciones de su uso en corrales de engorda. Calsamiglia *et al.* (2012) sugieren que la acidosis subaguda se considere como un síndrome dietas altas en concentrado y que no solo es una patología dependiente de pH sino de cambios microbianos asociados a la dieta que deben de ser tratados de solucionar con una estrategia (aditivos, aceites, antibióticos policlonales) que proporciones nuevas oportunidades de reducir y controlar este problema.

CAPÍTULO VII

PROGRAMAS DE RECEPCIÓN

A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M., J.A. MARTÍNEZ G.

Los programas de recepción tienen como objetivo que el ganado que llega al corral se adapte en el menor tiempo al ambiente y la forma de evaluarlos es en la salud de los bovinos por medio de la morbilidad y tiempo de recuperación de peso de compra. El objetivo principal es que el ganado recupere su peso a la compra para lo cual debe llegar a su consumo normal lo más rápidamente posible para integrarlo en el programa de engorda. Se considera que un animal de 180-200 kg de peso logró estabilizar su consumo cuando está consumiendo alrededor de 6 kg y en bovinos de 280 a 300 kg cuando consumen 8.5 kg. En esta etapa es importante usar forraje de regular a buena calidad, agua de calidad y asegurarse que tengan minerales con al menos 1 a 1.3% de K (que se puede aportar con 2% de cloruro de potasio), lo que ayuda a la recuperación de K perdido por heces durante el transporte, disminuye los efectos del estrés y permite la pronta rehidratación de los tejidos lo que se refleja en un mejor estado de salud y una mejor ganancia de peso en los primeros 28 días. Dependiendo de la condición en que lleguen los animales este periodo puede variar de tres a cinco días. El ganado acostumbrado a consumir sólo forraje debe ser gradualmente adaptado a las dietas para evitar desórdenes digestivos.

En un programa nutricional de recepción para ganado en corral de engorda, se debe tener presente el estrés a que se está sometido el animal (transporte y manejos), la distancia de viaje y las condiciones del mismo, el clima, destete (en su caso), además de la deshidratación. Todos esos factores pueden modificar los requerimientos nutricionales. Debe tenerse en cuenta que en el manejo rutinario de los primeros días de recepción se consideran las vacunaciones, la desparasitación, la aplicación de vitaminas ADE y otras prácticas como implantar, despuntar, marcar, castrar, etc. Los beneficios de la vacunación son de gran impacto económico (Fell *et al.*, 1998). Las instalaciones juegan un papel importante a la recepción, ya que los corrales deben ser preferentemente chicos (~50 cabezas) para proporcionar una mejor observación y seguimiento a los animales, lotificar en forma más homogénea y manejar más fácilmente el

ganado, el espacio por espacio por animal no debe ser menor a 18 m². Debe contar con al menos 3 m² de sombra por cabeza y 60 cm lineales disponibles de bebedero. Se recomienda que los corrales sean más largos que anchos, esto hace que el ganado no se agrupe al fondo y esté más cerca de los comederos y bebederos.

En la recepción de ganado, se debe de observarse cada lote de animales en forma cuidadosa, considerar el clima, la apariencia y condición, la presencia de descargas nasales u oculares, problemas de locomoción, etc. Ganado de mayor edad y peso puede tener menos riesgos que animales jóvenes o recién destetados. Al recibirlos deben descansar, permitir la rehidratación al menos 3 días. Deben de establecerse los protocolos de vacunación, uso de antihelmínticos, uso de antibióticos, implantes, y otros como descorne o castración. El uso de antibióticos en forma preventiva ha demostrado que reduce la morbilidad, mortalidad y mejora la ganancia de peso (Van Donkersgoed, 1992). La selección del antibiótico depende del conocimiento del antibiótico (Penicilina, Tetraciclina, Cefalosporina, Fenicoles, Fluoroquinolonas, Macrólidos), de los patógenos y de los animales a tratar.

Estudios de Hutcheson (1986) demostraron que el consumo es muy limitado en animales recién llegados; esto es hace más problemático si los animales están enfermos (Cuadro 7.1).

Cuadro 7.1 Consumo de alimento en becerros recién llegado (expresado como porcentaje de su peso vivo).

Días	Condición	
	Saludables	Enfermos
1-7	1.55	0.90
1-28	2.71	1.84
1-56	3.03	2.68

Fuente: Hutcheson y Cole (1986).

El uso de compuestos de acción coccidiostática, específicamente el decoquina-to, ha demostrado que pueden ayudar a estimular el consumo de alimento en forma más adecuada, lo que mejora el comportamiento en los primeros días de la engorda, que es el periodo más crítico en el proceso (Cuadro 7.2).

La práctica de implantar con Zeranol antes del transporte parece tener un efecto en la tolerancia al estrés (Cuadro 7.3). Durante el estrés hay pérdida de peso y de agua del tracto digestivo y agua de células corporales, lo cual se expresa en deficiencias de sodio y potasio. Por otro lado, la actividad ruminal se deprime a falta de alimento y agua y permanece deprimida de cinco a seis días después de la re-alimentación.

Cuadro 7.2 Efecto de la adición de un coccidiostato en el comportamiento de becerros en recepción.

Día	Coccidiostato	Testigo
	Porcentaje de becerros que consuman alimento	
1	26.7	24.4
2	76.0	44.0
3	77.3	60.0
4	84.1	81.4
5	84.1	82.9
Comportamiento de ganado (días 1- 28)		
GDP, kg	0.588	0.499
Conversión	7.77	10.45

GDP=Ganancia diaria de peso.

Fuente: Hutcheson (1986).

Como se citó anteriormente la suplementación con potasio es muy importante en las etapas de recepción (Cuadro 7.4). Es muy importante tener presente el contenido relativo de potasio de alimentos comunes en corral de engorda, ya que los granos y forrajes toscos tienen una baja concentración, mientras que gramíneas, leguminosas y melaza, aportan mayor cantidades. El potasio debe de considerarse siempre en la formulación de raciones para corral de engorda. Los estudios de Hutcheson (1986) han demostrado que la respuesta a la suplementación de potasio es mayor cuando la merma del ganado es mayor. Si la merma es del 2 al 4% se observa poca o nula respuesta al K, pero si ésta es del 7% o mayor, la respuesta al potasio es significativa (Cuadro 7.5).

Cuadro 7.3 Efecto del zeranol en el estrés de transporte y recepción.

	28 días Ganancia kg	GDP kg	56 días Ganancia kg	GDP kg
Implante pre-embarque/procesado al llegar	48.40	1.72	75.07	1.34
Implante pre-embarque/proceso retrasado	44.50	1.58	66.27	1.18
Sin implante/procesado al llegar	42.82	1.52	63.05	1.12
Sin implante/proceso retrasado	43.82	1.56	59.46	1.06

GDP= Ganancia diaria de peso.

Fuente: Modificado de Hutcheson (1986).

Otro mineral importante en la recepción es el selenio, que debe ser acompañado de la suplementación de la vitamina E, ya que a pesar de que realizan funciones antioxidantes, a nivel fisiológico las funciones ocurren en lugares

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

diferentes (membrana y citosol); la suplementación de un nutrimento no evita la necesidad del otro. La administración de ambos da como resultado un mejor comportamiento del ganado (Cuadro 7.6).

Cuadro 7.4 Efecto del nivel de potasio en raciones de recepción de bovinos.

Gramos de potasio por 45 kg de peso vivo días			
Nivel % MS	0-14	0-28	GDP kg
0.71	7.9	9.1	0.554
0.86	8.6	10.3	0.680
1.27	11.15	11.6	0.771
1.41	14.6	12.9	0.798
2.15	21.1	15.5	0.617
3.11	29.3	19.1	0.567

GDP= Ganancia diaria de peso.

Fuente: Hutcheson (1986).

Algunos experimentos han mostrado que la suplementación con vitamina E (aproximadamente 1.259 UI por animal/día) tienen poco efecto en el comportamiento productivo, pero si observan una tendencia en la disminución de los costos de tratamiento médico y disminución de morbilidad y tratamientos por ternero por lo que en corrales se considera razonable incluir vitamina E en por encima del requisito mínimo establecido en las dietas de recepción (Carter *et al.*, 2005). En el capítulo de vitaminas se hacen recomendaciones para etapas de la engorda. La vitamina E se recomienda suplementarla desde su recepción (Cuadro 7.6).

Cuadro 7.5 Efecto del potasio en raciones de recepción de ganado bovino.

	Nivel de potasio %	
	0.8	1.3
Peso inicial kg	205	200
Mortalidad kg	7.5	1.1
Becerras tratados%	34.4	30.8
Días de tratamiento promedio	5.9	6.2
Consumo MS, kg/d	5.3	5.2
GDP, kg	0.62	0.74
Conversión	8.53	6.95

MS=Materia seca; **GDP**=ganancia diaria de peso.

Fuente: Hutcheson (1986).

La vitamina A es de gran importancia para obtener una respuesta adecuada en la recepción y la engorda. Se recomienda 2 200 UI/kg MS en corral de engorda o bien de 14 000 a 20 000 UI/día (Cuadro 7.7). La mejor forma de suministrar la vitamina A en corrales de engorda es a través de la aplicación intramuscular. Se recomienda aplicar de 3 a 4 mL de algún producto con una concentración de 500 000 UI/mL.

Esto da mayores concentraciones que la que señala el NRC (1984). Pero ello se debe a que en condiciones prácticas hay que considerar las reservas que tengan el animal al llegar al corral de engorda, alimentación previa, y la destrucción de precursores de vitamina A en granos y forrajes en el almacenamiento. Un millón de UI de vitamina A administrada por vía intramuscular, proporciona reservas suficientes para novillos en crecimientos por dos a cuatro meses.

Cuadro 7.6 Comportamiento de bovinos añejos con vitamina E y selenio.

		GDP, kg	
Vitamina E, UI/animal/d	Selenio, ppm	Día 28	Día 56
0	0	1.55	1.42
50	0	1.68	1.51
100	0	1.59	1.49
300	0	1.77	1.56
0	0.1	1.73	1.52
50	0.1	1.76	1.54
100	0.1	1.99	1.57
300	0.1	1.97	1.57

GDP=Ganancia diaria de peso.

Fuente: Hutcheson (1986).

Lo que no ha sido dilucidado es si los excesos de nitrógeno pueden ocasionar deficiencia de vitamina A o su movilización en el hígado. Algunos productores mencionan que en raciones elevadas en gallinaza hay problemas de ceguera por el amoníaco. Es importante que se usen los niveles recomendados de estos subproductos (Mendoza y Ricalde, 1993).

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Cuadro 7.7 Efecto del nivel de vitamina A en el crecimiento de bovinos.

UI/animal/día	GDP, kg	CMS, kg/d	Conversión
0	0.82	7.6	4.2
10 000	0.98	8.4	8.6
20 000	1.08	9.2	8.5
30 000	1.00	8.6	8.6
40 000	1.05	8.4	8.5
50 000	1.07	8.8	8.3

GDP=Ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca.

Fuente: Hutcheson (1986).

A pesar de que los compuestos comerciales suministran las vitaminas A, D y E, es cuestionable la inclusión de la vitamina D, ya que los animales expuestos a la luz solar no la requieren en México.

La vitamina K es sintetizada por los microorganismos del rumen al igual que las del complejo B. Sin embargo, se deben tener presentes algunas consideraciones, la deficiencia de algunos minerales que son cofactores como el cobalto (componente de B12) pueden afectar la síntesis de propionato.

Algunos estudios indican que la suplementación de niacina puede mejorar la conversión alimenticia hasta un 3.7% con 100 ppm (Cuadro 7.8). La respuesta a niacina puede variar con el estado sanitario en las condiciones de la recepción en el corral.

Cuadro 7.8 Ganancia diaria promedio (kg) en ganado suplementado con niacina al arribar a corrales de engorda.

	Días	
	0 - 28	29 - 26
Testigo		
Saludable	0.819	1.39
Mórbido	0.335	1.49
Niacina 125 ppm		
Saludable	0.480	1.30
Mórbida	-0.018	1.17
Niacina 250 ppm		
Saludable	0.435	1.19
Mórbido	0.356	1.28

Fuente: Hutcheson (1986).

NUTRIENTES EN RACIONES DE RECEPCIÓN

Como se menciona previamente, las metas a la recepción es la de recuperar el peso a la compra en el menor tiempo posible, este peso se recupera mediante la adecuada hidratación y alcanzando rápidamente tasas de consumo adecuadas ya que al arribo el ganado presenta consumos son muy bajos. En consecuencia, una restricción principal en la recuperación de peso a la compra durante el período de recepción son los consumos limitados. Por lo tanto, una de las estrategias es incrementar la densidad nutritiva de la dieta aunque esto debe ser muy cuidadoso ya que se pueden provocar desórdenes digestivos que pueden resultar más contraproducentes en esa etapa tan delicada. El aumento de la densidad de nutrientes de la dieta por la modificación del nivel y fuente de FDN, por la modificación de procesamiento de granos, el aumento de la concentración y la calidad de la proteína, o bien, por la adición de suplementos energéticos son posibles estrategias para obtener un mejor comportamiento en los primeros días de corral de engorda. En el Cuadro 7.9 se presentan algunas recomendaciones de nutrientes para el programa de recepción.

Por lo anterior, es de gran importancia en la recepción el considerar emplear alimentos de alta aceptabilidad, evitar el uso de alimentos no familiarizados por el animal como ensilado, forrajes toscos o enmohecidos, harina de pescado o harina de sangre. Hay que tener cuidado con el uso de ionóforos en esta etapa ya que tiene un efecto depresor del consumo, el efecto de la disminución del consumo es mayor con monensina comparado con lasalocida, debido a este efecto no es recomendable suplementarlo en dietas de iniciación cuando existen bajos consumos por adaptación del ganado al nuevo ambiente, y si se utilizan, se recomienda que sea a la mitad de la dosis recomendada en las dietas de crecimiento-finalización. La nutrición energética en esta etapa con alimentos con fibras altamente digestible, son deseables por elevado contenido de energía, es decir, alimentos como la cáscara de soya, el salvado de maíz y el gluten de maíz son buenas opciones en esta etapa. Si se desea incrementar la densidad energética con grasas suplementarias esta no deben de incluirse en más del 2% de la dieta. Con respecto al uso de granos, éste siempre debe ser con precaución, para ello, debe considerarse la tasa de fermentación de los distintos granos (sorgo<maíz<cebada). Con respecto a la nutrición nitrogenada, es importante considerar el nivel de proteína en la dieta y la proporción de proteína degradable y de proteína de escape, sobre todo, si son animales recién destetados y posiblemente en aquellos que muestran el fenómeno de crecimiento compensatorio (Drouillard *et al.*, 1991).

El uso de minerales quelados como levaduras enriquecidas con cromo ha mostrado beneficios en algunos casos pero en otros no. Estas inconsistencias obedecen a las condiciones con que llega el ganado, al grado de estrés que presenten los animales, a los componentes de la dieta, entre otros. Debe realizarse más estudios para evaluar los factores que afectan el nivel de respuesta de estos aditivos en el ganado recién llegado.

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Los sistemas de recepción son variables pero en general son en base de forrajes acompañadas de un concentrado elaborado a base de grano y algún suplemento nitrogenado y aditivos. Las dietas deben ser de alta aceptabilidad, que promuevan el consumo, con alta concentración de nutrientes digestibles y mínimo riesgo de presentación de desórdenes digestivos. Aun así, los primeros 2 a 3 días se recomienda dar solo forraje de preferencia una mezcla de leguminosas-gramíneas de buena calidad y con tamaño de partícula grande (similar al tamaño de partícula del forraje que preparan para ganado lechero). Se debe de empezar a dar la ración de recepción lo más rápidamente posible, pues como se ha mencionado anteriormente, se requiere ofertar una densidad mayor de nutrientes por unidad de MS por los niveles bajos de consumo. La ración de recepción se recomienda que se prepare con un heno mediana a alta calidad que represente del 50 al 60% del total de la ración el resto (50 a 40%) de concentrado, generalmente incrementar el nivel de concentrado más allá del 55% en la dieta de recepción puede llevar a desórdenes digestivos incrementando los costos de medicación. Por otra parte, debe tomarse en cuenta que estos niveles de concentrado no son números absolutos, y el manejo y características de la explotación, un análisis económico, así como las condiciones de salud animal. Si existen problemas de salud se debe alargar el periodo de la dieta de recepción y llevar un registro del consumo voluntario.

Cuadro 7.9 Recomendaciones de nutrientes para recibir becerros (135–180 kg).

Nutriente	Rango sugerido
Materia seca %	80 - 85
Proteína cruda%	15-16%
ENm, Mcal/kg MS	1.55-1.65
ENg, Mcal/kg MS	0.95-1.04
Ca, %	0.6 - 0.8
P, %	0.4 - 0.6
K, %	1.2 - 1.4
Mg, %	0.3 - 0.3
Na, %	0.2 - 0.3
Cu, ppm	10 - 15
Fe, ppm	100 - 206
Mn, %	20 - 30
Zn, %	50 - 75
Co, %	0.1
Se, %	0.1
Vitamina A UI/kg	4400 - 6614
Vitamina E UI/ kg	110 - 220

Fuente: Modificado de Hutcheson (1986).

CAPÍTULO VIII

FORRAJES EN CORRALES DE ENGORDA

A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M., P.A. HERNÁNDEZ G.

Con el objetivo de incrementar la densidad energética de la dieta el ganado es alimentado con altas cantidades de concentrados (principalmente cereales) y pocas cantidades de forraje durante su fase de finalización. El forraje en cantidades moderadas en las raciones puede mejorar la mezcla de los ingredientes (ayuda a minimizar la separación de partículas finas), promueve el consumo de materia seca y con frecuencia aumenta las ganancias. Sin embargo, la energía de fibra normalmente cuesta más que la energía obtenida a partir de los granos (relación costo por unidad de energía) por lo que el mantener el nivel adecuado de fibra en una dieta de finalización es un factor importante para mantener un rendimiento óptimo, la salud animal, y el costo de producción.

El forraje en las raciones altas en energía representa uno de los principales mecanismos protectores de acidosis subaguda debido a la estimulación que hacen de la rumia por lo que el nivel de inclusión, así como las características físicas (presentación) y la de su pared celular (atributos de sus componentes fibrosos) deben ser cuidadosamente consideradas al formular las dietas.

Adicionalmente debe tomarse en cuenta que debido a las condiciones de acidez ruminal, como resultado de la fermentación de los granos, la población y la actividad celulolítica es deprimida (efecto asociativo negativo) y aunque la magnitud de esta depresión está influenciada por varios factores, la cantidad de almidón en la dieta es el factor de mayor peso. Por ejemplo, Plata *et al.* (1994) observaron que la digestibilidad de la fibra detergente neutro se redujo alrededor de un 50% al incrementar de 20 a 60% de concentrado rico en almidón. Estos resultados indican que se obtiene el 50% o menos de la energía del forraje en raciones altas en grano, lo cual nunca se considera al formular las raciones. Debido a la disminución en la digestibilidad de cualquier forraje en condiciones de acidez, y de la baja participación de los forrajes en la dietas de finalización se recomienda utilizar los forrajes de menor calidad nutricional y de menor costo en los corrales de engorda tales como pajas y/o rastrojos, ya que éstos desempeñan más bien un papel de “ingrediente funcional” más que un insumo de aporte de nutrimentos (Mendoza, 1995).

Sin embargo, hay que considerar los riesgos que representa el incluir forrajes de baja calidad a las raciones de engorda ya que éstos, bajo ciertas condiciones, diluyen la densidad energética de la dieta y por factores asociativos pueden disminuir el consumo total de materia seca y por lo tanto, el consumo total diario de energía afectando las tasas de ganancia diaria. Entonces, la pregunta que surge es: ¿Qué cantidad de forraje es óptimo incluir en dietas de crecimiento-finalización?. El forraje es sin duda una de las principales herramientas con que cuenta el nutriólogo para disminuir el riesgo de presentación de la acidosis ruminal en el corral de engorda y aunque con el uso de ionóforos y otros antibióticos algunos investigadores han demostrado que es posible la finalización sin forraje esto generalmente no es recomendable en condiciones comerciales ya que el éxito de esta práctica estará supeditado a la eficiencia en todos los procesos incluidos en el sistema de alimentación del ganado, ya que un error mínimo puede traer consecuencias desastrosas, además, debe valorarse el riesgo contra el costo proporcional de cereales y forrajes incluidos en la dieta. Aunado a lo anterior, se ha demostrado que el comportamiento productivo del ganado bovino es mejor (mayores tasas de ganancia y eficiencia) al incluir niveles bajos de forraje en la ración comparado con aquellos que reciben raciones compuestas con 100% concentrado. Huffman *et al.* (1992) observaron incrementos en el consumo de MS y en la tasa de ganancia de 11.9 y 4.3%, respectivamente cuando compararon ganado alimentado con 100% de concentrado contra ganado alimentado con 90% de concentrado y 7.5% de forraje (una mezcla de alfalfa y ensilaje de maíz).

Sin embargo, el tipo de forraje y sus combinaciones pueden tener diferente efecto en el comportamiento productivo. En un experimento se compararon dos combinaciones de forrajes (alfalfa: olote de maíz y alfalfa: pasto bromo) en dos niveles de inclusión (0 y 7.5%). Parte de los resultados se resumen en el Cuadro 8.1. En el cual se observa que a un mismo nivel de inclusión el ganado que consumió la combinación alfalfa: olote de maíz, tuvo un mejor desempeño productivo comparado con aquellos que solo consumieron concentrado, mientras que el grupo que consumió la combinación alfalfa: pasto bromo, tuvo una respuesta contraria ya que mostraron un menor desempeño productivo que los animales que consumieron solo concentrado. Estos resultados indican que el aspecto funcional del forraje no es el mismo en todos los tipos de forraje y que pueden existir efectos asociativos entre las combinaciones cuando se incluyen en dietas altas en energía ya que algunas combinaciones pueden promover un ambiente ruminal más saludable optimizando la fermentación y absorción de nutrimentos.

Cuadro 8.1 Efecto del nivel de forraje en raciones de engorda en comportamiento de bovinos.

	%	
	0	5
Forraje de alfalfa: olote maíz		
Peso inicial, kg	319	315
GDP, kg	1.31	1.51
CMS, kg/d	9.75	10.56
Conversión	7.44	6.99
Alfalfa: bromo		
Peso inicial, kg	297	299
GDP, kg	1.22	1.26
CMS, kg/d	9.75	10.56
Conversión	7.99	8.38

GDP=Ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca.

Fuente: Wood *et al.* (1969).

La misma tendencia de mejora cuando se incluyen forrajes en niveles bajos en dietas de finalización ha sido informada en experimentos realizados con corderos (Cuadro 8.2) ya que, comparado con los corderos que consumieron solo una dieta a base de concentrados, el incluir 10% de forraje con un tamaño de partícula mediana incrementó 18.9% el consumo y 22.3% la tasa de ganancia diaria mejorando en 4.3% la conversión alimenticia. Esto indica que, además del nivel de inclusión, el tamaño de partícula también desempeña un papel importante en las características funcionales de los forrajes incluidos en las dietas altas en energía.

Cuadro 8.2 Efecto del tamaño de partícula del heno de alfalfa en el comportamiento en ovinos alimentados con dieta alta en grano.

	100 % concentrado	Tamaño de partícula, cm		
Periodo de finalización ^a				
Consumo MS, kg/d				
Total	1.125	1.302	1.388	1.288
Concentrado	1.125	1.170	1.252	1.111
GDP, kg	0.268	0.313	0.345	0.286
CMS/GDP				
Total	4.22	4.15	4.04	4.29
Concentrado	4.22	3.74	3.64	3.87

MS=Materia seca; **GDP**=ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca.

^a 81 días (alimentados individualmente).

Fuente: Shain y Stock (1992).

Aún existen muchas interrogantes respecto a la optimización en el uso de los forrajes en las raciones altas en grano; dentro de ellas, el potencial de su capacidad amortiguadora, el efecto de las combinaciones de forrajes, la optimización de los procesos físicos y químicos, entre otros, los cuales representan una ventana de oportunidad para seguir realizando investigaciones sobre el tópico.

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DEL USO DE FORRAJES EN DIETAS DE FINALIZACIÓN

Los forrajes comprenden del 6 hasta el 50% en las dietas de crecimiento finalización (materia seca). Es común que se indique que 8% es el mínimo de forraje que debe incluirse en la dieta de finalización, puesto que cantidades menores pueden resultar en trastornos digestivos que afectan la productividad del ganado. Lo anterior es parcialmente cierto si consideramos que la cantidad de fibra detergente neutro (FDN) varía de acuerdo al tipo y madurez del forraje.

De esta manera, existen fuentes de forraje como es el heno de alfalfa el cual su contenido de fibra detergente neutra varía desde un 39% (floración temprana) hasta el 60% (alfalfa madura). Sin embargo, se puede indicar que a madurez similar, los henos de leguminosas (50% FDN) contienen menos FDN que los henos de gramíneas (65% FDN) y que éstas a su vez contienen menos que las pajas (85% FDN). Lo anterior es una característica importante ya que estudios recientes han determinado una correlación importante entre la cantidad de FDN del alimento con el consumo y comportamiento esperado en ganado consumiendo dietas de crecimiento-finalización. Esta relación existente entre el contenido de FDN en la ración con el consumo de la materia seca y de energía se muestra en la Figura 1, donde se observa una respuesta al aumentar el consumo de materia seca (MS, kg/d) cuando la ración contiene 4% de FDN, mismo que persiste hasta que la dieta alcanza un 12% de FDN (consumo máximo de MS); a partir de ahí, el consumo empieza a declinar como consecuencia de la limitación física dado por el retardo del pasaje de la partícula fibrosa resultando en llenado ruminal. Por otra parte, el aumento de consumo de energía (EN, Mcal/d) se comporta similar al consumo de MS sólo hasta que la dieta alcanza un 8% de FDN, a partir de ahí, la dilución de la densidad energética dada por una inclusión mayor de forraje disminuye el potencial de consumo de la energía, mismo que se agrava cuando el consumo de MS es limitado por llenado ruminal que se traduce cuando la ración sobrepasa el 12% de FDN (Zinn y Plascencia, 1996; Zinn y Ware, 2007).

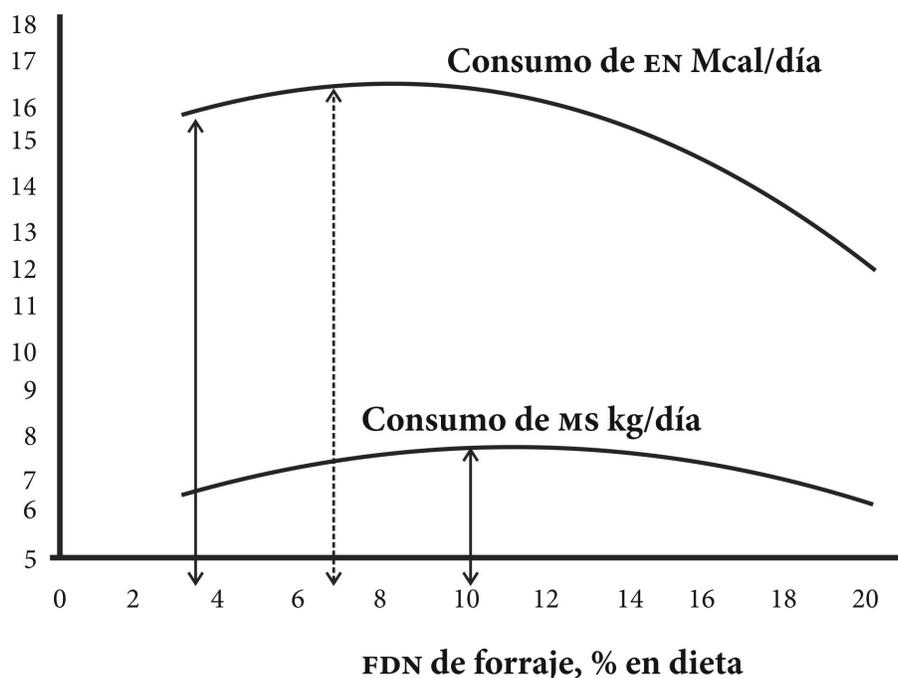


Figura 8.1 Relación del contenido de FDN con el consumo y energía en dietas para ganado

Se puede indicar así, que el rango o ventana de la inclusión se encuentra como un mínimo de 6 y un máximo de 9% de FDN proveniente del forraje en la dieta. Considerando lo anterior si se utiliza heno de alfalfa de excelente calidad (40% de FDN) se requiere al menos un 15% de inclusión a la dieta para alcanzar el mínimo de 6% de FDN, mientras que con heno de Sudán (58% de FDN) con incluir 10% es suficiente para llenar el requerimiento mínimo. Adicionalmente, la elección de forraje que será incluido en la dieta estará de acuerdo al costo, calidad nutritiva, y al nivel de inclusión programado en la dieta (se debe de recordar que los forrajes contienen diferentes concentraciones de FDN). Cuando la cantidad de inclusión de FDN de forraje en la dieta es menor al 12%, las características nutritivas no son importantes, y los factores a tomar en cuenta son aceptabilidad, contenido de FDN y costo de inclusión. Por otro lado, a niveles mayores de forraje en la dieta, el papel primordial lo comprende su valor nutritivo. La desaparición de la fibra del rumen depende de la reducción del tamaño de la partícula. La actividad celulolítica se deprime cuando el pH ruminal cae por debajo de 6.4 y la rumia es mínima con las dietas altas en concentrados por lo que es importante que los forrajes estén suficientemente procesados para prevenir la acumulación ruminal y en consecuencia la disminución del consumo. Cuando el nivel de forraje es 20% o menos, las leguminosas tales como la

alfalfa puede ser molida o picada para ser pasadas a un diámetro mínimo de 5 cm, cuando son gramíneas o pajas el diámetro recomendado es de 2.5 cm. Un proceso novedoso que se ha probado recientemente es el macerado de pajas que consiste en pasar la paja a través de un juego de rodillos que giran entre sí a distintas velocidades lo que promueve una separación o machacamiento de la fibra. Esto aumenta la superficie de exposición de la fibra con cambios mínimos en la densidad de la misma lo que se refleja en aumentos tanto en tasa de digestión como de la tasa de pasaje, traduciéndose en una mejora energética de la paja la cual resulta similar a la contenida en forrajes de mejor calidad como el heno de Sudán (Plascencia *et al.*, 2007; Serrano-Ponce *et al.*, 2011).

En términos generales se recomienda formular para la ración inicial entre 18 y 22% de FDN, la de transición de 14 a 16% de FDN con la incorporación de ionóforo, y la de finalización reducir entre 8 y 10% de FDN, incluyendo bicarbonato de sodio.

CAPÍTULO IX

PROCESAMIENTO DE LOS GRANOS

L. CORONA G., G.D. MENDOZA M.

Se han publicado varias revisiones sobre procesamiento de granos desde hace varios años (Hale, 1973; Theurer, 1986; Huntington, 1997; Owens *et al.*, 1997; Rowe *et al.*, 1999; Harmon y McLeod, 2001; Firkins *et al.*, 2001; Owens y Zinn, 2005; Matsushima, 2006; Richards y Hicks, 2007; Zinn *et al.*, 2011) y en este capítulo se presentan los aspectos más relevantes. La principal razón para procesar granos es para incrementar su valor nutricional. En el aspecto económico, del 75 al 80% de los gastos en un corral de engorda, son el costo del alimento, en donde los granos son el principal componente (60–80%) de las dietas de finalización para incrementar la densidad energética y mejorar el comportamiento productivo y la eficiencia de utilización del alimento (Richards y Hicks, 2007).

El procesamiento del grano es un punto clave en los actuales sistemas de alimentación para finalizar ganado en corral (Wagner *et al.*, 2014). El valor alimenticio de los granos, está determinado por su contenido nutricional, características físicas y químicas que afectan su digestibilidad, aceptabilidad e interacciones asociativas en el proceso digestivo. Los métodos de procesamiento son seleccionados para lograr la mejor digestibilidad y aceptabilidad económica sin afectar negativamente el pH ruminal y causar problemas digestivos (Zinn *et al.*, 2011).

FACTORES QUE AFECTAN LA UTILIZACIÓN DEL ALMIDÓN

El almidón es la principal fuente de energía utilizada en dietas de rumiantes para promover altos niveles de producción. Por lo tanto, la utilización óptima del almidón es fundamental para hacer eficiente el proceso productivo. Las principales fuentes de almidón en las dietas son granos de cereales. La estructura, composición del almidón de los cereales y sus interacciones con proteínas son los principales factores que determinan su digestibilidad y valor alimenticio del grano para los animales (Rooney y Pflugfelder, 1986). La utili-

zación del almidón puede ser mejorada considerablemente con un adecuado procesamiento del grano (Theurer, 1986) pero debe de seleccionarse el proceso de acuerdo al grano.

Existen diversos métodos de procesamiento disponibles para granos destinados al corral de engorda incluyendo el quebrado, molido, reconstituido, cosechado con alto contenido de humedad y ensilado (usado en Norteamérica), micronizado, reventado y hojueado al vapor entre otros (Hale, 1973; Theurer, 1986; Owens *et al.*, 1997; Zinn *et al.*, 2011). Sin embargo, como resultado de numerosas interacciones que existen entre las técnicas de procesamiento de granos con distintos factores tales como el tipo de grano (Owens *et al.*, 1997; Plascencia *et al.*, 2002), nivel de consumo (Murphy *et al.*, 1994), el nivel y fuente de forraje (Stock *et al.*, 1990; Swingle, 1995), nivel de FDN forraje (Gorocica-Buenfil y Loerch, 2005), el tamaño de la partícula, el contenido de humedad (Mader y Rust, 2006), así como el grado de procesamiento, gelatinización del almidón (Franco *et al.*, 2014) y la variedad del grano (Galyean *et al.*, 1979; Turgeon *et al.*, 1983; Ladely *et al.*, 1995a; Plascencia *et al.*, 2012), son difíciles las comparaciones realizadas en los estudios donde se evalúan métodos de procesamiento.

Otro aspecto importante es que los gránulos de almidón en el grano se encuentran encapsulados por una matriz proteica y por la naturaleza compacta del almidón, particularmente en la porción del endospermo duro, la penetración de las enzimas amilolíticas es restringida (McAllister *et al.*, 1990a), por lo que la degradación de la matriz proteica es esencial para mejorar la digestión del almidón (DePeters *et al.*, 2007). También se ha considerado que el incremento en la proporción de endospermo duro se asocia con una disminución en la degradación del almidón ruminal *in situ* e *in vivo* (Jaeger *et al.*, 2004; Corona *et al.*, 2006; Szasz *et al.*, 2007).

MÉTODOS Y GRADO DE PROCESAMIENTO

Hale (1973) señala que existen al menos 18 métodos de procesamiento de granos y algunos más con modificaciones. Hale y Theurer (1972) clasifican los métodos de procesamiento en secos y húmedos los cuales se presentan en el Cuadro 9.1. De todos esos los más comunes son el molido, quebrado, alto en humedad y hojueado al vapor.

MOLIDO

Es el método más común de procesamiento debido a que es el más económico y simple. Hay una gran variedad de equipos disponibles para controlar el tamaño de la partícula del producto terminado. El molino de martillos es uno de los equipos más utilizados en donde el tamaño de la partícula es controlado por cambio en la criba, sin embargo, el producto terminado genera más polvo durante la molienda que el molino de rodillos u otro tipo de equipo. Existe

una gran controversia sobre que si es mejor el molido o quebrado en pruebas de digestión y comportamiento, pero como ya se comentó, debido al tipo de grano, grado de procesamiento, especie, edad, nivel de consumo, nivel de FDN en la dieta etc., es difícil la comparaciones de las diferentes pruebas. Pero más adelante se analizan estudios donde directamente compararon diferentes métodos de procesamiento.

Cuadro 9.1 Principales métodos de procesamiento de granos.

Procesos en seco	Procesos en húmedo
Grano Entero	Remojado
Molido	Rolado al vapor
Rolado en seco o quebrado	Hojueleado al vapor
Reventado	Reconstituido
Extrudizado	Explotado
Micronizado	Cocinado a presión
Tostado	Coceado tempranamente
Peletizado	Ensilado de maíz
Termalizado	Ensilado de sorgo

QUEBRADO

El proceso de quebrado o rolado consiste en pasar el grano a través de un juego de rodillos acanalados. El tamaño de partícula varía de grueso a fino influenciado por el peso de los rodillos, presión y espacio, contenido de humedad y velocidad de flujo del grano. Desde hace varios años se conoce que el grano de maíz debe ser procesado para una máxima digestión (Moe y Tyrrell, 1976). Las partículas que son largas e hidrofóbicas resistirán el ataque microbiano en el rumen y al ataque enzimático en los intestinos.

El grano puede ser molido o rolado para reducir el tamaño de partícula medio. Comparado con grano rolado, el grano molido, típicamente tiene mayor rango en el tamaño de partícula debido a los finos generados durante el molido. El uso de diámetro de media geométrica (GDM) solo, aunque de utilidad es un indicador incompleto de procesamiento. Baker y Herman (2002) describen componentes adicionales (área de la superficie: partículas por gramo) que pueden ser calculadas a través del grano procesado cernido. La presencia de finos y GMD son también alterados por el contenido de humedad e híbridos del grano procesados, con humedad y mayor endospermo vítreo, el grano genera menos finos y partículas con mayor GMD. Con grano de maíz entero, menos de una tercera parte del almidón que entra al abomaso desaparece a nivel post-ruminal. Observaciones de campo en donde dietas compuestas por maíz entero descascarado, cuando se ofrece a novillos con dietas bajas en forraje para que el grano sea retenido en el rumen para ser rumiado y fermentado, a menudo

se observa una mejor eficiencia alimenticia en comparación a dietas de maíz rolado que de manera general son ofrecidas con un nivel mayor de forraje. Aunque la adición de forraje usualmente acorta el tiempo en que las partículas son retenidas para la fermentación dentro del rumen, el grado de separación ruminal de las partículas de forraje del grano entero puede ser importante, los granos separados en el rumen no serán rumiados; el grano de maíz entero intacto no será digerido en ningún sitio (Owens y Zinn, 2005).

ALTO EN HUMEDAD

Se denomina así al grano cosechado con un alto contenido de humedad (20–35%) y almacenado en un silo para preservar el grano (proceso común en otros Norteamérica y poco usado en México). Puede ser molido o quebrado antes de ensilarlo o después para ofrecerlo a los animales. El costo de almacenamiento puede ser relativamente alto pero se obtienen buenos resultados (Kellems y Church, 2003). Dos factores son críticos para maximizar la eficiencia alimenticia y digestión ruminal del maíz alto en humedad, el contenido de humedad (debe ser de 26 a 31%) y una duración suficiente de fermentación.

Por razones que pueden asociarse a la rápida tasa de degradación del almidón (Stock *et al.*, 1991; Mendoza *et al.*, 1998), el grano alto en humedad entre 20 a 24% de humedad resulta en una pobre eficiencia alimenticia en comparación a grano quebrado seco o grano húmedo (presumiblemente causa acidosis subaguda en mayor frecuencia). La respuesta a el nivel de humedad y almacenaje ha sido previamente revisado (Owens *et al.*, 1986) y demostrado en estudios *in vivo* (Jaeger *et al.*, 2004) e *in situ* (Benton *et al.*, 2004). Los resultados de Benton *et al.* (2004) indican que la desaparición *in situ* del almidón en el rumen de maíz alto en humedad se incrementó rápido durante el primer mes de almacenaje y continuo incrementándose en forma importante durante los siguientes nueve meses. Se han observado cambios en la desaparición de almidón con incremento en la solubilidad de N con el tiempo de fermentación en maíz alto en humedad. Aplicando este principio, el maíz alto en humedad más húmedo, que típicamente es el primero en cosechar, debe ser utilizado primero que maíz alto en humedad más seco. El maíz cosechado al último, debe permitirse que fermente por un periodo de tiempo más largo. Esto es precisamente opuesto al sistema usado en la mayoría de los silos verticales o búnker. Por lo que un incremento en la tasa y grado de fermentación ruminal de maíz alto en humedad almacenado por muchos meses puede poner en riesgo de acidosis al ganado aunque la composición de la dieta no haya sido alterada.

Un proceso similar es el grano reconstituido que constituye en adicionar agua al grano y dejarse fermentar en ensilaje, lo cual muestra resultados similares al grano cosechado a un contenido de humedad dado, con mayor digestibilidad del almidón en relación al quebrado seco. El incremento en la digestibilidad parece estar relacionado con la solubilidad de la proteína del maíz que está encapsulando o ligado a los gránulos de almidón. El tipo y ac-

tividad de bacterias presentes inherentemente al cultivo o adicionadas como un inoculo podrían también influenciar la digestibilidad del almidón (Owens y Zinn, 2005).

HOJUELEADO AL VAPOR

En este proceso el grano es cocinado al vapor bajo presión atmosférica por 10–30 min. Para incrementar el contenido de humedad de 18 a 20% y entonces es pasado a través de rodillos corrugados para producir hojuelas delgadas. El hojueado al vapor de los granos de cereales ha sido utilizado en ganado de engorda desde los años sesentas (Matsushima, 2006) y el grado de gelatinización y desnaturalización de la proteína en el grano hojueado varía con las condiciones de procesamiento.

Cinco factores de producción críticos afectan la calidad del hojueado: la temperatura de la cámara de vapor, el tiempo de cocimiento, la corrugación, el hueco y la tensión de los rodillos. El grosor de la hojuela y densidad (peso bushel) son utilizados como índices de control de calidad en donde la disponibilidad de almidón (glucosa liberada durante la exposición a las enzimas amilolíticas) a menudo es medida en un laboratorio después de que el grano es ofrecido a los animales. La digestión del almidón en el tracto total para novillos excedió 95% cuando la densidad de la hojuela estuvo por debajo de 38 libras por bushel. Se recomienda que el procesamiento no exceda a través de la gelatinización más del 50% máxima de la digestibilidad del almidón pues se puede deprimir el consumo de alimento (acidosis subaguda) particularmente al inicio de la engorda y en animales de talla pequeña.

Zinn (1990) demostró que cuando maíz fue cocinado a un tiempo constante (34 min. a 105 °C), el incremento en la presión de los rodillos produjo hojuelas con densidades de 0.41, 0.36 y 0.31 kg/L (32, 28 y 24 lb/bushel, respectivamente) y el grado de digestión del almidón se incrementó linealmente en el rumen y tracto total. La densidad de la hojuela debe ser ajustada para lograr una digestión de almidón de 99% (típicamente menos de 4% de almidón fecal). Zinn *et al.* (2000) señalan que es importante que los rodillos se encuentren bien calientes y también los granos cuando se hojuelan, que la cámara de vapor debe ser diseñada para un tiempo de cocimiento de al menos 30 min a la capacidad máxima para producir hojuelas de 0.31 kg/L (24 lb/bushel); un 5% de captación de humedad durante el cocimiento parece adecuado.

EXTRUDIZADO

El proceso de extrusión involucra altas temperatura en corto tiempo, en donde los materiales son expuestos a una combinación de alto grado de corte, temperatura y presión, dependiendo de los parámetros del proceso. Los cambios que ocurren son gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína, destrucción de componentes anti-nutricionales. Los principales factores pue-

den afectan la gelatinización del almidón son el contenido de humedad y la temperatura (Shabi *et al.*, 1999; Guy, 2001; Al-Rabadi, 2011).

RELACIÓN DEL CEREAL CON PROCESAMIENTO DEL GRANO

Se sabe que los diferentes granos responden de manera diferente a los métodos de procesamiento. El trigo y la cebada se benefician poco del procesamiento, en cambio sorgo y maíz requieren mayor procesamiento. Esto se debe a que la tasa de degradación del almidón de los primeros es muy rápida por lo que no es necesario procesarlos, mientras que en granos como el sorgo o el maíz, el procesado incrementa su tasa de digestión lo que incrementa su valor energético.

Parte de la respuesta se debe a que los gránulos de almidón están embebidos en una matriz proteica, la cual es más densa en el endospermo corneo periférico del sorgo y maíz, por lo que la penetración de las enzimas amilolíticas es restringida (McAllister *et al.*, 1990b). Además el tipo de proteína de cada cereal es diferente, en el trigo la matriz proteica consiste en mayor medida de glutelinas, que son solubles en ácidos y bases débiles y son rápidamente degradadas en el rumen, por lo que el grado de digestión del almidón del trigo es alta (>80%) y no es incrementada por el hojueleado al vapor (Zinn, 1994). En contraste la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón del maíz está compuesta principalmente de la prolamina y zeina (alfa, beta, gama y delta) que son insolubles en el rumen, por lo que las zeinas son fermentadas lentamente en el rumen (NRC, 1985). La proteína del maíz y sorgo se ha demostrado que es más resistente al ataque y penetración bacteriana que la del trigo y cebada (McAllister *et al.*, 1994).

El desdoblamiento de la matriz proteica es importante para optimizar la digestión del almidón. El tratamiento con una enzima proteolítica (pronasa) del sorgo mejoró la tasa de hidrólisis del almidón (Lichtenwalner *et al.*, 1978; Krotaski *et al.*, 1992) y esto fue debido a que las enzimas que degradan almidón fueron más efectivas una vez que la matriz proteica estaba degradada. La digestión de almidón de maíz y cebada purificado es similar (McAllister *et al.*, 1993) aunque el grano de cebada es más degradado que el maíz. Sin embargo, en otros estudios el almidón purificado de sorgo tuvo menor digestión que el del maíz (Wester, 1989) por lo que no se puede ser conclusivo sobre la estructura intrínseca del almidón. En almidón normal (25% amilosa y 75% amilopectina) aislado de varios granos (maíz, sorgo y trigo), la digestibilidad *in vitro* con amilasas pancreática o bacteriana fue similar (Banks y Greenwood, 1975; Moran, 1982). Estos resultados sugieren que la matriz proteica que está envolviendo los gránulos de almidón, es un factor importante en la tasa y grado de digestión del almidón. Los estudios donde la adición de amilasas exógenas demuestran que se incrementa la tasa de digestión lo que demuestran que la estructura del almidón también juega un papel en esta respuesta a los procesos (Rojo *et al.*, 2007).

Owen y Zinn (2005) resumen el efecto de los principales métodos de procesamiento de diferentes granos en el sitio y grado de digestión en ganado de engorda (Cuadro 9.2). Se puede notar que los factores físicos y químicos pueden limitar la digestión y que el impacto sobre componentes específicos del grano que limitan la digestión, difieren con el método de procesamiento. Además, los componentes que limitan la digestión pueden ser alterados por factores genéticos o ambientales que alteren las características inherentes del grano.

Rowe *et al.* (1999) resumieron la respuesta específica de los diferentes tipos de procesamiento sobre los componentes del grano que pueden limitar el sitio y grado de digestión (Cuadro 9.3).

Como se ha comentado, diferentes granos se utilizan en la alimentación de bovinos en corral. En México, los principales cereales utilizados en la alimentación animal, son el sorgo (47%), el maíz amarillo (35.90%) y el maíz blanco (14.89%). Por lo cual se explican más los efectos del procesamiento de sorgo y maíz en el comportamiento productivo de bovinos.

Cuadro 9.2 Efecto del método de proceso y tipo de grano en la digestión del almidón.

Métodos de procesamiento ¹	RS	AH	HV	E
Maíz				
Desaparición ruminal %	60.6 ^d	91.0 ^a	84.2 ^b	74.3 ^c
Desaparición en el intestino delgado % flujo	49.8 ^b		88.4 ^a	
Desaparición tracto total %	89.3 ^b	99.2 ^a	99.1 ^a	83.6 ^c
Sorgo				
Desaparición ruminal %	66.8 ^b		84.9 ^a	
Desaparición en el intestino delgado % flujo	85.0 ^b		81.3 ^a	
Desaparición tracto total %	96.5 ^b		98.8 ^a	
Trigo				
Desaparición ruminal %	86.0 ^a		91.6 ^a	
Desaparición tracto total % dieta	97.9 ^a		98.8 ^a	

¹ Métodos de procesamiento: **RS**=Rolado en seco, **AH**=Alto en humedad, **HV**=Hojueleado al vapor, **E**=Entero.

Fuente: adaptado de Owens y Zinn (2005).

Cuadro 9.3 Impacto de la técnica de procesamiento sobre el grano y su digestión.

Procesamiento/ Tratamiento del Grano	Desdoblamiento del pericarpio o exposición del endospermo	Reducción del tamaño de partícula	Desdoblamiento de la matriz del endospermo	Desdoblamiento de los gránulos de almidón	Incremento de la tasa de fermentación	Incremento en la digestión intestinal
Rolado en seco	+++	+	-	-	++	+
Molido	+++	+++	-	-	++	+
Hojueleado al vapor	+++	++	+	+	+++	++
Extrusión	+++	-	++	+	++	++
Peletizado	+++	-	+	?	+	++
Ensilado	+		++	-	++	+
Micronizado	+	+	?	?	?	++
Reventado	++	-	+	+++	?	+++
Proteasas	-	-	?	?	++	?

PROCESAMIENTO DEL SORGO Y COMPORTAMIENTO DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN

El grano de sorgo tiene la menor tasa de digestión ruminal, lo cual es importante dado que en relación al maíz el valor energético es de sólo el 85%, y cuando se procesa se puede incrementar su valor a un 95% del maíz, sin llegar a tener problemas de acidosis. Hay que tener en cuenta que el almidón del sorgo es el de menor digestibilidad entre los granos; además, con el procesamiento se obtienen varios efectos benéficos tales como la ruptura del grano, lo que incrementa la superficie y la tasa de digestión.

Dentro de los procesos utilizados para el grano de sorgo están el molido, el rolado, la combinación de rolado con vapor, el tratamiento con vapor y hojueleado, la reconstitución (en términos de humedad), el cultivo del grano con alto contenido de humedad, la adición de ácidos, el micronizado, la adición de enzimas amilolíticas y otros.

Durante el rolado y el molido se rompe la cáscara de la semilla, se reduce el tamaño de partícula y se incrementa la superficie de área de digestión; esto aumenta la tasa de digestión del almidón, lo cual mejora el valor energético del grano. El el Cuadro 9.4 se muestran los resultado con 220 novillos en cinco experimentos conducidos en la Universidad de Kansas (Stock y Mader, 1974). Los datos de diez experimentos muestran que el molido fino resulta en una mejora de 5% comparado con el molido grueso.

Cuadro 9.4. Efecto del procesamiento del grano de sorgo en el comportamiento de bovinos.

	Rolado	Rolado molido	% de mejora
Consumo MS, kg/d	10.59	11.03	-4.0
GDP, kg	1.510	1.556	+3.0
Conversión	7.60	7.06	+7.1

MS=Materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Stock y Mader (1974).

Es importante mencionar que los resultados de moler sorgo finamente son confusos, ya que en algunos trabajos el sorgo finamente molido es más eficiente que el molido grueso, mientras que en otros no hay respuesta. Esta controversia se puede deber a diferencias en la tasa de digestión del almidón del sorgo (Streeter *et al.*, 1991; Wester *et al.*, 1992), grado de procesamiento, nivel de forraje, entre otros.

El rolado del sorgo con vapor, parece tener poca ventaja sobre el rolado seco (Cuadro 9.5). El rolado con vapor produce un producto que tiene una forma física que aparentemente mejora la palatabilidad del grano. El uso de presión atmosférica en sorgo hojueleado, mejora la ganancia en un 7.8% y la eficiencia en un 11.6% sobre un testigo de sorgo seco rolado (Cuadro 9.6).

Cuadro 9.5 Resumen y comparación de métodos para procesar el grano de sorgo.

Proceso	Testigo	Cambios (%) en relación al testigo		
		Ganancia	Consumo	Conversión
Peletizado	Rolado	+5	-8	+7
Molido fino	Seco rolado	-1	-2	+1
Molido fino	Molido grueso	+1	-6	+5
Rolado fino	Rolado	-4	-3	0
Rolado-vapor	Seco rolado	-2	0	-2
Peletizado	Molido	+4	-6	+9

Fuente: Stock y Mader (1974).

Cuadro 9.6. Comparación de sistemas de procesamiento de grano de sorgo.

Método de procesamiento	Seco rolado	Hojuelado	Reconstituido
GDP, kg	2.56	2.76	2.75
Consumo de ms, kg/d	16.80	16.00	15.70
Conversión	6.57	5.80	5.67
Mejora de eficiencia, %		11.60	13.70
Mejora de ganancia, %		15.70	17.60

GDP=Ganancia diaria de peso; **MS**=materia seca.

Fuente: Stock y Mader (1974).

La respuesta al tratamiento con vapor es extremadamente variable debido a diferencia en el tiempo de tratamiento, temperatura, humedad y presión del rolado entre otros. En general, los mejores resultados se obtienen cuando las hojuelas son planas y cuando el grano se expone a una presión de 45 a 60 libras por pulgada cuadrada durante 1.5 minutos. Los tratamientos con vapor gelatinizan el almidón lo cual da lugar a un grano de mayor digestibilidad y mayor contenido energético.

Existen algunos procesos que no han sido evaluados en México; sin embargo, podrían ser considerados basándose en análisis económicos y biológicos. Resultados obtenidos en la Universidad de Oklahoma muestran que la cosecha del grano con alto contenido de humedad y el sorgo reconstituido mejora la eficiencia alimenticia de 9 a 20% comparado con el sorgo seco, sin afectar la ganancia de peso (Cuadro 9.7). Los cambios químicos que ocurren durante la reconstitución son similares a aquellos que ocurren durante la germinación.

Con respecto al grano con más de 24% de humedad, ésta se puede ensilar bien y produce un buen alimento para el ganado (Teter y Thompson, 2014). Para obtener un producto aceptable se recomienda una humedad entre el 24 y 30% (Cuadro 9.8) a una temperatura de 15 a 32 °C, condiciones anaeróbicas, pH de 4.1 a 4.2 y se recomienda moler el grano para promover una mejor compactación y fermentación.

Cuadro 9.7 Efecto del grano de sorgo cultivado con alto contenido de humedad o reconstituido comparado con grano de sorgo molido.

Procesamiento	Consumo, kg	GDP, kg	CMS/GDP	% Mejora
Seco finamente molido	6.8	1.088	6.3	-
Reconstituido molido	6.0	1.04	5.8	8.5
Reconstituido rolado	6.4	1.22	5.3	16.8
CACH rolado	5.3	0.99	5.4	14.8
CACH rolado	6.1	1.17	5.2	18.3

GDP=Ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca;

CACH=cultivado con alto contenido de humedad.

Fuente: Stock y Mader (1974).

Owens *et al.* (1997) resumen los efectos en la conversión alimenticia en ganado engordado en corral alimentados con grano sorgo procesado por diferentes métodos (Cuadro 9.9). Se observa que la mejor conversión alimenticia es con grano de sorgo rolado u hojueado al vapor, sobre rolado en seco y alto en humedad, y de reconstituido sobre rolado en seco. La reconstitución de grano de sorgo ha mostrado mayor beneficio que con maíz.

Cuadro 9.8 Efecto del nivel de humedad en el grano de sorgo reconstituido.

Procesamiento	Consumo, kg	GDP, kg	CMS/GDP	% cambio
Seco molido (testigo)	6.91	1.134	6.1	
Reconstituido 22%	7.22	1.224	5.9	+4.0
Reconstituido 30%	6.42	1.088	5.4	+11.8
Reconstituido 38%	5.63	1.043	5.4	+12.1

GDP=Ganancia diaria de peso; **CMS**= consumo de materia seca.

Fuente: Stock y Mader (1991).

Cuadro 9.9 Resumen de efectos en la conversión alimenticia del sorgo procesado en ganado de engorda.

Métodos de procesamiento	Conversión alimenticia
Rolado en seco	7.43 ^a (54)
Alto en humedad	7.12 ^{ab} (14)
Rolado u hojueado al vapor	6.33 ^c (45)
Entero	---
Reconstituido	6.75 ^{bc} (17)

El número entre paréntesis indica el número de pruebas evaluadas.

^{abc} Medias dentro de una columna con diferente literal son diferentes ($P < 0.05$).

Fuente: Adaptado de Owens *et al.* (1997).

Owens *et al.* (1997) reportan una mejora de la eficiencia alimenticia y EM en 5.2% y 4% respectivamente, comparado con grano de sorgo alto en humedad. Defoor *et al.* (2006) concluyeron que la reconstitución del grano de sorgo representa una buena alternativa para sorgo ya que a diferencia del maíz, la reconstitución se puede realizar con agua fría y es rápida, la eficiencia alimenticia se mejora en 15% y ganancia de peso en 7.6% comparado con sorgo rolado en seco, pero se requiere confirmar estos datos con variedades de sorgo actuales. En estudios recientes con pruebas de metabolismo, sorgo quebrado reconstituido mejoró la digestión total del almidón comparado con sorgo entero reconstituido y quebrado en seco (González *et al.*, 2010a). Rodríguez *et al.* (2010), encontraron que el germinar la semilla del sorgo por 6 días se incrementó la digestión total de MO, almidón, N y ED. En una prueba con ovinos con sorgo entero reconstituido se incrementó el consumo, ganancia y se mejoró la conversión alimenticia y peso de la canal en comparación con el grano entero seco (Orozco *et al.*, 2008).

Ciertos ácidos orgánicos han demostrado que tienen propiedades inhibitorias del crecimiento de hongos en granos con alto contenido de humedad. Estos ácidos han sido usados en Inglaterra y en Europa desde 1970 y han sido probados extensamente en Canadá y Estados Unidos. El potencial de uso de dichos ácidos en México debe basarse en aspectos económicos.

En el Cuadro 9.10 se muestra los principales ingredientes usados para la conservación de los granos (Wilcox, 1973). Además de los procesos mencionados, debió a los productos derivados de la biotecnología en un futuro tendremos acceso a enzimas y probióticos que en cantidades pequeñas pueden ayudar a mejorar el valor energético de los granos.

Cuadro 9.10 Preservativos usados para la conservación de granos.

Ácido propiónico	Efectivo; ampliamente probado; olor punzante. Las formas de propionato de calcio y de sodio son menos efectivos que la forma ácida
Ácido acético	Efectividad del 50% del ácido propiónico. Su eficacia se mejora al combinarse con ácido acético. Olor a vinagre, las sales de calcio y sodio no tienen efecto preservador
Ácido isobutírico	Buen preservador con olor punzante
Isobutirato de amonio	Menos efectivo que el ácido
Ácido fórmico	Efecto similar al del ácido acético. Los vapores y el líquido son cáusticos y peligrosos para los tejidos corporales. Los vapores no deben de ser inhalados
Ácido láctico	Necesita más pruebas experimentales antes de ser probado
Ácido sórbico	Es usado con el sorbato de potasio en pastelería para inhibir el crecimiento de hongos y levaduras
Ácido benzoico	Preservados de grasas y alimentos. No debe de usarse más del 0.1% del sustrato
Benzoato de sodio	Se necesitan más estudios para utilizarlo como conservador de granos

Fuente: Modificado de Wilcox (1973).

PROCESAMIENTO DEL MAÍZ Y COMPORTAMIENTO DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN

Zinn *et al.* (2011) revisaron el efecto de diferentes métodos de procesamiento con maíz grano en bovinos engordados en corral. Basándose en la ENm de maíz rolado en seco de 2.18 Mcal/kg (NRC, 2000) se estimaron para maíz entero valores de ENm y ENg de 2.11 y 1.44 Mcal/kg respectivamente (Cuadro 9.11). La alimentación con maíz entero tendió a disminuir la ganancia en 2.5% e incrementó el consumo en 3.2%. Los efectos comparativos de rolado o molido fino versus procesamiento grueso (Cuadro 9.12) sobre el comportamiento productivo y EN del maíz son mínimos (<1% de cambio).

El comportamiento de ganado alimentado con maíz alto en humedad es muy variable. Estudios previos de Mader *et al.* (1974, 1991) y Utley *et al.* (1975) indican que el maíz alto en humedad incrementa la ganancia en 2.9% y el consumo en 3.2%. Sin embargo, el valor de EN de maíz entero alto en humedad es similar o ligeramente menor que maíz procesado en seco, promediando 2.26 y 1.54 Mcal/kg respectivamente. El molido o rolado de maíz alto en humedad antes de ensilar incrementa su valor de EN; sin embargo, este proceso también incrementa la probabilidad de deprimir la ganancia comparada con el ensilaje de maíz entero. Los efectos comparativos de maíz procesado alto en humedad vs. procesos convencionales en seco sobre el comportamiento y valor de energía se muestran en el Cuadro 9.13. Sustituyendo maíz alto en humedad por maíz procesado en seco no afecta la ganancia pero reduce el consumo en

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

6.6%, por lo que los valores de ENm y ENg para maíz alto en humedad son más grandes que el maíz procesado en seco, promediando 2.31 y 1.61 Mcal/kg respectivamente. Estos valores son consistentes con los sugeridos para maíz alto en humedad de alta densidad por el NRC (2000).

La sustitución de maíz hojueado al vapor por maíz procesado en seco incrementa la ganancia en 6.3% y disminuye el consumo en 5%. Los valores comparativos de ENm y ENg de maíz hojueado al vapor son 2.46 y 1.75 Mcal/kg respectivamente (Cuadro 9.13). Estos valores son mayores (5.5%) que los tabulares del NRC (2000).

Cuadro 9.11 Efecto comparativo de maíz seco entero versus procesos en seco (rolado grueso, quebrado) sobre la ganancia, consumo valor energético del maíz.

Referencia	N	Cambio (%)			% Maíz	Sexo	Proceso
		GDP	CMS	ENm, Mcal/kg			
Corona <i>et al.</i> (2005)	5	-8.8	5.1	2.11	75.3	Novillo	Entero
Gorocica-Buenfil y Loerch (2005)	4	2.3	-1.1	2.24	79.8	Novillo	Entero descascarillado
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-1.0	5.7	1.99	62.5	Novillo	Entero
Promedio		-2.5	3.23	2.11			

CMS=Consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Cuadro 9.12 Efecto de molido o rolado fino versus procesos en seco (rolado grueso, quebrado) sobre la ganancia, consumo y valor energético del maíz.

Referencia	N	Cambio (%)			% Maíz	Sexo	Proceso
		GDP	CMS	ENm, Mcal/kg			
Corona <i>et al.</i> (2005)	5	-3.7	-2.0	2.14	75.3	Novillo	Molido fino
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-1.6	-4.7	2.25	62.5	Novillo	Molido fino
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-1.1	0.0	2.15	62.5	Novillo	Molido fino
Loe <i>et al.</i> (2006)	6	3.9	4.9	2.11	42.0	Novillo	Rolado fino
Promedio		-0.6	-0.5	2.16			

CMS=Consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

Cuadro 9.13 Efectos comparativos de maíz alto en humedad versus procesos en seco (rolado grueso, quebrado) sobre la ganancia, consumo y su valor de EN.

Referencia	N	Cambio (%)			% Maíz	Sexo	Proceso, humedad
		GDP	CMS	ENm, Mcal/kg			
Huck <i>et al.</i> (1998)	5	-1.1	-3.8	2.27	74.5	Novillo	rolado, 35%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	-4.0	-15.0	2.42	83.4	Vaquilla	molido, 28%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	5.4	-4.4	2.35	83.2	Novillo	molido, 29%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	0.0	-15.2	2.55	83.4	Vaquilla	molido, 28%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	-3.7	-7.6	2.26	83.2	Novillo	molido, 29%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	6.1	-6.5	2.41	83.2	Novillo	molido, 29%
Archibeque <i>et al.</i> (2006)	5	-5.8	-3.8	2.15	78.7	Novillo	molido, 35%
Stock <i>et al.</i> (1991)	5	0.7	-8.7	2.39	78.0	Novillo	molido, 25%
Stock <i>et al.</i> (1991)	3	-5.1	-0.30	2.09	80.0	Novillo	molido, 27%
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-2.1	-6.6	2.36	52.5	Novillo	molido, 29%
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	0.6	-0.9	2.24	62.5	Novillo	molido, 29%
Promedio		-0.8	-6.6	2.31			

CMS=Consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE PROCESO DE GRANOS

Cuando el grano es la principal o única fuente de almidón en la dieta, la concentración de almidón en las heces (almidón fecal (AF), % de la MS) de bovinos en corral puede servir como un indicador de la digestión total del almidón y su valor alimenticio. Zinn *et al.* (2007), evaluaron datos de treinta y dos pruebas de metabolismo, involucrando 637 mediciones individuales de digestibilidad del almidón, encontrando que el almidón fecal, explica 96% de la variación en la digestión del almidón en el tracto total ($DA_{TT} (\%) = 99.9 - 0.413 AF - 0.0131 AF^2$); concluyendo que la digestión del almidón observada está estrechamente asociada ($r^2 0.88$) con el valor de EN del maíz: $EN_m \text{ maíz (Mcal/kg)} = -0.75 + 0.032 DTA$.

Cuando el maíz es la principal fuente de almidón dietario: $EN_m \text{ maíz (Mcal/kg)} = 2.44 - 0.0132 AF - 0.0004189 AF^2$ y $EN_g \text{ (Mcal/kg)} = 0.877 EN_m - 0.41$. Estas relaciones también aplican a sorgo y trigo (Zinn *et al.*, 2011). Por lo tanto se puede usar el almidón fecal como un indicador para evaluar los procesos de los granos.

ENZIMAS EXÓGENAS

Los resultados de Romero *et al.* (1992) indican que es posible mejorar las ganancias de peso y la conversión alimenticia al tratar el grano de sorgo con enzimas exógenas. Gutiérrez *et al.* (2005) encontraron que el tratamiento de sorgo y maíz con amilasas exógenas de *Bacillus licheniformis* y glucoamilasa de *Aspergillus niger* incrementan la digestión ruminal *in vitro*. Rojo *et al.* (2005), reportan que amilasa de *B. Licheniformis* mejora la digestión ruminal del almidón. Sin embargo, en estudios *in vivo*, al adicionar amilasa de *Bacillus licheniformis* en una dieta para ovinos a base de sorgo no tuvo efecto (Crosby *et al.*, 2006).

Existen pocos estudios en corral de engorda, sin embargo, los datos de engorda intensiva con ovinos en dietas de finalización indican que pueden ser alternativas a considerar. El uso de enzimas amilolíticas termoestables de organismos con actividad mayor a los del rumen (100 a 200 veces mayor) ha mostrado mayor ganancia de peso y eficiencia de utilización del alimento, pero las ventajas no fueron las esperadas de acuerdo a los incrementos de digestibilidad observada en el rumen (Mora *et al.*, 2002; Buendía *et al.*, 2003), por lo que los trabajos con diversas dosis y enzimas (Crosby *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2006), y la adición de buffers (Lee *et al.*, 2007) mostraron que se estaba incrementando demasiado la digestibilidad ruminal del almidón causando problemas de acidosis ruminal subclínica. La alternativa para usar enzimas amilolíticas es reducir el nivel de grano de 75 a 60% con enzimas para mantener el mismo comportamiento (Mota *et al.*, 2011; Mendoza *et al.*, 2013a), lo cual puede permitir su incorporación en forma económica (Mendoza *et al.*, 2015). A pesar de que existe poco FDN en las raciones de bovinos en corral de engorda, se ha incorporado enzimas fibrolíticas considerando que existen condiciones limitantes de digestión de la fibra y que en función de la fracción potencialmente digestible del forraje usado puede haber respuesta (Mendoza *et al.*, 2014). Salem *et al.* (2013) reportaron incrementos del 16% en ganancia de peso y mejora del 9% en conversión alimenticia, sin embargo, hay más trabajos donde no hay respuesta a las enzimas comerciales fibrolíticas (ZoBell *et al.*, 2000; Vargas *et al.*, 2013; Miller *et al.*, 2008; Eun *et al.*, 2009). Algunos estudios en corrales de engorda donde se usan esquilmos muestran respuestas positivas con dosis muy altas (Torretera *et al.*, 2005) aunque hay indicadores de que las enzimas fibrolíticas exógenas pueden mejorar las características de la canal (Eun *et al.*, 2009; Vargas *et al.*, 2013), los resultados indican que uso actual es poco rentable (Mendoza *et al.*, 2013b).

COMENTARIOS

Las fuentes de grano, difieren en la respuesta al método y grado de procesamiento. Para una máxima digestión del almidón, los cereales de maíz y sorgo deben ser procesados con mayor intensidad, para cebada y trigo poco procesamiento es requerido. La matriz proteica que está envolviendo los gránulos de almidón es uno de los factores que afecta la tasa y grado de digestión del almidón. Sin embargo, las características intrínsecas y tasa de digestión del grano no procesado también tienen un papel importante en la magnitud de respuesta en el proceso.

Los métodos de procesamiento hojueado al vapor y alto en humedad incrementan la digestión del almidón del sorgo y maíz tanto en rumen como en el tracto posterior. El proceso de hojueado al vapor de maíz y sorgo incrementa el valor de ENg de 17 a 22% para maíz y sorgo. El valor de maíz puede ser afectado por la intensidad del proceso en maíz hojueado al vapor.

En general no hay mucha diferencia en los métodos de procesamiento en seco para maíz y sorgo, y las variaciones en pruebas se deben a interacciones con el nivel de grano, consumo, FDN forraje, edad del ganado, variedades e híbridos etc. La concentración de almidón en las heces de bovinos en corral, es un indicador que puede ser útil para estimar la digestión total del almidón en dietas basadas en grano.

El uso de enzimas exógenas (amilolíticas o fibrolíticas) deberá evaluarse en función de la reducción de nivel de grano y análisis económico para su posible uso en dietas altas en grano.

CAPÍTULO X

USO DE GRASAS EN LA ALIMENTACIÓN DE GANADO DE ENGORDA

F.X. PLATA, A. PLASCENCIA J., G.D. MENDOZA M.,
J.A. MARTÍNEZ G., P.A. HERNÁNDEZ G.

La alimentación representa alrededor del 70% del total de los costos en los sistemas de crecimiento-finalización para el ganado en corral, por lo que este rubro es uno de los que más impacta en las utilidades del productor. Por lo tanto, pequeños aumentos en la eficiencia alimenticia o en el rendimiento de la canal se traducen en aumentos importantes en la viabilidad económica del sistema. Se estima que bajo los costos y productividad actual en corral de engorda en México, el incrementar 5% la eficiencia alimenticia se traduce en un aumento en 8% de la ganancia por cabeza vendida en canal, y aumentar 0.5% el rendimiento en canal incrementa en 6% la tasa de retorno económico. Estas diferencias hacen que un corral crezca, sobreviva o desaparezca en la industria de la engorda.

USO DE GRASAS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

Las grasas funcionan como aglutinante y en consecuencia reducen la cantidad de polvo tanto en las plantas de alimentos como en el comedero de los animales (Zinn y Plascencia, 2007). Mankell *et al.* (1995) demostraron que la adición de 1 a 3% de aceite de soya en un concentrado redujo significativamente la cantidad de polvo producido en la planta de alimentos y en el comedero, lo cual reduce el desperdicio de alimento. Se ha argumentado que la inclusión de las grasas también mejora la aceptabilidad (gustosidad) de las dietas; Holland *et al.* (2008) señalan que esto está en función del tipo de grasa agregado a la dieta.

El uso de grasas en dietas de engorda en corrales se debe a su contenido de energía y costo, pero su inclusión tiene efectos en la digestión en rumen y en el intestino, los cuales dependen de las características físico-químicas de las grasas y del nivel de inclusión (Plascencia *et al.*, 2005), dado que cambian dependiendo del tipo de ácidos grasos que lo conforman. Existen diversos tipos de grasa que pueden usarse por lo que deben considerarse los efectos que pueden tener en el consumo, digestión, ganancia y composición de la canal al usar diferentes niveles y tipos de lípidos.

LOS LÍPIDOS

Los lípidos son compuestos no polares, parcial, o totalmente insolubles en el agua. Difieren de los carbohidratos por su arreglo estructural y porque tienen una menor cantidad de oxígeno. Se diferencian también de las proteínas porque no contienen nitrógeno. La Figura 10.1 muestra las diferencias entre las estructuras básicas de los carbohidratos (monosacáridos) y la de los lípidos (ácidos grasos). Como se puede notar, algunos tipos de ácidos grasos tienen un mayor número de carbonos que los monosacáridos. Este aumento en el número de carbonos así como su relación C: O hacen que los lípidos tengan un valor energético más alto. Esto en nutrición animal ha servido para establecer que el contenido energético de una grasa es casi tres veces mayor que el aporte energético neto del maíz (Zinn y Plasencia, 2007).

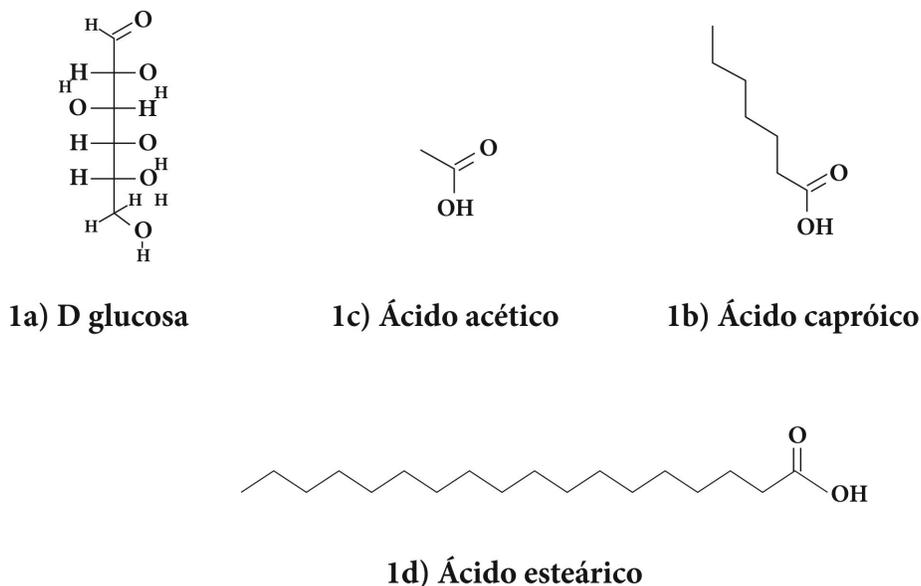


Figura 10.1 Comparación de carbohidrato simple con ácidos grasos.

1a) Glucosa de 6 carbonos; 1b) Ácido acético (ácido graso volátil de 2 carbonos);
1c) Ácido caproico (6 carbonos); 1d) Ácido esteárico (18 carbonos).

Los lípidos pueden ser clasificados de acuerdo a su estructura química como: simples (ácidos grasos combinados con glicerol); compuestos (son lípidos simples que además contienen otras moléculas como N, P) y derivados (resultado de la hidrólisis de los anteriores tales como los ácidos grasos libres). Es importante notar que la estructura fundamental de los lípidos son los ácidos grasos (AG) que de acuerdo a la longitud de su cadena se les clasifica como AG de cadena corta (<10 C) y ácidos grasos de cadena larga (>10 C). La longitud de la cadena determina su mecanismo de absorción y transporte. Los AG de cadena corta se absorben a través de epitelio ruminal, así como a nivel intes-

tinal y utilizan vía porta mientras que los de cadena larga se absorben sólo a nivel intestinal y requieren de la vía linfática para su transportación. Debido a los procesos de hidrólisis y emulsificación que requieren sufrir los AG de cadena larga previamente para su absorción, sus características estructurales tienen un fuerte impacto en su valor energético y por lo tanto en la productividad animal. En ese sentido, la longitud de la cadena así como el grado de saturación modifica las propiedades físicas (carácter anfipático y punto de fusión) de los lípidos, lo cual afecta en forma importante su potencial hidrolisis y de absorción.

Normalmente los aceites tienen una mayor proporción de AG insaturados que las grasas y es lo que los mantiene líquidos a temperatura ambiente, mientras que las grasas tienen una mayor cantidad de AG saturados y es lo que las vuelve sólidas (NEODA, 2015). Los tipos de grasas y aceites que se encuentran disponibles para usarse en la alimentación animal se presentan en el Cuadro 10.1.

DIGESTIÓN DE GRASAS EN RUMIANTES

Los lípidos sufren dos procesos importantes en el rumen, el primero es la hidrólisis por las lipasas microbianas que liberan del acilglicerol de los ácidos grasos de cadena larga (Lourenço *et al.*, 2010) y por otro lado, los ácidos grasos poliinsaturados sufren una biohidrogenación. El glicerol puede ser fermentado (convertido a propionato) y absorbido en rumen o pasar al intestino (Ferraro *et al.*, 2009).

La digestión intestinal de los lípidos consta de dos fases. En la primera fase; los lípidos que salen del rumen están principalmente compuestos de ácidos grasos de cadena larga no esterificados, pequeñas cantidades de fosfolípidos, triglicéridos (si la dieta incluyó grasas blindadas; Bauchart, 1993) y ácidos grasos poliinsaturados (si la dieta contenía aceite de pescado o linaza; Toral *et al.*, 2010), los cuales se asocian en pequeñas micelas insolubles y estas se transfieren con la participación de la bilis a micelas que contienen fosfolípidos para formar compuestos solubles, los cuales son digeridos por las enzimas pancreáticas (fosfolipasa pancreática A2) y eso produce lisofosfolípidos que posteriormente son absorbidos en forma de quilomicrones, esta absorción se encuentra limitada por la presencia de dos proteínas la apolipoproteína B (ApoB) y la proteína que transfiere triglicéridos por microsomas (PTM) (Chen y Davidson, 2012).

Cuadro 10.1 Tipos de grasas que se usan para la alimentación animal.

Nombre	Origen o localización	Características más importantes
Lípidos en forrajes	Pastos	Ácidos grasos poliinsaturados
Aceites vegetales	Granos de cereales y oleaginosas	Triglicéridos
Grasa amarilla	Grasa de restaurantes	Relación de ácidos grasos saturados/insaturados de 2.6:1 AGL<15%
Grasa mixta	Mezcla de grasa vegetal y animal	AGT>90% AGL>50%
Jabones	Purificación de AG	AG _{insaturado} >75% AGL>50%
Grasas protegidas	Jabones de Ca o palmitato de Ca	Dependen del producto comercial
Ácidos grasos saturados	Aceite de coco, palma, grasa animal	Son sólidos a temperatura ambiente
Ácidos grasos insaturados (con un par de hidrógenos menos)	Aceite de oliva, canola y nuez	Son líquidos a temperatura ambiente
Ácidos grasos poliinsaturados (con dos o más pares de hidrógenos menos)	Aceite de soya, algodón, maíz y pescado	Son líquidos a temperatura ambiente
Ácidos grasos trans	Proviene de la hidrogenación de aceites vegetales o grasa animal	Son tóxicos

EFFECTO DE LAS GRASAS EN EL CONSUMO VOLUNTARIO

En varios experimentos donde se han utilizado niveles que van desde 2 hasta 8% de diversos tipos de lípidos (aceites vegetales, sebo, grasas protegidas comerciales, grasa amarilla) en dietas altas en grano, se han observado efectos negativos en el consumo (Plascencia *et al.*, 2012; Donicht *et al.*, 2014) y en algunos se han observado ligeras reducciones con el nivel más alto con aceites vegetales o semillas de oleaginosas (Cuitun *et al.*, 1975 Chuntrakort *et al.*, 2014). Krehbiel *et al.* (1995) evaluó hasta 8% de sebo y con ese nivel el consumo se redujo significativamente (Cuadros 10.2 a 10.4). La reducción del consumo como resultado de la adición de grasas a las dietas para rumiantes, es un proceso multifactorial que resulta tanto de cambios en la digestión ruminal, principalmente de la fracción fibrosa que retarda su tiempo de permanencia en rumen así como de procesos metabólicos y hormonales.

Con respecto a esto último, la reducción del consumo resulta de la integración de señales múltiples a corto y mediano plazo con los centros regulatorios del mismo en el cerebro. El incremento de la concentración de lípidos en el plasma ocasiona cambios en la concentración de hormonas y metabolitos plasmáticos postprandiales que proveen una retroalimentación que es integrada y transformada en una respuesta anoréxigénica por las neuronas del hipotálamo

para terminar el consumo de alimentos (Sartin *et al.*, 2011). Se ha demostrado que la utilización de una dieta alta en grasa o la administración de carnitina incrementan la oxidación de ácidos grasos y deprimen el consumo (Duske *et al.*, 2009) y el tipo y la longitud del ácido graso (Drackley *et al.*, 1992; Dohme *et al.*, 2004) alteran el consumo debido al cambio en la velocidad de oxidación que presentan estas formas a causa de su estructura (Derno *et al.*, 2013).

Una de las hormonas que está asociada a la reducción del consumo cuando se administran grasas en la dieta es la colecistoquinina (CCK; Choi *et al.*, 2000; Relling *et al.*, 2010). Relling *et al.* (2011) demostraron que un aumento en la inclusión de grasa en la dieta ocasiona un aumento lineal en la concentración plasmática de CCK. Aumentos en la cantidad de grasa consumida en la dieta redujeron el consumo durante la primera hora después de la alimentación y mantuvieron la reducción en el consumo hasta entre 8 y 16 horas después de la administración del alimento. En otras especies la exposición crónica a la grasa causa cambios morfológicos, fisiológicos y metabólicos que vuelven más eficiente la utilización de grasa e inhibiendo las señales del GLP-1, PYY y CCK que disparan la saciedad, esto trae como consecuencia una mayor acumulación de grasa (Duca *et al.*, 2013).

EFFECTOS ASOCIATIVOS DE LAS GRASAS EN LA DIGESTIÓN RUMINAL

La mayoría de los estudios muestra que con grasa amarilla o aceites vegetales al incrementar de 0 a 2%, se reduce la digestibilidad de la materia seca de 3 a 14% en dietas altas en grano (Cuitun *et al.*, 1975; Plascencia *et al.*, 2012) y Kreihebel *et al.* (1995) mostraron con niveles hasta de 8% que la inclusión de sebo reduce la digestión ruminal debido a que reduce la tasa de digestión e incrementa la tasa de pasaje, demostrando que los efectos son más notorios a partir de 4% de inclusión. En general no se usan lípidos protegidos en dietas en corrales de engorda debido a que las condiciones de acidez favorecerían la disociación de las sales de Ca pero se están evaluando nuevas formas de protección.

El efecto de la adición de ácidos grasos insaturados a la dieta en la microbiota ruminal se ha estudiado extensamente (Tanaka, 2005). Se ha reportado una inhibición de la digestión de las paredes celulares relacionada a un efecto citotóxico de las grasas en los microorganismos ruminales celulolíticos que inhiben su crecimiento (Plascencia *et al.*, 2003). Sin embargo, en dietas altas en granos los niveles y la digestión de la FDN es baja, por lo que el impacto en la materia orgánica en el rumen puede ser más importante en los efectos que tenga en los organismos amilolíticos.

Se ha reportado un efecto negativo de los ácidos grasos poliinsaturados principalmente el linoleico y el α linolenico sobre el crecimiento de *Butyrivibrio fibrisolvens* (Maia *et al.*, 2007, 2010), aumentando la fase Lag por casi 10 horas hasta que logra metabolizar dichos ácidos y la adición de ácido docosahexaenoico (un ácido graso proveniente del pescado) y que pertenece a la serie de Ω n-3 inhibió el crecimiento de dicha bacteria. Otros experimentos

muestran que los ácidos grasos de cadena mediana y larga que se encuentran en el aceite de las plantas pueden tener efectos inhibidores para el *Ruminococcus*, lo que podría explicar la disminución en la digestibilidad de la fracción de FDN cuando se incluye aceite vegetal (Dohme *et al.*, 2000; Martin *et al.*, 2008; Belenguer *et al.*, 2010).

Las grasas y aceites tienen efectos tóxicos sobre la población de protozoarios (Mendoza *et al.*, 1993; Firkins, 1996; Dewhurst *et al.*, 2000). Trabajos publicados por Oldick y Firkins (2000) muestran que la adición de grasa, grasa hidrogenada o aceite vegetal tienden a reducir la población de protozoarios de un 30% hasta prácticamente en su totalidad (Towne *et al.*, 1990). El uso de ácidos grasos insaturados protegidos con formol puede mejorar la eficiencia microbiana al aumentar el flujo de proteína al duodeno (Sinclair *et al.*, 2005). Estos resultados sugieren que el uso de grasas protegidas podría re-evaluarse en dietas altas en granos y hay resultados experimentales que indican que pueden mejorar la ganancia de peso (Donicht *et al.*, 2014).

EFFECTO DEL NIVEL DE GRASAS EN LA DIGESTIÓN INTESTINAL DE ÁCIDOS GRASOS

Los experimentos de Plascencia *et al.* (2003) muestran que la digestión de los ácidos grasos se reduce linealmente en el intestino conforme se aumenta la cantidad de grasa ingerida. Esa reducción en la digestión de la grasa implica una reducción en la ENg de tal forma que el valor de la EN cuando se incluye a un nivel del 3% es de 4.87 Mcal/kg. Dicho valor cambia drásticamente cuando se incluye en niveles del 6 o 9% donde los valores estimados de EN son de 4.55 y 4.06 Mcal/kg este último valor representa una disminución de alrededor del 17% sobre el valor inicial.

EFFECTO DE LAS GRASAS EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO EN CORRALES

Los efectos de la inclusión de diferentes tipos de grasa en el consumo, la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia se presentan en los Cuadros 10.2 a 10.4. En varios experimentos se observa que las grasas incrementan la ganancia de peso en dietas de finalización, sin embargo, en otros no hay respuesta significativa. Muchos factores pueden influenciar la respuesta productiva a la suplementación de grasa, entre ellos, el nivel de suplementación, el tipo de grasa utilizada, la densidad energética de la dieta y la composición de la dieta principalmente en lo que refiere a la concentración de FDN. A continuación se muestra el efecto de la inclusión de diversos tipos de grasas en el porcentaje de cambio en el consumo, ganancia diaria y la eficiencia (ganancia/consumo). Como se puede notar los mejores beneficios se obtienen con la grasa amarilla, después con grasas de origen animal y por último con aceites de origen vegetal.

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

En general se recomienda no usar niveles por encima del 6% pues a pesar que teóricamente se incrementa la energía, se ha demostrado que al incluir en niveles superiores se reduce el valor energético de las grasas al reducirse su absorción intestinal (Plascencia *et al.*, 2003). La respuesta en ganancia de peso se explica por el efecto de altos niveles de suplementación en la energía neta de la grasa (Nelson *et al.*, 2008; Vander *et al.*, 2009; Mialon *et al.*, 2015). Cuando los lípidos se incluyen en niveles altos, se reduce la ENg de la dieta (Nelson *et al.*, 2004; Vander *et al.*, 2009). Zinn (1994) observó el mismo problema cuando el consumo de grasa rebasó los 1.6 g por kg de peso vivo por lo que recomienda como porcentaje de inclusión máximo de extracto etéreo en dietas de finalización sea del 8% cuando los novillos consumen el 2% de su peso vivo.

Cuadro 10.2 Efectos de la adición de grasa amarilla en consumo, ganancia y eficiencia de utilización del alimento.

Fuente	Tipo de grasa	Nivel %	Porcentaje de cambio con respecto del testigo		
			Consumo	GDP	Eficiencia
Zinn (1989)	Grasa amarilla	4	0	11.1	11.3
Plascencia <i>et al.</i> (1999)	Grasa amarilla	5	1.7	10	8.4
Nelson <i>et al.</i> (2008)	Grasa amarilla	3	-1	4.5	3.6
Nelson <i>et al.</i> (2008)	Grasa amarilla	6	-4	4.4	6.7
Nelson <i>et al.</i> (2004)	Grasa amarilla	6	-2.9	7.2	9.2
Nelson <i>et al.</i> (2004)	Grasa amarilla	3	5.1	3.7	-2.2
Promedio		4.50	-0.18	+6.82	+6.17

GDP=Ganancia diaria de peso.

El uso de semillas con alto contenido de aceite ocasiona un incremento en el consumo de FDN el cual conlleva a una dilución de la energía neta (Cranston *et al.*, 2006). Plascencia y Zinn (2002) reportan resultados similares al sustituir maíz hojueado con una mezcla de alfalfa –grasa amarilla. La reducción de la EN de la dieta no necesariamente causa una menor ganancia de peso, pero si puede impactar la eficiencia de utilización del alimento; Felton y Kerley (2004) no observaron cambios en la ganancia de peso, pero si un aumento significativo en la conversión alimenticia al incluir semillas de oleaginosas como fuente de grasas. En general, las grasas suplementarias utilizadas en forma adecuada tienden a disminuir el consumo, mejoran la ganancia diaria traduciéndose en un incremento en la eficiencia alimenticia.

Cuadro 10.3 Efectos de la adición de grasas de origen animal en consumo, ganancia y eficiencia de utilización del alimento.

Fuente	Tipo de grasa	Nivel %	Porcentaje de cambio con respecto del testigo		
			Consumo	GDP	Eficiencia
Bindel (2000)	Sebo res	2	-2,7	-4,5	-2,2
Bindel (2000)	Sebo res	4	-5,1	-7,1	-2,2
Nelson <i>et al.</i> (2008)	Sebo res	6	-4,5	0	4,3
Hutchison (2006)	Sebo res	4	-7,6	0	8,2
Vander <i>et al.</i> (2009)	Sebo res	1,3	-1,6	-1,3	0
Vander <i>et al.</i> (2009)	Sebo res	2,6	0	2,2	2,1
Hutchison (2006)	Grasa de ave	4	-5,2	9,6	16,5
Felton y Kerley (2004)	Grasa de cerdo	3	-3	7,2	10
Promedio		3.36	-3.71	+0.76	+4.59

GDP=Ganancia diaria de peso.

Cuadro 10.4 Efectos de la adición de aceites de origen vegetal en consumo, ganancia y eficiencia de utilización del alimento.

Fuente	Tipo de grasa	Nivel %	Porcentaje de cambio con respecto del testigo		
			Consumo	GDP	Eficiencia
Gillis <i>et al.</i> (2004)	Maíz	4	1,3	-3,6	-4,9
Mialon <i>et al.</i> (2015)	Linaza	4	-10,4	5,8	15,5
Gunn <i>et al.</i> (2009)	Vegetal	2.4	-3,2	-3,1	0
Felton y Kerley (2004)	Semilla cruda	3	-4,5	2,4	6,7
Gunn <i>et al.</i> (2009)	Vegetal	2.4	-3,2	-3,1	0
Promedio		3,59	-3,95	-0,14	+3,65

GDP=Ganancia diaria de peso.

EFFECTO DE LAS GRASAS EN LA CALIDAD DE LA CANAL

Existe evidencia que sugiere que la dieta juega un rol importante en el desarrollo de enfermedades crónicas que incluyen cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes insulina resistente y obesidad. Una de las causas principales de estas enfermedades aparentemente es el consumo de ácidos grasos saturados 14:0, 16:0 y trans. Lo cual trajo como consecuencia que se sugiriera a la población una reducción en el consumo total de ácidos grasos saturados y un aumento en el consumo de los ácidos grasos poliinsaturados de la serie Ω -3 (Shingfield *et al.*, 2013). Este conjunto de recomendaciones ha traído como consecuencia una preocupación por modificar las características del perfil de

lípidos en la carne que se ofrece al consumidor, de tal forma que actualmente se busca que los productos cárnicos tengan una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados y una menor cantidad de ácidos saturados de cadena larga (Scollan *et al.*, 2001). El perfil de ácidos grasos que tiene la canal puede ser modificado con diversas estrategias de alimentación, pero los resultados de estas estrategias son afectados por algunos factores como la raza, el tiempo de engorda y tipo de ácidos grasos proporcionados y la protección de los mismos para evitar su biohidrogenación en el rumen.

El peso de la canal está relacionado directamente con las tasas de ganancia observadas durante la engorda, mientras que el rendimiento está más relacionado con la composición de la ganancia. Por lo tanto, para que exista un efecto sobre el peso de la canal cuando se suministran grasas suplementarias debe existir diferencias significativas en las tasas de ganancia durante la engorda (Zinn, 1989, Brandt, 1997). Como se puede observar en los Cuadros 10.2 al 10.4, las grasas no siempre modifican la tasa de ganancia y existe evidencia suficiente que confirma que las grasas suplementarias no modifican la composición de la ganancia (sólo modifican la proporción de grasa pélvica renal y cardíaca); en ese sentido, la adición de distintas fuentes de grasa o ingredientes altos en grasa no siempre modifican el peso de la canal caliente o el porcentaje de rendimiento cuando se compararon con dietas que no incluyeron grasa (Felton y Kerley, 2004; Cranston *et al.*, 2006; Hutchison *et al.*, 2006; Veracini *et al.*, 2013). Nelson *et al.* (2004) reportan una reducción en el peso de la canal asociado a un menor contenido de ENG del alimento cuando suplementaron con grasa amarilla. Mientras que, Mialon *et al.* (2015) informan de un aumento en el peso de la canal caliente y un mayor rendimiento de la misma cuando utilizaron dietas bajas en fibra y altas en grasa con consumo restringido. Por otra parte, Santana *et al.* (2014) observaron un aumento en el rendimiento de la canal cuando utilizaron grasa protegida comercial, pero una reducción cuando utilizaron aceite de maíz.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud la relación entre ácidos grasos de la serie n 6 y n 3 debe ser menor a 4:1 para reducir riesgos de enfermedades en la población (Mele *et al.*, 2014). Para incrementar la serie de Ω -3 en la grasa intramuscular del ganado se puede incluir aceite de pescado y canola, los cuales tienen cantidades abundantes de ácidos grasos poliinsaturados y además que son poco biohidrogenados en el rumen (Lee *et al.*, 2008). Con aceite de pescado se ha incrementado los ácidos grasos de la serie n 3 en casi un 800%; de 0 a 8.13 (C20: 5n3), de 0 a 2.82 (C22: 5n-3) y de 0 a 11.2 (C22: 6n-3; Lee *et al.*, 2008). Sin embargo, Scolland *et al.* (2006) utilizando aceite de pescado y linaza solo encontraron cambios significativos en la concentración total del ácido insaturado 18:n3, (ácido linoleico).

Shingfield *et al.* (2013) indican que el potencial para alterar la composición de los lípidos musculares depende fuertemente de la extensión de la lipólisis y la biohidrogenación de las grasas a nivel ruminal. El uso aceites de soya,

girasol o linaza protegidos con métodos diferentes a la saponificación ha incrementado las concentraciones de ácidos grasos insaturados intramuscularmente (Scollan *et al.*, 2001, Dunne *et al.*, 2011). Estos resultados indican que es necesario re-evaluar y buscar formas de protección de lípidos que no se alteren por las condiciones de acidez del rumen.

EFFECTOS DE LAS GRASAS EN LAS EMISIONES DE METANO

El efecto de la inhibición de la producción de metano por la adición de grasa ha sido conocido desde hace mucho tiempo (Chuntrakort *et al.*, 2014). La inclusión de aceite de coco redujo el número de bacterias metanogénicas y la producción de metano en una mayor proporción que el de canola (Dong *et al.*, 1997). Varios experimentos muestran que las grasas insaturadas tienen un mayor efecto que las saturadas en la reducción de bacterias metanogénicas, pero afectan la digestibilidad de la FDN y aumentan el butirato (Dohme *et al.*, 2000).

Un meta análisis realizado por Patra (2013) para evaluar el efecto de las grasas en la producción de metano concluye que la adición de grasas a la dieta reduce linealmente la producción de metano, pero que esta reducción depende del tiempo de administración de las grasas, del tipo y forma de administración de las mismas y que el impacto es más significativo cuando las grasas se utilizan en un nivel mayor al 5% de la dieta. Sin embargo, niveles mayores afectarían negativamente el comportamiento productivo de los bovinos en el corral de engorda.

RECOMENDACIONES PARA INCLUSIÓN DE GRASAS EN DIETAS EN CORRALES

Las principales fuentes de grasa utilizadas son: 1) Grasa animal, que proviene de plantas de rendimiento; 2) Aceites vegetales, 3) Grasa amarilla, que son residuos de aceites vegetales y grasa animal de restaurantes y cafeterías y 3) Mezcla Animal-Vegetal, que es el primer grupo combinado con grasa amarilla o aceites vegetales. Aunque las distintas fuentes de grasas difieren un poco en calidad, el valor energético promedia 6.0 y 4.85 Mcal/kg de ENm y ENg respectivamente. Las restricciones prácticas para utilización óptima de las grasas suplementarias son de 2 a 5% de la ración final ya que consumos mayores pueden reflejarse en la disminución de su valor energético hasta en un 50%. Actualmente existen modelos para determinar restricciones más seguras para una mayor inclusión de grasa a la dieta sin menoscabo de su valor nutricional. Aparentemente, el restringir el consumo diario total (grasa total que aporta la dieta) a 1.2 g de grasa/ kg de peso corporal, es el límite máximo apropiado para evitar disminuciones importantes en su valor energético, aun así se puede consumir grasa a una relación hasta de 1.6 g/kg de peso corporal sin efectos negativos sobre consumo y comportamiento del ganado aunque con una disminución de su aporte energético en aproximadamente un 6%.

A nivel ruminal, la grasa puede ejercer efecto negativo sobre la digestión de la fibra por lo que se recomienda restringirse a 3% cuando las dietas contienen más del 30% de forraje. El efecto detrimental sobre la digestión de la fibra es más agudo cuando se utilizan grasas insaturadas (aceites vegetales) comparado con grasas más saturadas (sebo).

Es importante considerar la grasa que aportan los ingredientes de la dieta, para asignar la cantidad de grasa que se va a suplementar, por ejemplo, cuando se incluye 15% de semilla de algodón entera (23-26% lípidos) aporta aproximadamente 3.7% de lípidos, o bien cuando se utilizan granos secos de destilería (9-12% de lípidos), que es común que lo incluyan hasta 20% de la dieta, este aportará en esa condición un poco más de 2% de lípidos.

Los efectos principales del mal uso de la grasa en dietas de engorda son una disminución del consumo y de la ganancia; y esto puede continuar durante semanas después de que se haya retirado la grasa de la dieta. Este riesgo puede disminuirse adaptando gradualmente al ganado al consumo de grasa. En términos de porcentaje, se recomienda en la ración de iniciación máximo un 2% de grasas, en las de transición 4% y en las de finalización 6%.

CAPÍTULO XI

VITAMINAS EN EL GANADO BOVINO DE ENGORDA

M. RAMÍREZ M., G.D. MENDOZA M., A. PLASCENCIA J.

Las vitaminas son compuestos orgánicos requeridos para el mantenimiento y crecimiento de los animales, las cuales no son sintetizadas por ellos, por lo que tienen que aportarse en la dieta o por alguna otra vía. Las vitaminas tampoco son fuente de energía ni forman parte de las estructuras del cuerpo pero son indispensables para el metabolismo y algunas funciones específicas en el organismo (Lehninger *et al.*, 1995).

Las vitaminas se clasifican de acuerdo a su solubilidad en hidrosolubles y liposolubles (Cuadro 11.1): las liposolubles (A, D, E y K) están formadas únicamente de carbono, hidrógeno y oxígeno, mientras que las hidrosolubles poseen además nitrógeno, azufre o cobalto, exceptuando la vitamina C e inositol. Como resultado de la síntesis microbiana, los rumiantes adultos aparentemente no requieren de suplementación de este grupo de vitaminas; sin embargo, debido a la intensificación de los sistemas de producción (dietas altas en concentrados, uso de aditivos que aceleran la tasa de crecimiento, estrés crónico) es posible, que bajo ciertas condiciones, la síntesis microbiana de vitaminas se deprima y/o se incrementen los requerimientos de ciertas vitaminas del complejo B en el animal por lo que pudiera considerarse la utilización de suplementos vitamínicos (Spears y Weiss, 2014).

En rumiantes las deficiencias vitamínicas son más comunes en pastoreo (NRC, 2000) y es común la aplicación intramuscular de vitaminas A, D y E, a la llegada de los animales al corral de engorda con el objetivo de prevenir deficiencias y mejorar el estado de salud en general; y cada vez es más común el uso de dosis supranutricionales de vitaminas con el objetivo de mejorar las características de la canal y mejorar la calidad de la carne. Además la disponibilidad de vitaminas que pueden estar protegidas de la degradación ruminal hacen necesario re-evaluar su uso y dosis en corrales de engorda sobre todo porque la selección genética y los niveles de producción así como las situaciones de estrés, han llevado a condiciones donde los requerimientos son presumiblemente más elevados.

Cuadro 11.1. Vitaminas liposolubles e hidrosolubles y sinónimos.

Vitamina	Sinónimo
Solubles en aceite	
Vitamina A	Retinol, retinal, ácido retinoico
Vitamina D ₂	Ergocalciferol
Vitamina D ₃	Colecalciferol
Vitamina E	Tocoferol, tocotrienol
Vitamina K ₁	Filoquinona
Vitamina K ₂	Menaquinona
Vitamina K ₃	Menadiona
Solubles en agua	
Vitamina B ₁	Tiamina
Vitamina B ₂	Riboflavina
Vitamina B ₃	Niacina
Vitamina B ₆	Piridoxina, piridoxal
Vitamina B ₅	Ácido pantoténico
Vitamina H	Biotina
Vitamina M	Ácido fólico, folato
Vitamina B ₁₂	Cobalamina, cianocobalamina
Colina	Gospina
Vitamina C	Ácido ascórbico, ascorbato, ácido cítrico.

Fuente: Modificado de McDowell (2000).

VITAMINAS LIPOSOLUBLES

VITAMINA A

La vitamina A es necesaria para el crecimiento normal y la salud del ganado bovino y es esencial para el mantenimiento de tejido epitelial (piel, ojo, revestimiento del gastrointestinal, respiratorio, urinario y tractos reproductivos), desarrollo de los huesos y la visión normal. De acuerdo con el NRC (2000) la vitamina A es la que posee mayor importancia práctica en la alimentación del ganado bovino de engorda debido al limitado uso de forrajes frescos en las dietas de crecimiento-finalización. Los vegetales no poseen vitamina A, sino carotenos o carotenoides (α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno y criptoxantina), los cuales no tienen actividad de vitamina A como tal pero son precursores de la misma, por lo que se les llama provitaminas. En teoría, una molécula de β -caroteno equivale a dos de vitamina A; sin embargo, la capacidad del ganado bovino de engorda para convertir los carotenos en retinol (que es la forma activa de la vitamina A en los animales) es limitada (NRC, 1996), por lo que tiende a acumularse en el hígado, testículos, cuerpo lúteo, sangre, leche y teji-

do adiposo. Con respecto al tejido adiposo, existe un problema denominado grasa amarilla, el cual afecta al ganado bovino en pastoreo debido a una menor actividad intestinal de la enzima denominada 15,15' β caroteno dioxigenasa, lo que favorece que se acumule mayor cantidad de β -carotenos en el tejido adiposo de estos animales que provoca que el precio de esas canales sea menor a pesar de que la grasa amarilla no tiene implicaciones sanitarias de ningún tipo (Mora *et al.*, 2000).

La vitamina A en ganado bovino de engorda puede afectar la deposición de grasa y su perfil lipídico. Siebert *et al.* (2006) evaluaron la suplementación semanal de 60,000 UI de vitamina A por 100 kg de peso (30 000 UI/animal/día aproximadamente) observando una significativa disminución en la grasa intramuscular después de 44 semanas con un perfil lipídico más saturado, lo que se consideró negativo en términos de calidad de la carne. Sin embargo, Bryant *et al.* (2010) no reportaron cambios en producción, marmoleo o actividad enzimática lipogénica en novillos suplementados con 20,000 UI/ día de vitamina A. En el primer caso, la dosis de vitamina A es mayor a la recomendada por el NRC (2000), que es de 2,200 UI/ kg de MS (alrededor de 22,000 UI/ animal al día considerando animales de 400 kg de PV y un consumo de 10 kg de MS), y en el segundo es ligeramente menor. Se sugiere no sobrepasar las recomendaciones del NRC para evitar posibles efectos negativos en la grasa.

Recomendaciones vitamina A en corrales de engorda

Las opciones para cubrir los requerimientos de vitaminas liposolubles del ganado en corral son la suplementación diaria en alimento o por aplicación intramuscular de un preparado vitamínico. La vitamina A es altamente degradada en rumen y se estima que solo el 33% del total agregado a la dieta llega al intestino y de ésta el 90% es absorbida, por lo tanto, solo el 30% del total de la vitamina consumida es metabolizada. De acuerdo a estudios realizados, las respuestas positivas a la suplementación de vitamina A en consumo de MS y ganancia diaria se observan cuando la concentración de retinol plasmático es menor a 0.23 $\mu\text{g}/\text{mL}$. En un estudio reciente evaluaron en becerros Holstein recién llegados la suplementación diaria de 30,000 UI de Vitamina A en forma de retinil palmitato. La suplementación de vitamina A incrementó el consumo y la ganancia diaria sin diferencias entre las formas de vitaminas evaluadas (Salinas-Chavira *et al.*, 2014). La otra opción de suministrar vitamina A es aplicar 1 millón de UI de vitamina A en forma intramuscular durante la recepción lo cual le permite una reserva de cuatro meses.

VITAMINA D

La vitamina D es fundamental para mantener la homeostasis del Ca, mineral de gran importancia debido a que está involucrado en una gran variedad de procesos fisiológicos. Se le conoce como vitamina antirraquítica y se sabe de su existencia desde hace más de un siglo, cuando observaron que animales raquí-

ticos mejoraban considerablemente al exponerlos a la luz solar (Berk, 1980). La deficiencia de vitamina D es poco probable en el ganado que se encuentra en instalaciones al aire libre.

Existen dos formas principales de vitamina D: el ergocalciferol, o vitamina D₂, derivado del ergosterol, un esteroide vegetal; y el colecalciferol, o vitamina D₃, de origen animal (NRC, 2000). La vitamina D también se obtiene por irradiación de 7-dehidrocolesterol que se encuentra en la piel. El primer paso es convertir las formas inactivas (ergocalciferol, colecalciferol o 7-dehidrocolesterol) en 25-hidroxivitamina D en el hígado y posteriormente ésta se convierte en 1,25-dihidroxivitamina D en el riñón, que es la forma activa de la vitamina D (Casas *et al.*, 2013). El mecanismo de absorción de Ca es un proceso dependiente de la vitamina D que, en el caso de los bovinos se presenta desde el rumen hasta el intestino grueso, siendo precisamente en el rumen donde se absorbe el 50% o más del calcio dietario (Schöder y Breves, 2006). En bovinos, el papel de vitamina D ha sido más ampliamente estudiado en el ganado lechero debido a sus implicaciones fisiológicas durante la lactancia (Horst *et al.*, 2003).

Se ha estudiado la importancia de la vitamina D en la calidad de la carne, ya que existen varios reportes con dosis elevadas de vitamina D por períodos cortos justo antes del sacrificio de los animales puede mejorar las características organolépticas de la carne (Karges *et al.*, 2001; Montgomery *et al.*, 2002; Foote *et al.*, 2004), en especial durante la engorda se han utilizado algún tipo de beta agonista o promotor del crecimiento, los cuales pueden impactar negativamente en la blandura de la carne (Reiling y Johnson, 2003). Montgomery *et al.* (2004b) señalan que 500,000 UI de vitamina D por animal/día durante 8 días consecutivos antes del sacrificio son suficientes para mejorar la blandura de diversos cortes sin afectar el desempeño productivo de los animales, debido a que se incrementa la concentración de calcio muscular que favorecen la degradación de la proteína miofibrilar, que aunado a una disminución de la actividad de la μ -calpaínas después del sacrificio, es un indicativo de que la actividad proteolítica se incrementa en el tejido vivo. Sin embargo, no todos los reportes coinciden (Silveira *et al.*, 2003; Lawrence *et al.*, 2006; Strydom *et al.*, 2011).

Es importante tomar en cuenta la cantidad de vitamina D suplementada a los animales con el fin de evitar problemas de toxicidad tanto a los animales como al consumidor final (Montgomery *et al.*, 2004a). Montgomery *et al.* (2000) informan que suplementar con 10,000,000 UI de vitamina D₃ durante 9 días previos al sacrificio, incrementa 30, 114, 27 y 170 veces la concentración de vitamina D₃ en músculo, hígado, riñón y plasma de bovinos, por lo que con 63 g de músculo o con 6 g de hígado se alcanzan los 5.6 μ g/ día de vitamina D₃ recomendados por la Norma Oficial Mexicana (NOM-051-SSA1-2010) y aunque el proceso de cocción puede destruir hasta 30% la vitamina D₃ (Foote *et al.*, 2004), se recomienda eliminar algunas vísceras de valor comercial, como el hígado o los riñones, debido a las altas concentraciones de vitamina D₃ hallados en los animales suplementados (Montgomery *et al.*, 2004b).

Recomendaciones de vitamina D en corrales de engorda

Como se mencionó anteriormente la suplementación de vitamina D en alimento obedece más a cuestiones relacionadas con características de la canal y los productos cárnicos que a impactos en el comportamiento productivo, aun así, el NRC (2000) indica requerimientos de vitamina D en 275 UI por kg de MS. En ese respecto, se ha demostrado que en animales sin recibir una suplementación extra de vitamina D en el alimento se disminuye la concentración plasmática de 25 (OH) D (3) hasta los 74 días; sin embargo, la concentración de la vitamina en tejido hepático permanece inalterado hasta los 184 días. Esto explica la ausencia consistente en la mejora del crecimiento y eficiencia del ganado en crecimiento-finalización como respuesta a la suplementación extra con vitamina D. Generalmente los aportes de vitamina D se llenan por la aplicación vía inyección de complejos vitamínicos ADE al recibimiento del ganado. Si se desea usar la vitamina D para tratar de mejorar la blandura de la carne las dosis pueden variar de 5 a 7.5 millones de UI por animal por día durante 5 a 10 días antes del sacrificio (Swanek *et al.*, 1999), lo cual solo deberá de considerarse en corrales integrados a la comercialización y con base a un análisis costo beneficio.

VITAMINA E

La vitamina E funciona principalmente como antioxidante. Debido a que es soluble en grasa, la vitamina E es importante en la protección de las membranas celulares y ayuda a mantener la estructura y la función de todos los músculos, es esencial para el sistema inmunológico. La vitamina E es el nombre colectivo de un grupo de lípidos estrechamente relacionados denominados tocoferoles y tocotrienoles (Berk, 1980; Lehninger *et al.*, 1995). Engloba ocho formas solubles en grasa, que se han aisladas de fuentes vegetales: cuatro tocoferoles y cuatro tocotrienoles (ambos como α -, β -, γ -, y δ -); los primeros poseen colas saturadas y los segundos colas insaturadas, y difieren en actividad biológica y antioxidante (Kayden y Traber, 1993; Packer *et al.*, 2001), siendo el α -tocoferol la forma de mayor actividad biológica. El isómero D es más activo que la forma L; de hecho, la vitamina E disponible en el mercado de manera comercial se encuentra en forma de acetato de DL- α - tocoferol (Church *et al.*, 2003).

La vitamina E es inestable, oxidándose fácilmente en presencia de minerales y de ácidos grasos poliinsaturados (Church *et al.*, 2003); no obstante, los tocoferoles soportan temperaturas elevadas, ácidos y álcalis, motivo por el cual su contenido es elevado en los aceites comestibles (Berk, 1980). Cabe resaltar que aun cuando se le incluye en el grupo de las vitaminas liposolubles, la vitamina E presenta pocos efectos tóxicos en dosis elevadas. Ramírez-Mella *et al.* (2013) ofrecieron hasta 12,000 UI al día a bovinos de leche sin reportar efectos negativos. El NRC (2000) recomienda solo de 50 a 100 UI de vitamina E diariamente para crecimiento de novillos de engorda en finalización; sin embargo,

para obtener beneficios a nivel de sistema inmunológico y lograr impactos en la calidad de la carne se pueden incrementar las dosis. Los tocotrienoles se encuentran en concentraciones elevadas en el aceite de palma, el aceite de coco, el germen de trigo y cebada. Los tocoferoles se hallan en abundancia en los aceites de girasol, cacahuate, ajonjolí y oliva (Packer *et al.*, 2001).

Al suministrar vitamina E se incrementan los niveles plasmáticos de α -tocoferol (Pinotti *et al.*, 2003) y aproximadamente 99% del α -tocoferol en la linfa se transporta en los quilomicrones al hígado y todos los tocoferoles y tocotrienoles tienen esta ruta (BjØrneboe *et al.*, 1990). Posteriormente, el α -tocoferol aparece en plasma, mientras las formas β -, γ -, y δ - se secretan en la bilis o son excretadas en las heces (Brigelius-Flohé y Traber, 1999). En plasma, el α -tocoferol es transportado también por los eritrocitos. El almacenamiento y distribución en el organismo es muy amplio, llevándose a cabo en el hígado, músculo esquelético, tejido adiposo, corazón, pulmón, riñón, bazo, páncreas, adrenales, cerebro y testículos (BjØrneboe *et al.*, 1990; Church *et al.*, 2003).

Los efectos de α -tocoferol y β -caroteno en bacterias ruminales se han estudiado *in vitro* y deben tenerse presente para futuras evaluaciones. Su adición mejora el crecimiento bacteriano en presencia de ácidos grasos poliinsaturados y mejora la digestión de la celulosa debido a un mayor crecimiento de bacterias celulolíticas (Hino *et al.*, 1993), mismas que están relacionadas con las producción de ácidos grasos trans como el ácido vaccénico y el ácido linoleico conjugado, los cuales tienen efectos benéficos en la salud de quienes los consumen. Se ha informado que algunos derivados de α -tocoferol en cultivos de *Butyrivibrio fibrisolvens*: el α -tocopherinolquinona y el α -tocoferinolquinol actúan en el proceso de biohidrogenación como donadores de electrones durante la reducción del ácido linoleico conjugado a ácido vaccénico, eliminando el doble enlace *cis*-9 del ácido linoleico conjugado (Huges y Tove, 1980, 1982). La vitamina E podría actuar como donador de electrones (Pottier *et al.*, 2006). El impacto de esto en dietas altas en grano no ha sido evaluado pues se tendrían poblaciones predominantemente amilolíticas pero podría ser de interés cuando se incluyen altos niveles de lípidos

La vitamina E se ha utilizado en el ganado de engorda para incrementar la vida en anaquel de la carne. La carne es susceptible de deteriorarse a consecuencia de la oxidación de ácidos grasos y pigmentos contenidos en ella, generando olores, sabores y colores desagradables para el consumidor. La vitamina E, a dosis de 1000 UI diarios previene la formación de metamioglobina y la oxidación de ácidos grasos, manteniendo una apariencia agradable para el consumidor por más tiempo (Smith *et al.*, 1996). Al respecto, Montgomery *et al.* (2005) indican que la adición de 224 UI/kg de alimento incrementa el porcentaje de canales “selectas” y disminuyen las “estándar”, de acuerdo con la escala de calidad de la USDA.

Recomendaciones de vitamina E en corrales de engorda

Las respuestas a suplementación de vitamina E en el alimento han sido inconsistentes ya que en algunos estudios la suplementación diaria de 250 UI de vitamina E, en cualquiera de sus formas, ha mostrado efectos positivos en ganancia diaria pero no en otros (Zinn *et al.*, 1996; Carter *et al.*, 2005). El NRC (2000) recomienda una suplementación suficiente para aportar diariamente de 50 a 100 UI. Para animales estresados se recomiendan de 400-500 UI/d.

Otra modalidad de suministro es la aplicación inyectable. La comparación de la aplicación de vitamina E vía subcutánea y la vía intramuscular a becerros recién llegados ha demostrado que se alcanzan niveles de tocoferol plasmático similares (Plascencia *et al.*, sin publicar). Sin embargo, la vía subcutánea representa menor riesgo en afectaciones al músculo. En forma práctica en la recepción se aplica una inyección que contiene una combinación de vitamina ADE, no siendo con esto necesaria la suplementación adicional en alimento.

Para corrales donde se tenga la integración de la comercialización el producto hasta la venta en anaquel se sugiere considerar aumentar la vitamina E en alimento con base a un análisis costo beneficio por los incrementos en el tiempo de la calidad de presentación para el cliente final.

VITAMINA K

La vitamina K consiste en un grupo de compuestos solubles en grasa denominados quinonas los cuales difieren en la naturaleza de su cadena lateral. Está involucrada en diversos factores de coagulación sanguínea y se encuentra en tres formas, dependiendo su origen: la filoquinona o K₁ proveniente de fuentes vegetales, la menaquinona K₂, sintetizada por la flora bacteriana y la menadiolona o K₃, de origen sintético. En los rumiantes la principal fuente de vitamina K es la proveniente de las bacterias ruminales (NRC, 2000).

Las deficiencias de vitamina K en rumiantes son muy escasas debido a que los microorganismos ruminales son capaces de sintetizarla en cantidades suficientes; y solo se presentan en caso de consumo accidental de warfarina, comúnmente usado como raticida y dicumarol, producto del enmohecimiento de los forrajes mal conservados (McDowell, 2000). Las dietas de corral de engorda no son suplementadas con vitamina K.

VITAMINAS HIDROSOLUBLES

El uso de suplementos de vitaminas del complejo B en el ganado de engorda prácticamente es inexistente debido a que se argumenta de que la síntesis de estos compuestos a partir de los microorganismos del rumen son suficientes para cubrir los requerimientos; sin embargo, es probable que los requerimientos de vitaminas del complejo B hayan aumentado por la selección genética y los actuales sistemas de producción y se requiera la suplementación de este grupo de vitaminas protegidas de la degradación ruminal.

TIAMINA

La tiamina forma parte de la carboxilasa la cual es necesaria para reacciones de descarboxilación de cetoácidos, así como para la síntesis de acetilcolina, importante para el impulso nervioso, por lo que su deficiencia causa diversos trastornos neurológicos (McDowell, 2000). La polioencefalomalacia puede presentarse en bovinos de engorda consumiendo dietas con alto contenido de azufre, en esta situación podría ser recomendable incluir en la dieta un suplemento de tiamina (Amat *et al.*, 2013). Otro factor de riesgo para la presentación de polioencefalomalacia es el uso de dietas con altos niveles de melaza (Mella *et al.*, 1976). Actualmente, la inclusión de granos de destilería más solubles (DDGS) en sustitución de maíz grano es una práctica común. Los DDGS tienen alta concentración de azufre, por lo que la inclusión de altos niveles (>20%) puede predisponer la presentación de este problema (Amat *et al.*, 2014).

Se ha informado del uso de tiamina para reducir la incidencia y la gravedad de la polioencefalomalacia inducida por azufre. El ion sulfito es un metabolito intermediario tóxico del azufre en rumiantes tiene la capacidad para destruir la tiamina causando la deficiencia de tiamina que constituyéndose en un factor de riesgo en la etiología de la polioencefalomalacia asociada con el consumo excesivo de azufre (Amat *et al.*, 2013)

Recomendaciones de tiamina en corrales de engorda

Se recomienda supervisar el nivel de azufre que no supere el 0.4% y que se analicen los sulfatos en el agua. Si el agua contiene 1000 ppm de sulfato sería equivalente a 0.13% de S. Debe ponerse atención especial cuando se incorporen granos de destilería más solubles por su contenido de azufre (Nichols *et al.*, 2012).

Si bien algunos investigadores recomiendan la suplementación de 100-500 mg/d de tiamina cuando se presente la polioencefalomalacia algunos trabajos no han logrado demostrar efecto benéfico con dosis de 150 mg/d (Neville *et al.*, 2010) por lo que lo más importante es la prevención del problema. La evaluación de productos de tiamina protegida de la degradación ruminal en corrales es algo que deberá de realizarse y podrá cambiar las recomendaciones de dosis.

BIOTINA

La biotina es una vitamina hidrosoluble que actúa en el metabolismo intermediario como grupo prostético de las carboxilasas. La acetil-coenzima A carboxilasa-1 cataliza la unión de bicarbonato a la acetil-coenzima A para formar malonil-coenzima A para la síntesis de ácidos grasos; la propionil-coenzima A carboxilasa está involucrada en el metabolismo de amino ácidos, colesterol y ácidos grasos de cadena impar; la β -metilcrotonil-coenzima A carboxilasa participa en el metabolismo de la leucina; la piruvato carboxilasa convierte el piruvato en oxalacetato y la acetil-coenzima A carboxilasa-2 regula la oxi-

dación de ácidos grasos. Existen evidencias de que la biotina actúa como un modulador genético involucrada en la expresión de genes, así como en diversas funciones biológicas como en el metabolismo de glucosa y lípidos, y en el sistema inmunológico (Fernández-Mejía y Lazo-de-la-Vega-Monroy, 2011).

La biotina está relacionada con la diferenciación de células epidérmicas ya que se necesita para producción de queratina y el tejido córneo del casco (Al-Qudah e Ismail, 2012). Al respecto, varios estudios en ganado lechero indican que la suplementación de 10 a 20 mg/d de biotina mejora el estado de salud de las pezuñas (Campbell *et al.*, 2000; Fitzgerald *et al.*, 2000; Hedges *et al.*, 2001; Bergsten *et al.*, 2003). De acuerdo con Al-Qudah e Ismail (2012), los niveles séricos bajos de biotina en bovinos se relacionan con desórdenes en las pezuñas de rumiantes (1.89 ng/mL en animales con laminitis vs. 2.83 ng/mL en animales sanos); además de estar positivamente relacionada con enzimas con actividad antioxidante como la glutatión peroxidasa y la glutatión reducida. Estos resultados indican que su uso podría evaluarse en corrales de engorda donde se tengan problemas de pezuñas.

Recomendaciones de biotina en corrales de engorda

Los requerimientos para biotina no están bien establecidos para bovinos en corral de engorda. Basados en resultados de disminución en la frecuencia de problemas de cascos y mejoras ligeras en la productividad de vacas lecheras (Seymour, 1998) se piensa que para ganado de engorda en corral los requerimientos pueden estar en el rango de 10 a 20 mg diarios por animal.

COLINA

La colina es un compuesto similar a las vitaminas que funciona en varias formas, principalmente como fosfolípido. Desempeña un papel importante en la integridad de la membrana celular y está involucrada en la digestión de lípidos y el transporte. Ha sido clasificada como una de las vitaminas del complejo B pero no satisface la definición estándar de una vitamina (Pinotti *et al.*, 2002).

Los primeros experimentos de su uso en rumiantes en crecimiento mostraron respuestas contradictorias, lo que hacía su suplementación cuestionable. Sin embargo, la posibilidad de usar colina protegida de la degradación ruminal requiere reevaluar su uso en corrales de engorda.

En un experimento con novillos la colina ruminalmente protegida aumentó la ganancia de peso en 6.5%, disminuyó el consumo y mejoró la eficiencia en un 12% (Drouillard *et al.*, 1998). Bryant *et al.* (1999) probaron distintos niveles de suplementación de colina en ganado en finalización observado las mejores respuestas (11.6%) en ganancia cuando suplementaron con 0.25%, ganancias intermedias (4.3%) con nivel intermedio de suplementación (0.5%) y sin efecto con 1.0% de suplementación lo cual indica que la dosis debe de establecerse. Resultados similares se obtuvieron en vaquillas en engorda ya que Bindel *et al.* (2000) observaron una respuesta cuadrática con la mejor respuesta con 20 g/d

donde se incrementaron las ganancias en un 8.6%, mientras que dosis mayores afectaron negativamente la ganancia de peso. Existen fuentes de colina vegetal que son una alternativa interesante de evaluar en corrales de engorda dado que tienen un grado de protección natural y su costo es menor que el de otras fuentes protegidas.

NIACINA

La niacina es un componente esencial de dos enzimas co-factores (NADH, NADPH) que están involucrados en más de 200 reacciones en el metabolismo de los carbohidratos, ácidos grasos, y aminoácidos. La disponibilidad de productos protegidos de la degradación ruminal indica que deberán evaluarse en corrales de engorda dado que la mayoría de trabajos han sido realizados en ganado lechero (Pescara *et al.* 2010; Rungruang *et al.*, 2014).

CONSIDERACIONES PARA EL USO DE VITAMINAS DEL COMPLEJO B

La suplementación con vitaminas del complejo B tales como tiamina (Shaver y Bal, 2000), biotina (Chen *et al.*, 2011), colina (Baldi y Pinotti, 2006) y ácido fólico (Girard y Matte, 1998) han demostrado beneficios en salud y productividad en el ganado lechero. Sin embargo, estas vitaminas son rápidamente degradadas en el rumen, en ese sentido, en ganado lechero, han sido determinadas tasas de desaparición ruminal mayores al 97% para riboflavina, niacina y ácido fólico, mayores al 63% para la tiamina y cianocobalamina y mayores al 40% para piridoxina y biotina (Santschi *et al.*, 2005). En ganado de engorda, los valores de escape de vitaminas del complejo B se han determinado en 1,3 10 y 0% para riboflavina, niacina, ácido fólico y vitamina B12, mientras que para tiamina un escape de 52% y de 22% para ácido pantoténico. Aun así, no se observaron efectos benéficos en el comportamiento productivo en becerros suplementados durante 144 días con niveles hasta 10 veces a los recomendados para cerdos aunque se detectó una ligera baja en la tasa de morbilidad (Zinn *et al.*, 1987). Estos mismos investigadores concluyen que el flujo a intestino de las vitaminas del complejo B pueden ser estimadas con precisión a través del nivel de consumo y la composición de la dieta y que aparentemente el ácido pantoténico y ácido fólico pueden ser marginales en condiciones de bajo consumo y alto estrés, tal como sucede con becerros ligeros recién llegados al corral.

Esto abre una pauta para retomar el estudio del papel de las vitaminas del complejo B en los actuales sistemas de producción de carne bovina, principalmente en la evaluación de vitaminas protegidas de la degradación ruminal mismas que han desarrollado diferentes laboratorios y empresas de aditivos alimenticios.

VITAMINA C

La vitamina C, o ácido ascórbico, tiene el potencial antioxidante tanto en el medio intracelular (eliminando radicales libres del metabolismo celular) como en la membrana (donando electrones para reciclar el α -tocoferol). La vitamina C puede donar uno o dos electrones en reacciones de óxido-reducción; al perder un electrón el ascorbato (vitamina C) se convierte en un radical libre, el cual es estabilizado y de este modo es poco reactivo (May, 1999; Meister, 1994).

La utilización de vitamina C en rumiantes es limitada debido a que puede ser sintetizada a partir de la glucosa, por lo que el NRC (2000) no indica requerimiento para ganado de engorda, motivo por el cual existe poca investigación al respecto. Sin embargo, se ha demostrado que la vitamina C puede afectar la calidad de la canal, especialmente cuando la dieta del ganado es alta en azufre. Pogge y Hansen (2013ab) recomiendan suministrar 10 g de vitamina C diarios cuando la dieta contiene 0.5% o más cantidad de azufre particularmente cuando se incluyen granos de destilería en corrales de engorda. Aun no existen fuentes protegidas de vitamina C para su evaluación en rumiantes.

MANEJO DE VITAMINAS

La estabilidad de las vitaminas solubles liposolubles en alimentos se ve disminuida por la exposición a la luz ultravioleta (luz solar), el oxígeno, el calor, grasas y aceites, la humedad y minerales traza. Las vitaminas son más estables cuando el alimento se almacena en lugares oscuros, secos y fríos en forma concentrada original o diluidas con granos o alimento seco. La actividad se pierde cuando se combinan con premezclas de minerales traza. Las vitaminas se pueden proporcionar de manera segura en cualquier suplemento seco (granulada o no) o líquido. La estabilidad no debe ser una preocupación importante a menos que un suplemento se almacene durante un período prolongado de tiempo.

CAPÍTULO XII

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

G.D. MENDOZA M., P.A. HERNÁNDEZ G.,
M.M. CROSBY G., C. ORTEGA N.

No existe acuerdo sobre la definición del término requerimiento nutricional. Por ejemplo Morris (1983) indicó que “nadie está tratando de estimar el requerimiento para un nutriente, porque el término requerimiento no es útil”. Al respecto Baker (1986) opinaba que el principal problema para la determinación de los requerimientos es que “no existe ningún dogma universalmente aceptado para saber el significado del requerimiento”. Mercer y Dodds (1985) mencionaron que el término requerimiento es vago, sin una definición precisa, y enfatizaron que el término como requerimiento y óptimo deben ser definidos en un esquema de un modelo matemático que aporte las bases para su utilización. Posteriormente, Mercer *et al.* (1987) definieron requerimiento como la concentración dietaria necesaria para producir un promedio de respuesta deseado.

El problema de la estimación es más complicado cuando se considera que las relaciones entre nutrientes pueden modificar los requerimientos de otros. Ammerman (1987) quien ha estudiado requerimientos de minerales en rumiantes, afirmó que no hay un valor de requerimientos para un elemento mineral y que en teoría hay una serie de niveles requeridos. Existen otros problemas relacionados con la experimentación en la determinación de requerimientos como la variación de contenido de nutrientes en alimentos y en dietas (Lerman y Bie, 1975) y la variación animal (Carpenter, 1971). Otros factores relacionados con las técnicas y variables son revisados extensamente por Baker (1986).

A pesar de que no existe una definición ni consenso del concepto de requerimiento en experimentos de dosis respuesta, se pueden utilizar modelos matemáticos para obtener un valor que pueda servir como base para las prácticas de alimentación. Mercer (1980) indicó que los modelos matemáticos deben tener las siguientes características: 1) describir la respuesta al nutriente a varios niveles del consumo, 2) describir las respuestas producidas por los diferentes tipos de nutrientes y las fuentes de éstos, 3) describir las respuestas en varias especies de organismos superiores, y 4) tener un significado biológico y matemático.

Los principales requerimientos en la producción de engorda son los de energía y los de proteína, pero eso no significa que no deben de desatenderse los de todos los minerales y vitaminas. Anteriormente se usaban los requerimientos del NRC (1984) los cuales consideran el tamaño de la raza (talla mediana y grande), se basan en un gran número de datos para calcular el valor energético de los alimentos, consideran algunos ajustes para efectos del proceso de alimentos y del medio ambiente en los requerimientos y presenta una relación de ecuaciones de predicción de consumo y ganancia de peso, así como la estimación de consumo de agua. Actualmente se usan los requerimientos del NRC (2000).

Los requerimientos de energía son uno de los principales aspectos en un corral de engorda, por lo que debemos recordar que ésta dependen del peso metabólico, la tasa de crecimiento deseada, los gastos de actividad y los cambios en el metabolismo por el medio ambiente en condiciones fuera de la termoneutralidad, el sexo y la edad fisiológica. Se estima que los requerimientos de mantenimiento varían de 3 a 14% por sexo, raza y edad fisiológica. Un aspecto imprescindible cuando se alimenta a animales con dietas más energéticas, es el hecho de que la eficiencia de la utilización de la energía se mejora al aumentar la energía de la dieta (Cuadro 12.1).

Cuadro 12.1 Eficiencia de utilización de la energía metabolizable para mantenimiento y ganancia de peso.

EM Mcal/kg	Relación Forraje: concentrado	Eficiencia	
		Mantenimiento	Ganancia
2.0	100:0	57.6	29.6
2.2	83:17	60.8	34.6
2.4	67:33	63.3	38.5
2.6	50:50	65.1	41.5
2.8	33:17	66.6	43.9
3.0	17:83	67.7	45.8
3.2	0:100	68.6	47.3

Fuente: NRC (1984).

La Energía Neta (EN) para crecimiento es definida como el total de energía depositada en el tejido (grasas y proteína). La cantidad de grasas y proteína retenida depende del consumo de energía sobre las necesidades de mantenimiento, de la tasa de crecimiento (relacionada con el peso maduro). La Energía Neta de ganancia (ENg) en animales implantados contiene 5% de energía menos por unidad de ganancia (NRC, 1984).

Los requerimientos de energía de cualquier raza está relacionados a su peso maduro, por lo que existen diferencias en la utilización de la energía entre razas. Este aspecto debería tomarse en cuenta para la selección de peso de venta. Se podría vender bovinos de razas chicas a 350 kg; cruzas y animales de talla

media a 400 kg, y razas grandes a 450 kg; y obtener así mayor eficiencia en la utilización del alimento. Para comprender esta aseveración, es importante tener presente el concepto de peso equivalente y considerar que a un mismo peso, el contenido de grasa y proteína es diferente para dos razas de talla distinta (Cuadros 12.2 y 12.3).

Cuadro 12.2 Peso equivalente de algunas razas.

Raza	Peso equivalente, kg			
Angus, Hereford	180	250	325	400
Cebuinos	225	320	400	500
Charolais, Holstein y Chanina	270	380	490	600

Fuente: Minish y Danny (1982).

Cuadro 12.3 Requerimientos de energía (Mcal/día) para novillos con ganancia de 1.1 kg/día.

Talla	PV kg	ENm	ENg	ENt
Chica	300	5.21	4.94	10.15
Mediana	300	5.21	3.98	9.19
grande	300	5.21	2.37	7.58

Fuente: Elaborado con datos de NRC (1984).

Existen otros sistemas de expresión de requerimientos de energía como el propuesto por los británicos llamado Sistema de energía metabolizable de ARC (1980). Este considera la metabolizabilidad de la energía (q) o relación de la energía metabolizable/bruta de un alimento y el tamaño de la raza. El Sistema de energía neta o California (Lofgreen y Garret, 1968) representa mejor el fenómeno biológico del crecimiento ya que considera que la energía es usada en forma primordial para mantenimiento y posteriormente para ganancia, y reconocer que existen diferencias en la eficiencia de utilización de la energía para dichas funciones. La Energía Neta es la fracción de la energía bruta consumida que es retenida por el animal o transformada a producto.

Con relación a requerimientos de proteína, hay que tener presente que éstas se requieren en el organismo para múltiples funciones que van desde la síntesis de enzimas, proteínas del músculo, piel y sangre. Desde un punto de vista práctico, debemos estar seguros que las raciones contengan nitrógeno degradable para que los microorganismos del rumen puedan sintetizar proteína y degradar los carbohidratos dietarios.

CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN RACIONES DE ENGORDA

Debido a la complejidad de factores que intervienen en los requerimientos, así como en la gran variación de consumo debido a factores dietarios y ambientales, es necesario expresar los requerimientos con base en la concentración recomendada para las raciones de las distintas etapas del proceso. Estos presentan muchas ventajas operativas y deja a la reponsabilidad del nutriólogo los cambios que considere de acuerdo a características particulares.

En el Cuadro 12.4 se presentan las recomendaciones de especialistas de la Universidad de Nebraska y del Departamento de Agricultura de Estados Unidos para las raciones de recepción. Es importante señalar que en estos sistemas se utilizan altas cantidades de grano por lo que la adición de ionóforos es una práctica obligada. También cabe mencionar que no se debe cambiar drásticamente un sistema de alimentación y que si se quiere incrementar los niveles de granos en la ración hay que hacerlo en forma paulatina, ya que el riesgo de acidosis subaguda permanece en forma continua.

Cuadro 12.4 Concentración de nutrientes recomendada para la recepción y adaptación a dietas altas en grano.

Concepto	Recepción	Ración adaptación I	Adaptación 2
Volumen	1	1	1
Proteína cruda, %	11.5-12.5	11.5-12.0	11.5-12.0
ENg, Mcal/kg	0.94	1.14	1.25
Ca, %	0.5-2.0	0.5-1.5	0.5-1.0
P, %	0.35	0.30	0.30
K, %	1.0-1.25	0.60	0.60
Forraje, %	45	30	20
Días de ración	5-7	5-7	5-7

Fuente: Adaptado de Ricalde *et al*, (1998).

En el Cuadro 12.5 se presentan las recomendaciones para ganado en finalización. En muchas ocasiones, es posible que no logremos formular raciones con esos niveles de energía a menos de que se incluyan grasas en las raciones. En caso de que los ingredientes no permitan alcanzar la energía, se puede reducir a criterio del nutriólogo, teniendo en cuenta que se reducirá la ganancia diaria de peso.

Cuadro 12.5 Concentración de nutrientes recomendada para raciones de finalización en corrales.

Concepto	Ración de finalización		
	1	2	3
Volumen	1	1	1
Proteína cruda, %	11.5-12.0	11.5-12.0	11.5-12.0
ENg, Mcal/kg	1.34	1.41	1.41
Ca, %	0.5-0.7	0.5-0.7	0.5-0.7
P, %	0.3	0.3	0.3
K, %	0.6	0.6	0.6
Forraje, %	15	10	8

Fuente: Adaptado de Ricalde *et al*, (1998).

Uno de los aspectos más importantes en la industria de corrales de engorda es la predicción de las ganancias y del consumo, ya que esto permite hacer un análisis de decisiones y de costos. A continuación se describen los pasos de un sistema que puede ser usado para predecir el comportamiento de bovinos.

CONOCIMIENTO DE LAS RACIONES EN BASE HÚMEDA

Lo primero que se necesita conocer es la situación actual del corral y conocer las raciones utilizadas; por ejemplo, la ración del Cuadro 12.6.

Cuadro 12. 6 Ración en base húmeda usada en corral de engorda.

Ingrediente	%	kg / kg
Paja de trigo	19.0	0.19
Harinolina	8.2	0.082
Melaza	18.0	0.18
Urea	0.6	0.006
Sorgo	35.0	0.35
Heno de alfalfa	17.0	0.17
Premezcla mineral	2.2	0.022
Total	100.0	1.0

ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Es imprescindible la información sobre el contenido de algunos nutrientes o bien obtener el valor de algunas tablas de composición. Para la predicción del comportamiento se requiere conocer el valor energético y el contenido de proteína. El análisis crítico de los ingredientes en forma global debe hacerse todo el tiempo. Para el ejemplo asúmanse los valores de composición del Cuadro 12.7.

Cuadro 12. 7 Nutrientes de los alimentos de la ración.

Ingrediente	%		Mcal / kg		
	Materia seca	Proteína cruda	ENm	ENg	EM
Paja de trigo	93.5	3.8	0.89	0.34	1.73
Harinolina	94.6	45.4	1.49	0.89	2.35
Melaza	80.5	2.3	1.97	1.32	2.92
Urea	100.0	280.0	-	-	-
Sorgo	91.0	10.3	1.95	1.30	2.90
Heno de alfalfa	91.0	16.5	1.43	0.84	2.30
Premezcal mineral	100.0	-	-	-	-

Para predecir el contenido energético de los alimentos con base en el análisis del laboratorio, se puede utilizar la relación entre la digestibilidad y el total de nutrientes digeridos (TND) ajustado por el contenido mineral (Fernández-Rivera *et al.*, 1989) y con las relaciones descritas por el NRC (1984). Para esto se puede utilizar el valor de la digestibilidad *in vitro* (DIGIV) de la materia seca, y si no se conoce el de la digestibilidad de la materia orgánica, se puede usar un promedio de 8% de minerales:

$$TND (\%) = DIGIV * 0.92$$

$$EM (Mcal/Kg MS) = 3.62 * \left(\frac{TND}{100} \right)$$

$$ENm = 1.37EM - 0.138 EM^2 + 0.0105 EM^3 - 1.12$$

$$ENg = 1.42 EM - 0.174 EM^2 + 0.0122 EM^3 - 1.65$$

CÁLCULO DE RACIÓN EN BASE SECA

Para conocer la fórmula de la ración en base seca se multiplica el porcentaje de la materia seca de cada ingrediente por su proporción en la ración y ajusta a 1 kg de materia seca por simple regla de tres (Cuadro 12.8).

Cuadro 12.8 Cálculos para estimar un kilogramo de ración en base seca.

Ingrediente	kg / kg	MS	(kg/ kg) *MS	Ajustado 1 kg
Paja de trigo	0.19	93.5	17.77	0.20
Harinolina	0.082	94.6	7.76	0.09
Melaza	0.18	80.5	14.49	0.16
Urea	0.006	100.0	0.60	0.10
Sorgo	0.35	91.0	31.85	0.35
Heno de alfalfa	0.17	91.0	15.47	0.17
Premezcal mineral	0.022	100.0	2.20	0.20
Total	1.0		90.13	1.0

ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE NUTRIENTES

Una vez que se conocen las proporciones de los alimentos en base seca y su contenido de proteína y de energía, se multiplican por su proporción y se suman para obtener el resultado, por ejemplo, para calcular el contenido de proteína se muestran los cálculos en el Cuadro 12.9.

Cuadro 12.9 Cálculos para estimar el contenido de proteína de la ración.

Ingrediente	Ración ajustada a 1 kg	Proteína cruda	Aporte de Proteína
Paja de trigo	0.20	3.8	0.75
Harinolina	0.09	45.4	3.91
Melaza	0.16	2.3	0.37
Urea	0.01	280.0	1.86
Sorgo	0.35	10.3	3.64
Heno de alfalfa	0.17	16.5	2.83
Premezcal mineral	0.02	-	-
Total	1.0		13.36

La ración tiene 13.36% de proteína cruda en base seca. Los cálculos para estimar el contenido de energía de mantenimiento y de ganancia y de energía metabolizable se hacen de la misma forma. Los cálculos para la concentración de energía neta de mantenimiento se presentan el Cuadro 12.10.

Cuadro 12.10 Cálculos para estimar la concentración de energía de mantenimiento de la ración.

Ingrediente	Ración ajustada a 1 kg	ENm Mcal /kg	Aporte de ENm
Paja de trigo	0.20	0.89	0.17
Harinolina	0.09	1.49	0.13
Melaza	0.16	1.97	0.32
Urea	0.01	-	-
Sorgo	0.35	1.95	0.69
Heno de alfalfa	0.17	1.43	0.24
Premezcal mineral	0.02	-	-
Total	1.0		1.55

La ración tiene 1.55 Mcal/kg ms de ENm. En el Cuadro 12.11 se muestran los cálculos para obtener la concentración de energía neta de ganancia.

Cuadro 12.11 Cálculos para estimar la concentración de energía de ganancia de la ración.

Ingrediente	Ración ajustada a 1 kg	ENg Mcal /kg	Aporte de ENg
Paja de trigo	0.20	0.34	0.07
Harinolina	0.09	0.89	0.08
Melaza	0.16	1.32	0.21
Urea	0.01	-	-
Sorgo	0.35	1.30	0.46
Heno de alfalfa	0.17	0.84	0.14
Premezcal mineral	0.02	-	-
Total	1.0		0.96

La ración tiene una ENg de 0.96 Mcal/kg ms. Para predecir el comportamiento es recomendable conocer la Energía Metabolizable (EM), la cual se calcula en la misma forma (Cuadro 12.12). La ración tiene 2.43 Mcal/kg ms de energía metabolizable.

INFORMACIÓN DE LOS ANIMALES Y LA TEMPERATURA AMBIENTAL

Es necesario definir el promedio de peso vivo inicial para calcular los requerimientos de Energía de Mantenimiento y conocer la temperatura ambiental. La temperatura es importante ya que en condiciones de estrés calórico se incrementan los requerimientos de metabolismo basal o sea que se incrementan los requerimientos de energía neta de mantenimiento.

Cuadro 12.12 Cálculos para estimar la concentración de energía metabolizable de la ración.

Ingrediente	Ración ajustada a 1 kg	EM Mcal /kg	Aporte de EM
Paja de trigo	0.20	0.34	0.34
Harinolina	0.09	0.89	0.20
Melaza	0.16	1.32	0.47
Urea	0.01	-	-
Sorgo	0.35	1.30	1.03
Heno de alfalfa	0.17	0.84	0.39
Premezcal mineral	0.02	-	-
Total	1.0		2.43

Si existe estrés calórico o la temperatura (T) promedio diaria es mayor a 25 °C podemos usar la ecuación publicada por Mendoza *et al.* (1993), basada en los resultados de Ames (1985) para obtener un factor de ajuste (Ft):

$$Ft=0.6633+0.016 T$$

Los requerimientos de mantenimiento (ENm) son calculados con base en el peso metabólico que es el peso vivo (PV) elevado a 0.75 (NRC, 1984):

$$ENm (M cal/d)=0.77 * PV^{0.75}$$

Si existe estrés calórico, el requerimiento de ENm sería:

$$ENm (M cal/d)=(0.77 * PV^{0.75}) * Ft$$

Estos son los ajustes mínimos del requerimiento de ENm, y podría verse incrementados por actividad (ARC, 1980), por exceso de nitrógeno degradable en la ración y por desaminación de proteína (Mendoza *et al.*, 1993).

En el mismo ejemplo, un animal de 260 kg de peso vivo sin estrés calórico:

$$ENm (M cal/d)=0.77 * 260^{0.75}=5.30$$

ESTIMACIÓN DE CONSUMO

Uno de los aspectos más difíciles es la predicción del consumo de Materia Seca (CMS), ya que como se vio anteriormente, éste será afectado por el tipo de grano, nivel de forraje, temperatura ambiental, presencia de aditivos alimenticios, peso vivo, problemas de acidosis y otros factores.

En esta sección presentaremos cuatro fórmulas de estimación de consumo. En este ejemplo se usa el promedio de las cuatro estimaciones para el cálculo; sin embargo, es libertad del lector usar la fórmula que más se acerque a sus condiciones de acuerdo con su experiencia.

El sistema ARC (1980) tiene una fórmula de predicción basada en la concentración de energía metabolizable de la ración.

(EM, Mcal/ kg MS). Esta fórmula tiende subestimar el consumo:

$$CMS \text{ (kg/d)} = PV^{0.75} \times (0.1168 - 0.01059 EM)$$

Con base en resultados de los corrales de engorda de la Universidad de Oklahoma, Owens y Gill (1982) proponen la siguiente fórmula:

$$CMS \text{ (kg/d)} = 0.197 \times PV^{0.67}$$

El NRC (1984) establece la siguiente ecuación:

$$CMS \text{ (kg/d)} = PV^{0.75} \times (0.1439 ENM - 0.046 ENM^2 - 0.01096)$$

Se obtuvo aquí una ecuación de regresión polinomial para estimación del consumo, basada en el Peso Vivo (PV) y en el porcentaje de Forraje (F). Para esto es necesario sumar los forrajes de la ración y considerar su proceso físico; por ejemplo un forraje molido no debe considerarse, pues limita el consumo:

$$CMS \text{ (kg/d)} = 0.027578 PV - 0.0001 PV^2 + 0.064621 (f/100) - 0.00074 (f/100)$$

Es importante tener presente que estas fórmulas son para estimar el consumo en corrales de engorda y no pueden aplicarse a condiciones de pastoreo.

Al continuar con el ejemplo, calcúlese el consumo de la ración con las ecuaciones:

$$CMS \text{ (kg/d)} = 260^{0.75} \times (0.1168 - 0.01059 \times 2.43) = 5.89$$

$$CMS \text{ (kg/d)} = 0.197 * 260^{0.67} = 7.56$$

$$CMS \text{ (kg/d)} = 260^{0.75} * (0.1439 * 1.55 - 0.046 * 1.55^2 - 0.01096) = 6.58$$

$$CMS \text{ (kg/d)} = 0.027578 * 260 - 0.0001 * 260^2 + 0.064621 * (19/100) - 0.00074 * (19/100).046 = 7.03$$

Para este ejercicio se asumió que el heno de alfalfa estaba molido por lo que el único forraje que se utilizó en los cálculos es la paja de trigo. Debido a que las ecuaciones consideran diferentes variables independientes, tomamos el promedio de las cuatro estimaciones para nuestros cálculos de predicción:

$$CMS \text{ (KG/D)} = \frac{(5.89 + 7.56 + 6.58 + 7.03)}{4} = 6.77$$

Si se desea, se pueden aplicar otros factores al consumo como sería el efecto de reducción por la adicción de ionóforo.

ESTIMACIÓN DE LA GANANCIA

La estimación del comportamiento se hace con base en el sistema California de Lofgreen y Garret (1968) para lo cual, primero se calcula el Consumo de Materia Seca para mantenimiento (CMSm), o la cantidad de alimento que se requiere para funciones de mantenimiento:

$$CMSm = \frac{\text{Requerimiento ENM}}{ENM, \left(\frac{\text{Mcal}}{\text{kg}} \text{ MS de la ración} \right)}$$

$$CMSm = \frac{5.30 \text{ Mcal/d}}{1.55 \text{ Mcal/kg}} = 3.42 \text{ kg}$$

Esto significa que se necesitan 3.42 kg de ese alimento para mantenimiento y que el resto se puede utilizar para ganancia. Es importante analizar que si se aumenta el requerimiento de ENM por temperatura u otros factores, se aumentaría el CMSm; lo cual reduciría la retención de energía. Por otro lado, la única forma de reducir el CMSm es aumentando la cantidad de energía de la ración, por lo tanto resultaría en mayor alimento para ganancia de peso.

Una vez que se conoce el CMSm se calcula el consumo de materia seca para ganancia (CMSg) simplemente restando el consumo estimado del CMSm:

$$CMSg \text{ (kg/d)} = CMS - CMSm$$

$$CMSg \text{ (kg/d)} = 6.77 - 3.42 = 3.35$$

Para que exista ganancia de peso, el CMS debe ser mayor al CMSm. Posteriormente se calcula la Energía Retenida (ER) que corresponde a la energía en grasa y proteína despositada en la canal, y después la Ganancia Diaria de Peso (GDP), utilizando ecuaciones del NRC (1984):

$$ER \text{ (Mcal/d)} = CMSg * ENG \text{ Mcal/kg MS de la relación}$$

$$ER \text{ (Mcal/d)} = 3.35 \text{ kg} * 0.96 \text{ Mcal/kg} =$$

$$GDP \text{ (kg/d)} = 13.91 * PV^{0.6837} * ER^{0.9116}$$

$$GDP \text{ (kg/d)} = 13.91 * 2.60^{0.6837} * ER^{0.9116} = 0.902$$

ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA

Finalmente es importante considerar la estimación de la conversión alimenticia (CA):

$$\text{Conversión alimenticia} = CMS / GDP$$

$$\text{Conversión alimenticia} = 6.77 / 0.902 = 7.50$$

Aquí es posible considerar cuáles sería los efectos de usar aditivos o promotores de crecimiento; por ejemplo, si esperamos un 10% de mayor ganancia en animales implantados, la GDP sería:

$$1.10 * 0.902 = 0.992$$

Lo cual mejoraría la eficiencia en:

$$\text{Conversión alimenticia} = 6.77 / 0.992 = 6.82$$

Con esa ganancia se pueden hacer proyecciones sobre la duración de la engorda; también se pueden simular condiciones al modificar la ración, al incrementar el nivel de grano y/o con la inclusión de grasas o cualquier ingrediente. Es recomendable aprender a usar algún programa de hoja de cálculo para hacer estas operaciones en el tiempo mínimo.

ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOTE POR MEDIO DE LA EFICIENCIA ALIMENTICIA

Cuando se analiza el comportamiento de un grupo de animales, se puede apreciar variaciones en los indicadores como es la GDP y CMS, sin embargo, la conversión alimenticia conjunta los indicadores antes mencionados y permite de forma paralela tomar decisiones respecto al desarrollo de los animales.

Para análisis de sistemas de producción de bovinos en corral de engorda, la eficiencia alimenticia (EA) se expresa en (%), se considera un indicador factible para determinar la situación dentro del propio sistema, así como entre otros sistemas de producción de alimentos (Peters *et al.*, 2014).

En una revisión de 13 autores, analizando un total de 60 tratamientos de bovinos en corral de engorda se registró un valor promedio de eficiencia de 0.173 ± 0.02 , el valor máximo reportado fue de 0.235% y un valor mínimo de 0.146%, obteniendo una brecha entre el máximo y mínimo de 37 unidades porcentuales. Lo que implica un análisis a fondo de las causas de dicha diferencia.

Para mostrar la importancia del análisis de la EA, es necesario estimar de manera cuantitativa los consumos de energía y proteína en función a la EA; Zinn *et al.* (2003) al ofrecer una dieta (heno de pasto Sudán 6%, heno de alfalfa 4%, cebada en hojuela 76%, melaza de caña 5%, grasa amarilla 5%, bicarbonato de sodio 0.75%) con distintos niveles de urea en la dieta (0 a 1.2%), reportaron valores similares de eficiencia entre los distintos tratamientos, sin embargo, las ganancias de peso, así como otros indicadores fueron distintos.

Para analizar lo anterior, se presentan los valores reportados por Zinn *et al.* (2003) en el Cuadro 12.13. Los resultados muestran que la ganancia diaria de peso se incrementó al aumentar el nivel de urea, tendiendo a ser máximo (1.53 kg/d) con un nivel de urea en la dieta de 0.8%. Lo que significa una optimización al utilizar urea en la dieta para bovinos. Al incrementar el nivel de urea en la dieta se incrementó la digestión ruminal del almidón. La digestión del almidón en el total del tracto fue similar en todos los tratamientos. La digestión de la materia orgánica total se optimizó utilizando 0.4 y 0.8% de urea en la dieta.

En la actualidad los requerimientos nutrimentales deberán estimarse no solo en función al nivel de producción deseado, además, deberán considerarse

aspectos de optimización y minimización de compuestos excretados por los animales al ambiente. En los datos presentados en el Cuadro 12.13, se observa que la EA es similar en todos los tratamientos, sin embargo, la optimización de la ganancia diaria de peso no es igual en todos los tratamientos. La excreción de N tendió a ser mínimo al utilizar 0.8% de urea en la dieta.

Lo anterior implica que al estimar los requerimientos nutrimentales no solo se debe considerar la proteína cruda y la ENg, además, deberá contemplarse el requerimiento de proteína metabolizable, las necesidades de proteína degradable en rumen, los valores de eficiencia alimenticia, necesidades de minerales, vitaminas, optimización y las cantidades que desecha el animal de los distintos compuestos (óxido nitroso, metano y CO₂).

Cuadro 12.13 Indicadores productivos, consumos de proteína y energía utilizando distintos niveles de urea en la dieta.

Item	Urea en la dieta (%)			
	0	0.4	0.8	1.2
Composición nutrimental (Materia seca)				
ENm, Mcal/kg	2.10	2.09	2.08	2.07
ENg, Mcal/kg	1.43	1.42	1.41	1.40
Proteína cruda, %	10.50	11.50	12.50	13.50
Indicadores productivos				
GDB, kg	1.37	1.43	1.53	1.48
Consumo, kg/d	6.77	6.98	7.30	7.34
Conversión	4.94	4.88	4.77	4.95
EA (%)	0.202	0.204	0.209	0.201
Digestión del almidón en rumen, %	88.00	91.30	92.40	93.10
Digestión de la MO en rumen, %	62.20	63.70	65.30	64.40
Digestión total de MO, %	79.20	81.10	81.10	79.50
Digestión total del almidón, %	99.10	99.40	99.50	99.50
Digestión total del N, %	67.90	73.20	75.80	75.60
Excreción fecal de MO, g/d	1157	1064	1063	1158
Excreción fecal de almidón, g/d	24.5	16.3	12.9	12.7
Excreción fecal de N, g/d	32.2	29.8	29.2	31.9
Consumos				
Proteína, g/día	710	802	912	991
ENg, Mcal/día	9.68	9.91	10.29	10.27

EA=Eficiencia alimenticia; MO=materia orgánica.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Finalmente es fundamental hacer un análisis económico, el cual será tan completo como la información que se le proporcione. Estos análisis deberán considerar al menos los siguientes aspectos: días de engorda, peso inicial, costo del ganado al entrar al corral, costo en pie, costo financiero del ganado (con base en interés bancario), costo de alimentación, costo financiero del alimento (con base en interés bancario), gastos generales (costo de producción, manejo, administración, consultoría, medicinas, depreciaciones, mortandad, flete a rastro y distribución, sacrificio, etc.), costo total, recuperación por víceras y piel, costo/kg de canal y otros. Es de utilidad expresar la rentabilidad como porcentaje de los costos de producción para poder comparar con otras explotaciones (Mendoza *et al.*, 2015). No se debe de olvidar que el proceso de producción de carne es una industria y se deben tomar decisiones con base en la relación costo-beneficio.

FORMULACIÓN DE RACIONES

Existen innumerables métodos de formulación de raciones (Mendoza y Ricalde, 1993) los cuales han sido descritos en otros libros (Trujillo, 1987). De todos éstos, se debe utilizar la programación lineal para poder reducir los costos de alimentación que representan el principal costo de producción en un corral de engorda. Es importante aclarar que la programación lineal funciona cuando se establecen las ecuaciones y restricciones con base a un fundamento biológico y conocimiento de requerimientos y de niveles adecuados de alimentos para los animales.

PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es una técnica matemática usada en problemas de optimización de recursos, la cual fue desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial para la fabricación de productos bélicos. En la postguerra se empezó a usar en el estudio de sistemas de producción. La aparición de las computadoras y calculadoras programables hacen de ésta una técnica accesible, y no existe justificación para que los estudiantes de áreas de la producción animal no la utilicen adecuadamente en la optimización de alimentos. Se pueden resolver problemas con el Excel o con programas gratuitos de la red.

La palabra programación se refiere a la planeación de actividades, el término lineal a que éstas son solucionadas por un sistema de ecuaciones lineales. Existen innumerables usos de esta técnica en el área agropecuaria (Hardaker, 1971; Beneke y Winterboer, 1973); inclusive se ha usando para estudiar el balance de la fermentación ruminal (Baldwin y Reich, 1975).

Esta técnica se resuelve con cualquier computadora personales que tenga Excel o con calculadoras programables (poco usadas). La metodología mate-

mática y algunos programas se encuentran publicados en libros de sistemas y de programación lineal (Heady y Candler, 1964; Gass, 1980; Mora, 1986).

Se resume el proceso de la programación lineal en seis etapas: 1. definir el problema de optimización; 2. traducción del problema a un sistema de ecuaciones o elaboración del modelo; 3. resolución con ayuda de una computadora; 4. interpretación de la solución matemática; 5. modificaciones al modelo; y, 6. solución real y recomendaciones prácticas.

Entre las primeras consideraciones al usar la programación lineal se tiene que definir la especie, los alimentos con que se cuenta, la concentración de nutrientes (previamente basado en análisis de laboratorio confiables), los costos y disponibilidad, las limitante fisiológicas o prácticas de uso de los insumos y los requerimientos de los animales de acuerdo a su etapa fisiológica o a las alteraciones ambientales en los mismos.

Otro aspecto que se debe considerar se refiere a que en la formulación de raciones no se balancean raciones a cubrir requerimientos exactos, sino que existen rangos de variación que son fijados en el modelo. Estos rangos se fijan con base a criterios del formulador.

ELABORACIÓN DE MODELO

Es necesario plantear el problema de optimización en forma de un modelo. Los modelos se componen de una función objetivo, variable y restricciones.

FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo es llamada “Z” en algunos libros de Programación lineal, representa la ecuación del criterio que se pretende optimar; en el caso de la formulación de raciones corresponde al costo. Por ejemplo:

$$Z = 250 X_1 + 500 X_2 + 300 X_3 + 150 X_4 +$$

donde X_1 , X_2 , X_3 y X_4 son ingredientes (por ejemplo: rastrojo de maíz, sorgo, melaza, gallinaza); el coeficiente corresponde al kg de materia seca del ingrediente. Este punto es importante ya que en la formulación de raciones para ruminantes los nutrientes se expresan en base seca y el costo por kg de materia seca.

Cuadro 12.13 Establecimiento de la función objetivo para formular una ración.

	Rastrojo de maíz X_1	Sorgo X_2	Melaza X_3	Gallinaza X_4
Z=	250	500	300	150

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Para calcular el costo de un ingrediente en base seca, se considere lo siguiente: si 1 kg de ensilaje de maíz cuesta \$ 0.50 y cada kilogramo tiene 40% de humedad, entonces cada kg tiene 0.600 kg de materia seca y estamos pagando \$ 0.50 por 0.600 kg. Se hace una regla de tres para calcular el costo por kg de materia seca:

$$\begin{array}{rcl} \$ & \text{-----} & 0.60 \\ 0.50 & \text{--} & \text{kg} \\ X & \text{-----} & 1.0 \\ & \text{--} & \text{kg} \\ X = & \$ & 0.83 \end{array}$$

Entonces 1 kg cuesta 0.83 pesos. En la función objetivo del modelo se deben de incluir los costos por kg de materia seca. Es importante señalar que la ecuación de la función objetivo no se debe considerar dentro de la matriz del modelo.

RESTRICCIONES

Las restricciones son las ecuaciones (hileras en la matriz) de los distintos nutrientes que consideramos como volumen, proteína mínima, proteína máxima, ENm, ENg, calcio, fósforo, magnesio, zinc, vitamina A, etc., y las restricciones de los alimentos que tienen alguna limitante en su uso, como la urea, melaza, gallinaza y grasas entre otros. En las ecuaciones de la matriz se puede usar los signos de =, < y >, para establecer los límites de los nutrientes o de los ingredientes. La primera ecuación que se elabora es la del volumen. Por ejemplo, deseamos balancear 1 kg de materia seca con los ingredientes que se cuentan:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$$

Nótese que no se indica ninguna cantidad específica de cada ingrediente, sino que la solución debe estar resuelta en 1 kg. Esto es determinante para poder hacer los cálculos de predicción de comportamiento posteriores y para solucionar más fácilmente y encontrar los nutrientes limitantes. No se recomienda formular raciones por nutrientes al día porque es difícil predecir el consumo voluntario de los animales.

Para ejemplificar el uso de los signos < y >, consideremos que deseamos que la ración tenga al menos 11.5% de proteína cruda y no más de 12.5%. Considerando el contenido de proteína de cada ingrediente se elabora la ecuación:

$$4.4 X_1 + 8 X_2 + 5.8 X_3 + 25 X_4 > 11.5$$

$$4.4 X_1 + 8 X_2 + 5.8 X_3 + 25 X_4 < 12.5$$

En las raciones de corrales de engorda son relevantes las ecuaciones de la ENm y ENg, Para la primera simplemente se formula a > cero y para la ENg se pone la restricción de acuerdo al tipo de dieta (recepción, adaptación 1, adaptación 2, finalización, etc.). Por ejemplo, si desamos una ENm mayor a cero y la ENg mayor de 0.80 Mcal / kg de MS quedarían de la siguiente forma:

$$0.97 X_1 + 2.05 X_2 + 1.69 X_3 + 1.03 X_4 > 0$$

$$0.28 X_1 + 1.41 X_2 + 1.08 X_3 + 0.48 X_4 > 0.80$$

Los minerales son determinantes en el desarrollo de los animales, por lo que en corrales de engorda primero se formulan calcio, fósforo y potasio. Posteriormente deben de chequearse todos los minerales o suministrar premezcla mineral de calidad conocida confirmando que se cubran los requerimientos de todos los elementos. Si se requiere una ración con un mínimo de 0.5% de calcio y máximo de 2% con mínimo de 0.35% de fósforo y 1% de potasio, se considera el porcentaje de cada ingrediente y se elaboran las siguientes ecuaciones:

$$0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 > 0.5$$

$$0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 < 2.0$$

$$0.07 X_1 + 0.33 X_2 + 1.0 X_3 + 2.52 X_4 > 0.35$$

$$2.44 X_1 + 0.39 X_2 + 3.8 X_3 + 2.25 X_4 > 1.0$$

Además de las restricciones de nutrimentos, es necesario poner algunas a los alimentos ya que la computadora puede dar soluciones matemáticas no biológicas. Por ejemplo, en el caso de los alimentos que se utilizan, se debe emplear un mínimo de melaza para dar consistencia y palatabilidad a la ración (5%) y un máximo (12%) ya que existen limitaciones prácticas para mezclar cantidades mayores de melaza. Dado que está formulando a un volumen de 1 kg, entonces el 5% y el 12% deben expresarse en función de dicho volumen:

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 + 0 X_4 > 0.5$$

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 + 0 X_4 < 0.12$$

lo cual se reduce a:

$$1 X_3 > 0.05$$

$$1 X_3 < 0.12$$

Si se desea poner límites a la galleta de un 5% mínimo (por las necesidades de nitrógeno degradable de los microorganismos ruminales) y un máximo de 25% (a niveles mayores se disminuye la eficiencia), entonces las ecuaciones quedarían:

$$1 X_4 > 0.05$$

$$1 X_4 < 0.25$$

Otro aspecto es el nivel de forraje dado que es el principal seguro contra la acidosis subaguda. Entonces limitamos a que incluya un mínimo de 45% los forrajes. En este caso sólo se cuenta con un forraje; pero asumiendo que X es paja de cebada, entonces la ecuación sería:

$$1 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 + 0 X_4 + X_5 > 0.45$$

Si sólo se tiene un forraje (X1) entonces se reduce a:

$$0 X_1 > 0.45$$

Finalmente, la ración debe de escribirse en forma canónica para facilitar su solución en la computadora (véase Cuadro 12.14).

VARIABLES

Existen cuatro tipos de variables en un modelo de programación lineal: las reales, las holgura (slack), las excedentes (surplus) y las artificiales.

Las variables reales son los alimentos o ingredientes que se tienen para solucionar el problema, y entran en forma de columnas en la matriz cuando se elabora en su forma canónica (Cuadro 12.14).

Cuadro 12.14 Modelo de programación lineal para formulación de una ración en corrales de engorda.

Z=		Rastrojo de maíz X ₁	Sorgo X ₂	Melaza X ₃	Gallinaza X ₄
		250	500	300	150
Restricciones					
Volumen	=1	1	1	1	1
Proteína cruda mínima	>11.0	4.4	8	5.8	25
Proteína cruda máxima	< 12.5	4.4	8	5.8	25
ENm	> 0	0.97	2.05	1.69	1.03
ENg	>0.8	0.28	1.41	1.08	0.48
Ca mínimo	>0.5	0.26	0.3	1.0	9.3
Ca máximo	>3.5	0.26	0.3	1.0	9.3
P mínimo	>0.30	0.07	0.33	1.0	2.52
K mínimo	>1.0	2.44	0.39	3.8	2.25
Melaza mínimo	>0.03	0	0	1	0
Melaza máximo	<0.15	0	0	1	0
Gallinaza mínimo	>0.5	0	0	0	1
Gallinaza máximo	<0.30	0	0	0	1
Forraje mínimo	>0.20	1	0	0	0

Fuente: Mendoza (1992).

Toda la ración está en función de 1 kg de volumen y las unidades de cada ecuación son iguales a las del requerimiento (% con %, Mcal con Mcal, etc.). Esto es importante ya que fácilmente se puede ver si existen variables que aportan cantidades mayores y menores al requerimiento para que existan combinaciones factibles de ser solucionadas matemáticamente.

Las variables de holgura (slack) se obtienen en las ecuaciones con signos de < exclusivamente; por ejemplo, si solucionamos el modelo del Cuadro 12.14, encontraremos en la solución que la proteína cruda del resultado es de 11.5% y por lo tanto existe una variable de holgura en la ecuación:

$$4.4 X_1 + 8 X_2 + 5.8 X_3 + 25 X_4 < 12.5$$

la variable de holgura (Slacack) se indicará como:

$$PC \text{ máximo } 1.0$$

Estas variables deben restarse del requerimiento establecido en la ecuación con el signo < para conocer el nivel del nutrimento:

$$12.5 - 1 = 11.5\% \text{ de proteína cruda}$$

Las variables de holgura son elaboradas durante la solución matemática de la matriz para transformar una desigualdad del tipo < a una igualdad.

Las variables excedentes (surplus) son similares a la de holgura pero con la diferencia que se presentan en las ecuaciones con signo > y deben sumarse al requerimiento establecido. Por ejemplo, en la ecuación de ENm, se estableció las siguiente ecuación:

$$0.97 X_1 + 2.05 X_2 + 1.69 X_3 + 1.03 X_4 > 0$$

Durante la solución del modelo del Cuadro 12.14, obtenemos una variables excedente de 1.5 Mcal, por lo que la ración tendría:

$$0 + 1.5 = 1.5 \text{ Mcal ENm}$$

En caso de que el resultado de cualquier ecuación (< ó >) quede en el requerimiento establecido, no parecerá ninguna variable de holgura o excedente. Obviamente las ecuaciones con signo de igualdad no puede tener excedentes u holguras, puedes la solución es exacta.

Con relación a las variables artificiales, éstas son generadas en el proceso de solución del método Simplex y no afectan ninguno de los resultados.

En resumen, la información requerida para la elaboración de un modelo es la siguiente:

1. Costo de los ingredientes disponibles.
2. Nutrimentos de los ingredientes (laboratorio o tablas).
3. Requerimientos (modificaciones particulares).
4. Límites fisiológicos de los alimentos (investigación).
5. Límites prácticos (almacen, mezclado).
6. Elaboración del modelo.

RESULTADOS

Una vez que se cuenta con el modelo elaborado (Cuadro 12.15) se utiliza algún programa y una computadora para soluciones el modelo. Existen en el mercado algunos programas que cuentan con base de datos y análisis de ingredientes. Se recomienda que cada persona elabore su propio modelo de acuerdo a sus necesidades y con base a sus criterios. Además, en la mayoría de las univer-

sidades, se pueden usar estos programas y no se requiere una erogación por la compra de un programa comercial.

Lo primero que se debe hacer es analizar la matriz y checar si existen ingredientes que puedan aportar los nutrientes establecidos. Para esto se compara si existen ingredientes con contenidos mayores y menores al requerimiento. Por ejemplo, si se observa la hilera de la ENg veremos que hay ingredientes cuyo aporte energético es menor (rastroy de maíz) o mayor al requerimiento (sorgo, melaza).

Asimismo, la transferencia de datos y signos a la computadoras debe hacerse con precaución. Errores de tecleo pueden acarrear pérdida de tiempo y problemas para obtener una solución factible. Por ejemplo, si se teclean mal los signos mayor (>) o menor (<) en dos ecuaciones no existiría solución matemática. Por ejemplo, supongamos que se cambian los límites de la gallinaza de esta forma:

$$1 X_4 < 0.05$$

$$1 X_4 < 0.25$$

No existe solución a estas dos ecuaciones y es difícil encontrar estos problemas una vez que se han introducido los datos a la computadora. Este es uno de los principales errores en los que incurren los estudiantes al iniciar sus primeros ensayos con la programación lineal.

Otro problema común es el error en puntos decimales o en números. Imagínese que en lugar de teclear un requerimiento de 0.35% de P se teclea 3.5 5, la ecuación quedaría así:

$$0.07 X_1 + 0.33 X_2 + 1.0 X_3 + 2.52 X_4 > 3.5$$

Esta ecuación no tendría solución factible pues ningún ingrediente tiene más de 3.5% de fósforo. Este problema puede ocurrir con ingredientes, y en algunos casos estos pueden causar toxicidades. Por ejemplo, si se incluyera urea en la ración y en lugar de limitar a 1.5% se limita a 15%, la ración puede causar la mortalidad de un gran número de animales.

Usando la información del Cuadro 12.14 y con cualquier computadora con programación lineal (Excel, Lindo, etc.) se obtiene la solución. La ración (en base seca) que cubre las especificaciones se presenta en el Cuadro 12. 15. La función objetivo (costo por kg de la ración) es de 302.72

Cuadro 12.15 Solución óptima obtenida con programación lineal.

		Costo
Gallinaza	0.2999	150
Rastrojo de maíz	0.2491	250
Sorgo	0.3008	500
Melaza	0.1500	300
Z		302.72

Posteriormente se analizan las variables de holgura y excedente para conocer en qué niveles de nutrimentos se encuentra la ración (Cuadro 12.16). En aquellos nutrientes en los que no hubo variables artificiales, el aporte de la ración está en el valor establecido. Por ejemplo, el volumen en 1 kg, ENg estaría en 0.8 MCal/kg, la gallinaza (máximo) en 0.30 y la melaza (máximo) en 0.15 kg/kg de ración.

Cuadro 12.16 Interpretación de nutrientes en una ración formulada por programación lineal.

Nutrimento	Cantidad	Tipo de Variable
Proteína cruda mínima	0.87	excedente
Proteína cruda máxima	0.67	holgura
Enm	1.42	excedente
Ca mínimo	2.51	excedente
Ca máximo	0.48	holgura
P mínimo	0.72	excedente
K mínimo	0.97	excedente
Melaza mínimo	0.12	excedente
Gallinaza mínimo	0.24	excedente
Forraje mínimo	0.049	excedente

Con esta información y con las restricciones se puede saber el contenido de nutrientes de la ración, recordando que las variable de holgura se resta a la constante requerimientos o nivel establecido y la de excedente se suma:

CAPÍTULO XII REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Proteína cruda mínima	> 11.0	11.0+0.87=11.87 %
Proteína cruda máxima	< 12.5	12.5-0.62=11.88 %
ENm	> 0	0+1.42-1.42 Mcal/kg ms
Ca mínimo	> 0.5	0.5+2.51=3.01 %
Ca máximo	< 3.5	3.5-0.48=3.02 %
P mínimo	> 0.30	0.30+0.72=1.02 %
K mínimo	> 1.0	1.0+0.97=1.97 %
Melaza mínimo	> 0.03	0.03+0.12=0.15 kg/kg
Gallinaza mínimo	> 0.05	0.05+0.24=0.29 kg/kg
Forraje mínimo	> 0.20	0.20+0.04=0.24

Generalmente, en la salida de los programas, se presenta información que puede ser importante para tomar decisiones económicas y/o nutricionales. Desde el punto de vista nutricional proporciona los costos por cambio de nutriente y los niveles máximos y mínimos de nutrientes y alimentos que pueden ser modificados con las restricciones señaladas. Para el caso de la ración formulada los nutrientes aportados se muestran en el Cuadro 12.17. Dentro de los resultados, existen algunos valores exponenciales que no tiene significado biológico; sin embargo, otros valores máximos y mínimos son de utilidad.

Cuadro 12.17 Modificaciones de restricciones para formular una ración por programación lineal.

Restricción	Requerimiento	Mínimo	Máximo
Volumen	= 1	0.96	1.17
PC mínimo	>11.0	- 1 E + 38	11.87
PC máximo	< 12.5	11.87	- 1 E + 38
ENm	> 0	- 1 E + 38	1.42
ENg	> 0.8	0.52	0.85
Ca mínimo	< 3.5	3.01	3.01
Ca máximo	> 0.30	- 1 E + 38	- 1 E + 38
P mínimo	> 0.30	- 1 E + 38	1.02
K mínimo	> 0.10	- 1 E + 38	1.97
Melaza mínimo	> 0.03	- 1 E + 38	0.15
Melaza máximo	< 0.15	2.9 E - 02	0.31
Gallinaza mínimo	>0.05	- 1 E + 38	0.29
Gallinaza máximo	<0.30	0.25	0.33
Forraje mínimo	> 0.20	- 1 E + 38	0.24

Por ejemplo, suponga que se quiere incrementar el contenido de proteína de 11 a 11.5%, de acuerdo al resultado no existe ningún problema para incrementar la proteína ya que ésta puede llegar a un máximo de 11.87%. Cabe mencionar que éstos son máximos y mínimos bajo estas restricciones y con esos ingredientes, pero que al modificar las restricciones, requerimientos, ingredientes o aporte nutricionales de los mismos, se genera una nueva información de máximos y mínimos. Esta información es muy útil para el que se inicia con formulación de raciones por medio de la programación lineal, pues se puede lograr la mejor ración a partir de los límites, obteniendo soluciones factibles del modelo. Cuando la solución no incluye un alimento, la solución proporciona el precio sombra de ingredientes no incluidos en la solución por su costo. En este caso no existe el precio sombra; sin embargo, se ejemplifica en la sección de ejercicios.

ECUACIONES ESPECIALES

Es posible plantear una serie de condiciones deseadas en programación lineal a partir de restricciones especiales.

PROPORCIÓN DE NUTRIENTES

Desde el punto de vista nutricional en ocasiones es conveniente mantener la proporción entre ciertos nutrientes, como pueden ser la relación de calcio-fósforo, energía-proteína, nitrógeno-azufre (cuando se utiliza urea en la ración), a continuación se muestra un ejemplo de cómo se plantean dichas proporciones.

Supongamos que se desea mantener la relación Ca:P en una proporción de 2:1 en la siguiente matriz extractada del Cuadro 12.14:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$$

$$0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 > 0.5$$

$$0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 < 2.0$$

$$0.07 X_1 + 0.33 X_2 + 1.0 X_3 + 2.52 X_4 > 0.35$$

Primero asignamos variables a los requerimientos añadiendo más ecuaciones. X_5 para el de calcio y X_6 para el de fósforo, entonces:

$$X_5 > 0.5$$

$$X_5 < 2.0$$

$$X_6 > 0.35$$

Posteriormente los incluimos en las ecuaciones:

$$\begin{array}{rcl}
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + 0 X_5 + 0 X_6 & = & 1 \\
 0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 + & & > X_5 \\
 0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 + & & < X_5 \\
 0.07 X_1 + 0.33 X_2 + 1.0 X_3 + 2.52 X_4 + & & < X_6 \\
 & & X_5 > 0.5 \\
 & & X_5 < 2.0 \\
 & & X_5 > 0.35
 \end{array}$$

Para poder solucionar las ecuaciones necesitamos dejar las incógnitas de las siguiente forma:

$$\begin{array}{rcl}
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + 0 X_5 + 0 X_6 & = & 1 \\
 0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 - X_5 & & > 0 \\
 0.26 X_1 + 0.03 X_2 + 1.0 X_3 + 9.3 X_4 - X_5 & & < 0 \\
 0.07 X_1 + 0.33 X_2 + 1.0 X_3 + 2.52 X_4 - & & X_6 < 0 \\
 & & X_5 > 0.5 \\
 & & X_5 < 2.0 \\
 & & X_6 > 0.35
 \end{array}$$

Ahora necesitamos una ecuación donde se considere la relación de Ca:P de 2:1, la cual se plantea de la siguiente manera:

$$X_5 \quad X_6$$

$$Ca \quad P$$

$$2 : 1$$

Entonces:

$$X_5 = 2 X_6$$

$$X_5 - 2 X_6 = 0$$

Esta última ecuación se debe integrar al modelo, de tal manera que presentado en la forma canónica se muestra en el Cuadro 12.18.

Cuadro 12.18 Integración de relación calcio fosforo en restricciones para programación lineal.

		Requerimiento					
		Rastrojo de maíz X_1	Sorgo X_2	Melaza X_3	Gallinaza X_4	Ca X_5	P X_6
Z =		250	500	300	150	0	0
Volumen	=1	1	1	1	1	0	0
	> 0	0.26	0.30	1.0	9.3	-1	0
	< 0	0.26	0.30	1.0	9.3	-1	0
	> 0	0.07	0.33	1.0	2.52	0	-1
	> 0.5	0	0	0	0	1	0
	> 2.0	0	0	0	0	1	0
	>0.35	0	0	0	0	0	1
	=0	0	0	0	0	1	-2

Proporción de ingredientes

Es muy sencillo manejar proporciones ente los ingredientes. Por ejemplo supongamos que queremos utilizar cebada (X_1) y sorgo (X_2) en una relación de 3 a 1 debido a sus características fermentativas para obtener los efectos asociativos. La ración tiene rastrojo de maíz (X_3) y paja de trigo (X_4) como forrajes y se desea que la ración tenga al menos 20% de forrajes. Entonces las ecuaciones serían:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$$

$$X_3 + X_4 > 0.20$$

Para definir las proporciones:

$$X_1 \quad X_2$$

$$3 \quad 1$$

Entonces

$$X_1 = 3X_2$$

$$X_1 - 3X_2 = 0$$

Las ecuaciones del modelo serían:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$$

$$X_3 + X_4 > 0.20$$

$$X_1 + 3X_2 = 0$$

OTRAS ECUACIONES

Existen múltiples posibilidades en la elaboración de ecuaciones, las cuales pueden ser propuestas por cada usuario. Lo único que se requiere es poder plantear en términos algebraicos la ecuación. Es recomendable que el lector revise modelos de otras áreas diferentes a las de la producción animal para que tome nuevas ideas. Por ejemplo se pueden plantear ecuaciones para elaborar pmezclas minerales, se pueden plantear modelos que incluyan la formulación de varias etapas fisiológicas a la vez, considerando la capacidad de almacenaje de una planta de alimentos y otros.

CAPÍTULO XIII

IMPLANTES

J.L. ARCOS G., S. M. FERRARO S., A. PLASCENCIA J.,
G.D. MENDOZA M.

Los implantes promotores de crecimiento o agentes anabólicos, se emplean en la engorda de bovinos en confinamiento y pueden ser de tipo natural o sintético. Promueven un mayor crecimiento en forma más eficiente en los bovinos, especialmente de novillos (Duckett y Andrade, 2001), mejorando el rendimiento del músculo de la canal (Roeber *et al.*, 2000), sin afectar las características de calidad de la canal (Smith *et al.*, 2007).

Los implantes se han utilizado en la producción de ganado por más de 50 años (Kamanga-Sollo *et al.*, 2011) y mejoran la tasa de crecimiento del 10 a 30%, la eficiencia de utilización del alimento entre el 5 y 15% y la cantidad de carne magra de 5 a 8% (Mader *et al.*, 1983; Preston, 1999). La respuesta es mayor en animales con alto potencial genético y bajo buen manejo nutricional y general. La presentación de los anabólicos es en forma de pellets los cuales se aplican en forma de implantes subcutáneos en la parte posterior de la oreja de los bovinos (Mader *et al.*, 1983; Figura 10.1), donde el principio activo es liberado lentamente del implante, hacia el torrente circulatorio; y dependiendo del principio del implante, se estimula la liberación de hormonas promotoras del crecimiento.



281

Figura 13.1 Lugar de aplicación del implante anabólico en bovinos

A pesar de que la eficiencia de los implantes ha sido comprobada, su uso no está incorporado en todas las engordas (Montemayor, 1986), por tal motivo, existe la oportunidad de aplicarlos y obtener mayor eficiencia en muchas unidades de producción. Los implantes disponibles que están aprobados pueden ser utilizados de forma inmediata pues son seguros para productores y consumidores (Mader y Arias, 2011).

IMPLANTES MÁS CONOCIDOS

Los implantes más estudiados han sido el dietilestilbestrol, productos a base de lactona del ácido resorcílico, benzoato de estradiol, acetato de trembolona (TBA) y 17 β estradiol (Cuadro 13.1). Algunos ya no están en el mercado como el dietilestilbestrol.

Cuadro 13.1 Implantes promotores de crecimiento aprobados por la Food and Administration de los Estados Unidos para corrales de engorda.

Implante promotor de crecimiento	Año de aprobación
Dietilestilbestrol	1957
Benzoato de estradiol/progesterona (novillos)	1956
Benzoato de estradiol/ propionato de testosterona (vaquillas)	1958
Zeranol, 36 mg (ganado)	1969
Dietilestilbestrol, removido del mercado	1973
Estradiol Silástico (ganado)	1982
Benzoato de estradiol/progesterona (becerros)	1984
Acetato de trembolona (ganado)	1987
Estradiol 17- β / Acetato de trembolona (novillos)	1991
Estradiol 17- β / Acetato de trembolona (vaquillas)	1994
Zeranol, 72 mg (ganado)	1995
Estradiol 17- β / Acetato de trembolona (ganado)	1996

Fuente: Johnson *et al.* (2013).

Los estrógenos son la principal clase de compuestos utilizados en los implantes y los compuestos más usados comercialmente son estradiol, su éster benzoato de etilo (EB) y el zeranol. Las combinaciones de hormonas pueden mejorar la respuesta de crecimiento (Preston, 1999).

DIETILESTILBESTROL

El empleo de dietilestilbestrol (DES), que es un estrógeno sintético, se prohibió en todo el mundo debido a los aparentes efectos carcinogénicos residuales del producto (Raun y Preston, 2002), y fue el primer producto hormonal catalogado en 1971 como cancerígeno humano. Información descrita en la

NOM-034-1996, donde se indica que el consumo de alimentos con residuos de dietilestilbestrol y zeranól implica diversos riesgos para la salud. Existen compuestos de DES de nueva generación usados en humanos que podrían ser útiles en la engorda de bovinos.

LACTONA DEL ÁCIDO RESORCÍLICO

El zeranól, es un compuesto conocido como lactona del ácido resorcílico, derivado zeranólona, que fue aislado del hongo *Gibberella zeae*. El implante elaborado con este compuesto tiene una duración 70 a 119 días; se recomienda que el ganado no debe ser implantado 65 días antes del sacrificio para evitar riesgos en la salud. Se recomienda reimplantar cada 90 días en sistemas extensivos. Los intervalos de 70 a 110 días son satisfactorios para una engorda intensiva (Mader *et al.*, 1983). El zeranól se puede usar en ganado de todas las edades con la misma dosis.

Borger *et al.* (1973a) demostraron que los implantes con zeranól elevan los niveles de la hormona del crecimiento, lo que permite ganancias de peso de 0.09 kg/día con respecto a los animales no implantados; las características de la calidad de la carne no se vieron afectadas aunque la pérdida por cocción en animales implantados se incrementó (13.1%), merma atribuida a líquidos, debido a que el zeranól estimulan la retención de agua y menor deposición de grasa, con lo que se incrementa la pérdida por cocción en el músculo *Longissimus* (Borger *et al.*, 1973b). Algunos estudios indican que el zeranól puede tener beneficios adicionales al mejorar la tolerancia al estrés por temperatura (Lemieux, 1987) y al estrés de transporte (Cuadro 13.2). Sin embargo, estos trabajos deberían ser repetidos considerando algunas variables de bienestar animal para confirmar estos beneficios, pues no ha habido más investigación de este tipo.

Cuadro 13.2 Efecto de implantar con Zeranól durante el transporte.

	Testigo	Implantado
Peso promedio pre-embarque, kg	284.95	285.72
Peso promedio post-embarque, kg	258.50	267.12
Perdida corporal promedio, kg	26.44	18.60
Merma %	9.2	5.6

Fuente: Hutcheson (1986).

El producto comercial que tiene lactona del ácido resorcílico es Ralgro y contiene 36 mg de zeranól. Puede utilizarse en becerros al destete, toretes, novillos y novillonas para engorda. Otra preparación denominada Ralgro Magnum contiene 72 mg de zeranól y se puede utilizar en novillos y novillonas al destete, como implante al inicio de la engorda o para finalizar el ganado en pastoreo.

BENZOATO DE ESTRADIOL

El benzoato de estradiol, ha sido uno de los agentes estrogénicos más utilizados en la cría de animales, como medio de introducción exógena de la hormona natural 17β estradiol (Regal *et al.*, 2011). Este producto se ha usado solo o combinado con testosterona (para hembra) o progesterona (para machos).

Anteriormente se presentaba en dos formas comerciales Synovex-M para novillos y Sinovex-H para vaquillas. El primero contiene 20 mg de benzoato de estradiol y 200 mg de progesterona y el segundo 20 mg de benzoato de estradiol y 200 mg de testosterona. La duración del implante es de 70 a 110 días y no existen restricciones para remoción de los implantes antes del sacrificio. Se recomienda el implante cada 90 días. Sin embargo, pueden usarse a intervalos de 70 a 110 días dependiendo del sistema de alimentación. El tiempo de liberación de la mayoría de los implantes es de aproximadamente 120 días y se pueden reimplantar después de 60-120 días (Preston, 1999).

Estos implantes se deben aplicar en el tercio medio de la oreja, alrededor de 4 a 5.0 cm de la base de la oreja (más lejos de la base que el Ralgro). La dosis es similar para todo tipo de ganado; sin embargo, no se recomienda usar en bovinos menores a 200 kg de peso vivo (Mader *et al.*, 1983).

Los productos comerciales pueden cambiar pero se debe de revisar el producto activo para decidir que implante usar. Por ejemplo el Synovex C contiene 10 mg de benzoato de estradiol y 100 mg de progesterona, es utilizado para novillos y novillas; el Synovex-H con 20 mg de benzoato de estradiol y 200 mg de propionato de testosterona, par terneras en pastoreo no destinadas al reemplazo; y el Synovex-S con 20 mg benzoato de estradiol y 200 mg de progesterona para novillos de engorda.

De algunos implantes hay más información de trabajos de investigación que debe revisarse para conocer los diversos factores que pueden modificar la respuesta cuando se usan anabólicos. Elsasser *et al.* (1993) estudiaron la influencia de la tiroides y el efecto de Synovex-S sobre la regulación en plasma de IGF-I y concluyeron que la triyodotironina (T_3) disminuye los niveles en plasma de IGF-I y que los anabólicos como Synovex-S pueden revertir los efectos de T_3 , encontrando que Synovex-S incrementó la deposición de proteína corporal en 15.5% y los niveles de IGF-I en plasma en 27.9%. Kitts *et al.* (2007) reportaron que Synovex S no afecta la hormona del crecimiento.

ACETATO DE TREMBOLONA

El acetato de trembolona (TBA) es un esteroide anabólico sintético que ha demostrado aumento del crecimiento en rumiantes (Preston, 1999). Tiene actividad anabólica de 10 a 50 veces más que la testosterona (Bouffault y Willemart, 1983) y es frecuentemente usado en combinación con un estrógeno (generalmente 17β estradiol o E_2) para maximizar la tasa de crecimiento y la eficiencia de uso de alimento. Las combinaciones de implantes con diferentes concen-

traciones de TBA y E₂ son de las más usadas en la industria de la carne en los Estados Unidos (Johnson *et al.*, 2013).

Los productos comerciales más conocidos son el Synovex Choice con una proporción de 10:1 de acetato de trembolona a benzoato de estradiol para novillos; el Synovex plus con 200 mg acetato de trembolona y 28 mg de benzoato de estradiol para bovinos machos y hembras en corrales de engorda en finalización; el Revalor-S que es un compuesto con 120 mg de acetato de trembolona y 24 mg de 17β estradiol (E₂) para novillos; y el Revalor- X, implante compuesto por 10 pellets con una de 200 mg de acetato de trembolona (TBA) y 40 mg de 17β estradiol (E₂).

Existen trabajos de investigación que indican que los novillos y novillas de engorda implantados responden adecuadamente con implantes que contienen 28 mg de benzoato de estradiol (EB) y 200 mg de acetato de trembolona (TBA). Otros estudios mostraron que implantes con EB y TBA mejoran el comportamiento productivo de novillos de engorda (Herschler *et al.*, 1995) y novillas (Cleale *et al.*, 1999). Cleale *et al.* (2013) sugieren usar dosis intermedias de implante en vaquillas de engorda (14 mg de benzoato de estradiol y 100 mg de acetato de trembolona) cuando los costos de alimentación son altos con condiciones ambientales adversas.

En experimentos con novillas y novillos Angus con Synovex-Plus (28 mg benzoato de estradiol y 200 mg acetato de trembolona) donde las hembras se implantaron en los días 0 y 55, y los machos a los días 0 y 73, los implantes mejoraron la ganancia de peso en ambos sexos, sin alterar la deposición de lípidos en el músculo *Longissimus*, grasa en la canal, expresión de enzimas lipogénicas; concluyendo que no tuvo efecto sobre la deposición de lípidos (Smith *et al.*, 2007).

Algunos estudios muestran que implantes con 120 mg de acetato de trembolona (TBA) y 24 mg de E₂, incrementan la tasa de crecimiento en un 20% y mejoran la eficiencia alimenticia en 15% (Schanbacher, 1984; Bartle *et al.* 1992; Cuadro 13.3), incrementando la proteína en la canal, con una mayor respuesta durante los primeros 40 días después de la implantación (Cuadro 13.4) en novillos (Johnson *et al.* 1996a). Se confirmó que los implantes con TBA+E₂ presentan poco o nada de efecto sobre la deposición de lípidos en la canal (Eversole *et al.*, 1989; Perry *et al.*, 1991; Bartle *et al.*, 1992; Johnson *et al.* 1996a).

Pampusch *et al.* (2008) no detectaron diferencias en crecimiento en novillos implantados con TBA, E₂, o TBA/E₂, aunque comparados con el testigo, los animales implantados fueron mucho más pesados en el día 28 de la prueba. No obstante, en un estudio previo Pampusch *et al.* (2003) reportaron que animales implantados con 120 mg de acetato de trembolona y 24 mg de estradiol-17β (E₂), incrementaron la tasa de ganancia en un 36%, se mejoró la eficiencia alimenticia en 34% y el crecimiento muscular en novillos en engorda. Esto es importante destacar pues cuando se trabaja con implantes no siempre se obtienen las respuestas esperadas y esto puede ser por diversas causas, tan simples como mal aplicación y pérdidas del implante entre otras.

Cuadro 13.3 Efecto de implantes de acetato de trembolona combinado con estradiol sobre la ganancia diaria de peso y tasa de deposición de proteína en la canal de novillos.

Días	Tratamiento		EEM	Respuesta %	Probabilidad
	Testigo	Implantados			
Ganancia diaria de peso, kg					
0 al 40	1.77	2.08	0.06	17.5	0.001
41 al 115	1.42	1.76	0.07	24.0	0.001
116 al 143	1.04	1.19	0.11	14.4	0.36
0 al 115	1.55	1.87	0.07	21.0	0.001
0 a 143	1.47	1.70	0.10	15.6	0.13
Tasa de deposición de proteína en la canal g/d					
0-40	114	207	18.3	82	0.004
0-115	118	158	12.5	34	0.04
0-143	114	142	10.3	25	0.06
41-115	122	127	19.4	4	0.86
116-143	72	114	35.1	58	0.41

Fuente: Johnson *et al.* (1996^a).

Lee *et al.* (1990) evaluaron los efectos de implantar 200 mg TBA/24 mg E2 y castrar toros y novillos durante dos fases (crecimiento y finalización) y concluyeron que por efecto de la castración, los novillos no presentan suficientes hormonas para maximizar el crecimiento, lo cual puede ser corregido con la aplicación de un implante.

La FDA (2007) reporta que cada pellet de Revalor xs (200 mg de TBA+40 mg de E2) tiene una décima parte de cada uno de los compuestos, seis de los 10 pellets presentan una cubierta polimérica que permite una tasa de liberación gradual hasta 80 días después de administración, aunque se extiende el efecto anabólico aproximadamente 200 días, lo que elimina la necesidad de reimplantar (Cuadro 13.4). Los cuatro pellets restantes sin capa de polímero muestran una inmediata tasa de liberación bifásica, típica de implantes sin recubrir.

ESTRADIOL 17- β

El 17 β estradiol ha sido empleado como anabólicos en bovinos; no obstante en Europa se prohibido en forma permanente (Regal *et al.*, 2011). Uno de los productos comerciales usados con este anabólico es el Compudose, implante de larga duración (alrededor de 200 días) con 17 β estradiol como principio activo, siendo una hormona natural en todos los mamíferos. El implante está construido con una cubierta de silicón impregnada con micro cristales que

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

contienen 24 mg de 17 β estradiol, debido al silicón es flexible y no se rompe durante su administración lo que ocurre con otros anabólicos (Kuhl, 1997).

Cuadro 13.4 Estudio de caracterización de dosificación de Revalor xs.

Tipo de Implante (tratamiento)	Tiempo de administración	Fase de liberación I		Fase de liberación II	
		TBA (mg)	Estradiol (mg)	TBA (mg)	Estradiol (mg)
Ninguno	Ninguno	0	0	0	0
Revalor-is	Día 0	80	16	-	-
Revalor S	Día 75	-	-	120	24
Revalor xs formulación 1	Día 0	80	16	120	24
Revalor xs formulación 2	Día 0	80	16	120	24

Fuente: Adaptado de FDA (2007).

El Compudose se debe implantar en la parte media del tercio inferior de la base de la oreja (Mader *et al.*, 1983). Provee una liberación controlada de una dosis diaria de 35 a 40 μ g de estrógeno natural sobre 160 a 200 días. Este implante es acompañado con oxitetraciclina para evitar infecciones (Kuhl, 1997). No existen restricciones para remoción de implante antes del sacrificio; la dosis es la misma para todas las edades y no se debe de usar en vaquillas o toros.

ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL USO DE IMPLANTES EN BOVINOS

Para obtener los máximos beneficios de los implantes, deben tomarse en cuenta varios aspectos como la facilidad de manejo para aplicar el implante, en el lugar recomendado, revisar las condiciones de higiene para evitar infecciones, abscesos o pérdidas de los implantes, ya que la pérdida puede suceder en forma mecánica o por infecciones. Estimaciones de Mader *et al.* (1987) indican que las pérdidas de implantes en cualquier forma pueden llegar hasta el 5% en el ganado, mientras que con malas condiciones de manejo puede llegar a un 50%.

No todos los músculos se ven afectados de igual manera por el implante, la función y localización del músculo son factores que influyen en la deposición de proteína adicional e incremento muscular provocado por los agentes anabólicos. El mayor crecimiento muscular ocurre en músculos extensores asociados con los huesos largos. En el caso de los músculos como el *psoas major* y el *semitendinoso* no responden a tratamientos con hormonas, posiblemente porque su máxima capacidad de crecimiento es causado por factores ambientales y genéticos (Elsasser *et al.*, 1998). Pell y Bates (1987) reportan que el tipo de fibra muscular juega un papel fundamental en la tasa de acumulación muscular; por lo tanto, el músculo “rojo” es más afectado por los implantes.

Una dieta nutricional adecuada maximiza la respuesta del ganado a implantes promotores de crecimiento, ya que la disponibilidad de dietas de calidad deben ser complementarios al uso de implantes para mejorar la respuesta de crecimiento del ganado (Kuhl, 1997).

MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS ANABÓLICOS

Cuando se iniciaron los primeros estudios sobre los mecanismos de acción de los anabólicos, lo primero que se evaluó fueron los cambios sanguíneos en las hormonas relacionadas al crecimiento y metabolitos asociados. Con los avances de la biología molecular, se ha avanzado y se han encontrado diversos efectos y cambios a nivel de expresión de genes. En esta sección se revisa en forma general los principales mecanismos y conocimientos que explican la respuesta anabólica de los promotores de crecimiento en bovinos.

Borger *et al.* (1973a) indicaron que novillos implantados con zeranol mostraron niveles similares de insulina, Hayden *et al.* (1992) reportan que las concentraciones sanguíneas y la actividad pulsátil de la insulina no se vieron afectados por la administración de estradiol 17 β , TBA o una combinación de TBA y E₂ (Cuadro 13.5). En contraste Sharp y Dyer (1971) al día 26 de la prueba, registraron mayores niveles de insulina en novillos implantados con 36 mg de zeranol en comparación del grupo testigo.

Algunos estudios sugieren que las respuestas a los estrógenos están mediadas principalmente por los efectos sobre la secreción de la hormona del crecimiento (Grigsby y Trenkle, 1986; Johnson *et al.*, 1996b), a pesar de ello, se han detectado receptores de alta afinidad a estrógenos y compuestos similares en tejido muscular, que sugieren que esteroides y la hormona del crecimiento pueden actuar de forma independiente sobre el crecimiento muscular (Trenkle, 1997). En contraste, el mecanismo de acción de TBA parece estar relacionado con la regulación negativa de cortisol para mitigar los efectos antianabólicos (Hayden *et al.*, 1992; Isaacson *et al.*, 1993).

Cuadro 13.5 Concentraciones de insulina en suero y características pulsátiles en animales implantados.

Día de implantación	Concentración promedio ng/mL	Frecuencia pulsátil	Amplitud del pulso, ng/mL	Duración del pulso min/pulso
0-12	0.689	0.250	0.116	32
31	0.687	0.500	0.224	34
72	0.832	0.563	0.428	45
EE ^a	0.087	0.282	0.185	28

^a Error estándar de la media.

Fuente: adaptado de Hayden *et al.* (1992).

MECANISMO DE ACCIÓN DE ESTRÓGENOS

El mecanismo de acción de los estrógenos, en el crecimiento muscular no queda aun totalmente claro; se cree que actúa a través del eje somatotrópico, involucrando a la hormona del crecimiento, factores de crecimiento tipo insulina (IGF-I y -II), las proteínas transportadoras asociadas y sus receptores (Renaville *et al.*, 2002).

Existen diferentes maneras de interacción entre agentes estrogénicos y la hormona del crecimiento. El estradiol incrementa el número de receptores hepáticos somatotrópicos en novillos al elevar la sensibilidad y actividad, que en consecuencia puede incrementar la síntesis de IGF-I hepático (Breier *et al.*, 1988). Se ha considerado que los cambios en el número de receptores son el mecanismo regulador más importante (Breier y Gluckman, 1991) ya que hay alta correlación entre ganancia de peso y capacidad de los receptores (Breier *et al.*, 1988).

Otro posible mecanismo de acción es que los compuestos estrógenicos actúen en el hipotálamo en la síntesis de hormona liberadora de hormona del crecimiento (GHRH) o directamente sobre la pituitaria (Preston, 1975). Se cree que los esteroides pueden ejercer que la pituitaria sea más receptiva a la GHRH y por tanto causar mayor secreción de la hormona del crecimiento (Trenkle, 1997).

Estudios realizados con administración exógena de hormona del crecimiento e implantes esteroides, sugieren que la respuesta al crecimiento promovida por estos dos compuestos puede ser independiente (Enright *et al.*, 1990). Los esteroides inducen mayores niveles de RNA de IGF-I muscular lo cual puede jugar un papel importante en el crecimiento muscular en novillos (Pampush *et al.*, 2003). Por otro lado, los resultados de Kerth *et al.* (2003) indican que los implantes anabólicos afectan directamente la síntesis y degradación de proteína muscular.

RELACIÓN ESTRÓGENOS HORMONA DEL CRECIMIENTO

Se sabe que los esteroides sexuales exógenos alteran la secreción de hormona del crecimiento en especies domésticas (Arnold *et al.*, 1996) y las primeras evidencias relacionaban al eje somatotrópico con la acción de los estrógenos sobre el crecimiento de rumiantes por la obtención de glándulas pituitarias más pesadas conteniendo en relación al peso corporal (Cuadro 13.6) (Struempfer y Burroughs, 1959). Clegg y Cole (1954) demuestran que los implantes anabólicos son inductores en el crecimiento de células acidofílicas en la pituitaria anterior y se ha observado una mayor proporción (28%) de células somatotrofas en la adenohipofisis de novillos con TBA y E₂ (Thomson *et al.*, 1996).

Cuadro 13.6 Hormona del crecimiento en glándula pituitaria de novillos tratados con dietilestilbestrol.

Variables	Dietilestilbestrol, mg/d		
	0	5	10
Pituitaria anterior, g	1.18	1.43	1.50
Valoración de Hormona del crecimiento (HG)			
Anchura de tibia, μ	269	254	268
Índice de HG	316	369	405
Índice de HG/100 kg de peso corporal	71.6	78.6	84.6

Fuente: Adaptado de: Struempfer y Burroughs (1959).

Borger *et al.* (1973b) notaron que novillos implantados con zeranol (36 mg) en los días 1 y 84 de 169 días de prueba, mostraron mayor concentración plasmática de hormona del crecimiento que animales no implantados (Cuadro 13.8), respuesta similar fue observada por Trenkle (1970) y Davis *et al.* (1977), con implantes de DES en novillos en finalización.

Hayden *et al.* (1992) observaron que con 24 mg de estradiol 17 β se aumentó la amplitud y duración pulsátil de hormona del crecimiento en novillos. Sin embargo, Simpson *et al.* (1997), solo detectaron cambios en la amplitud. En un estudio posterior Grigsby y Trenkle (1986) reportaron que con implantes de E₂ se incrementó la frecuencia de liberación de hormona del crecimiento en razas Simmental, Limousin y Angus. La raza puede ser otro factor que modifique la respuesta a los implantes estrogénicos (Simpson *et al.*, 1997).

Cuadro 13.7 Metabolitos en sangre de novillos implantados con 36 mg de zeranol.

Tratamiento	Hormona del crecimiento (ng/ml)	Insulina (μ U/ml)	Glucosa (mg%)
Testigos	10.69	46.61	82.81
Implantados	21.62	48.52	83.69
Probabilidad	<0.05	>0.05	>0.05

Fuente: Modificado de Borger *et al.* (1973b).

Se ha señalado también al estradiol como único responsable de incrementar los niveles de RNAm de IGF-I en el músculo *Longissimus* de animales implantados con un combinado de TBA+E₂. Lo anterior, sustentado en que novillos mestizos tratados con E₂ (25.7 mg) tuvieron mayores niveles (71%) de RNAm de IGF-I en el músculo que novillos no implantados, y novillos implantados con TBA (120 mg). Se cree que las concentraciones de TBA en el músculo de novillos

implantados con TBA no alcanzaron las concentraciones requeridas para estimular un incremento en los niveles de RNAm de IGF-I (Pampusch *et al.*, 2008).

Kamanga-Sollo *et al.* (2004) demostraron con cultivos celulares que el E₂ es efectivo a concentraciones 100 veces menores que las concentraciones efectivas de TBA. Dayton y White (2014) comentan que los efectos de E₂ en células bovinas satélites, están mediados en parte a través de receptores clásicos de E₂, ER- α , IGFR-1 y el receptor 1 de estrógenos acoplado a proteína G (GPER-1).

MECANISMO DE ACCIÓN DE ANDRÓGENOS

Se cree que los implantes andrógénicos compiten por receptores de cortico esteroides. El cortisol es una hormona esteroidea que se clasifica como glucocorticoide que estimula la degradación de proteínas (Hancock *et al.*, 1991). Sin embargo, Sharpe *et al.* (1986) lo considera antianabólico más que un modulador directo de la degradación de proteínas pues los glucocorticoides disminuyen la síntesis de proteína muscular.

Al unirse los andrógenos a los receptores inhiben la unión cortisol-receptor y se provoca la disminución de la ruptura de proteína muscular (Preston, 1999) o atenúa el efecto antianabólico (Sharpe *et al.*, 1986). El cortisol endógeno actúa sobre la proteína muscular esquelética y reduce la síntesis; por lo tanto, la disponibilidad reducida de cortisol por TBA podría mejorar la tasa de síntesis de proteína muscular (Sharpe *et al.*, 1986).

Buttery y Sinnet-Smith (1984) señalan que el efecto de implantes con TBA se basa en la reducción de la producción adrenal, lo cual coincide con Isaacson *et al.* (1993), quienes reportaron una menor síntesis de cortisol en glándulas adrenales de novillos en presencia de testosterona, dihidrotestosterona, acetato de trembolona y zeranol. Lee *et al.* (1990) observaron una tendencia menor de las concentraciones de cortisol en suero de animales implantados con TBA/E₂. Implantes con TBA y TBA+E₂ causan una marcada reducción en la concentración de cortisol en suero de novillos en crecimiento (Hayden *et al.*, 1992), y en toros y novillos implantados con zeranol (Jones *et al.*, 1991).

Estudios *in vitro* indican que TBA también aumenta el factor de crecimiento tipo insulina 1 (IGF-1) a nivel de RNAm en cultivos de células satélites bovinas (Kamanga-Sollo *et al.*, 2011). Sin embargo diversos estudios indican que los compuestos andrógénicos no alteran las concentraciones plasmáticas y musculares de IGF-I, de RNAm de IGF-I en varias especies (Pampusch *et al.*, 2008; Lewis *et al.*, 2007; Venken *et al.*, 2007). Kamanga-Sollo *et al.* (2008) consideran que TBA también podría afectar el crecimiento muscular por estimulación de las vías de Raf-1/MAPK kinasa (MEK) 1/2/ERK1/2 y fosfatidilinositol 3-kinasa/Akt, debido a que la inhibición de estas vías suprime completamente la proliferación de células satélites bovinas estimuladas por TBA. Estos estudios sugieren que TBA tiene varios mecanismos de acción que involucran la capacidad de estimular la síntesis de proteínas y disminuir la tasa de degradación.

ACETATO DE TREMBOLONA COMBINADA CON ESTRADIOL

Se ha demostrado que los implantes que combinan estrógenos con andrógenos pueden ser más efectivos en la estimulación del crecimiento de rumiantes que aquellos que se componen sólo de una hormona (Hancock *et al.*, 1991; Hayden *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1996b), lo cual se explica por sus diferentes mecanismos de acción (Hayden *et al.*, 1992).

Ambos esteroides inducen hipertrofia postnatal del músculo esquelético, en parte, a través del incremento en la circulación plasmática, producción local de IGF-I y por la expresión incrementada de ARNm de IGF en músculo esquelético (Pampush *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2013; Dayton y White, 2014).

Los estudios *in vitro* indican que el efecto es a través del ARNm de IGF (Kamanga-Sollo *et al.*, 2004). Lee *et al.* (1990) reportan concentraciones elevadas de IGF-I en suero, Mientras que Johnson *et al.* (1996a) encontraron que la implantación con TBA/E₂ incrementó 40% la concentración circulante de IGF al día 40 y el incremento de 35% al día 115 después de la implantación.

Barton-Davis *et al.* (1998, 1999) y Chakravarthy *et al.* (2000) muestran que la sobre-expresión de IGF-I en músculo inducida viralmente incrementó en 15% la masa muscular en ratones adultos jóvenes y que dicha sobreexpresión aumenta la esperanza de vida replicativa de células satélite en cultivos. Basado en los argumentos expuestos, se cree que aún se puede mejorar la tasa de crecimiento muscular en el ganado (Pampush *et al.*, 2003).

Dodson y Allen (1987) y Johnson y Allen (1993) sugieren que la mayoría de las células satélite del músculo de animales adultos sanos se encuentran en fase de retardo (fase lag), estado en el que no se produce proliferación. En cultivos de células satélites aisladas del músculo semi membranoso de novillos implantados con Revalor-S, exhibieron una fase lag más corta antes de iniciar la proliferación a diferencia de las muestras obtenidas de novillos no implantados, lo cual sugiere que el aseguramiento en el crecimiento muscular inducido por Revalor-S envuelve la activación de células satélite en retardo (Johnson *et al.* 1998a).

Estudios realizados por Johnson *et al.* (1998a) muestran que el músculo semimembranoso de novillos implantados con un combinado de TBA y E₂ presentaron mayor número de células satélite que novillos no implantados (Cuadro 13.8); y se considera que la proliferación de las células satélites y su fusión con la fibra muscular aportando ADN, son críticas y limitantes para determinar la tasa y extensión del crecimiento muscular.

Cuadro 13.8 Porcentaje de fusión y núcleos de miotubos en cultivos de células satélite aisladas de músculo semimembranoso de novillos implantados y no implantados.

Tratamiento	Núcleos de miotubos ^b a las 168 h, núcleos/cm ²	Doble incremento en el núcleo de miotubos relativo a la densidad ^b celular a las 24 h ^a	Fusión, % ^b
No implantados	5.150 ± 424	41 ± 5	54.8 ± 3.9
Implantados	7.798 ± 442	72 ± 10	72.8 ± 2.8
Probabilidad	<0.001	<0.001	<0.005

^aHoras después del sembrado.

^bDensidad promedio de núcleos de miotubos de cultivos celulares.

Fuente: Adaptado de Johnson *et al.* (1998a).

La actividad biológica del IGF-I se regula por una familia de proteínas de unión receptoras de IGF (IGFBP); en consecuencia, el nivel de IGFBP en el tejido muscular también juega un importante papel en la regulación de la respuesta de células satélite a IGF-I; hay otros factores de crecimiento como el factor de crecimiento de fibroblastos-2 (FGF-2), factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF), factor de crecimiento transformante beta 1 (TGF-β-1) que regulan la activación, proliferación y diferenciación de las células satélite (Johnson *et al.*, 1998a). Se sabe que los implantes como TBA alteran la respuesta de las células satélite musculares a factores de crecimiento de fibroblastos y a IGF-I (Thompson *et al.*, 1989).

Hayden *et al.* (1992) evaluaron la degradación de proteína muscular esquelética medida por la excreción urinaria de NT-metilhistidina, creatinina y de hormonas endógenas anabólicas. Los resultados indican que la administración de implantes combinados (TBA+E₂) no reducen la degradación de proteína muscular bovina por modulación de la circulación de hormonas anabólicas y antianabólicas; por el que concluyen que los efectos de estimulación del crecimiento corporal se deben a un incremento en la síntesis de proteína muscular.

Los resultados de todos estos estudios indican que los implantes esteroideos inducen el crecimiento muscular en ganado para carne por mecanismos que implican un aumento en la producción local de IGF-I, lo que asegura la proliferación y diferenciación de las células satélite y en consecuencia incrementa el crecimiento del músculo esquelético.

MATRICES Y TASAS DE LIBERACIÓN

El implante está formado de una sustancia activa (hormona) y de una matriz transportadora, esta última, depende de la presentación del implante y puede ser en forma de pellets pequeños o de gomas silásticas (mezcla de silicona y plástico) (Brandt, 1997). En el caso de pellets se usan matrices que pueden ser de lactosa, colesterol o polímeros de polietilenglicol. El tipo de matriz afecta la tasa, tiempo de liberación y el tipo de hormona (individual o combinada) y/o la concentración o dosis; implantes basados en lactosa son de acción corta, mientras que las matrices de colesterol permiten una liberación más prolongada (Istasse *et al.*, 1988). Los implantes silásticos tienen liberación más lenta y por lo tanto más prolongada que los comprimidos (200 a 400 días). Las matrices hechas de goma de silicona poseen la ventaja de modular el tiempo de liberación en función del espesor del implante (Wagner, 1983). Implantes de Compudose de goma de silicona son impregnadas con diferentes espesores de Cristales de 17β estradiol (Compudose 200, Compudose 400) para diferentes tiempos de liberación (Partridge, 2011). Lee *et al.* (2000) aplica una mezcla de recubrimiento que contiene polímeros insolubles en agua y un agente formador de poros soluble, a través de la cual puede pasar el ingrediente activo y la liberación del ingrediente activo es más lenta. La liberación de los implantes promotores del crecimiento no es uniforme a través del tiempo, en algunos casos puede ser excesiva y en otros subóptima (Mader, 1998).

Se ha documentado que cuando el E_2 es administrado en conjunto con TBA en un mismo implante, la tasa de absorción de E_2 se ve afectada (Harrison *et al.*, 1983). Johnson *et al.* (1996a) mencionan que en los dos primeros días post-implantación se incrementó rápidamente la concentración circulante de trembolona y E_2 . El nivel de estradiol se mantiene constante durante la prueba, a diferencia de lo observado para trembolona, que en el día 40 cae estrepitosa en su concentración. De acuerdo a Heitzman y Harwood (1977) los niveles constantes de E_2 en sangre pueden ser mantenidos durante periodos largos como de 19 semanas, cuando se combina en el mismo implante con TBA.

Cleale *et al.* (2012) caracterizaron la liberación de Synovex-Plus recubierto (15% peso/peso) y sin recubrir (Cuadro 13.9); concluyen que el recubrimiento polimérico aplicado a una tasa del 15% sobre el implantes de Synovex-Plus, prolonga el tiempo de liberación y que el uso del recubrimiento puede aumentar el tiempo de utilización del producto.

Cuadro 13.9 Contenido de benzoato de estradiol y acetato de trembolona al usar Synovex-Plus con o sin recubrimiento.

Días después del tratamiento	Benzoato de estradiol		Acetato de trembolona	
	SP	SPR	SP	SPR
0	28.8	28.8	201.8	201.8
40	21.3 ^b	27.2 ^a	114.8 ^b	166.8 ^a
81	13.2 ^b	24.8 ^a	50.7 ^b	136.8 ^a
120	4.6 ^b	13.5 ^a	11.8 ^b	50.6 ^a
160	0.0 ^b	12.9 ^a	0.0 ^b	52.0 ^a
200	0.0 ^b	6.4 ^a	0.0 ^b	28.4 ^a

SP=Synovex-Plus sin recubrimiento; SPR:Synovex-Plus con recubrimiento.

Fuente: Adaptado de Cleale *et al.* (2012).

CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Existen algunas regulaciones para el uso de los implantes; por eso, siempre se debe atender las instrucciones de cada agente anabólico antes de decidir su aplicación en el ganado. Es importante mencionar que la autorización del uso de cualquier agente anabólico, está en función de la seguridad ante la salud pública. El consumo de carne de animales implantados en forma correcta es seguro; se pueden comparar los niveles de estrógenos en la carne de animales implantados con otros alimentos para demostrar la seguridad de estos anabólicos en la cadena alimenticia (Cuadro 13.10).

Cuadro 13.10 Contenido de estrógenos de varios alimentos.

Alimento	Porción, g	Contenido de estrógenos, ng
Carne de novillos:		
Sin implante	500	6.1
Implantados con zeranol	500	70 ^a
Implantados con estradiol	500	11.4
Carne de vaca	500	75 (7.1-540)
Leche	500 ml	75
Chícharo	100	400
Huevo	50-60	5 750
Col	100	2 400
Aceite de soya	10 ml	20 000

^a Equivalente a estradiol.

Fuente: Lemieux (1987).

Los estudios que se exigen por parte de la FDA de los Estados Unidos para autorizar el uso de un implante nos dan la certeza de que el uso adecuado de los implantes permite asegurar un producto final inocuo (carne) y seguro para los humanos en relación con los efectos residuales de los implantes, efectos tóxicos, fisiológicos crónicos y potencialmente mutagénicos y carcinogénicos. Las prohibiciones de algunos países también tienen algunos aspectos de tipo económico pues repercuten en las restricciones de importaciones de carne de animales implantados.

Finalmente para seleccionar un implante se debe considerar sus indicaciones de uso y Montemayor (1986) añade que los efectos en eficiencia de conversión alimenticia, ganancia de peso, los cambios en la calidad de la canal, la presencia de efectos colaterales, el precio, la duración del implante y la facilidad de implantar.

CAPÍTULO XIV

ADITIVOS ALIMENTICIOS

J.A. MARTÍNEZ G., P.A. HERNÁNDEZ G., G.D. MENDOZA M.,
F.X. PLATA P.

Los aditivos para dietas de corrales de engorda son considerados una de las herramientas más importantes para reducir los costos de alimentación o para obtener mayor eficiencia de utilización del alimento, promoviendo mayores ganancias de peso o mejorando la rentabilidad dependiendo de su mecanismo de acción. Algunos de ellos tienen efectos secundarios como la reducción de acidosis, coccidiosis y timpanismo de grano, mientras que otros suprimen la actividad del ciclo estral, reducen la incidencia de abscesos hepáticos y los problemas de gabarro.

Stock y Mader (1985) señalaron que los aditivos alimenticios se pueden dividir en cinco grupos: 1) Ionóforos, 2) Antibióticos, 3) Supresores de Estros, 4) Amortiguadores, y 5) otros. Es importante conocer el modo de acción y los efectos y mecanismos de acción de estos aditivos, dosis y a su vez de las contraindicaciones por especie. En México existe una gran gama en la disponibilidad de aditivos, principalmente de manufactura extranjera, sin embargo, debido a este intercambio mundial no todos los aditivos son producidos por casa comerciales serias, por lo que es necesario estar realizando continuamente evaluaciones de calidad de estos productos, ya sea por empresas privadas o parte de Universidades, centros de investigación y en unidades producción.

IONÓFOROS

Los ionóforos son un tipo de antibióticos que inhiben el crecimiento de algunos microorganismos del rumen en forma selectiva principalmente las bacterias “Gram positivas”, alterando el transporte de iones a las células (Pinos y González, 2000), lo cual brinda ciertos efectos benéficos. Sin embargo, estos efectos en Gram + deben de reevaluarse con base a los estudios de biología molecular y a un análisis crítico de los trabajos que se realizaron anteriormente, pues la reducción de Firmicutes de acuerdo a estudios de pirosecuenciación es solo del 4.5% (Kim *et al.*, 2014). Independientemente de que las técnicas de biología molecular darán respuesta al mecanismo de acción, su uso mejorará la

eficiencia de la fermentación ruminal al incrementar la proporción molar de ácido propiónico (Cuadro 14.1); lo que reduce las pérdidas de energéticas que repercuten en mayor energía disponible para el animal. Es importante indicar que el ácido propiónico es el único glucogénico, lo que representa ventajas para el ganado (Ørskov, 1986).

Se ha mencionado que el principal modo de acción de los ionóforos es afectar a algunas bacterias, mediante la suspensión del intercambio iónico, además de modificar el gradiente protónico y catiónico de la membrana celular, como resultando de esta inactivación las bacterias realizan un constante bombeo de protones al exterior, lo cual les permite conservar las concentraciones iónicas y por tanto el equilibrio ácido-base en su interior, dicho evento genera un gasto energético metabólico adicional, ocasionando un decremento del pH, aunado a la disminución de la energía disponible, hace que el crecimiento de las bacterias sea menor (Russell y Strobell, 1989). Sin embargo, los estudios con técnicas moleculares indican que la presencia o ausencia de la membrana no es un factor determinante para la susceptibilidad a ionóforos como la monensina (Kim *et al.*, 2014).

De los primeros estudios representativos del uso de la monensina sódica o la lasalocida, indicaron que pueden reducir los niveles de lactato *in vitro* (Dennis *et al.*, 1981). A su vez los ionóforos también pueden elevar el pH ruminal y reducir la concentración de lactato y la población bacteriana de *Streptococcus bovis*, esto bajo condiciones de acidosis aguda (Nagaraja *et al.*, 1982, Burrin *et al.*, 1988). La posibilidad de que los efectos de los ionóforos sean una consecuencia indirecta sobre los protozarios (Mendoza *et al.*, 1993) debe de evaluarse con las técnicas moleculares (Karnati *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2014).

Burrin *et al.* (1984) y Burrin y Britton (1984) indican que la monensina ayuda a elevar el pH ruminal en animales con acidosis subaguda, reduce la variación de consumo (Cuadro 14.2) pero no evita el síntoma de no consumo (Stock *et al.*, 1995). Es importante enfatizar que los ionóforos ayudan a controlar la acidosis subaguda, pero no la pueden prevenir (Britton y Stock, 1986; Russell y Strobell, 1989; Pinos y González, 2000). Sin embargo, es reconocido por nutriólogos asesores de corrales de engorda que debe de incluirse un ionóforo en dietas altas en grano.

En el Cuadro 14.2 se puede observar que el nivel de 33 ppm de monensina tuvo una menor variación del consumo. Datos obtenidos de corrales de engorda (Larson *et al.*, 1992) indican que la monensina ayuda a reducir la variación de consumo en corrales de engorda, bajo condiciones comerciales (Goodrich *et al.*, 1984)

Cuadro 14.1 Efecto del nivel de monensina en el comportamiento y metabolismo ruminal.

	Nivel de monensina, mg/ cabeza/d		
	0	150	300
Comportamiento inicial 21 días			
CMS, kg/d	7.95	7.81	7.66
GDP, kg	1.151	1.310	1.269
Conversión	7.11	6.03	6.09
Comportamiento en la engorda global			
CMS, kg/d	9.34	9.36	9.14
GDP, kg	1.256	1.229	1.188
Conversión	7.47	7.65	7.71
Ensayo metabolismo			
CMS, kg/d	10.63	10.68	11.13
pH ruminal	5.75	5.83	5.94
L (+) lactato, mM	0.232	0.275	0.522
Concentración de ácidos grasos volátiles, mM	104.9	103.6	89.5
Acético, %	55.4	55.6	54.5
Propiónico, %	23.5	25.6	28.7
Butírico, %	15.2	13.2	11.4

CMS=Consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Farlin (1976).

Se ha reportado que los ionóforos reducen la degradación de la proteína dietaria y que también reducen la síntesis de proteína microbial (Bergen y Bates, 1984). Estos efectos tiene poca importancia en animales alimentado con raciones altas en grano, pero podrían tener una implicación importante en rumiantes en crecimiento en raciones a base de forrajes (Stock, 1991).

Cuadro 14.2 Efecto del nivel de monensina sobre la media de la variación del consumo diario medio a varios intervalos.

Intervalo, Días	Monensina, ppm			Media
	0	11	33	
1-7	0.85	0.74	0.88	0.82
7-10	18.65	13.19 ^{ab}	10.05 ^b	14.04
10-16	5.20 ^a	4.07 ^a	2.49 ^b	3.94
16-28	1.15 ^a	1.17 ^a	0.79 ^b	1.04
1-28	6.26 ^a	5.68 ^b	5.23 ^b	5.73

^{ab} Medias entre hileras con distinta literal son diferentes (P > 0.05).

Fuente: Britton y Stock (1986).

Si se considera que los ionóforos están reduciendo parcialmente el estrés causado por acidosis, timpanismo de grano y coccidiosis, su uso es altamente recomendable en raciones donde se desee incrementar el nivel de grano.

Dentro de los ionóforos que se han estudiado están: monensina sódica, lasalocida, salinomycin y narasina. Actualmente se encuentran en el mercado monensina (Rumensin) la cual es obtenida de *Streptomyces cinnamonensis* y lasalocida (Bovatec) del proceso biotecnológicos de *Streptomyces lasaliensis*. El efecto de los ionóforos más consistente es la reducción del consumo tal como lo muestran resultados de las Universidades de Oklahoma y Nebraska (Cuadro 14.3). No presentan efectos en las características de la canal y el principal beneficio está en mejorar la eficiencia de utilización del alimento.

Cuadro 14.3 Resumen de cambios observados con ionóforos en el consumo en corrales de engorda.

Ionóforo	Numero de experimentos	Porcentaje de mejora sobre el testigo negativo		
		Ganancia		Consumo
Monensina	53	+2.5	-5.1	+7.2
Lasalocida	17	+6.4	-4.6	+9.9
Salinomycin	15	+4.6	-1.7	+6.1
Narasina	6	-1.0	-12.5	+8.8

Fuente: Adaptado de Stock y Mader (1985).

Una diferencia importante entre lasalocida y monensina es que lasalocida no requieren periodo de adaptación, mientras que se monensina debe de adaptarse a la dosis en forma gradual. Lasalocida no deprime el consumo tan notablemente como la monensina lo que se considera desventaja (Goodrich *et al.*, 1984). Esta depresión de consumo es determinante para la prevención de acidosis subaguda durante el mayor consumo de grano (Stock y Mader, 1985).

La monensina sódica ya está autorizada para usarse en vacas lactantes (Hook *et al.*, 2009); por otra parte es muy tóxica para equinos y porcinos. La lasalocida también es tóxica aunque en menor grado para esas especies de no rumiantes. La monensina se puede combinar con tilosina y con acetato de melengestrol y se ha utilizado en suplementos sólidos y líquidos (Stock y Mader, 1985) así como en bloques de melaza- urea (Jiménez y Nuñez, 1992). No existe un tiempo límite para remover la monensina o la lasalocida de la ración en función del sacrificio del animal en corrales de engorda. Los resultados de Farlin (1976) muestran las ventajas de combinar tilosina con monensina (Cuadro 14.4). No está permitido combinar la lasalocida con antibióticos y con acetato de melengestrol, lo cual es otra desventaja para ese ionóforo.

Cuadro 14.4 Efecto de la monensina y tilosina en raciones de finalización.

g/Ton	Monensina				Tilosina	Monensina-Tilosina		
	0	5	20	30	10	5-10	20-10	30-10
Peso inicial, kg	297	302	302	300	297	302	307	303
CMS, kg/d	8.9	9.3	8.6	7.7	8.8	8.7	8.4	7.8
GDP, kg	1.37	1.44	1.36	1.28	1.40	1.45	1.35	1.38
CMS/GDP	6.56	6.44	6.30	5.95	6.28	6.02	6.19	5.61

CMS=Consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

Fuente: Farlin (1976).

Duffield *et al.* (2012) realizaron un meta-análisis con la determinación con la respuesta a la adición de monensina, observaron que se redujo el consumo de materia seca y mejoró la ganancia diaria de peso, variables que mejoran la eficiencia alimenticia. Además indican que a pesar de que la monensina presenta un efecto positivo sobre la ganancia, este efecto se reduce al aumentar la dosis; esto incrementaría los costos.

Los resultado en resumen que se obtuvieron del meta-análisis (Cuadro 14.5), indicaron que con el uso de la monensina, mostró una disminución del consumo de la materia seca, en un poco más del 3%, así como una reducción del 6.4% en la conversión (mejora en la eficiencia de utilización del alimento), a su vez en la evaluación de la monensina repercute en un incremento en la ganancia diaria de peso y la eficiencia por kg ganados (Duffield *et al.*, 2012).

Cuadro 14.5 Resumen de meta-análisis por el efecto de monensina sobre el rendimiento en el crecimiento y finalización.

Variables evaluadas	Cambio, %	No, Animales	Ensayos
Consumo de materia seca	- 3.1	854	151
Conversión alimenticia	-6.4	186	32
Ganancia diaria de peso	2.5	799	156

Fuente: Modificado de Duffield *et al.* (2012)

Duffield *et al.* (2012) reportan un efecto lineal por la aplicación de monensina en la eficiencia alimenticia, ya que cuando se incrementan las dosis la eficiencia alimenticia también es mayor. Estos datos respaldan la decisión en la legislación de los Estados Unidos de Norteamérica, donde se aprobó el incremento en el rango de dosis de Rumensin, de 6 a 49 mg/kg de alimento (Cuadro 14.6). Debe tenerse presente que la eficiencia alimenticia es el inverso de la conversión (kg de ganancia por kg de alimento consumido).

Cuadro 14.6 Efecto de niveles de monensina en el crecimiento y finalización de ganado de un meta-análisis.

	Rango de dosis Monensina ^a			
	< 16	16-30	31-44	> 44
No. Ensayos	30	36	56	8
Conversión alimenticia ^b	-0.532	-0.628	-0.455	-1.153

^amg/kg de alimento 100% ms.

^bkg de alimento/kg ganancia de peso.

Fuente: Modificado de Duffield *et al.* (2012).

A pesar de que los ionóforos son de gran utilidad y seguridad. Muchos países europeos los prohíben y eso puede repercutir en algunos corrales que consideren la exportación de productos. Por lo tanto es necesario buscar alternativas de otro tipo que a futuro permitan sustituir los ionóforos. Lo importante es realizar evaluaciones científicas y con animales pues existen muchos trabajos *in vitro* que no necesariamente tendrán resultados *in vivo*.

ANTIBIÓTICOS

Los antibióticos se consideran sustancias químicas o metabolitos, los cuales actúan a favor de eliminar los microorganismos causantes de enfermedades, principalmente infecciones bacterianas microbianas también pueden mejorar la conversión alimenticia y en algunos casos como promotores del crecimiento. Los antibióticos como clortetraciclina, oxitetraciclina, bacitracina y tilosina, se utilizan en ganado de engorda principalmente para el control de abscesos hepáticos, los cuales pueden afectar el comportamiento de los animales (Brink y Lowry, 1985). Los antibióticos también pueden reducir la incidencia de timpanismo, gabarro, diarrea bacteriana y otras infecciones, además del uso de algunos antibióticos pueden mejorar salud de la mucosa del tracto digestivo, así incrementando la absorción de nutrientes y evitar el paso de bacterias patógenas.

Es importante mencionar que se pueden administrar en forma intermitente. Cuando se administra 1 g/animal/día por tres días o 400 mg/animal/día ambos en un periodo de 28 días, se obtienen resultados similares en el comportamiento de los animales (Stock y Mader, 1985).

Existen numerosas presentaciones comerciales de los antibióticos y en el caso de clortetraciclina y oxitetraciclina, su uso resulta en un beneficio de 3 a 5% de mejora en ganancia de peso y eficiencia alimenticia en ganado en finalización.

Se recomienda remover el antibiótico al menos 48 horas antes del sacrificio del ganado si las dosis son de 70 a 100 mg/animal/día. Se pueden utilizar dosis de 350 mg/animal/día de clortetraciclina con 350 mg/animal/día de sulfame-

tazaina en situaciones que lo animales manifiesten problemas mórbidos; en este caso se recomienda remover el antibiótico de la ración al menos siete días antes del sacrificio. Las mismas indicaciones son válidas para combinaciones de 2 g/animal/día de oxitetraciclina con 1.4 g de neomicina (Stock y Mader, 1985). La bacitracina (bacitracina-zinc) puede ser usada en bovinos de engorda en dosis de 35 a 70 mg/animal/día, observando mejoras en ganancia y eficiencia de 1 a 5%. En el caso de la tilosina, esta se recomienda para reducir la incidencia de abscesos hepáticos y se puede combinar con monensina; y las dosis a usar se encuentran entre 8 y 10 g/ton de alimento (base seca) o de 60 a 90 mg/animal/día. Para este producto no hay tiempo establecido para el retiro específico antes de sacrificio.

Por otra parte, al emplear de virginiamicina, ha mostrado presente efectividad en el control de acidosis ruminal, la recomendación de inclusión a la dieta va de 20 a 40 g por tonelada de alimento, han observado que mejora la conversión alimenticia de un 10 a 12%, además de incrementar un 4% la ganancia diaria de peso y reduce aproximadamente el 7% el consumo de alimento, por otra parte el rendimiento en canal, aumento en 1 a 1.5%. (Zorrilla-Ríos *et al.*, 1994).

La incorporación de antibióticos en el animal, lo debe de prescribir un profesional ya que, la elección y uso, aplicación del antibiótico adecuado para auxiliar en problema de infección. Para el uso adecuado de los antibióticos se debe de tomar en cuenta las recomendaciones emitidas por la SAGARPA, México. Por otra parte el uso de antibióticos es una práctica que conlleva el riesgo de poner en peligro la salud de consumidor si no se usan en forma adecuada.

SUPRESORES DE ESTROS

La engorda de hembras es una práctica que se realiza en México, dependiendo de las condiciones de oferta y demanda de novillos. Sin embargo, uno de los problemas al alimentar vaquillas son la manifestaciones de estos, ya que reducen el consumo y se presentan montas y gasto de energía; esto puede ser controlado con el acetato de melengestrol.

El acetato de melengestrol o MGA es una hormona sintética de actividad y estructura similar a la progesterona que suprime el ciclo estral. En general se obtienen mejoras de 3 a 7% en ganancia de peso y eficiencia; sin embargo, la repuesta puede ser variable de acuerdo a la edad de las vaquillas el numero de vaquillas por corral y otros (Stock y Mader, 1985). Se recomienda usar de 0.25 a 0.50 mg/animal/día y se debe retirar del alimento 48 horas antes del sacrificio.

Imwalle *et al.* (2002) emplearon 0.5 mg/vaquilla/día de acetato de melengestrol; concluyeron que el uso de MGA impide la ovulación en el ganado mediante la inhibición del pico preovulatoria de LH. En otro experimento Sides *et al.* (2009) emplearon 0.4 y 0.5 mg/vaquilla/día de MGA en el alimento y no encontraron cambios en el consumo de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, de igual manera las variables de la canal, unicamente encontraron disminución en la actividad estral de la vaquillas (Cuadro 14.7).

AMORTIGUADORES

Los amortiguadores ruminales son principalmente empleados en dietas en finalización, las cuales contiene elevadas cantidades de carbohidratos de rápida fermentación y baja en fibra, y estas ocasiona una disminución del pH, lo cual contrarresta la actividad de los microorganismos ruminales, principalmente las bacterias celulolíticas son las de mayor afectación (Owens *et al.*, 1998).

Cuadro 14.7 Efecto de niveles de acetato de melengestrol en el comportamiento productivo y efecto estrol de vaquillas en finalización.

Item	Acetato de melengestrol, (mg/vaquilla/día)		EE	P
	0.4	0.5		
Peso Inicial, kg	290	290	1.88	0.97
Consumo de materia seca, kg/d	7.3	7.32	0.06	0.68
Peso Final, kg	524	524	1.88	0.92
Ganacia total de peso, kg	234	233	2.53	0.97
Ganacia diaria de peso, kg	1.33	1.33	0.0	0.97
Eficiencia alimenticia	0.18	0.18	0.01	0.64
Actividad estrol de vaquillas, %	3.2	2.1	-	0.03
Características de la canal				
Rendimiento de la canal, %	65.1	65.0	0.09	0.21
Peso de la cal caliente, kg	341	340	1.44	0.59
Grado de marmoleo±	299	298	3.13	0.92
Espesor de grasa de la 12a costilla, cm	1.29	1.32	0.03	0.29

± 300=Leve; 400=Poca; 500=Modesto.

EE: Error estándar de la media; P: valor de probabilidad.

Fuente: Modificado de Sides *et al.* (2009).

Se han utilizado una gran variedad de amortiguadores para reducir la acidosis en raciones altas en grano, sin embargo, las respuestas han sido extremadamente variables (Britton, 1991). Se utilizan de 0.75 a 1.5% de la ración (base seca) de bicarbonato de sodio, óxido de magnesio y óxido de calcio y de 1 a 2% de bentonita de sodio (base seca).

Es importante considerar que la saliva del animal es el principal amortiguador en los rumiantes y que la adición de forraje y el tipo de estos pueden ser mejor recurso nutricional que la adición de amortiguadores, cuya respuesta es poco consistente e incrementa los costos de alimentación; algunos de ellos se pueden usar para formular el calcio.

Para determinar el mejor efecto del bicarbonato de sodio como amortiguador, el cual fue incorporado en las dietas o se permitió el consumo *ad libitum* en corrales de engorda, los resultado que no hay correlación entre la forma de suministrarlo, para respuestas en el pH ruminal, esto debido a que el ganado no es capaz de seleccionarlo para prevenir una acidosis, sin embargo, al mezclarlo dentro de la dieta en la ración redujo el número de largos episodios de acidosis ruminal, lo cual podría reducir las consecuencias negativas de la acidosis ruminal en la digestión de alimento y regulan el consumo de amortiguadores cuando se sienten afectados por una acidosis subaguda (Keunen *et al.*, 2003; Paton *et al.*, 2006). Lo que refuta la hipótesis que los animales son capaces de selecciona una dieta optima (Cooper *et al.*, 1996).

En relación de estimar los efectos del óxido de calcio (CaO) en la dieta en novillos de engorda, se suministraron diferentes dosis de este (0.8, 1.6, y 2.4 %) a novillos alimentados con 60 % de granos secos de destilería se evaluaron el pH ruminal, producción de ácidos grasos volátiles, digestibilidad aparente, balance de nitrógeno, rendimiento y características de la canal. Reportando que estabiliza el pH ruminal, aumenta la digestibilidad de la fibra, mostrando que la inclusión de CaO de 0.8, 1.6, y 2.4 % incrementó ganancia diaria de peso por 5.0, 3.9, y 0 %, respectivamente, concluyen que un 1.6 % de CaO es eficaz para mejorar el rendimiento del ganado de engorda (Nuñez *et al.*, 2014).

En otro estudio con granos de destilería secos o modificados, además de la adición de CaO (0 y 12%), se reportó que independientemente del tipo de granos de destilería, se incrementaba el pH ruminal en las primeras 1.5 h. alcanzado el mayor valor a las 3 h post alimentación. Sin embargo, después de las 3 h no se observan incrementos en el pH durante el resto del día. En este mismo estudio para el caso de la actividad de la celulasa ruminal, esta mostro un incremento (28%) en dietas con 1.2% CaO, a su vez también se observo un cambio en la relación acetato:propionato, por efecto de la adición de CaO independientemente del tipo de DGS. El incremento inicial a la adición de CaO sobre la actividad pH ruminal y celulasa, no aumentó la desaparición *in situ* de FDN, tampoco mostró diferencias en la producción de metano (Schroeder *et al.*, 2014).

En la Universidad Federal de Viçosa (Brazil), se realizó un estudio con 35 novillos de cruzas Holstein x Nelore, a los cuales se les proporcionó una dieta a base de ensilaje de caña de azúcar y adición de CaO (0, 5, 10, y 15 g/kg; en base fresca), reportan que la adición de más de 5 g/kg CaO no mejora el consumo de ensilaje o rendimiento de los animales, a su vez, el uso de altos niveles de CaO (15 g/kg) disminuye la ingesta de la dieta y el rendimiento de crecimiento de ganado vacuno. Por lo tanto, no se recomienda el uso de CaO por encima de 5 g/kg en la caña de azúcar en el ensilaje de caña de azúcar (Chizzotti *et al.*, 2015).

PROBIÓTICOS

Los probióticos o cultivos microbianos son productos formados por una mezcla de microorganismos vivos (hongos y levaduras), como enzimas, vitaminas, medios de cultivos y factores no identificados que tienen efectos benéficos en la fermentación ruminal, incrementando las bacterias intestinales. Los probióticos de la primera generación no mostraron resultados convincentes en raciones altas en grano (Cuadro 14.8), por otra parte ha sido señalados como una alternativa al uso de antibióticos en la alimentación de rumiantes, sin embargo, hay pocas evaluaciones que respalden su uso.

Existen probióticos que han mostrado efectos benéficos en raciones para ganado lechero, y que deben ser evaluados en corrales de engorda; éstos son elaborados con *Saccharomyces cerevisiae* o *Aspergillus oryzae*. Los mecanismos de acción de los probióticos aún no han sido entendidos (Williams y Newbold, 1990). Existen evidencias que al emplear prebióticos en becerros promueve el crecimiento y reduce la muerte, ocasionada por el estrés postdestete; por otra parte su efecto se va a ver influenciado a la edad y estado fisiológico del animal (Rodríguez-Palacios *et al.*, 2004).

Cuadro 14.8 Efecto del nivel de prebiótico (*Lactobacillus torulopsis* y *Aspergillus oryzae*) en raciones de finalización (85% maíz rolado).

	g/día			
	0	2.5	5.0	10.0
Peso inicial, kg	305	306	303	303
GDP, kg	1.22	1.09	1.28	1.11
CMS, kg	8.22	8.22	9.58	8.24
Conversión	6.72	7.57	7.51	7.44
Abscesos hepáticos %	16.7	12.5	12.5	20.8

CMS=Consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Farlin (1977).

Por otra parte, los principales efectos de los probióticos que han sido resumidos por Plata (1992), mejoran la ganancia de peso, la producción de leche, el consumo de alimento, el incremento en el pH, el cambio en la proporción de ácidos grasos volátiles, el incremento de los protozoarios y las bacterias celulolíticas, así como la digestibilidad de la materia orgánica y de la fibra. La mayoría de los estudios se han realizado en raciones con alto contenido de forraje; sin embargo, en un experimento; Plata (1992) utilizó varios niveles de concentrado basados en desechos de panadería y no encontró interacción entre niveles de fibra y probióticos, por lo que los efectos benéficos de los probióticos podrían esperarse en raciones altas en grano (Cuadro 14.9).

Cuadro 14.9 Efectos principales del nivel de fibra y de un probiótico con *Saccharomyces cerevisiae* en bovinos.

Variable	Nivel de concentrado			Probiótico	
	60	40	20	0	10
CMS, kg/d	8.7	9.15	7.51	8.41	8.49
GDP, kg	1.080	1.372	0.404	0.817	1.088
pH horas debajo de seis	5.27	3.44	1.66	3.31	3.60
Ácidos grasos volátiles mM	57.76	50.81	47.19	49.80	54.04
Proporción molar					
Acetato	54.6	59.6	63.3	60.3	58.0
Propionato	22.9	21.1	20.3	20.7	22.2
Butirato	22.3	19.2	16.2	18.9	19.6
Población de protozoarios x 10 ³ /ml	205	4.13	274	254	341

CMS=Consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Elaborado con datos de Plata (1992).

Aun al usar el probiótico con *Saccharomyces cerevisiae*, no se encontró diferencias en el consumo de alimento pero sí en la ganancia diaria de peso ($P < 0.05$) lo que mejoró la eficiencia de utilización del alimento (Cuadro 14.9), lo cual podría relacionarse con el incremento en propionato ($P < 0.05$). Es interesante observar que la adición del probiótico incrementó en forma significativa ($P < 0.01$) la población de ciliados al igual que en el experimento de Ayala *et al.* (1992). Si los protozoarios son estimulados por la adición de ese tipo de probióticos, se esperaría un efecto benéfico del probiótico en raciones con alto contenido de almidón. En algunos corrales de engorda de México se han observado efectos benéficos al adicionar probióticos en la etapa de recepción. Sin embargo, es necesario realizar más investigación ya que es posible que no todos los probióticos tengan la misma respuesta.

Un efecto adicional reportado con los probióticos es una menor temperatura corporal (Huber, 1991). Esto podría ayudar a reducir el estrés calórico. Se requiere de mayor información al respecto, puede este efecto podría ser benéfico en condiciones donde las altas temperaturas son un limitante en la engorda.

En condiciones prácticas deben de evaluarse las unidades formadoras de colonia de los probióticos y asegurarse de que se tengan presentes las levaduras o los microorganismos deseados, pues dado que estos van perdiendo viabilidad con el tiempo, es posible que la inconsistencia y la falta de efecto sea el resultado de que no se tengan los microorganismos presentes. Por otro lado, existen productos que en su formulación además de microorganismos incluyen enzimas, minerales u otros elementos que pueden ser los responsables de los efectos benéficos y no de los probióticos.

β -ADRENERGICOS

Los β - adrenérgicos son considerados anabólicos orgánicos no hormonales, que presentan un efecto biológico en la reducción del tejido adiposo, mediante la disminución de la síntesis de lípidos, por lo cual existen más nutrientes energéticos para la síntesis de músculo, en presencia de abundante fuente proteica disponible, en general realizan modificaciones al metabolismo celular, mejoran la eficiencia productiva y la calidad de la carne de bovinos (Avendaño *et al.*, 2006)

En México para el caso de bovinos de engorda están autorizados para su uso como promotores de crecimiento el clorhidrato de Zilpaterol y la Ractopamina. Estos se incorporan al final de la engorda de 20 a 40 días y se mejora la ganancia de peso, la eficiencia de utilización del alimento, peso y rendimiento de la canal (Salinas-Chavira *et al.*, 2004, 2006).

Las respuestas son similares en hembras y machos. Los factores importantes son la dosis, días de retiro, y días de consumo. Las dosis usadas son de 6 a 8 mg/kg en la ración para zilpaterol y de 30 mg/kg de la ración de ractopamina. El zilpaterol debe ser retirado 3 días previos al sacrificio (Plasencia *et al.*, 1999).

En un experimento conducido por Castellanos-Ruelas *et al.* (2006) emplearon 0.14 mg de zilpaterol/kg de peso vivo/día, durante 33 días a novillos cebuinos, alimentados con dieta de finalización (13.2% PC, 1.93 Mcal ENg, 1.26 Mcal de ENm); con el objetivo de conocer la ganancia de peso y el rendimiento de la canal, para lo cual la dosis de β - adrenérgico fue retirado en el día 31 del experimento; el último día del experimento los novillos fueron sacrificados; encontraron que el efecto del zilpaterol, incremento la ganancia de peso y rendimiento en canal, además de que las canales resultaron más magras (Cuadro 14.10).

Cuadro 14.10 Efecto del β -agonista adrenérgico (zilpaterol) en la ganancia de peso y variables de la canal de novillos cebuinos en finalización.

Items	Zilpaterol, mg/kg PV/día		EE
	0	0.14	
Peso inicial, kg	358.4	354.8	3.28
Peso final, kg	407 ^a	405 ^a	3.76
Consumo de MS, kg/d	8.97	9.26	-
Conversión alimenticia	6.14	6.15	
Rendimiento canal caliente, %	58.1 ^a	59.1 ^b	0.21
Grasa interna, kg	14.5 ^a	13.5 ^b	0.35
Marmoleo	4.00 ^a	3.64 ^b	0.18
Espesor de grasa dorsal, cm	6.8 ^a	5.8 ^b	0.23
Área del <i>Longissimus</i> , cm ²	61.3 ^a	71.6 ^b	2.52

PV=Peso vivo; EE=error estándar de la media; MS= materia seca.

Fuente: Modificado de Castellanos-Ruelas *et al.* (2006).

Al emplear la combinación de monensina y tilosina se pueden retirar de la dieta durante el período de alimentación con zilpaterol (pasando 30 días de alimentación) con un mínimo o ningún impacto en la calidad y cortes de la carne. El clorhidrato de zilpaterol es un agente de repartición que funciona a través de aumento de la proteína y una disminución en la deposición de grasa. Por lo que alimentar con clorhidrato zilpaterol durante 30 días antes del sacrificio a novillos, aumenta el rendimiento en canal pero disminuye la ternura. Sin embargo, disminuye el envejecimiento postmortem de la canal, lo que a su vez no afecta de manera negativa a la aceptación general de los consumidores del musculo *longissimus* hasta 14 d postmortem (Hilton *et al.*, 2009).

Existen otros beta agonistas que están prohibidos (clenbuterol, salbutamol y otros análogos de catecolaminas) dado que el consumo de productos de bovinos alimentados con esos productos representa un riesgo para la salud pública (NOM-061-ZOO-1999; Sumano *et al.*, 2002).

OTROS PRODUCTOS

Existen aditivos los cuales son principalmente los extraídos de plantas (extractos o aceites esenciales) que se consideran metabolitos secundarios, que se pueden emplear como antibióticos, los cuales presentan la ventaja de modificar la actividad microbiana, aunque su estudio aún se encuentra en la fase experimental debido al alto grado de complejidad que presentan en la fermentaciones ruminales, por lo cual la adición de estos extractos han generado resultados variable (Cardozo *et al.*, 2005; Busquet *et al.*, 2006; Castillejos *et al.*, 2006).

Tal es el caso de la sarsaponina esteroideal de origen vegetal, los cuales pueden secuestrar el N amoniacal cuando su concentración ruminal es elevada y liberándolo cuando su concentración se reduce (Wu *et al.*, 1994), aunque sus principio activo se desconoce. Los resultados indican que pueden obtenerse respuestas de 0 a 4% de mejoría en ganancia y eficiencia (Stock y Mader, 1985).

Los aceites esenciales, presentan una actividad antimicrobiana principalmente de bacterias Gram positivas y negativas, mediante la interacción de estos aceites con las membrana citoplasmática de las bacterias (Dorman y Deans, 2000).

Por otro lado, es importante mencionar los productos que se venden como aditivos alimenticios y sin ningún valor como tales. Es necesario que se consulten las referencias y la información experimental de cualquier producto que se ofrezca antes de decidir su uso, ya que se podría incrementar los costos de alimentación sin beneficio alguno.

CAPÍTULO XV

IMPORTANCIA DEL BIENESTAR EN LA PRODUCCIÓN DE BOVINOS DE CARNE EN CORRAL

M.E. ORTEGA C.

Al aumentar la población mundial y la demanda por proteínas de origen animal, los animales se han producido en forma intensiva, generalmente en confinamiento, sin considerar su conducta y bienestar. El término bienestar animal puede definirse como proporcionar las condiciones ambientales en las que los animales puedan realizar sus conductas naturales (Koknaroglu y Akunal, 2013), las que se han plasmado en las denominadas “Cinco Libertades”, que son el no padecer de hambre, sed o malnutrición; no tener incomodidad física o térmica; no sufrir dolor, lesiones o enfermedades; no padecer por miedo o estrés y la libertad para expresar sus patrones normales de comportamiento. El proporcionar bienestar animal es una responsabilidad humana que debe considerar diferentes aspectos como alojamiento adecuado, manejo, nutrición, prevención de enfermedades y tratamiento, entre otros.

El estudio científico del bienestar animal y el conocimiento de la conducta animal permiten implementar mejores prácticas de manejo. En la actualidad, los productores de ganado de carne saben que la reducción del estrés en sus animales mejora la productividad y la seguridad (Grandin, 2003). Se sabe que diferentes factores pueden afectar el bienestar del ganado como son la nutrición, condiciones ambientales, instalaciones, manejo, enfermedades, transporte y sacrificio.

NUTRICIÓN Y BIENESTAR

En los corrales de engorda, el uso de dietas altas en concentrados, con más del 80% en dietas de finalización es común. Sin embargo, este tipo de dietas se ha relacionado con enfermedades nutricionales como acidosis, abscesos hepáticos y laminitis, éstos últimos se presentan posteriormente a la acidosis (Nagaraja y Lechtenberg, 2007a). La acidosis es el resultado de una producción excesiva de ácidos en el rumen y puede ser aguda, definida también como acidosis clínica, con valores de pH ruminal por debajo de 5.0, o subaguda, cuando el pH es menor de 5.8 por más de 12 h/día (Schwartzkopf-Genswein *et al.*,

2003). Los aspectos de bienestar relacionados con la acidosis aguda incluyen la presentación de estas enfermedades y mortalidad; mientras que en la acidosis subaguda, el consumo de alimento es irregular, se reduce la ganancia de peso y se presenta rumenitis, que es el engrosamiento del estrato córneo del epitelio del rumen, el cual causa lesiones y abscesos hepáticos (Owens *et al.*, 1998, Cook *et al.*, 2004; Nagaraja y Lechtenberg, 2007b).

En EU y Canadá se ha calculado que los abscesos hepáticos se encuentran entre 54 a 64% de los hígados decomisados (García *et al.*, 2008b). Algunas estrategias para reducir la incidencia de acidosis ruminal consisten en aumentar el porcentaje de fibra, así como dar una adaptación gradual por 3 a 4 semanas de una dieta alta en forraje a una alta en concentrado, para facilitar la adaptación de los microorganismos ruminales y del epitelio ruminal (Nagaraja y Lechtenberg, 2007a).

Debe ponerse atención a la selección de ingredientes pues el empleo de subproductos como la pollinaza, que es muy común en dietas para bovinos en corral, puede favorecer la transmisión de enfermedades y de residuos de fármacos o metales (USDA, 2000).

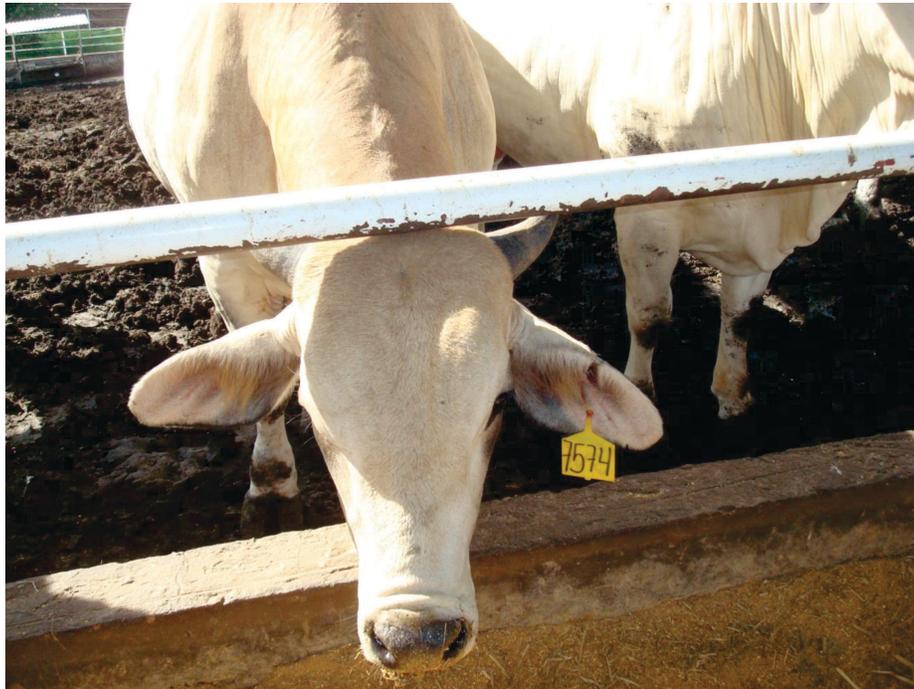


Figura 15.1 Corral de engorda donde se aprecia cantidades excesivas de lodo.

CONDICIONES AMBIENTALES

El objetivo de los corrales de engorda es finalizar y aumentar de peso los animales antes de llevarlos al rastro. El ganado que llega a estos corrales es generalmente joven y su estancia puede ser de 120 días o más, la ganancia diaria de peso debe ser al menos de 1.300 kg por día, hasta llegar a un peso final de 450 a 550 kg o más. Los animales que llegan a los corrales, pasan de condiciones de pastoreo a una condición de sobre población en los corrales de engorda, lo que causa problemas físicos y sociales. Si los corrales no tienen instalaciones adecuadas, con comederos suficientes, los animales no pueden consumir suficiente comida, sobre todo los animales subordinados. En estos corrales los animales ganan peso rápidamente pero tienen poca oportunidad para ejercitarse. Por otra parte, sus piernas no son suficientemente fuertes para aguantar un cuerpo anormalmente pesado, lo que puede dañar los cartílagos y causar dolor en las extremidades y dificultad para echarse y pararse (Broom y Fraser, 2007). Además de un espacio inadecuado y falta de ejercicio, los animales en corrales de engorda están expuestos a altos niveles de polvo, acumulación de lodo y excretas. También son vulnerables a condiciones ambientales extremas como altas o bajas temperaturas, viento y lluvias.

La exposición a altas y bajas temperaturas afectan la conducta, fisiología, bienestar y productividad de los animales. Dentro de la zona de confort térmico, cuando la temperatura ambiental se encuentra entre la temperatura crítica baja y la temperatura crítica alta, el animal invierte un mínimo de energía en mantener su temperatura corporal, pero una vez que la temperatura ambiental se encuentra fuera de la zona termoneutral, el animal requiere invertir mayor cantidad de energía para disipar el calor o producirlo, con lo que la energía disponible para otras funciones metabólicas disminuye, además de que si los mecanismos de termo regulación no logran mantener la temperatura corporal dentro de los rangos normales, el animal puede enfermar e incluso morir (Van laer *et al.*, 2014). Desafortunadamente la mayoría de los corrales no proveen a los animales con las condiciones mínimas de bienestar para protegerlos de los cambios ambientales.

INSTALACIONES

Las instalaciones bien diseñadas para la carga y descarga, recepción y corte de ganado, reducen el estrés y las lesiones en los animales, esto es importante porque el estrés disminuye la respuesta inmune, aumentan los niveles de cortisol y reducen la ganancia de peso. En tanto que el manejo tranquilo reduce la frecuencia cardiaca, los animales son más calmados, sufren menos lesiones y son más fáciles de manejar en situaciones futuras, además de que es posible reducir la mano de obra (Grandin, 1997).



Figura 15.2 Corral de engorda donde se observa que la sombra es insuficiente y no protege completamente de la radiación.

El tipo de piso, espacio mínimo para cada animal, tipo y número de comederos, puede afectar el comportamiento productivo de los animales. Gottardo *et al.* (2003) encontraron al comparar piso con cama de paja y tipo slat, que el peso de los animales y el rendimiento en canal fue similar, sin que se presentaran problemas clínicos en ningún tratamiento. Sin embargo, otros estudios han demostrado que los animales tienen diferentes preferencias de acuerdo al tipo de piso (Lowe *et al.*, 2001), esto puede afectar el tiempo que emplean en el comedero (Fregonesi *et al.*, 2004) así como la presentación de lesiones en las patas (Somers *et al.*, 2003). Es importante considerar que el piso no debe ser resbaladizo, deben ser uniformes en apariencia y libres de objetos que puedan causar heridas; los drenajes deben colocarse fuera de las áreas donde los animales caminan, además de evitarse sombras o cambios bruscos en la intensidad de la luz en el lugar donde se alojan los animales (Grandin, 2007).

En relación al espacio mínimo recomendado por animal, para que pueda echarse y descansar, Antalyali (2007; citado por Koknaroglu y Akunal, 2013) sugiere 1.72 m² para un animal de 150-220 kg de peso y 1.8 m² para animales de más de 220 kg. Respecto al espacio del comedero, Gottardo *et al.* (2004) probaron 60 y 80 cm por cabeza, sin encontrar diferencias en el bienestar de los animales, ganancia de peso y calidad de carne, concluyendo que 60 cm es un espacio suficiente.

MANEJO

La mayoría del ganado bovino de carne se encuentra en pastoreo los primeros meses de vida, por lo que está menos acostumbrado al manejo y en situaciones nuevas, con ruidos o sonidos extraños, el animal se atemoriza (Grandin, 1997). Los bovinos destinados a la producción de carne, al igual que otras especies, responden a la manera en que son tratados. Las experiencias que tiene el animal en las primeras etapas de vida afectan su reacción a las personas y situaciones nuevas. Animales que han sido maltratados son más difíciles de manejar y presentan más magulladuras después del sacrificio que los que han sido bien tratados. Muchas veces el ganado se maneja utilizando métodos que son agresivos, como lazar, gritar, pegar, torcer la cola y aplicar choques eléctricos (Pajor *et al.*, 2000), debido al desconocimiento de su forma de percepción y de su comportamiento.

Para evitar a los predadores, el ganado bovino tiene un campo visual amplio y panorámico, que abarca los 360°. Los vacunos pueden distinguir colores (Arave, 1996), los bovinos tienen visión dicromática, con conos de máxima sensibilidad a la luz amarillo-verdosa (552-555 nm) y azul-purpúrea (444-455 nm) (Jacobs *et al.*, 1998). Los bovinos pueden ver en profundidad, aunque deben detenerse y bajar la cabeza para percibir la profundidad del campo visual. Esto puede explicar por qué se frenan bruscamente cuando ven sombras en el suelo; el ganado bovino no puede percibir objetos ubicados por encima de la línea de la cabeza, a menos que éstos se muevan (Smith, 1998); debido a sus pupilas horizontales, pueden percibir mejor las líneas verticales que las horizontales. La mayoría de los animales herbívoros tienen pupilas horizontales, en tanto que la mayoría de los predadores tiene pupilas redondas. Tienen una banda horizontal de sensibilidad en la retina, en lugar de una fovea central, como los humanos (Saslow, 1999), esto les permite mantener bajo control visual su entorno mientras pastorean. Los animales de pastoreo poseen un sistema óptico muy sensible al movimiento y a los contrastes de luz y sombra. Son capaces de visualizar permanentemente el horizonte mientras pastorean, pero pueden tener dificultades para enfocar rápidamente la vista en objetos cercanos, debido a que sus músculos oculares son débiles (Coulter y Schmidt, 1993). Esto explica por qué se sobresaltan cuando algo se mueve repentinamente en su entorno.

El ganado bovino respeta un cerco compacto y rara vez se lanzará contra él o tratará de atravesarlo a la carrera. Cuando está excitado, atropellará un cable o un cerco de cadenas, porque no puede verlo, pero si se colocan cintas atadas al alambre a la altura de los ojos del animal, puede ver el cerco y evitar que se precipite contra el mismo. El vacuno también tiene una fuerte tendencia a moverse desde las zonas de escasa iluminación hacia otras mejor iluminadas (Grandin, 1980a,b). No obstante, no se acercarán a una luz muy intensa.

Son también muy sensibles a los sonidos de alta frecuencia. El oído humano tiene su máxima sensibilidad entre las frecuencias de 1,000 a 3,000 Hz, mientras que el ganado bovino la posee en los 8,000 Hz (Heffner y Heffner, 1983).

El bovino puede oír con facilidad hasta los 21,000 Hz (Algers, 1984). Heffner y Heffner (1992) descubrieron que los bovinos tienen menos capacidad que el común de los mamíferos para localizar sonidos, estos autores sugieren que estas especies de presa cubren con su mejor visión la casi totalidad del horizonte, por lo que no necesitan ubicar los sonidos con tanta precisión como los animales que tienen un campo visual más estrecho. El ruido provoca estrés a los animales de pastoreo. Los alaridos o chiflidos de la gente les generan más estrés que los ruidos de puertas metálicas al golpearse (Waynert *et al.*, 1999). Los sonidos súbitos e intermitentes parecen ser más atemorizantes que los estímulos constantes. Además los movimientos bruscos tienen un mayor impacto activador sobre la amígdala, que es la parte del cerebro que controla el miedo (Rogan y LeDoux, 1996).

Los bovinos, al igual que otros ungulados, se asustan ante las novedades cuando éstas se les presentan súbitamente. Los animales retroceden ante un cambio repentino en la conformación del cerco o en la textura del piso. Las sombras, las aberturas de drenaje y los charcos también interrumpen el movimiento del ganado vacuno (Grandin, 1980a). En las áreas donde se trabaja con animales, la iluminación debe ser uniforme, para impedir que haya sombras, y las instalaciones deben estar pintadas de un mismo color para evitar contrastes visuales. El ganado lechero que es ordeñado todos los días en las mismas instalaciones, podrá caminar sin detenerse sobre una rejilla de desagüe o una sombra en el piso, porque ya no es algo novedoso. Sin embargo, los mismos animales retrocederán y agacharán la cabeza para investigar un pedazo de papel extraño tirado sobre el suelo (Grandin y Deesing, 1998).

En relación a su conducta, los bovinos son animales de manada, lo primero que buscan al acercarse una persona, a la que consideran como predador, es juntarse con sus congéneres, ya que la manada es su zona de seguridad. Son también animales de fuga, es decir, que ya que se han juntado, procuran alejarse y siempre que puedan tratarán de escapar y solamente enfrentarán a las personas cuando no puedan huir. Son animales gregarios (instinto de manada), por lo que no les gusta quedarse solos. El comportamiento de manada se acentúa más en razas índicas que europeas, estos animales son de temperamento más excitable y se agitan más cuando se separan del grupo. Cuando es necesario llevar a un animal a la manga, por ejemplo para curarlo, debe hacerse con dos o tres animales más, aunque estén sanos, para que el que se deba curar no trate de regresar a la manada.

Los bovinos son animales de presa, por lo que tratan de escapar frente a un depredador. En presencia de una persona, tratan de mantener distancia, alejarse o huir, según la experiencia previa que hayan tenido con los humanos. La zona de fuga se puede definir como la distancia mínima de aproximación que permite un animal a otro individuo antes de iniciar la fuga. Para determinarla hay que caminar lentamente hacia el animal, se habrá alcanzado el límite de la zona de fuga cuando este comience a desplazarse (Grandin, 2007). La super-

ficie de la zona de fuga está determinada por varios factores, como el carácter del animal, manso o excitable; la experiencia previa del animal con las personas, si han tenido más manejo y cómo ha sido éste.

Considerando esta característica, es fácil mover a los animales si se trabaja desde el borde de la zona de fuga. La persona debe ubicarse lo suficientemente cerca del animal para hacerlo caminar, pero no demasiado para provocarle pánico, hacer que huya o se enfrente. Si la persona se acerca demasiado, entrará a una segunda zona, la de lucha, en este caso los animales en vez de fugarse se enfrentarán al intruso, porque lo perciben como agresión. También debe considerarse la presencia de perros, considerando que los bovinos son animales de presa, en tanto que el hombre y el perro son predadores, por lo que los bovinos procuran alejarse de ellos y lo hacen juntándose con la manada.

El manejo genera miedo en los bovinos, como son los arreos, los trabajos en la manga y los embarques, por lo que las experiencias anteriores afectan su reacción al manejo. Los animales reaccionan a las situaciones según haya sido su primera experiencia, si la experiencia de un becerro con las personas es mala, será difícil de manejar por el resto de su vida. El ganado aprende del maltrato que recibe, por eso existen problemas como resistencia del ganado a entrar a los corrales y sobre todo a la manga; resistencia a ser juntados y arreados a los corrales. Las vacas enseñan conductas defensivas a sus crías (escaparse, saltar cercos, atropellar, etc.). También existe la memoria del buen manejo, cuando el animal no es maltratado, aprende a responder al buen trato que recibe (Grandin, 2007).



Figura 15.3. Diseño de manga de manejo recomendada sin esquinas y sin posibilidad de vista a personas.

ENFERMEDADES Y PROCEDIMIENTOS DE MANEJO QUE CAUSAN DOLOR A LOS ANIMALES

Una de las enfermedades que más costos causa en la producción de bovinos de carne es la enfermedad respiratoria bovina o síndrome respiratorio bovino (SRB), ya que reduce la productividad y la calidad de la canal, además de causar la muerte del ganado. El ganado que tiene el mayor riesgo es el de bajo peso, que ha sido transportado por grandes distancias sin ser alimentado o que no ha tomado agua. Algunas prácticas que pueden reducirla es la vacunación, desparasitación, además de castrarlos y descornarlos con anticipación a ser transportados (USDA, 2011). Los bovinos destinados a la producción de carne son sometidos a manejos que son dolorosos como la castración, descornado y marcado.

Los métodos de castración están asociados con daño físico, químico u hormonal a los testículos, al igual que la castración inmunológica (Stafford y Mellor, 2005). El método más utilizado es la castración física, que involucra la remoción de los testículos o que los daña irreversiblemente, como es el uso de ligas de hule o bandas de latex (AVMA, 2009), o de pinzas de castración. Los novillos que son castrados tienen mejor calidad de carne, con más terniza y marmoleo. Aunque se han demostrado las ventajas de la castración, también está comprobado que causa cambios fisiológicos, neuroendocrinos y conductuales que indican que el animal sufre dolor y estrés (González *et al.*, 2010b). La administración de anestésicos locales reduce estos efectos (Coetzee, 2013), sin embargo, rara vez son utilizados porque aumentan los costos de producción.

El descornado es una práctica común que se realiza para reducir el riesgo al manejar a los animales, disminuir la incidencia de magulladuras en la canal y lesiones en las pieles, reducir los espacios individuales del comedero y también el riesgo de que los animales se lesionen entre ellos mismos (AVMA, 2012). El descornado se puede realizar en los becerros a las ocho semanas de edad, por medio de un fierro caliente. Una vez que los cuernos están más largos se adhieren al seno frontal y deben ser amputados, existen tres formas de hacerlo: 1) usando descornadores, sierras fijas o flexibles; 2) cauterizando con hierro caliente y 3) con la aplicación de pastas cáusticas como hidróxido de sodio o de calcio. Independientemente del método utilizado, en todos los casos se causa una respuesta estresante severa.

Al medir las concentraciones de cortisol, se ha observado que éstas se elevan, regresando a niveles normales después de 7 a 8 h de realizado el descornado. Los anestésicos locales disminuyen el incremento de los niveles de cortisol, pero éstos vuelven a elevarse al terminarse la acción del anestésico (Sutherland *et al.*, 2002). Sin embargo, no se ha estudiado el efecto del descornado en cuanto a dolor y estrés a largo plazo.

El marcado de los animales se realiza con fierros calientes que causan alopecia permanente, o por congelamiento, en donde se destruye el pigmento de folículos pilosos, resultando en el crecimiento de pelo despigmentado (AVMA, 2012). Ambos son procedimientos dolorosos, en el caso del uso de fierro ca-

liente aumentan los niveles de adrenalina plasmática, comparado con el congelamiento, además de que los animales tienen más movimientos de cabeza.

Existen alternativas para estos procedimientos que son dolorosos para los animales, como seleccionar razas sin cuernos, de igual manera se puede evitar la castración utilizando compuestos que supriman el estro en vaquillas, como acetato de melengestrol (MGA) o la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) que causa inmunocastración en toros, además de implementar el uso de analgésicos en estos procedimientos.

TRANSPORTE

Casi todos los animales criados para producción de carne son transportados en algún momento de su vida y en ocasiones varias veces durante esta. Muchos de estos viajes pueden ser largos, lo que es un evento estresante para los animales, ya que cambian sus patrones normales de alimentación y consumo de agua, se ven expuestos a nuevos ambientes, en ocasiones se mezclan con individuos desconocidos, además de estar en espacios reducidos y confinados, sujetos al ruido y vibración y posiblemente a temperaturas extremas (Ortega, 2010).

El transporte tiene diversas implicaciones, en la conducta y también en la susceptibilidad de los animales a disminuir su producción, contraer enfermedades o inclusive morir, debido a que al exponerse a agentes estresantes se reduce la capacidad del sistema inmunológico del animal, en donde interviene el sistema hipotálamo-adrenocortical, pues la secreción de hormonas corticosteroides suprimen la respuesta inmune, y se afecta la calidad de la canal, cuando el destino final es el sacrificio.

Existen diversos factores involucrados en lo que se denomina estrés de transporte, como son el manejo antes del transporte, el ruido, vibración, exposición a nuevas situaciones, reagrupamiento social, sobrepoblación y factores climáticos (temperatura, humedad, gases), embarque, desembarque, tiempo de viaje, falta de comida y agua, por mencionar algunos, lo que indica que la respuesta del animal al transporte no es simple (Grandin, 2007). La mayoría de los estudios realizados en relación al transporte de bovinos, ha tenido como principal objetivo evaluar el efecto del estrés sobre las características de la canal y la calidad de la carne. El transporte puede producir efectos adversos en las características de la canal en variables como rendimiento, pH, color, textura y la capacidad de retención de agua, además de que en casos extremos, puede producir la muerte de los animales debido principalmente a sobrecarga, pisoteo por caídas, asfixia por malas condiciones de ventilación, fiebre de embarque (septicemia hemorrágica) y deshidratación (Romero *et al.*, 2011). Se ha observado que a mayor tiempo de transporte el número de animales caídos durante el viaje se incrementa (2 a las 12 h vs 5 a las 24 h), lo que ocasiona pérdida de peso en los animales a la llegada al rastro de un 6.5 hasta un 10.5% y un incremento en la presentación de contusiones en las canales (Gallo *et al.*, 2000). Otros factores que influyen en la pérdida de peso durante el transporte

son el ejercicio, el manejo previo o durante el embarque, las condiciones climáticas y la época del año, siendo en general, mayores durante primavera-verano que en otoño-invierno, debido probablemente a un mayor efecto por deshidratación (Gallo *et al.*, 2000).

Con el fin de disminuir las repercusiones del estrés del transporte en la industria de la carne, se han usado diferentes fármacos como el diazepam, un benzodiazepínico, cuyo efecto se traduce en la supresión de la hipercortisolemia, hiperglicemia y taquicardia generados por el transporte, actuando de manera similar a los β -bloqueadores, potenciando las interneuronas inhibitorias que utilizan el GABA. Los barbituratos (pentobarbital), también han sido utilizados debido a que su acción es directa sobre la pituitaria inhibiendo la liberación de la hormona adrenocorticotrópica.

Uno de los β -bloqueadores más comúnmente utilizado en bovinos, cerdos y caballos es el carazolol, cuya función es reducir el estrés durante el transporte y el parto (Eyzaguirre, 1984). Aunque estos fármacos se han utilizado para tranquilizar a los animales durante el transporte y de esta manera reducir el estrés, su uso no es un sustituto de buenas prácticas de manejo.

SACRIFICIO

Se han realizado diversos estudios para determinar el estrés al emplear diferentes métodos de matanza. La medición de los niveles de cortisol es una de las formas más comunes para evaluarlo, el ganado que está excitado generalmente tiene niveles más elevados de cortisol que el que está calmado. Sin embargo, cuando el sacrificio se hace con cuidado, los niveles de cortisol son menores a los que se registran al manejar el ganado en la granja. Otro indicador de estrés es la medición de β endorfinas, éstas aumentan en respuesta al dolor, mientras que el cortisol se ve afectado por el estrés fisiológico. No obstante, existen otras formas más completas de evaluar el bienestar en esta etapa, como es el protocolo de Welfare Quality® (Velarde y Dalmau, 2012), en que se consideran diferentes criterios desde la transportación, embarque, desembarque, permanencia en los corrales, hasta la insensibilización o aturdimiento.

Un punto importante dentro del manejo del ganado bovino durante la matanza es el uso de métodos de insensibilización, que sean adecuados para que el animal no sufra durante esta etapa y este estrés no se vea reflejado en la calidad de la carne debido al uso de métodos erróneos de sacrificio. En los rastros en México, se debe utilizar una pistola de perno cautivo de penetración, el punto de aplicación se obtiene trazando dos líneas imaginarias a partir de la base de los cuernos, que se dirijan cada una de la comisura externa del ojo opuesto; donde se cruzan las líneas se hará el disparo, colocando el cañón del pistolete en posición perpendicular al hueso frontal (Norma Oficial Mexicana, 1995).

El objetivo de la insensibilización, es que el animal pierda en forma inmediata la conciencia, para evitar cualquier sufrimiento innecesario durante el desangrado (Wotton, 1993). Este aturdimiento es efectivo si el golpe se efectúa

en la parte correcta del cráneo, porque la mejor posición es donde el cerebro está más cerca de la superficie de la cabeza y donde el cráneo es más delgado (HSA, 1998).

Las alteraciones que se presentan en la calidad de la carne debido al mal manejo de los animales, es la anomalía que se conoce como “corte oscuro” o carnes DFD (*dark, firm, dry*), que se caracteriza porque la carne presenta un pH mayor a 5.8 a las 24 horas postmortem y un oscurecimiento del músculo (Gallo, 2009). Se ha observado que el mantener grupos de animales socialmente estables, que se conocen previamente y no mezclar animales desconocidos durante el transporte o en los corrales del rastro, disminuye la presentación de este tipo de carne (Bartos *et al.*, 1993), ya que las pérdidas económicas son considerables en la industria cárnica debido a este problema.

Los factores antes discutidos son de suma importancia y deben ser considerados en la producción de bovinos de carne, ya que finalmente repercuten en la calidad de la carne y en las ganancias económicas del productor. Existen experiencias en algunos países que han demostrado que la implementación de prácticas que promuevan el bienestar animal repercuten en beneficios económicos por lo que deben de considerarse seriamente en el manejo de corrales de engorda.

CAPÍTULO XVI

USO DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN CORRALES DE ENGORDA

G.C. ORTEGA N., G.D. MENDOZA M.

CONCEPTOS BÁSICOS

Como ya se indicó en el capítulo de modelos de digestión ruminal del almidón, los modelos matemáticos son ecuaciones que describen fenómenos biológicos; y estos modelos son herramientas esenciales para el entendimiento del sistema digestivo de los rumiantes (Paengkoum, 2006).

La pregunta es, ¿Qué es un modelo de simulación?, antes de contestar, definiremos el significado de un modelo, Gordon (1978) menciona que es el conjunto de información referente a un sistema, con el propósito de estudiar dicho sistema, en otros términos, un modelo es la representación de un sistema (Banks, 1998). ¿Qué es un sistema?, un sistema se define como el ensamblaje de objetos, los cuales se unen entre interacciones (Gordon, 1978); debe considerarse que los sistemas (Figura 16.1), operan en el mundo de manera dinámica, en donde las entradas, coeficientes y salidas cambian (Tilley, 2014). Von Bertalanffy (1950) explica que los sistemas son un conjunto de elementos que se interrelacionan, en donde existen sistemas abiertos y cerrados, en el caso de sistemas abiertos se caracterizan por entradas, salidas y cambio de componentes; estos sistemas son los que con más frecuencia se utilizan en los modelos de simulación de corrales de engorda.

Una vez comprendido el concepto de sistemas, se describirán las características estructurales de los sistemas; a) elementos, que son la representación simplificada de algunas características de la realidad o representación conceptualizada de una parte del mundo real; b) relaciones entre elementos, lo que significa que los componentes o elementos están interrelacionados; c) límites, son aquellas secciones en donde se puede determinar por ambigüedad si un elemento pertenece o no al sistema, este límite permite delimitar lo que se quiere estudiar. Una vez que se establece el límite del sistema, se contemplan los elementos endógenos y exógenos; d) elementos endógenos, son aquellos elementos cuyo comportamiento es establecido por otras variables del modelo,

y cuyo valores se fijan dentro del modelo; elementos exógenos, aquellos cuyos valores se determinan externamente del modelo, pero que deben ser considerados porque actúan sobre algún elemento endógeno (López y Martínez, 2000).

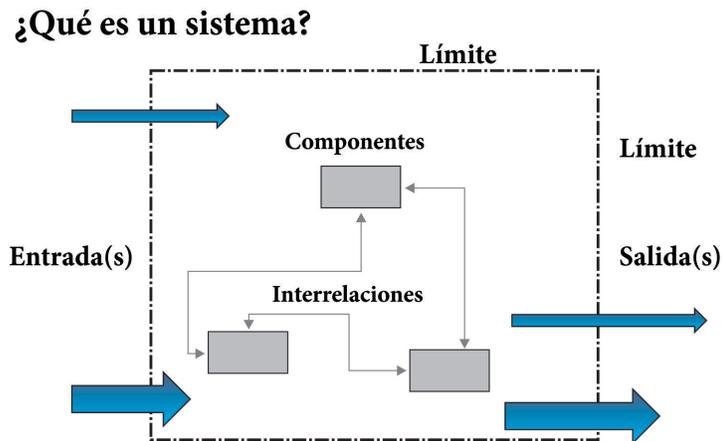


Figura 16.1 Representación de un sistema.
Fuente: Modificado de Odum y Peterson (1996).

Debe considerarse que en los modelos de simulación, se contempla el uso de variables, parámetros y constantes. Entre las variables se consideran cuatro tipos: variables de estado, la tasa de variación, variables auxiliares y variables de ejecución (France y Thorney, 1984).

López y Martínez (2000) señalan los elementos de un modelo de la simulación dinámica, los cuales son: variables de estado (niveles), variables de flujo (flujos), variables auxiliares, variables exógenas, tasas o parámetros, canal de material, canal de información, fuentes, relación no lineal, retardos y variables predeterminadas.

Después de conocer los conceptos básicos, se pueden describir los tipos de modelos; los cuales, se pueden clasificar a diversos aspectos (Gordon, 1978). De acuerdo a France y Thorney (1984) los modelos se pueden clasificar en empíricos o mecánicos, estáticos o dinámicos, determinísticos o estocásticos (Figura 16.2). Los modelos empíricos son aquellos que describen modelos de manera simple (relación entre variable), los mecánicos, son aquellos que describen el fenómeno con un mayor grado de entendimiento, utilizando terminología de una manera organizada. Los modelos dinámicos, son aquellos que consideran la variable tiempo, de manera contraria, los estáticos no consideran el tiempo. En cuanto a los estocásticos, tienen el componente aleatorio en el modelo, de manera contraria, en los determinísticos bajo las mismas condiciones el resultado siempre será el mismo.

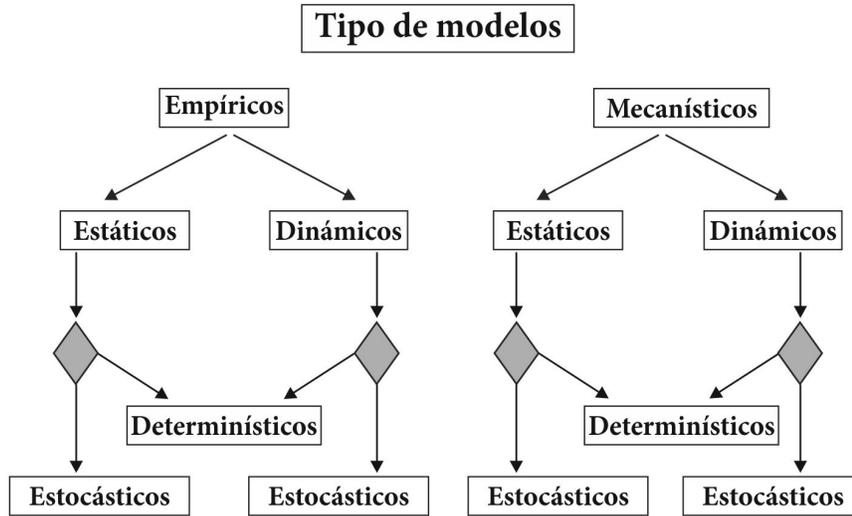


Figura 16.2 Clasificación de modelos.

Fuente: Elaborado con información de France y Thorney (1984).

Los modelos de simulación, son herramientas para imitar las operación de los procesos del mundo real a través del tiempo y se utilizan para describir y analizar el desarrollo de un sistema (Banks, 1998).

La construcción de un modelo comprende las siguientes fases: descripción del sistema, diagrama causal, definición de cada magnitud, diagrama de Forrester, sistema de ecuaciones, calibrado, análisis de sensibilidad, evaluación del modelo y la utilización del modelo (López y Martínez, 2000).

La construcción del modelo de simulación puede interpretarse considerando los pasos que se muestran en la Figura 16.3, en donde se inicia con la pregunta de investigación y se plantea el problema, seguido por la investigación en donde se realiza la búsqueda de información (información debe ser confiable y de fuentes reconocidas y aceptadas; en donde se incluyen artículos científicos, tesis, reportes, entre otros documentos), posteriormente se procede a la construcción y desarrollo del modelo; una vez construido el modelo se debe evaluar, para lo cual se recurre al análisis de sensibilidad (Hamby, 1994), y a las pruebas estadísticas (Tedeschi, 2006), finalmente se utiliza modelo.

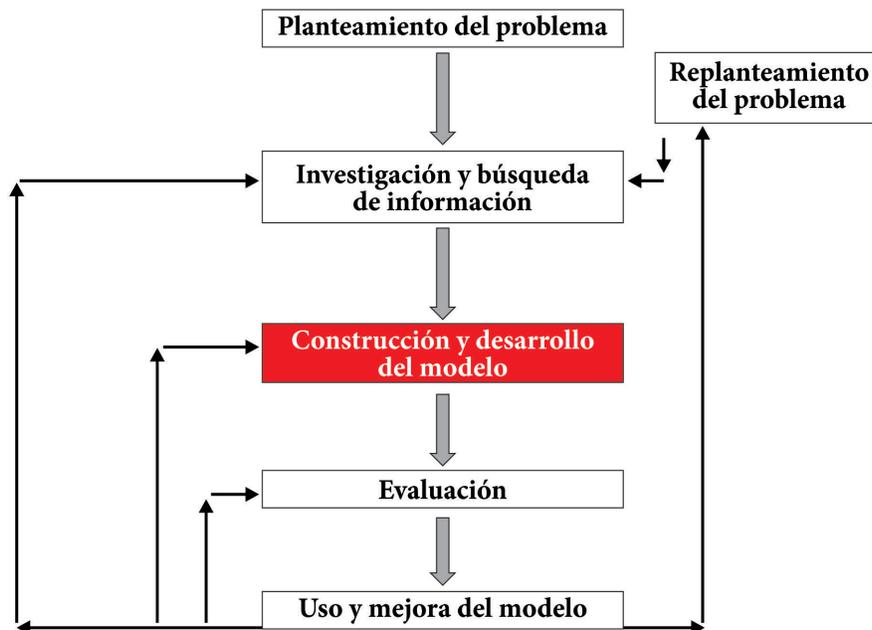


Figura16.3 Etapas para la construcción de un modelo.

MODELOS EN CORRALES DE ENGORDA DE BOVINOS

El uso de modelos de simulación relacionados con bovinos en corrales de engorda, tienen sus orígenes en modelos de curvas de crecimiento, entre las cuales se encuentran los modelos de Brody, Bertalanffy, Logistic, Gompertz y Richards (Hirooka, 2010). Se han desarrollado modelos mecánicos para estimar el crecimiento animal, como el de Tedeschi *et al.* (2004), INRA Growth Model y el Davis Growth Model (García, 2008a).

Existen modelos que permiten estimar las emisiones de metano y se puede predecir cómo reducir la producción de metano (Hünerberg *et al.*, 2014). En bovinos en corrales de engorda Ellis *et al.* (2009) desarrollaron diversas ecuaciones lineales y no-lineales, reportando valores de r^2 desde 0.325 hasta 0.749 para estimar las emisiones de metano.

Considerando el impacto de los gases de efecto de invernadero (GEI), en Canadá se desarrolló un programa de cómputo para estimar los GEI generado en las granjas, dicho programa se nombró HOLOS®, y fue desarrollado por el consejo de Agricultura y Agri-Food del gobierno de Canadá, el cual se basa en las metodologías del IPCC, considerando las fuentes de entradas y salidas de DEI de la granja (Kröbel *et al.*, 2012).

En el Cuadro 16.1 se presentan algunos de los tipos de modelos de simulación o estudios, los cuales relacionan diversos aspectos de la engorda de bovinos.

Cuadro 16.1 Tipos de modelos o estudios relacionados con la engorda de bovinos

Estudio o modelo y características	Fuente
Asignación de nutrimentos recomendados para ganado bovino.	NRC (1945); NRC (1950).
Requerimientos nutricionales para ganado bovino.	NRC (1958); NRC (1963); NRC (1970); NRC (1976)
Predicción de los requerimientos energéticos para ganado en crecimiento.	Webster <i>et al.</i> (1974)
Modelo empírico para predecir CMS ^{*2}	Song y Dinkel (1978)
Requerimientos nutricionales para rumiantes.	ARC (1980)
Alimentación de los rumiantes, normas francesas.	Jarrige (1981)
Energética nutricional.	NRC (1981b)
Efectos del medioambiente en los requerimientos nutricionales.	NRC (1981a)
Información de composición de alimentos.	NRC (1982)
Modelo para predecir crecimiento, BEEF-NC114.	Loewer <i>et al.</i> (1983)
Requerimientos nutricionales para ganado bovino.	NRC (1984)
Requerimientos nutricionales para rumiantes, reporte Proteína.	ARC (1984)
Utilización de nitrógeno en rumiantes.	NRC (1985)
Modelo dinámico para predecir el crecimiento y composición del animal (proteína y grasa).	Oltjen <i>et al.</i> (1986)
Evaluación de modelos matemáticos para describir los residuos de detergente neutro en términos de la susceptibilidad de degradación en el rumen.	Robinson <i>et al.</i> (1986)
Modelo dinámico de la digestión y pasaje de las partículas de almidón del maíz.	Ewing <i>et al.</i> (1986)
Predicción de consumo de alimentos.	NRC (1987)
Nutrición de rumiantes, recomendaciones y composición de alimentos.	Jarrige (1989)
Estándares de alimentación para ganado en Australia.	CSIRO (1990)
Modelo cinético para predecir la fermentación ruminal, CNCPS ^{*3} .	Russell <i>et al.</i> (1992)
Modelo para predecir tasas de degradación del alimento en el rumen, CNCPS ^{*3} .	Sniffen <i>et al.</i> (1992)
Modelo-ecuaciones para predecir requerimientos nutrimentales y CMS ^{*2} , CNCPS ^{*3} .	Fox <i>et al.</i> (2004)
Modelo-ecuaciones para predecir el suministro y requerimientos de aminoácidos, CNCPS ^{*3} .	O'Connor <i>et al.</i> (1993)
Requerimientos energéticos y proteína para rumiantes.	AFRC (1993)
Requerimientos nutricionales para ganado bovino.	NRC (1996); NRC (2000)
Modelo ruminal, fluctuaciones.	Pitt y Pell (1997)

Modelo matemático para describir tasa de digestión del almidón.	Mendoza <i>et al.</i> (2000)
Modelo para predecir el CMS ^{*2} individual y GDP ^{*1} de ganado en crecimiento.	Guiroy <i>et al.</i> (2001)
Modelo dinámico de la utilización de energía de mantenimiento y de ganancia.	Williams y Jenkins (2003a), (2003b).
Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos.	Mendoza <i>et al.</i> (2003)
Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos. Modelo para la evaluación de la nutrición y excreción de nutrimentos, CNCPS ^{*3} .	Fox <i>et al.</i> (2004)
Modelo mecanístico–dinámico para estimar el crecimiento y composición animal.	Hoch y Agabriel (2004)
Modelo dinámico para predecir la excreción de nitrógeno.	Guo y Zoccarato (2005)
Modelo dinámico mecanístico para la evaluación de un sistema ruminal basado en caña de azúcar.	Vargas <i>et al.</i> (2005)
Requerimientos nutricionales para rumiantes.	CSIRO (2007)
Herramienta de soporte decisional para predecir la profundidad de grasa subcutánea.	Walmsley <i>et al.</i> (2010)
Ecuaciones para predecir el CMS ^{*2} .	McMeniman <i>et al.</i> (2010)
Modelo bayesiano jerárquico para evaluar la GDP ^{*1} .	Cernicchiaro <i>et al.</i> (2013).
Predicción de excreción de nitrógeno, utilizando meta-análisis.	Waldrip <i>et al.</i> (2013)
Modelo para predecir la síntesis de proteína microbiana en el rumen, utilizando regresión con modelos mixtos.	Galyean y Tedeschi (2014).
Ecuaciones para predecir el CMS ^{*2}	Anele <i>et al.</i> (2014).

GDP^{*1} =Ganancia diaria de peso.

CMS^{*2} =Consumo de materia seca.

CNCPS^{*3} =Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell.

Los programas para bovinos en corrales de engorda se han desarrollado con diferentes fines, por ejemplo, se tienen programas para formulación y balanceo de dietas, entre los modelos desarrollados y que se han generado los respectivos programas para usuarios, se encuentra el Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell (CNCPS por sus siglas en inglés) descrito por Fox *et al.* (2004). El modelo del NRC (1996) de requerimientos nutricionales para ganado bovino para carne, e integra un programa computacional, con el cual se obtienen diversas estimaciones (salidas del modelo), entre las que se encuentran: CMS, dos salidas de GDP (en función a la energía metabolizable y proteína metabolizable), pH ruminal, proteína cruda de la dieta, balance de aminoácidos, entre otras salidas.

Se han evaluado esos modelos con los estudios de Block *et al.* (2001); Block *et al.* (2006); Whetsell *et al.* (2006) y el modelo del NRC para ganado bovino, el cual se pueden obtener valores adecuados de exactitud en las predicciones de GDP y CMS.

El Modelo del NRC (1996) se puede descargar en la página del National Academic Press, y la guía de usuario del programa para ganado bovinos se encuentra en NRC (2000) página 158, “estudio de caso de corral de engorda”.

APLICACIONES PRÁCTICAS DE MODELOS EN CORRALES DE ENGORDA

La finalidad de presentar los siguientes modelos, es generar e interpretar información útil para la toma de decisiones. Los nutriólogos o consultores nutricionales los utilizan para evaluar, hacer auditorías y detectar problemas, ya sea de manejo o de deficiencias de algún nutriente. Al usar modelos de simulación el objetivo es utilizarlos para predecir el comportamiento biológico de los bovinos en engorda ante diferentes escenarios, los aspectos críticos que lo integran, y la influencia de diferentes prácticas. A continuación se ejemplifica el uso de varios modelos.

MODELO PARA ESTIMAR LA MERMA DEL GANADO POR EFECTO DEL TIEMPO DE TRASLADO Y TEMPERATURA AMBIENTAL

La pérdida de peso durante el transporte es un proceso fisiológico asociado a la eliminación de orina y heces, así como de fluido y tejido. Existen además otros factores que inciden en la merma de peso, entre los cuales se encuentra las altas temperaturas ambientales, manejo excesivo del ganado antes del traslado, dieta, suplementación con ionóforos (Cernicchiaro *et al.*, 2012).

Para estimar la pérdida de peso de animales que arriban a corral de engorda después de su traslado, González *et al.* (2012), desarrolló la fórmula (Eq. (1)), en donde la pérdida de peso está en función de las variables tiempo de traslado y temperatura ambiental.

$$\text{Merma} = 4.42 + 0.154 * \text{Time} - 0.00164 * \text{Time}^2 + 0.0258 * \text{Temp} + 0.00146 * \text{Time} * \text{Temp} \quad (1)$$

En donde:

Merma = pérdida de peso durante traslado (%)

Time = tiempo de traslado (h)

Temp = temperatura ambiental (°C)

En la Figura 16.4, se observa que la mayor pérdida de peso se obtiene al combinar una alta temperatura y mayor tiempo de traslado, pudiendo alcanzar hasta un 10 % de merma.

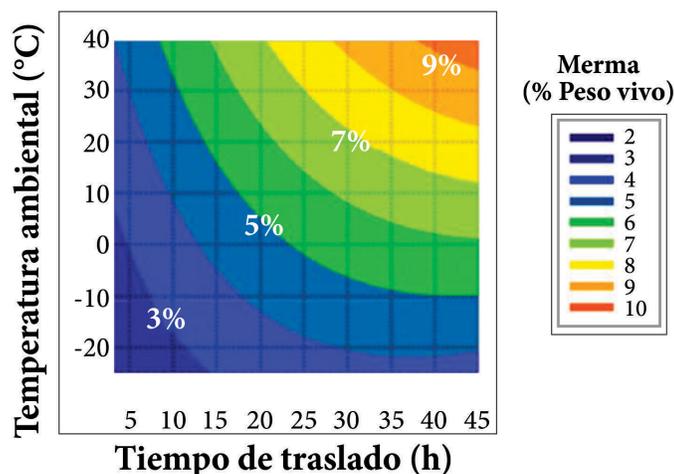


Figura 16.4 Efecto del tiempo de traslado y temperatura ambiental en la pérdida de peso de ganado bovino.
Fuente: González et al. (2012).

Desarrollando la ecuación:

$$4.42+0.154*12-0.00164*12^2+0.0258*25+0.00146*12*25 = 7.11 \% \text{ de pérdida de peso.}$$

Interpretación:

Un bovino de 360 kg que viaja en transporte durante 12 horas a una temperatura ambiental de 25 °C, pierde hasta un 7.11 % de su peso, lo que significa una merma de 25.5 kg, lo cual se obtuvo desarrollando la Eq. (1).

Con el uso de los modelos de simulación se pueden realizar combinaciones con las variables tiempo de traslado y temperatura ambiental y decidir en base a escenarios posible que se presentan.

Lo anterior permite discutir y considerar diversas opciones, en algunos casos el reducir los tiempos de traslado es poco factible, sin embargo, la hora de traslado nos permite reducir el efecto de la temperatura, ya que por la noche la temperatura es menor, por lo que se podrá simular un evento en donde el tiempo pudiera reducirse hasta una hora (menor tráfico) y al viajar de noche la temperatura descender a 12 °C, el posible efecto se puede simular desarrollando nuevamente la ecuación.

$$4.42+0.154*11-0.00164*11^2+0.0258*12+0.00146*11*12 = 6.42 \% \text{ de pérdida de peso.}$$

Un 6.42% de merma en un animal de 360 kg, corresponde a una pérdida de 23.1 kg.

Lo anterior significa, una reducción en la merma de 2.5 kg por animal, dicha disminución corresponde a un traslado por la noche, y una reducción de una hora por menor tráfico. Al trasladar 50 animales, la reducción en la merma sería de 125 kg.

MODELO PARA DETERMINAR LA ENERGÍA NETA DE MANTENIMIENTO

La estimación del requerimiento energético para mantenimiento está en función del peso vivo vacío (PVV), y el PVV está en función del alimento consumido, entre los que se encuentra el concentrado, dietas mixtas o forraje seco (ARC, 1980). Para estimar el PVV, es necesario cuantificar el contenido gastrointestinal (CGI), el cual se obtiene del diferencial del PVV y el peso vivo con contenido gastrointestinal PVCGI. La construcción del modelo se describe con las siguientes ecuaciones:

$$\text{EN m (Mcal/d)} = 0.077 * \text{PV}^{0.75}, \quad (\text{Lofgreen y Garret, 1968}).$$

$$\text{PVV (kg)} = \text{PVCGI} / 1.09 - (a), \quad (\text{ARC, 1980}).$$

$$\text{PVCGI (kg)} = \text{peso vivo con contenido gastrointestinal}.$$

$$a = \text{concentrado (4), dietas mixtas (14), forraje seco (25), (ARC, 1980)}.$$

$$\text{CGI} = \text{PVCGI} - \text{PVV}$$

Nota. La constante "a", dependerá de lo que se encuentre consumiendo el animal y tomara el valor que se encuentra entre paréntesis, tal como se muestra en el Cuadro 16.2.

Para responder la pregunta biológica: ¿El requerimiento de energía neta para mantenimiento es la misma para bovinos consumiendo una dieta con concentrado, que una dieta mixta (forraje concentrado)? Se usa el modelo (Cuadro 16.2).

Cuadro 16.2 Estimación de la energía neta para mantenimiento de bovinos consumiendo diferentes tipos de alimentos.

Entradas del modelo	Ecuaciones del modelo	Salidas del modelo
PVCGI (kg)=350	PVV (kg)=350/1.09-(4)	PVV (kg)=317
Alimento consumido= concentrado	EN m (Mcal/día)=0.077*317 ^{0.75} CGI (kg)=350-317	EN m (Mcal/día)=5.78 CGI (kg)=33
PVCGI (kg)=350	PVV (kg)=350/1.09-(14)	PVV (kg)=307
Alimento consumido= dieta mixta	EN m (Mcal/día)=0.077*307 ^{0.75} CGI (kg)=350-307	EN m (Mcal/día)=5.64 CGI (kg)=43
PVCGI (kg)=350	PVV (kg)=350/1.09-(25)	PVV (kg)=296
Alimento consumido= forraje seco	EN m (Mcal/día)=0.077*296 ^{0.75} CGI (kg)=350-296	EN m (Mcal/día)=5.49 CGI (kg)=54

PVCGI=Peso vivo con contenido gastrointestinal; **PVV**=Peso vivo vacío;
EN m=Energía neta para mantenimiento; **CGI**=Contenido gastrointestinal.

Con el modelo de simulación nos permite discutir lo siguiente, para un bovino de 350 kg, la ENm difiere en función del alimento consumido, con dietas altas en grano (concentrado) la ENm es mayor en 2.48 unidades porcentuales, a diferencia de un bovino consumiendo una mezcla de concentrado con forraje. Lo anterior es debido a que existen diferencias en el PVV.

MODELO PARA DETERMINAR LA DISPERSIÓN DE HUMEDAD RESIDUAL EN CORRAL DE ENGORDA

La modelación espacial se utiliza en diversas áreas de la ciencia para modelar la distribución de organismos vegetales o animales en una determinada región. Klimek *et al.* (2014) desarrollaron modelos para predecir la distribución de especies en una zona de uso ganadero.

En corrales de engorda, en donde existen condiciones adversas como son las bajas temperaturas y humedad en los pisos, se expone a que el animal este en contacto con humedad y lodo, dicha situación estresante genera un incremento en el requerimiento de energía neta para mantenimiento en particular cuando el animal no está protegido del viento (Mader, 2014).

En la Figura 16.5, se observa a un grupo de bovinos en engorda en condiciones de exceso de lodo en todo el corral (20 cm), lo cual provoca estrés y condiciones desfavorables para los animales. Dichas condiciones pueden ser modeladas para determinar los impactos en la producción, además, la modelación espacial permite identificar áreas húmedas dentro de un corral.

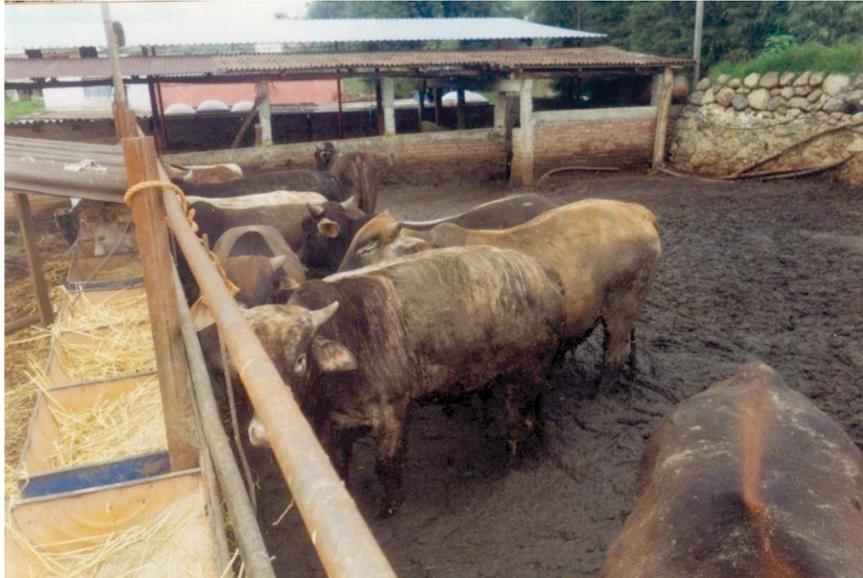


Figura 16.5 Corral de engorda de bovinos con exceso de lodo.

Fuente: G.C. Ortega Navarro.

Para realizar la modelación espacial, se consideraron las sugerencias de Ferrier y Guisan (2006). El modelo se construyó tomando en cuenta la configuración de un corral, posteriormente se divide el corral en coordenadas y se construyó una matriz en la hoja de cálculo de Excel®, se asignan valores numéricos considerando la profundidad (cm) del lodo en el corral (Figura 16.5). Una vez integrada la información numérica se procede a realizar la gráfica (Figura 16.6) la cual se elabora ingresando los datos, posteriormente se seleccionan dichos datos y en la barra de menú se inserta la gráfica de superficie de contorno con los resultados obtenidos se puede identificar las zonas en el corral en donde se acumula lodo, lo que nos permite establecer prácticas para evitarlo y reducir los efectos negativos provocados en los animales en corral.

Posteriormente se procede a realizar las estimaciones con el programa NRC (1996), en donde se determina el impacto de tener condiciones de humedad y animales con lodo, de acuerdo al modelo NRC (1996) se puede reducir la GDP hasta en 25 %, lo anterior debido al incremento de la energía neta para mantenimiento y a la reducción en el CMS.

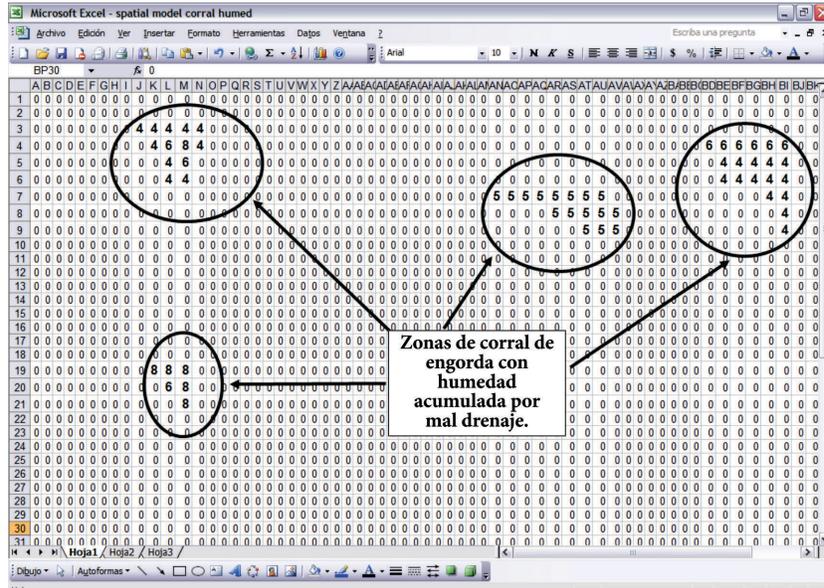


Figura 16.6 Modelo en código numérico de las condiciones de humedad en un corral de engorda de bovinos.

Ubicación de zonas de acumulación de humedad en corral de engorda de bovinos

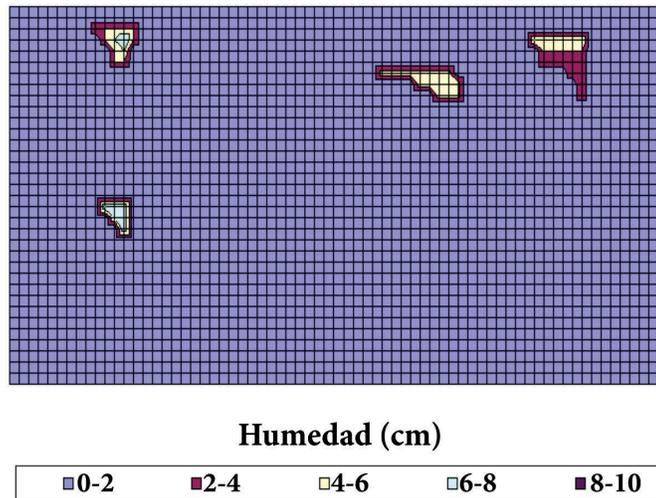


Figura 16.7 Modelación utilizando hoja de cálculo Excel.

**MODELO PARA ESTIMAR COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO
BASADO CON EL USO DEL PROGRAMA DEL NRC**

Para mostrar la utilidad del modelo NRC, se usó la información de un estudio realizado por Vasconcelos y Galvayan (2007), en donde se obtuvo información de 29 consultores especialistas de corrales de engorda, donde reportaron que el principal grano utilizado era el maíz; como grano secundario fue el trigo, seguido del sorgo. El principal método de procesamiento del grano fue el hojueado al vapor. El 65% de los consultores mencionaron que utilizaban entre 70 a 85% de inclusión (ms) de grano en la dieta de finalización con una concentración energética de 1.5 Mcal/kg de ENg, con un nivel de proteína de 12.5 a 14 % PC, usando un 1 % de urea; en cuanto al forraje en la dieta, el rango varió de 8.3 a 9%.

Cuadro 16.3 Entradas y salidas de programa NRC con distintos escenarios.

	Caso real	Escenario		
		1	2	3
	Con implante y con ionóforo	Sin implante, sin ionóforo	Sin implante, con ionóforo	Con implante, sin ionóforo
Entradas al modelo				
Descripción animal				
Tipo de animal	Finalización	Finalización	Finalización	Finalización
Edad (meses)	14	14	14	14
Peso corporal (kg)	456	456	456	456
Condición corporal	5	5	5	5
Sistema cruzamiento	2	2	2	2
Razas	Angus	Angus	Angus	Angus x
Velocidad del viento (km/h)	5	5	5	5
Temperatura previa (°C)	10	10	10	10
Temperatura actual (°C)	11	11	11	11
Frío en la noche	Sí	Sí	Sí	Sí
Largo de pelo (cm)	0.2	0.2	0.2	0.2
Grosor cuero	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Condición cobertura	L y S	L y S	L y S	L y S
Estrés calórico	No	No	No	No
Salidas del modelo				
CMS real (kg)	10			
CMS predicho (kg)	9.72	9.87	9.14	10.5
GDP real (kg)	1.65			

GDP pred EM ^{*4} (kg/d)	2.72	2.55	2.72	2.55
GDP pred PM ^{*5} (kg/d)	1.65	1.64	1.65	1.64
PM ^{*5} dieta (g/d)	842			
PM ^{*5} requerida (g/d)	1144			
PM ^{*5} balance (g/d)	-302			

EM^{*4}: Energía metabolizable; PM^{*5}: Proteína metabolizable; L y S: Limpio y seco.

Para simular los escenarios (Cuadro 16.3) y usar el programa del NRC, se utilizó la información publicada por Corrigan *et al.* (2009). Para todas las corridas del programa, se utilizó el nivel uno, unidades métricas, basado en materia seca; toretes con peso maduro de 1000 kg, con una composición de la dieta (MS) de 84% maíz rolado, 7.5% alfalfa deshidratada, 5% melaza, 1.36% urea, 1.29% piedra caliza, 0.85% minerales.

Una vez introducida la información, las salidas del modelo nos reportan lo siguiente:

1. (Caso real). El CMS predicho (9.72 kg/d) es cercano al CMS real (10.00 kg/d), con valor residual de 0.28 kg/d.
2. (Caso real). La GDP predicha con PM (1.65 kg/d) es similar a la GDP real (1.65 kg/d), sin embargo, la GDP predicha con EM (2.72 kg/d), lo anterior significa que existe un potencial para obtener una mayor GDP, no obstante, la limitante es la PM, lo cual se refleja en el balance de PM con -302 g/d. En términos prácticos podemos decir que se requiere reformular la dieta considerando fomentando una mayor cantidad de PM suministrada al animal.
3. (Escenario 1). En donde se tienen las mismas variables, pero no se ofrece ionóforo ni se implanta al animal, el máximo potencial de GDP es 6.25 unidades porcentuales menor que en el caso en donde se utiliza implante y ionóforo.
4. (Escenario 2). El ofrecer ionóforo en la dieta del ganado, se predice una disminución en el CMS de 6 unidades porcentuales.
5. (Escenario 3). El no ofrecer ionóforo al ganado, se predice un mayor CMS.
6. El programa reporta GDP potenciales con EM de hasta 2.72 kg/d, debe considerarse que son valores demasiado altos, por tal razón debe evaluarse la información predicha de manera objetiva.

MODELO PARA ESTIMAR COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO EN FUNCIÓN A LA CALIDAD DEL SORGO

La producción de sorgo en México para el 2014 fue calculada en 8 millones de toneladas (Financiera Nacional de Desarrollo, 2014) la cual es destinada para la industria pecuaria. Considerando que la inclusión de sorgo en las dietas para engorda de bovinos en México es alta y que de acuerdo a Peel *et al.* (2011), en 2011 se engordaron alrededor de 780,000 cabezas en México, esto representa una gran cantidad de grano de sorgo utilizado en las dietas. De acuerdo con Calderón *et al.* (2011) la calidad del sorgo es variable, y en función a su variedad es su valor nutrimental. En la alimentación de ganado bovino es fundamental conocer la calidad de un ingrediente, ya que de esa manera se puede estimar la productividad en el animal.

Por tal razón, a continuación se presenta la información del modelo de simulación para estimar la GDP de bovinos en engorda, en función a la calidad del sorgo.

Para realizar los escenarios (Cuadro 16.4) y correr el programa del NRC, se utilizó la información publicada por Larraín *et al.* (2009); referente a las características del experimento realizado, como son: raza Angus, implantados, con peso inicial de 407 kg, peso final de 572 kg, peso promedio de 489 kg, con una dieta a base de grano (76.5% sorgo, 10% ensilado de maíz, 5.9% pasta de soya, 3% melaza, 13.7% maíz molido fino, 1.29% piedra caliza, 0.22% urea, 0.15% grasa y 1.54% mezcla mineral adicionado con ionóforo), un periodo de engorda de 112 días; las entradas del modelo NRC, fueron: nivel uno, unidades métricas, basado en materia seca; toretes en engorda con peso maduro de 800 kg, 24 meses de edad, condición corporal de 5, velocidad de viento de 5 kph, temperatura previa de 15 °C, temperatura 12 °C, noches con frío, profundidad de pelo de 0.2 cm, cobertura de animal seca y limpia en corral, sin estrés calórico.

Con el objetivo de determinar la magnitud de cambio en la estimación de la GDP y otras salidas, se utilizaron los resultados reportados por Calderón *et al.* (2011), en donde, en función a la variedad de sorgo es la calidad nutrimental (Cuadro 16.4).

De acuerdo con la estimación del modelo del NRC (escenario 1), la GDP predicha con la EM (1.43 kg/d) y la PM (1.42 kg/d) son muy cercanas al caso real, solo con un valor residual de 4 y 5 g/d, respectivamente. Lo que nos indica que el modelo NRC tiene una alta exactitud para estimar la GDP.

Cuando se utiliza grano de sorgo para la engorda de ganado, es necesario conocer su variedad, ya que como se aprecia en el Cuadro 14.4, la estimación de GDP está en función básicamente de su composición nutrimental.

Al comparar tres dieta alta en grano de sorgo (76.50%) ofrecida al ganado, y cambiar la calidad nutrimental del sorgo, observamos que con un sorgo de alta calidad (escenario 2), se estima una GDP de 1.27 kg/d, sin embargo, si se utiliza un sorgo de baja calidad (escenario 4), la GDP estimada es de solo 1.01 kg/d, lo anterior implica una reducción de 20.5 unidades porcentuales.

Cuadro 16.4 Entradas y salidas de programa NRC con distintos composiciones nutrimentales de sorgo.

	Caso real	Escenario			
		1	2	3	4
		Variedades de sorgo **			
		Sorgo*	XM-406	D-68	KS-989
Entradas al modelo					
Calidad nutrimental del sorgo consumido					
NDT ^{*6} (%)	76.00	76.00	71.96	68.13	65.33
Almidón (%)	90.00	90.00	72.82	71.31	63.82
FDN ^{*7} (%)	11.10	11.10	9.15	13.92	22.44
Cenizas (%)	2.00	2.00	1.18	1.78	1.66
Proteína (%)	12.90	12.90	7.35	7.40	8.72
Salidas del modelos					
CMS real (kg)	8.78	-	-	-	-
CMS introducido modelo (kg)	-	8.78	8.78	8.78	8.78
GDP real (kg)	1.47	-	-	-	-
GDP pred EM ^{*4} (kg/d)	-	1.43	1.27	1.12	1.01
GDP pred PM ^{*5} (kg/d)	-	1.42	0.84	0.84	1.00
ENG ^{*9} dieta (Mcal/kg)		1.15	1.06	0.98	0.92
PM ^{*5} dieta (g/d)	-	795.00	626.00	628.00	678.0
PM ^{*5} requerida (g/d)	-	797.00	754.00	712.00	681.0
PM ^{*5} balance (g/d)	-	-2.00	-128.00	-84.00	-3.00
PDR ^{*8} dieta (g/d)	-	721.00	532.00	534.00	579.00
PDR ^{*8} requerida (g/d)	-	577.00	542.00	544.00	568.00
PDR ^{*8} balance (g/d)	-	144.40	-10.40	-9.90	11.10
PDR ^{*8} (%) total de PC	-	57.50	60.40	60.40	59.50
PC dieta (%)	12.90	14.30	10.00	10.00	11.10

EM^{*4}=Energía metabolizablePM^{*5}=Proteína metabolizableNDT^{*6}=Nutrientes digestibles totalesFDN^{*7}=Fibra detergente neutroPDR^{*8}=Proteína degradable en rumenENG^{*9}=Energía neta de ganancia

*Tomado de NRC (2000)

** Tomado de Calderón *et al.* (2011).

La diferencia que existe en la GDP estimada en los escenarios 2, 3 y 4, corresponde a la ENg que aporta cada dieta, reportándose valores entre 1.06 y 0.92 Mcal/kg ms de alimento. En términos prácticos, considerando una engorda de 112 días, se dejarían de acumular 29 kg de peso. Lo anterior cobra importancia, ya que en el campo no existe un precio diferencial de acuerdo a la calidad del grano de sorgo. Se sugiere en caso de utilizar grano de sorgo para alimentación de bovinos en engorda, que se utilicen variedades con alta digestibilidad del almidón. Esto demuestra la importancia de realizar este análisis de laboratorio al comprar grandes cantidades de este grano o de en su caso de procesar o de incluir enzimas amilolíticas que mejoren la digestibilidad ruminal del almidón.

COMENTARIOS

Los modelos son herramientas que sirven para discutir y facilitar la toma de decisiones. Permiten plantear escenarios, por lo que se deben formular diversas preguntas: ¿Qué pasa sí?, ¿Cómo se produce?, entre otras. Los modelos permiten evaluar impactos y cambios en las raciones. El uso de modelos permite detectar vacíos en el conocimiento para que los investigadores planteen trabajos de investigación pertinentes.

En el manejo nutricional de corrales de engorda, los modelos permiten predecir la ganancia, el consumo y la conversión de una ración determinada y hacer análisis económicos y escenarios al cambiar ingredientes en las formulaciones. También permiten detectar problemas de manejo o hacer auditorías, pues al no lograr los resultados esperados, se pueden buscar las causas para corregir los resultados. Siempre se debe tenerse presente que los modelos son estimaciones y que la interpretación y criterio biológico son fundamentales para su uso.

CAPÍTULO XVII

EJERCICIOS

A. PLASCENCIA J., G.C. ORTEGA N., R. RICALDE V.,
G. D. MENDOZA M.

1. Estime el requerimiento de ENm de un bovino de 300 kg de peso vivo a una temperatura media ambiental de 28 °C.
2. Elabore un cuadro con los factores de temperatura para temperaturas de 26 a 33 °C, para conocer el impacto del estrés calórico sobre el incremento estimado en la energía neta de mantenimiento.
3. Con los valores de composición de alimento mostrados en el Capítulo de requerimientos nutricionales en la sección de predicción de comportamiento, calcule lo siguiente:
 - a) *la ración en base seca (kg/kg).*
 - b) *la concentración de nutrientes materia seca (MS), proteína cruda (PC), energía metabolizable (EM), energía neta para mantenimiento y ganancia (ENm y ENg).*
 - c) *el consumo promedio de las cuatro ecuaciones.*
 - d) *el Consumo de Materia Seca para ganancia y mantenimiento (CMSg y CMSm), la ganancia diaria de peso y la conversión de las siguientes raciones, asumiendo que no existe ningún efecto del ambiente en los requerimientos de ENm, con animales de 260 kg.*

Cuadro 17.1. Raciones con distinto nivel de melaza para bovinos en base húmeda.

Ingredientes/Ración	1	2	3
Paja de trigo	58.9	42.9	27.9
Harinolina	20.0	20.0	20.0
Melaza	18.0	34.0	49.0
Urea	0.9	0.9	0.9
Premezcla mineral	2.2	0.022	
Total	100.0	100.0	100.0

4. Con el modelo del Cuadro 17.1 realice los siguientes cambios:
- Modifique los costos del sorgo a \$ 0.80 y de la melaza a \$ 0.15 y obtenga la ración por programación lineal.*
 - Incluya en el modelo del ejercicio anterior la grasa con un costo de \$ 0.55 / kg ms, volumen 1, ENm 4.76 Mcal / kg y ENG 3.5 Mcal / kg. Obtenga la solución y el precio sobre de la grasa.*
 - Modifique el precio de la grasa a su precio sombra, obtenga la solución e indique cuál sería la máxima concentración de ENG que se podría obtener con esas restricciones.*
 - Indique qué sucedería si se reduce más el precio de la grasa y se aumenta el requerimiento de ENg.*

5. Evaluación de consumo esperado y observado en corral de engorda

Para evaluar el manejo nutricional de un corral de engorda es necesario evaluar el consumo esperado en función del esperado con base al contenido de energía de la ración. Muchas condiciones pueden contribuir a la variación del comportamiento predicho al observado, incluyendo genética, manejo en general, salud, clima y condiciones del corral. En general bajo condiciones que denominaremos “normales” esta predicción no debe variar en más de un 3%. Para hacer esta estimación se usan las ecuaciones del Cuadro 17.2.

Cuadro 17. 2. Ecuaciones usadas para la estimación del consumo esperado en un corral de engorda.

Consumo de MS esperado, kg/d = (ENm/ENmr)+(EG/ENgr)	
ENmr y ENgr=energía neta de mantenimiento y energía neta de ganancia de la dieta	
ENm, Mcal/d=requerimiento de energía de mantenimiento 0.077×PVMR 0.75 para cruzados	
ENm, Mcal/d=requerimiento de energía de mantenimiento 0.084×PVMR 0.75 para Holstein	
PVMr=peso vivo mermado (kg);=0.96* [(Peso inicial-peso final)/2]	
GDP=promedio de ganancia diaria de peso registrada (kg)	
EG, Mcal/d=coeficiente×pv0.75×GDP 1.097	
Coeficientes de acuerdo a tipo de ganado:	
Becerro	0.0557
Añero (novillo)	0.0493
Toro	0.0493
Vaquilla	0.0608

Considere la información de dos lotes del Cuadro 17.3 y estime la proporción del consumo esperado con el observado.

Cuadro 17.3 Información de comportamiento de dos lotes de bovinos en finalización.

Novillos	Lote	
	1	2
Peso inicial (mermado)	310	330
Peso final (mermado)	480	495
Consumo promedio de MS, kg	7.710	8.95
Ganancia promedio diaria (mermada) kg/d	1.244	1.420
ENmr Mcal/kg	2.00	2.00
ENgr Mcal/kg	1.33	1.33

MS=Materia seca.

- Enliste los principales factores que influyen en la ganancia diaria de peso (GDP) de un becerro en corral de engorda y que deben de tomarse en cuenta en un modelo de simulación.
- Determine el costo de kg de becerro arribado a corral de engorda, considerando transporte con 55 becerros con peso promedio en lugar de compra de 320 kg a 32.00/kg, renta de transporte para ganado de \$20,000.00, \$3,000.00 otros gastos;

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

tiempo de traslado de 40 horas con temperatura promedio ambiental de 20 °C y con dos becerros fallecidos en el viaje. Utilice la ecuación de González *et al.* (2012), en donde la pérdida de peso está en función de las variables tiempo de traslado y temperatura ambiental.

$$\text{Merma} = 4.42 + 0.154 * \text{Time} - 0.00164 * \text{Time}^2 + 0.0258 * \text{Temp} + 0.00146 * \text{Time} * \text{Temp}$$

Donde:

- Merma = pérdida de peso durante traslado (%)
- Time = tiempo de traslado (h)
- Temp = temperatura ambiental (°C)

8. Estime el contenido gastrointestinal (CGI) en%, de un becerro de 320 kg en pastoreo consumiendo pasto estrella. Considere la fórmula desarrollada por el ARC (1980):

$$\text{Peso vacío (kg)} = (\text{Peso lleno (kg)} / 1.09) - 4.$$

9. Considerando las dietas y resultados presentados en el Cuadro 17.4 obtenidos por Larraín *et al.* (2009), estime el peso final, la conversión alimenticia para cada dieta, determine el costo de kg de peso vivo de becerro, por concepto de alimentación; posteriormente indique sugiera una dieta en función a la conversión alimenticia y el precio.

Cuadro 17. 4 Indicadores productivos obtenidos con distintas dietas con base a maíz o sorgo.

	Maíz (76.5 %)	Sorgo (76.5 %)
Peso vivo inicial, kg	404	404
Peso vivo final, kg	?	?
Días de engorda	112	112
Ganancia diaria peso, kg	1.86	1.47
Consumo de materia seca, kg/d	9.59	8.78
Conversión alimenticia	?	?
Costo, \$/kg MS de la dieta	5.70	5.20
Costo producción, \$/kg becerro	?	?
Dieta recomendada		

MS=Materia seca.

10. Con base a la información publicada por Gaughan *et al.* (2010), determine el coeficiente de eficiencia de consumo de los siguientes lotes de animales, concluya con la información obtenida (Cuadro 17.5.)

Cuadro 17.5 Efecto de la sombra en el comportamiento de novillos en corral.

	Infraestructura de corral	
	Sin sombra	Con sombra
Peso vivo inicial, kg	396	398
Peso vivo final, kg	578	596
CMS observado, kg/d	10.0	10.3
GDP, kg	1.51	1.65
ENm dieta, Mcal/kg	2.11	2.11

CMS=Consumo de materia seca; **GDP**=ganancia diaria de peso.

El coeficiente de eficiencia del consumo de los lotes de animales en un corral de engorda se obtiene realizando una división, la relación es entre el valor observado de consumo/valor estimado de consumo.

A continuación se presenta el procedimiento para la obtención del coeficiente de consumo, para lo cual se utilizó la información publicada por Zinn *et al.* (2008) de un lote de 70 toros de talla mediana, con las características del Cuadro 17.6.

Cuadro 17.6 Información de comportamiento productivo de toros en finalización.

Peso vivo inicial, kg	349
Peso vivo final, kg	603
Consumo de MS observado, kg/d	8.92
GDP, kg	1.57
ENm dieta, Mcal/kg)	2.14

MS=Materia seca.

- a) Obtener el peso vivo mermado (*PV M*) expresado en kg.

Formula: $PV M (kg) = PV * 0.96$, (Zinn *et al.*, 2008).

Sustituyendo valores: $349 \times 0.96 = 335$ y $603 \times 0.96 = 579$

- b) Obtener el peso vivo mermado promedio (*PV M prom*) expresado en kg.

Formula: PV M prom (kg) = (PV inicial M + PV final M) / 2,
(Zinn, 1987).

Sustituyendo valores: (579 + 335) / 2 = 457

- c) *Obtener el valor de requerimiento de energía neta de mantenimiento del animal (ENm anim) expresado en Mcal/día.*

*Formula: EN manim (Mcal/día) = 0.077 * (PV M prom)^{0.75},*
(Lofgreen y Garrett, 1968).

Sustituyendo valores: 0.077 x (457)^{0.75} = 0.077 x 98.841 = 7.610

- d) *Obtener el valor de energía neta de ganancia disponible para el animal (ENg anim) expresado en Mcal/día.*

Formula: ENg anim (Mcal/día) =
*0.0493 * (PV M prom)^{0.75} * (GDP)^{1.097}, (NRC, 1984).*

Sustituyendo valores: 0.0493 x (457)^{0.75} x (1.57)^{1.097} = 7.986

- e) *Obtener el valor de energía neta de ganancia disponible de la dieta (ENg dieta) expresado en Mcal/kg.*

*Formula: ENg dieta (Mcal/kg) = (0.877 * EN mdieta) - 0.41,*
(Zinn y Shen, 1996).

Sustituyendo valores: (0.877 x 2.14) - 0.41 = 1.46

- f) *Obtener el valor de consumo de MS esperado (CMS esp)*

Formula: CMS esp (kg/día) = (EN manim / ENm dieta) +
(ENg anim / ENg dieta), (Zinn et al., 2000).

De acuerdo al coeficiente de consumo de este cálculo, los animales del lote presentaron un comportamiento productivo similar al esperado. Lo que significa que se está llevando de forma adecuada la engorda de bovinos.

RESPUESTA A LOS EJERCICIOS

1. $ENm = 0.077 * 300^{0.75} * Ft$

$Ft = 0.6633 + .0106 * 28 = 1.11$

$ENm = 6.17 \text{ Mcal/d}$

2. Cuadro de factores de ajuste:

Cuadro 17.7 Factores de ajuste para la energía neta de mantenimiento en función de la temperatura.

Temperatura	Factor	% de incremento en ENm
26	1.08	8
27	1.10	10
28	1.11	11
29	1.13	13
30	1.14	14
31	1.16	16
32	1.18	18
33	1.19	20

3. Respuestas

a) Raciones en base seca:

Cuadro 17.8 Composición de las raciones en base seca de acuerdo al nivel de melaza.

	Raciones en base seca		
	1	2	3
Paja de trigo	0.60	0.45	0.30
Harinolina	0.21	0.21	0.22
Melaza	0.16	0.31	0.45
Urea	0.1	0.1	0.1
Premezcla mineral	0.02	0.02	0.02
Total	1.0	1.0	1.0

b) Contenido de nutrientes:

Cuadro 17.9 Contenido de nutrientes de las tres raciones con melaza para bovinos.

	MS, %	PC, %	EM, Mcal/kg	ENm, Mcal/kg	ENg, Mcal/kg
Ración 1	91.58	14.58	1.99	1.15	0.60
Ración 2	89.50	14.82	2.17	1.31	0.75
Ración 3	87.55	14.86	2.34	1.47	0.98

MS=materia seca; **PC**=proteína crud; **EM**=energía metabolizable; **ENm**=energía neta de mantenimiento; **ENg**=energía neta de ganancia.

c) *Consumo de materia seca.*

Cuadro 17.10 Consumo de materia seca esperado con distintas ecuaciones con las tres raciones con melaza.

	Ración 1	Ración 2	Ración 3
ARC (1980)	6.20	6.08	5.96
Owens (1999)	7.56	7.56	7.56
NRC (1984)	6.07	6.39	6.55
Regresión	7.18	7.43	7.32
Promedio	6.75	6.86	6.85

d) *Sistema California*

Cuadro 17.11 Cálculos para estimar la ganancia diaria de peso en función del consumo de materia seca para mantenimiento y ganancia.

	CMS, kg/d	CMSm, kg/d	CMSg, kg/d	GDP
Ración 1	6.7	4.61	2.14	0.390
Ración 2	6.86	4.04	2.82	0.612
Ración 3	6.85	3.61	3.24	0.816

GDP=ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca; **CMSm**=para mantenimiento; **CMSg**=para ganancia.

4) Respuestas:

a) *La solución al modelo es:*

Melaza	0.149
Rastrojo de maíz	0.249
Gallinaza	0.300
Sorgo	0.300

Costo de la ración \$ 0.37 / kg MS

b) El precio sombra de la grasa es de \$1.81/kg MS. La solución no incluye grasa y es igual a la presentada en el inciso A.

c) La solución al modelo es:

Melaza	0.149
Rastrojo de maíz	0.350
Gallinaza	0.300
Sorgo	0.130
Grasa	0.053

Costo de la ración \$ 0.37 / kg MS

La máxima concentración de ENg es 1.12 Mcal/kg MS

d) Si se reduce más el precio de la grasa y se incrementa el requerimiento de ENg, la solución incluiría más grasa en la ración. Esto podría tener algunos problemas ya que no existe un límite máximo en el modelo y no se recomienda más de 5 o 6% en la ración (en base seca) debido a que las grasas a mayores niveles afectan la fermentación ruminal. La solución matemática no siempre es la mejor biológicamente.

5. Cálculos de proporción del consumo esperado por lote:

Lote 1

$$PVMr, \text{ kg} = (310 + 480) / 2 = 395$$

$$EM, \text{ Mcal} = 0.077 \times 395^{0.75} = 6.822$$

$$EG, \text{ Mcal} = 0.0493 \times 395^{0.75} \times 1.244^{1.097} = 5.55$$

5.55

Lote 2

$$PVMr, \text{ kg} = (330 + 495) / 2 = 412.5$$

$$EM, \text{ Mcal} = 0.077 \times 412.5^{0.75} = 7.048$$

$$EG, \text{ Mcal} = 0.0493 \times 412.5^{0.75} \times 1.42^{1.097} =$$

6.835

Consumo esperado

$$\text{Lote 1} = (6.822 / 2.0) + (5.55 / 1.33) = 7.584$$

$$\text{Lote 2} = (7.048 / 2.0) + (6.835 / 1.33) = 8.663$$

Proporción (observado/esperado)

$$\text{Lote 1} = 7.610 / 7.584 = 1.016$$

$$\text{Lote 2} = 8.95 / 8.66 = 1.033$$

Significa que el Lote 1 se comportó de acuerdo a lo esperado mientras que el Lote 2 consumió 3.3% más de lo esperado por lo que se detecta problema en ese lote.

6. Los factores son:

Del animal: peso, raza, condición corporal, edad, grado de restricción alimenticia.

Del ambiente: temperatura, radiación solar, viento, humedad del piso.

Del alimento: alimento disponible–consumo de materia seca, calidad considerando contenido energético–proteico–mineral.

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

7. De la compra de 55 becerros con un peso promedio de 320 kg

$$55 \text{ animales} \times 320 \text{ kg} = 17,600 \text{ kg total de animales}$$

A un precio de compra de \$ 32.00/kg

$$17,600 \text{ kg} \times \$32.00 = \$563,200.00$$

Sumar + \$20,000.00 costo transporte + \$3,000.00 gastos varios

$$\$563,000.00 + \$20,000.00 + \$3,000.00 = \$586,200.00$$

Se generando un costo total de \$586,200.00

Para estimar la merma de ganado arribado a corral, se utiliza la ecuación desarrollada por González *et al.* (2012), en donde la pérdida de peso está en función de las variables tiempo de traslado y temperatura ambiental.

$$\text{Merma} = 4.42 + 0.154 * \text{Time} - 0.00164 * \text{Time}^2 + 0.0258 * \text{Temp} + 0.00146 * \text{Time} * \text{Temp}$$

Donde:

Merma = pérdida de peso durante traslado (%)

Time = tiempo de traslado (h)

Temp = temperatura ambiental (°C)

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$4.42 + 0.154 * 40 - 0.00164 * 40^2 + 0.0258 * 20 + 0.00146 * 40 * 20 = 9.64\% \text{ de merma}$$

Esto implica:

De 55 animales, mueren dos becerros en el viaje. 53 becerros de 320 kg peso a la compra (53 becerros x 320 kg = 16,960 kg). 16,960 kg reduciendo un 9.64% de merma (100% - 9.64% = 90.36%), lo que significa un arribo al corral de 15,325 kg (16,960 kg x 0.9036 = 15,325 kg).

Finalmente, el costo total \$ 586,200.00 / 15,325 kg arribados =

$$\$38.25/\text{kg de becerro arribado a corral de engorda.}$$

8. Para determinar el porcentaje de CGI, primeramente se deben estimar los kg de CGI, por lo que se procede a estimar el peso vacío:

$(\text{Peso lleno de becerro (kg)}/1.09) - 4 = (320/1.09) - 4 = 289.5 \text{ kg}$ de peso vacío, por lo que el CGI corresponde a 30.5 kg (320 kg peso lleno–289.5 kg peso vacío).

320 kg de peso lleno corresponde al 100%, por lo tanto 30.5 kg corresponde al 9.53%.

El CGI de un becerro en pastoreo consumiendo pasto estrella es de 9.53%.

9. El peso final de un animal se obtiene multiplicando la GDP x días en engorda + peso vivo inicial:

Dieta con 76.5% de maíz, peso final=612 kg ((1.86 kg de GDP x 112 días de engorda)+(404 kg peso vivo inicial)).

Dieta con 76.5% de sorgo, peso final=572 kg ((1.47 kg de GDP x 112 días de engorda)+(408 kg peso vivo inicial)).

La conversión alimenticia de un animal se obtiene dividiendo el CMS/GDP:

Dieta con 76.5% de maíz:

Conversión=9.59 kg/1.86 kg=5.15 kg de alimento para producir un kg de peso vivo de becerro.

Dieta con 76.5% de sorgo

Conversión=8.78 kg/1.47 kg=5.97 kg de alimento para producir un kg de peso vivo de becerro.

El costo de producción por concepto de alimentación de un kg de peso vivo de becerro, se obtiene multiplicando la conversión por el costo de kg de alimento:

Dieta con 76.5% de maíz:

Costo=5.15 kg x \$5.70=\$29.35/kg de peso vivo de becerro.

Dieta con 76.5% de sorgo

Costo=5.97 kg x \$5.20=\$ 31.04/kg de peso vivo de becerro.

Cuadro 17.12 Indicadores productivos obtenidos finalizando bovinos con dietas a base de maíz o de sorgo.

	Maíz (76.5 %)	Sorgo (76.5 %)
Dieta recomendada	Dieta sugerida	
Peso vivo inicial, kg	404	408
Peso vivo final, kg	612	572
Días de engorda	112	112
Ganancia diaria peso, kg	1.86	1.47
Consumo de materia seca, kg/d	9.59	8.78
Conversión alimenticia	5.15	5.97
Costo, \$/kg MS de la dieta	5.70	5.20
Costo producción, \$/kg becerro	29.35	31.04

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Se debe destacar que aun cuando en la dieta con 76.5% de sorgo tiene un costo de \$5.20/kg de alimento y la de 76.5% de maíz tiene un costo mayor (\$5.70), la dieta sugerida es la de maíz, lo anterior responde a la respuesta productiva obtenida y que se estima una conversión menor con la dieta con maíz.

10. Los resultados se presentan en el Cuadro 17.13.

Cuadro 17.13 Estimación de consumo esperado y consumo observado en novillos con o sin sombra.

	Infraestructura de corral	
	Sin sombra	Con sombra
Peso vivo mermado inicial, kg	380	382
Peso vivo mermado final, kg	555	572
Peso vivo mermado promedio, kg	468	477
Requerimiento de ENM, Mcal/d	7.742	7.861
Requerimiento de ENG, Mcal/d	7.790	8.718
Concentración de ENG en la dieta, Mcal/kg	1.44	1.44
Consumo de MS esperado, kg/d	9.077	9.777
Proporción de CMS observado/esperado	1.102	1.053

ENM=Energía neta de mantenimiento; ENG=energía neta de ganancia;
MS=materia seca; CMS=consumo de materia seca.

En ambos lotes el consumo de materia seca observado fue mayor al esperado. En el lote en donde no se tenía sombra el consumo fue menor comparado con el lote con sombra, dicha reducción en el consumo tuvo efecto en la disminución en la ganancia diaria de peso. Debe considerarse que en lugares en donde se tienen unas condiciones climáticas demasiado calurosas, aun cuando se coloquen áreas de sombra para los animales, dichas sombras no eliminarán completamente el efecto del calor; sin embargo, cuando se colocan áreas de sombra se puede reducir los efectos adversos.

CAPÍTULO XVIII

REFLEXIONES

G. D. MENDOZA M.

El conocimiento de la estructura del almidón es importante para entender las propiedades biológicas y físicas que ocasionan diferencias en la digestión del almidón y su susceptibilidad a la acción enzimática. La tecnología disponible y la biología molecular abre la posibilidad de entender mejor la relación de la estructura del almidón y otras fracciones de los granos con su valor nutritivo para los rumiantes.

El conocimiento básico de las enzimas microbiales es esencial para comprender la digestión del almidón en el rumen. La disponibilidad del sustrato parece ser uno de los factores más importantes asociados con la actividad amilolítica de bacterias y protozoarios.

En resumen, la digestión ruminal del almidón es el resultado de competencia entre la tasa de digestión y la tasa de pasaje. Factores que modifiquen la tasa de digestión y/o la tasa de pasaje, afectarían la extensión de la digestión del almidón en rumen y como consecuencia la cantidad que pase al tracto posterior. El consumo del almidón, tipo de grano, proceso del grano, nivel de amoníaco en rumen, nivel de forraje, presencia de grasa dietaria y aditivos, además de las interacciones entre dichos factores van a modificar la digestión del almidón en el rumen.

De acuerdo a las características físico-químicas de los granos usados, la combinación de granos con distinta tasa de degradación puede mejorar la respuesta animal, que el uso de cada grano, particularmente en el periodo de adaptación, posiblemente por una reducción del almidón digerido en rumen por los incrementos en la población de protozoarios. Las combinaciones de 67-75% de granos de rápida tasa de fermentación con 33-25% de lenta fermentación han mostrado efecto sinérgicos.

Por otra parte, la acidosis subaguda es un problema con el que se convive al usar raciones altas en grano y que las herramientas con que se cuenta para su manejo son los forrajes (basados en la FDN y la fibra efectiva), la selección de granos (combinaciones) y el uso de aditivos alimenticios como ionóforos.

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

Es importante revisar todos los nutrientes en las distintas etapas de la explotación de bovinos en corrales (vitaminas, minerales, energía, proteína, FDN).

Es necesario aprender a manejar animales alimentados con dietas altas en grano y tomar decisiones basadas en aspectos biológicos y económicos, considerando aspectos de bienestar de los animales.

La predicción del comportamiento es un aspecto básico en los corrales de engorda con modelos de simulación, así como el uso de la programación lineal para la formulación de raciones.

LITERATURA

- Abdoun, K., Stumpff, F., Martens, H. (2007). Ammonia and urea transport across the rumen epithelium: a review. *Animal Health Research Reviews*, 7: 43-59.
- Abou Akkada, A. R., Howard, B. H. (1960). The biochemistry of rumen protozoa. 3. The carbohydrate metabolism of *Entodinium*. *Biochemistry Journal*, 76: 445-451.
- Abou Akkada, A.R., El Shazley, K. (1964). Effect of absence of ciliate protozoa from the rumen on microbial activity and growth of lambs. *Applied Microbiology*, 12: 384-390.
- Agricultural and Food Research Council. (1993). Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International, Wallingford, UK.
- Agricultural Research Council. (1980). The nutrient requirements of ruminant livestock, technical review. Agricultural Research Council. CAB. Slough, UK.
- Agricultural Research Council. (1984). Report of the Protein Group of the Agricultural Research Council Working Party on the Nutrient Requirements of Ruminants. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough.
- Algers, B. (1984). A note on responses of farm animals to ultra sound. *Applied Animal Behaviour Science*, 12: 387-391.
- Allen R.E., Sheehan, S. M., Taylor, R. G., Kendall, T. L., Rice, G. M. (1995). Hepatocyte growth factor activates quiescent skeletal muscle satellite cells in vitro. *Journal of Cell Physiology*, 165: 307-312.
- Allen, M. S., Mertens, D. R. (1988). Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *Journal of Nutrition*, 118: 261-270.
- Al-Qudah, K. H., Ismail, Z. B. (2012). The relationship between serum biotin and oxidant/antioxidant activities in bovine lameness. *Research in Veterinary Science*, 92: 138-141.
- Al-Rabadi, J. G., Peter, J. T., Barbara, A. W., Wayne, L. B., Michael, J. G. (2011). Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technology*, 168: 267-279.
- Al-Suwaiegh, S., Fanning, K. C., Grant, R. J., Milton, C. T., Klopfenstein, T. J. (2002). Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 80: 1105-1111.

- Amat, S., McKinnon, J. J., Olkowski, A. A., Penner, G. B., Simko, E., Shand, P. J., Hendrick, S. (2013). Understanding the role of sulfur-thiamine interaction in the pathogenesis of sulfur-induced polioencephalomalacia in beef cattle. *Research Veterinary Science*, 95: 1081-1087.
- Amat, S., McKinnon, J., Simko, E., Hendrick, S. (2014). Evaluation of feeding corn or wheat dried distillers grains with solubles on animal health of finishing feedlot steers *Canadian Journal of Animal Science*, 94: 525-531.
- Ames, D. R. (1985). Energy costs of range cows. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*, 36: 4-5.
- Ammerman, C. B. (1987). Assessment of mineral status in domestic animals: introductory remarks. *Journal of Animal Science*, 65: 1700-1701.
- Anderson, K., Salyers, A. A. (1989a). Biochemical evidence that starch breakdown by *Bacteroides thetaiotaomicron* involves outer membrane starch binding sites and periplasmic starch degrading enzymes. *Journal of Bacteriology*, 171: 3192-3198.
- Anderson, K., Salyers, A. A. (1989b). Genetic evidence that outer membrane binding of starch is required for starch utilization by *Bacteroides thetaiotaomicron*. *Journal of Bacteriology*, 171: 3199-3204.
- Anele, U. Y., Domby, E. M., Galyean, M. L. (2014). Predicting dry matter intake by growing and finishing beef cattle: Evaluation of current methods and equation development. *Journal of Animal Science*, 92: 2660-2667.
- Arave, C. W. (1996). Assessing sensory capacity of animals using operant technology. *Journal of Animal Science*, 74: 1996-2009.
- Archibeque, S. L., D.N. Miller, D. N., H.C. Freely, H. C. (2006). Feeding high-moisture corn instead of dry-rolled corn reduces odorous compound production in manure of finishing beef cattle without decreasing performance. *Journal of Animal Science*, 84: 1767-1777.
- Arnold, A. M., Peralta, J. M., Thonney, M. L. (1996). Ontogeny of growth hormone, insulin-like growth factor-I, estradiol and cortisol in the growing lamb: effect of testosterone. *Journal of Endocrinology*, 150: 391-399.
- Avendaño-Reyes, L., Torres-Rodríguez, V., Meraz-Murillo, F. J., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Robinson, P. H. (2006). Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *Journal Animal Science*, 84: 3259-3265.
- AVMA. (2009). Welfare implications of castration of cattle. *American Veterinary Medical Association*, Schaumber, IL, USA.
- AVMA. (2012). Welfare implications of dehorning and disbudding of cattle. *Veterinary Medical Association*, Schaumber, IL, USA.
- Ayala, O. J., González, M. S. S., Herrera, T., Bárcena, R., Mendoza, G. D. (1992). Effect of a probiotic and a molasses-urea supplement on fiber digestibility of sesame straw. *Journal of Animal Science*, 70: 670 (Abstr.).
- Baker, D. H. (1986). Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *Journal of Nutrition*, 116: 2339-2349.

LITERATURA

- Baker, S., Herrman, T. (2002). Evaluating particle size. *Kansas State University. No. MF-2051*, Kansas State University Cooperative. Extension. Service. Manhattan
- Baldi, A., Pinotti, L. (2006). Choline metabolism in high-producing dairy cows; metabolic and nutritional basis. *Canadian Journal of Animal Science*, 86: 207-212.
- Baldwin, R. L., Reichl, J. R. (1975). Rumen modeling: rumen input-output balance models. *Journal of Dairy Science*, 58: 879-890.
- Baldwin, R. L., Allison, M. J. (1983). Rumen metabolism. *Journal of Animal Science*, 57: 461-477.
- Banks, W., Greenwood, C. T. (1975). Starch and its Components. Halsted Press, New York, NY.
- Banks, J. (1998). Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Bartle, S. J., Preston, R. L., Brown, R. E., Grant, R. J. (1992). Trenbolone acetate/estradiol combinations in feedlot steers: Dose-response and implant carrier effects. *Journal of Animal Science*, 70: 1326-1332.
- Barton-Davis, E. R., Shoturma, D. I., Musaro, A., Rosenthal, N. y Sweeney, H. L. (1998). Viral mediated expression of insulin-like growth factor I blocks the aging-related loss of skeletal muscle function. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95: 15603-15607.
- Barton-Davis, E. R., Shoturma, D. I., Sweeney, H. L. (1999). Contribution of satellite cells to IGF-I induced hypertrophy of skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167: 301-305.
- Bartos, L., Franc, C., Stipková, D. R. (1993). A practical method to prevent dark-cutting (DFD) in beef. *Meat Science*, 34: 275-282.
- Bauchart, D. (1993). Lipid absorption and transport in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 76: 3864-3881.
- Belenguer, A., Toral, P. A., Frutos, P., Hervás, G. (2010). Changes in the rumen bacterial community in response to sunflower oil and fish oil supplements in the diet of dairy sheep. *Journal of Dairy Science*, 93: 3275-3286
- Beneke, R. R., Winterboer, R. (1973). Linear Programming Applications to Agriculture. *The Iowa State University Press. AMES, USA.*
- Benton, J. R., Klopfenstein, T. J., Erickson, G. E. (2004). In situ estimation of dry matter digestibility and degradable intake protein to evaluate the effects of corn processing method and length of ensiling. *Journal of Animal Science*, 82(Suppl. 1): 463.
- Bergen, W. G., Bates, D. B. (1984). Ionophores: their effect on production, efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science*, 58: 1465-1883.
- Bergen, W. G., Yokoyama, M. T. (1977). Productive limits to rumen fermentation. *Journal of Animal Science*, 46: 573-584.
- Bergsten, C., Greenough, P. R., Gay, J. M., Seymour, W. N., Gay, C. C. (2003). Effects of biotin supplementation on performance and claw lesions on a commercial dairy farm. *Journal of Animal Science*, 86: 3953-3962.
- Berk, R. (1980). Carotenoides. In: *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. Berk Editor. El Manual Moderno. México.

- Bevans, D. W., Beauchemin, K. A., Schwartzkopf-Genswein, K. S., McKinnon, J. J., McAllister, T. A. (2005). Effect of rapid or gradual grain adaptation on subacute acidosis and feed intake by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 83: 1116–1132.
- Bhattacharya, A. N., Warner, R. G. (1967). Rumen pH as a factor for controlling feed intake in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 50: 1116-1119.
- Bindel, D. J., Drouillard, J. S., Titgemeyer, E. C., Wessels, R. H., Loest, C. A. (2000). Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 78: 2497-2503.
- Bjørneboe A., Bjørneboe, G., C.A. Drevon, C. A. (1990). Absorption, transport and distribution of vitamin E. *Journal of Nutrition*, 120: 233-242.
- Bock, B. J., Harmon, D. L., Brandt, R. T., Avery, T. B. (1988). Influence of mixtures of high moisture corn and dry rolled wheat on cattle finishing performance, carcass and rumen fermentation characteristics. *Journal of Animal Science*, 67 (Suppl. 1): 161.
- Block, H. C., McKinnon, J. J., Mustafa, A. F., Christensen, D. A. (2001). Evaluation of the 1996 NRC beef model under western Canadian environmental conditions. *Journal of Animal Science*, 79: 267-275.
- Block, H. C., Klopfenstein, T. J., Erickson, G. E. (2006). Evaluation of average daily gain prediction by level one of the 1996 National Research Council beef model and development of net energy adjusters. *Journal of Animal Science*, 84: 866-876.
- Bonhome, A. (1990). Rumen ciliates: their metabolism and relationship with bacteria and their hosts. *Animal Feed Science and Technology*, 30: 203-266.
- Borger, M. L., Wilson, L. L., Sink, J. D., Ziegler, J. H., Davis, S. L. (1973a). Zeranol and dietary protein level effects on live performance, carcass merit, certain endocrine factors and blood metabolite levels of steers. *Journal of Animal Science*, 36: 706-711.
- Borger, M. L., Sink, J. D., Wilson, L. L., Ziegler, J. H., Davis, S. L. (1973b). Zeranol and dietary protein level effects on DNA, RNA and protein composition of three muscles and the relationship to serum insulin and GH levels of steers. *Journal of Animal Science*, 36: 712-715.
- Bouffault, J. C., Willemart, J. P. (1983). Anabolic activity of trenbolone acetate alone or in association with estrogens. In: *Anabolics in Animal Production*. Office International des Epizooties, Paris, France.
- Brandt, Jr. R. T. (1997). Factors affecting release rates and blood levels of hormones from steroidal implants, In: Owens, F., Gill, D., Dolezal, G., Morgan, B., Horn, G. (Organizing Committee). *Symposium: Impact of Implants on Performance and Carcass Value of Beef Cattle*, P-957, Oklahoma Agricultural Experimentation Station. Division Agriculture Science Natural Research. Oklahoma State University, Stillwater.
- Breier, B. H., Gluckman, P. D., Bass, J. J. (1988). The somatotrophic axis in young steers: Influence of nutritional status and oestradiol-17 β on hepatic high- and low-affinity somatotrophic binding sites. *Journal of Endocrinology*, 116: 169-177.
- Breier, B.H., Gluckman, P. D. (1991). The regulation of postnatal growth: nutritional influences on endocrine pathways and function of the somatotrophic axis. *Livestock Production Science*, 27: 77-94.

LITERATURA

- Brigelius-Flohé, R., Traber, M. (1999). Vitamin E: function and metabolism. *FASEB Journal*, 13: 1145-1155.
- Brink, D. R., Steele, R. T. (1985). Site and extent of starch and neutral detergent fiber digestion as affected by source of calcium and level of corn. *Journal of Animal Science*, 60: 1330-1337.
- Brink, D., Lowry, S. (1985). How should feed efficiency of feed utilization be evaluated? *Nebraska Beef Cattle Report*. MP-48.
- Britton, R. A. (1991). D-lactic Acidosis, myth or fact? *Animal Science Department, University of Nebraska-Lincoln*. Ed. Elanco Products Company.
- Britton, R. A., Stock, R. A. (1986). Acidosis, rate of starch digestion and intake. *Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle*. Agricultural Experiment Station Oklahoma State University.
- Broom, D. M., Fraser, A. F. (2007). Domestic animal behaviour and welfare. 4th ed. CABI, Wallingford, UK.
- Broudiscou, L., van Nevel, C. J., Demeyer, D. I. (1990). Effect of soya oil hydrolysate on rumen digestion in defaunated and refaunated sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 30: 51-67.
- Brown, M. S., Krehbiel, C. R., Duff, G. C. (2000). Effect of degree of corn processing on urinary nitrogen composition, serum metabolite and insulin profiles, and performance by finishing steers. *Journal of Animal Science*, 78: 2464-2474.
- Brown, M. S., Krehbiel, C. R., Galyean, M. L., Remmenga, M. D., Peters, J.P., Hibbard, B., Robinson, J., Moseley, W. M. (2000). Evaluation of models of acute and subacute acidosis on dry matter intake, ruminal fermentation, blood chemistry, and endocrine profiles of beef steers. *Journal of Animal Science*, 78: 3155-3168.
- Bryant, T. C., Rivera, J. D., Galyean, M. L., Duff, G. C., Hallford, D. M., Montgomery, T. H. (1999). Effects of dietary level of ruminally protected choline on performance and carcass characteristics of finishing beef steers and on growth and serum metabolites in lambs. *Journal of Animal Science*, 77: 2893-2903.
- Bryant, T. C., Wanger, J. J., Tatum, J. D., Galyean, M. L., Anthony, R. V., Engle T. E. (2010). Effect of dietary supplemental vitamin A concentration on performance, carcass merit, serum metabolites, and lipogenic enzyme activity in yearling beef steers. *Journal of Animal Science*, 88: 1463-1478.
- Buendía, R. G., Mendoza, G. D. M., Bárcena, G. R., Ortega, M. E., Solís, J. H., Lara, B. A. (2003). Efecto de la glucoamilasa de *Aspergillus niger* en la digestibilidad *in vitro* de maíz y sorgo y en la productividad de borregos. *Agrociencia*, 37: 317-322.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23: 85-112.
- Burrin, D., Stock, R., Britton, R. (1984). Monensin level in cattle step-up rations. *Nebraska Beef Report MP 47*.
- Burrin, D. G., Stock, R. A., Britton, R. A. (1988). Monensin level during grain adaptation and finishing performance in cattle. *Journal of Animal Science*, 66: 513-518.
- Burroughs W., Trenkle, A., Vetter, R. L. (1974). A system of protein evaluation for cattle and sheep involving metabolizable protein (amino acids) and urea fermentation potential of feedstuffs. *Veterinary Medicine, Small Animal Clinician*, 69: 713-722.

- Burroughs W., Nelson D. K., Mertens D. R. (1975). Protein physiology and its applications in the lactating cow: the metabolizable protein feeding standard. *Journal of Animal Science*, 41: 933-944.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C. (2006). Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 89: 761-771.
- Buttery, P. J., Sinnott-Smith, P. A. (1984). The mode of action of anabolic agents with special reference to their effects on protein metabolism-some speculations. In: J. F. Roche and D. O'Callaghan (Ed.) *Manipulation of Growth in Farm Animals*. pp. 228. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands.
- Calderón, S. F., Mendoza, M. G. D., Hernández, G. A., Muñoz, O. A., Ramírez, V. G., Plata, P. F. X. (2011). Concentración de nutrientes y rendimiento de diez variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) usados para alimentación de rumiantes. *Universidad y Ciencia*, 27: 169-177
- Calsamiglia, S., M. Blanch, A. Ferret, D. Moya. (2012). Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control. *Animal Feed Science and Technology*, 172: 42-50.
- Campbell, J. R., Greenough, P. R., Petrie, L. (2000). The effects of a dietary biotin supplementation on vertical fissures of the claw wall in beef cattle. *Canadian Veterinary Journal*, 41: 690-694.
- Cardozo, P. W., S. Calsamiglia, S., A. Ferret, A., Kamel, C. (2005). Screening for the effects at two pH levels on *in vitro* rumen microbial fermentation of a high-concentrate beef cattle diet. *Journal of Animal Science*, 83: 2572-2579.
- Carpenter, K. J. (1971). Problems in formulating simple recommended allowances of amino acids for animals and man. *Proceedings of the Nutrition Society*, 30: 73-83
- Carter, J. N., Gill, D. R., Krehbiel, C. R., Confer, A. W., Smith, R. A., Lalman, D. L., Claypool, P. L., McDowell, L. R. (2005). Vitamin E supplementation of newly arrived feedlot calves. *Journal of Animal Science*, 83: 1924-1932.
- Casas E., Leach, R.J., Reinhardt T.A., Thallman R.M., Lippolis J.D., Bennett G.L., Kuehn L.A. (2013). A genomewide association study identified CYP2J2 as a gene controlling serum vitamin D in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91: 3549-3556.
- Castellanos-Ruelas, A. F., Rosado-Rubio, J. G., Chel-Guerrero, L. A., Betancour-Ancona, D. A. (2006). Empleo del zilpateron en novillos con alimentación intensiva en Yucatán México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14: 56-59.
- Castillejos, L., Calsamiglia, S., Ferret, A. (2006). Effect of essential oil active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems. *Journal of Dairy Science*, 89: 2649-2658.
- Castro-Pérez, B. I., Garzón-Proano, J. S., López-Soto, M. A., Barreras, A., González, V. M., Plascencia, A., Estrada-Angulo, A., Dávila-Ramos, H., Ríos-Rincón, F. G., Zinn, R. A. (2013). Effects of replacing dry-rolled corn with increasing levels of corn dried distillers grains with solubles on characteristics of digestion, microbial protein synthesis and digestible energy of diet in hair lambs fed high-concentrate diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26: 1152-1159.
- Cernicchiaro, N., White, B. J., Renter, D. G., Babcock, A. H., Kelly, L., Slattery, R. (2012). Effects of body weight loss during transit from sale barns to commercial

LITERATURA

- feedlot on health and performance in feeder cattle cohorts arriving to feedlots from 2000 to 2008. *Journal of Animal Science*, 90: 1940-1947.
- Cernicchiaro, N., Renter, D. G., Xiang, S., White, B. J., Bello, N. M. (2013). Hierarchical Bayesian modeling of heterogeneous variances in average daily weight gain of commercial feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 91: 2910-2919.
- Chakravarthy, M. V., Abraha, T. W., Schwartz, R. J., Fiorotto, M. L., Booth, F. W. (2000). Insulin-like growth factor-I extends *in vitro* replicative life span of skeletal muscle satellite cells by enhancing G1/S cell cycle progression via the activation of phosphatidylinositol 3'-kinase/Akt signaling pathway. *The Journal of Biological Chemistry*, 275: 35942-35952.
- Chen, B., Wang, C., Wang, Y. M., Liu, J. X. (2011). Effect of biotin on milk performance of dairy cattle: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 94: 3537-3546.
- Chen, Z., Davidson, N. O. (2012). Genetic regulation of intestinal lipid transport and metabolism. In: *Physiology of the Gastrointestinal Tract*, Volumen II. Chapter 61 Ed: Johnson, L.R., Ghishan, F. K., Kaunitz, J. D., Merchant, J. L., Said, H. M., Wood, J. D. Elsevier, San Diego, USA. pp: 1643-1661.
- Chesson, A., Forsberg, C. W. (1988). Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: Hobson, P. N. (Ed.) *The Rumen Microbial Ecosystem*. Elsevier Applied Science London and New York.
- Chizzotti, F. H. M., Pereira, O. G., Valadares Filho, S. C., Chizzotti, M. L., Rodrigues, R. T. S., Tedeschi L. O., Silva T. C. (2015). Does sugar cane ensiled with calcium oxide affect intake, digestibility, performance, and microbial efficiency in beef cattle?. *Animal Feed Science and Technology*. Aceptado para publicación: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.12.014>.
- Choi, B. R., Palmquist, D. L., Allen, M. S. (2000). Cholecystokinin mediates depression of feed intake in dairy cattle fed high fat diets. *Domestic Animal Endocrinology*, 19: 159-175.
- Chuntrakort, P, Otsuka, M., Hayashi, K., Takenaka, A., Udchachon, S., Sommart, K. (2014). The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of Zebu beef cattle fed rice straw based diets. *Livestock Science*, 161: 80-89.
- Church, D. C., Pond, W. G., Pond, K. R. (2003). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da. Edición. Limusa Wiley. México. 635 p.
- Cleale, R. M., Kraft, L. A., Peterson, D. A., Hale, R. L., Sinha, A. N., Jim, G. K., Terhune, T., Johnson, E. G., Mader, T. L., Montgomery, T. H. (1999). Effects of estradiol benzoate and trenbolone acetate, alone or combined, on performance by feedlot heifers: A multisite study. *Journal of Animal Science*, 77(Suppl. 1): 239.
- Cleale, R. M., Bechtol, D. T., Drouillard, J. S., Edmonds, J. D., Edmonds, M., Hunsaker, B. D., Kraft, L. A., Lawrence, T. E., Brewbaker, S., Waite, A. R. (2012). Synovex Plus implants coated with a polymeric, porous film improve performance of beef steers and heifers fed in confinement for up to 200 days. *Journal of Animal Science*, 90: 5056-5066.
- Cleale, R. M., Amodie, D., Bechtol, D. T., Drouillard, J. S., Edmonds, J. D., Edmonds, M., Hunsaker, B. D., Kraft, L. A., Lawrence, T. E., Rulli, R. D., Waite, A. R. (2013).

- Effects of estradiol benzoate and trenbolone acetate, alone or in combination at dose levels present in Synovex choice, on performance by feedlot heifers. *Journal of Animal Science*, 91: 970-977.
- Cleg, M. T., Cole, H. H. (1954). The action of stilbestrol on the growth response in ruminants. *Journal of Animal Science*, 13: 108-130.
- Coetzee, J. F. (2013). Assessment and management of pain associated with castration in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 29: 75-101.
- Cole, N. A., Johnson, R. R., Owens, F. N. (1976a). Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *Journal of Animal Science*, 43: 483-489.
- Cole, N. A., Johnson, R. R., Owens, F. N. (1976b). Influence of roughage level and corn processing method on the site and extent of digestion by beef steers. *Journal of Animal Science*, 43: 490-496.
- Coleman, G. S. (1964). The metabolism of *Escherichia coli* and other bacteria by *Entodinium caudatum*. *Journal of General Microbiology*, 37: 209-223.
- Coleman, G. S. (1986). The amylase activity of 14 species of entodiniomorphid protozoa and the distribution of amylase in rumen digesta fractions of sheep containing no protozoa or one of seven different protozoal populations. *The Journal of Agricultural Science Cambridge*, 107: 709-721.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (1990). Feeding standards for Australian livestock: Ruminants. *CSIRO Publications*, East Melbourne, Australia.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (2007). Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. *CSIRO Publishing*, Collingwood, Australia.
- Cook, N. B., Nordlund, K. V., Oetzel, G. R. (2004). Environmental influences on claw horn lesions associated with laminitis and subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87: E36-E46.
- Cooper, S. D., Kyriazakis I., Oldham, J. D. (1996). The effects of physical form of feed, carbohydrate source, and inclusion of sodium bicarbonate on the diet selections of sheep. *Journal of Animal Science*, 74: 1240-1251.
- Corona L., Rodriguez, S., Ware, R. A., Zinn, R. A. (2005). Comparative effect of whole, ground, dry-rolled and steam-flaked corn on digestion and performance in feedlot cattle. *Professional Animal Scientist*, 21: 200-206.
- Corona, L., Owens, F., Zinn, R. (2006). Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84: 3020-3031.
- Corrigan, M. E., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Leubbe, M. K., Vander Pol, K. J., Meyer, N. F., Buckner, C. D., Vanness, S. J., Hanford, K. J. (2009). Effect of corn processing method and corn wet distillers grains plus solubles inclusion level in finishing steers. *Journal of Animals Science* 87: 3351-3362.
- Cotta, M. A. (1988). Amylolytic activity of selected species of ruminal bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 54: 772-776.

LITERATURA

- Coulter, D. B., Schmidt, G. M. (1993). Special senses 1: Vision. In: Swenson, M.J., W.O. Reece (Eds.) *Duke's Physiology of Domestic Animals*. 11th ed. Comstock Publ. Ithaca, NY.
- Crabbendam, P. M., O. J. Neijssel, O. J., and D. W. Tempest, D. W. (1985). Metabolic and energetic aspects of growth of *Clostridium butyricum* on glucose in chemostat culture. *Archives of microbiology*, 142: 375-382.
- Cranston, J. J., Rivera, J. D., Galyean, M. L., Brashears, M. M., Brooks, J. C., Markham, C. E., McBeth, L. J., Krehbiel, C. R. (2006). Effects of feeding whole cottonseed and cottonseed products on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84: 2186-2199.
- Crosby, M. M., Mendoza, G. D., Melgoza, L. M., Bárcena, R., Plata, P. F., Aranda, I. E. (2006). Effects of *Bacillus licheniformis* amylase on starch digestibility and sheep performance. *Journal Applied Animal Research*, 30: 133-136.
- Crosby, M., Mendoza, G. D., Bonola, I., Plata, F. X., Sandoval, H., Melgoza, L. M. (2012). Slow-release amylase increases *in vitro* ruminal digestion of maize and sorghum grain. *South African Journal of Animal Science*, 42: 41-46.
- Cuitun, L. L., Hale, W. H., Theurer, B., Dryden, F. D., Marchello, J. A. (1975). Protein protected fat for ruminants 1. Digestion and performance in fattening steers. *Journal of Animal Science*, 40: 691-696.
- Czerkawski, J. W. (1973). Effect of linseed oil fatty acids and linseed oil on rumen fermentation in sheep. *The Journal of Agricultural Science Cambridge*, 81: 517-531.
- Czerkawski, J. W., Christie, W. W., Breckenridge, G., Hunter, M. L. (1975). Changes in the rumen metabolism of sheep given increasing amounts of linseed oil in their diets. *British Journal of Nutrition*, 34: 25-44.
- Czerkawski, J. W. (1986). An Introduction to Rumen Studies. *Pergamon Press Inc.*, New York
- Davis, S. L., Ohlson, D. L., Klindt, J., Anfinson, M. S. (1977). Episodic growth hormone secretory patterns in sheep: relationship to gonadal steroid hormones. *American Journal of Physiology*, 233: E519.
- Dayton, W. R., White, M. E. (2014). Meat Science and Muscle Biology Symposium – role of satellite cells in anabolic steroid-induced muscle growth in feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 92: 30-38.
- Defoor, P. J., Brown, M. S., Owens, F. N. (2006). Reconstitution of corn and grain sorghum for ruminants. In: *Cattle Grain Processing Symposium Proceedings*. Oklahoma State University. Tulsa, Oklahoma. pp. 93-98.
- Demeyer, D. I., Van Nevel, C. J. (1979). Effect of defaunation on the metabolism of rumen microorganisms. *British Journal of Nutrition*, 42: 515-524.
- Demeyer, D. (1988). Interdependance des effets de la defaunation sur l'activite muralytique, le volume et la vitesse de renouvellement du content du rumen. Resultats preliminaires et hypothese. *Reproduction Nutrition Development*, 28: 161-162.
- Dennis, S. M., Nagaraja, T. G., Bartley, E. E. (1981). Effects of lasalocid or monensin on lactate-producing or -using rumen bacteria. *Journal of Animal Science*, 52: 418-426.

- Dennis, S. M., Nagaraja, T. G., Bartley, E. E. (1981). Effect of lasalocid or monensin of lactate production from *in vitro* rumen fermentation of various carbohydrates. *Journal Dairy Science*, 64: 2350-2356.
- DePeters, E. J., Getachew, G., Fadel, J. G., Corona, L., Zinn, R. A. (2007). Influence of corn hybrid, protease and methods of processing on *in vitro* gas production. *Animal Feed Science and Technology*, 135: 157-175.
- Derno, M., Nürnberg, G., Schön, P., Röntgen, M., Hammond, H. M., Metges, C. C., Bruckmaier, R. M., Kuhla, B. (2013). Short-term feed intake is regulated by macro-nutrient oxidation in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 96: 971-980
- Dewhurst, R. J., Davies, D. R., Merry, R. J. (2000). Microbial protein supply from the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 85: 1-21.
- Dodson, M. V., Allen, R. E. (1987). Interaction of multiplication stimulating activity/rat insulin-like growth factor II with skeletal muscle satellite cells during aging. *Mechanisms of Ageing and Development*, 39: 121-128.
- Dohme, F., Machmüller, A., Wasserfallen, A., Kreuzer, M. (2000). Comparative efficiency of various fats rich in medium-chain fatty acids to suppress ruminal methanogenesis as measured with RUSITEC. *Canadian Journal of Animal Science*, 80: 473-482.
- Dohme, F., Machmüller, A., Sutter, F., Kreuzer, M. (2004). Digestive and metabolic utilization of lauric, myristic and stearic acid in cows, associated effects on milk fat quality. *Archives of Animal Nutrition*, 58: 99-116.
- Dong, Y., Bae, H. D., McAllister, T. A., Mathison, G. W., Cheng, K. J. (1997). Lipid-induced depression of methane production and digestibility in the artificial rumen system (RUSITEC). *Canadian Journal of Animal Science*, 77: 269-278.
- Donicht, P. A. M. M., Restle, J., Filo Alves, D. C., Callegaro, A. M., Cattelam, J., Menezes, L. F. G. (2014). Performance of feedlot steers finished with different fat sources in diet. *Archivos de Zootecnia*, 63: 305-313.
- Dorman, H. J. D., Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 308-316.
- Drackley, J. K., Klusmeyer, T. H., Trusk, A. M., Clark, J. H. (1992). Infusion of long-chain fatty acids varying in saturation and chain length into the abomasum of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 75: 1517-1526.
- Drouillard, J. S., Ferrell, C. L., Klopfenstein, T. J., Britton, R. A. (1991). Compensatory growth following metabolizable protein or energy restrictions in beef steers. *Journal of Animal Science*. *Journal of Animal Science*, 69: 811- 818.
- Drouillard, J. S., Flake, A. S., Kuhl, G. L. (1998). Effects of added fat, degradable intake protein, ruminally protected choline in diets of finishing steers. *Cattlemen's Day Report Program 804*. Kansas Agricultural Experimental Station, Manhattan. pp 71-75.
- Duca, F. A., Sakara, Y., Covasa, M. (2013). The modulatory role of high fat feeding on gastrointestinal signals in obesity. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 24: 1663-1677.
- Duckett, S. K., Andrade, J. G. (2001). Implant strategies in an integrated beef production system. *Journal of Animal Science*, 79(E. Suppl.): E110-E117.

LITERATURA

- Duffield, T. F., Merrill, J. K., Bagg, R. N. (2012). Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *Journal of Animal Science*, 90: 4583-4592.
- Dunne, P. G., Rogalski, Childs, S., Monahan, F. J., Kenny, D. A., Moloney, A. P. (2011). Long chain n-3 polyunsaturated fatty acid concentration and color and lipid stability of muscle from heifers offered a ruminally protected fish oil supplement. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59: 5015-5025
- Durán, A. J., Castro, N. S., Mendoza, M. G. D., Cobos, M. A., Ricalde, R. V., Plata F. X. P. (2004). Degradabilidad ruminal in vitro de almidón de 21 variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con diferente genotipo de resistencia a sequía. *Interciencia*, 29: 329-333.
- Duske, K., Hammon, H. M., Langhof, A. K., Bellmann, O., Losand, B., Nürnberg, K., Nürnberg, G., Sauerwein, H., Seyfert, H. M., Metges, C. C. (2009). Metabolism and lactation performance in dairy cows fed a diet containing rumen-protected fat during the last twelve weeks of gestation. *Journal of Dairy Science*, 92: 1670-1684.
- Eadie, J. M., Hyldgaard-Jensen, J., Mann, S. O., Reid, R. S., Whitelaw, F. G. T. (1970). Observations on the microbiology and biochemistry of the rumen in cattle given different quantities of a pelleted barley ration. *British Journal of Nutrition*, 24: 157-177.
- Eadie, J. M., Mann, S. O. (1970). Development of the rumen microbial population: High starch diets and instability. In: Philipson, A. T. (Ed.) *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Oriel Press, Newcastle Upon Tyne.
- Eadie, J. M., Oxford, A. E. (1957). A simple and safe procedure for the removal of holotrich ciliates from the rumen of an adult fistulated sheep. *Nature*, 179: 485.
- El Fouly, H. A. (1983). Quantitative estimation of net rates of production of bacterial and protozoal nitrogen and their interconversion in the rumen. In: *Nuclear techniques for assessing and improving ruminant feeds*. International Atomic Energy Agency Vienna (Ed.).
- Ellis, J. L., Kebreab, E., Odongo, N. E., Beachemin, K., McGinn, S., Nkrumah, J. D., Moore, S. S., Christopherson, R., Murdoch, G. K., McBride, B. W., Okine, E. K., France, J. (2009). Modeling methane from beef cattle using linear and nonlinear approaches. *Journal of Animal Science*, 87: 1334-1345.
- Elsasser, T. H., Rumsey, T. S., Kahl, S. (1993). Relationships between the thyroid and somatotrophic axes in steers II: Effects of thyroid status on plasma concentrations of insulin-like growth factor I (IGF-I) and the IGF-I response to growth hormone. *Domestic Animal Endocrinology*, 10: 71-85.
- Elsasser, T. H., Rumsey, T. S., Kahl, S., Czerwinski, S. M., Moseley, W. M., Ono, Y., Solomon, M. B., Harris, F., Fagan, J. M. (1998). Effects of Synovex-S and recombinant bovine growth hormone (Somavubove) on growth responses of steers: III. Muscle growth and protein responses. *Journal of Animal Science*, 76: 2346-2353.
- Enemark, J. M. D. (2009). The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. *The Veterinary Journal*, 176: 32-43.
- Enright, W. J., Quirke, J. F., Gluckman, P. D., Breier, B. H., Kennedy, L. G., Hart, L. C., Roche, J. F., Coert, A., Allen, P. (1990). Effects of long-term administration of pi-

- tuitary-derived bovine growth hormone and estradiol on growth in steers. *Journal of Animal Science*, 68: 2345-2356.
- Eun, J. S., D. R. ZoBell, D. R., C. M. Dschaak, C. M., D. E. Diaz, D. E., J. M. Tricarico, J. M. (2009). Case study: effects of supplementing a fibrolytic feed enzyme on the growth performance and carcass characteristics of beef steers, *The Professional Animal Scientist*, 25: 382-387.
- Eversole, D. E., Fontenot, J. P., Kirk, D. J. (1989). Implanting trenbolone acetate and estradiol in finishing beef steers. *Nutrition Reports International*, 39: 995-1002.
- Ewing, D. L., Johnson, D. E., Rumpler, W. V. (1986). Corn particle passage and size reduction in the rumen of beef steers. *Journal of Animal Science*, 63: 1509-1515.
- Eyzaguirre, D. A. (1984). Efecto de la administración de carazolol subcutáneo en bovinos sobre el destare por transporte. *Tesis Profesional*. Universidad Austral de Chile.
- Farlin, S. D. (1976). Monensin – Tylosin combinations. *Nebraska Beef Report EC 76*, 218: 36.
- Farlin, S. D. (1977). Probiotics for finishing rations. *Nebraska Beef Report EC 77*, 218: 13.
- Farran, T. B., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Macken, C. N., Lindquist, R. U. (2006). Wet corn gluten feed and alfalfa hay levels in dry-rolled corn finishing diets: Effects on finishing performance and feedlot nitrogen mass balance. *Journal of Animal Science*, 84: 1205-1214.
- FDA. (2007). Freedom of information summary original new animal drug application. NADA 141-269. Revalor-XS (trenbolone acetate and estradiol) implant (pellets) for cattle (steers fed in confinement for slaughter). Disponible en línea: <http://www.fda.gov/downloads/AnimalVeterinary/Products/ApprovedAnimalDrugProducts/FOIADrugSummaries/ucm062321.pdf>. Consultado el 30 de septiembre de 2009.
- Fell, L. R., Walker, K. H., Reddacliff, L. A., Davies, L., Vallance, H. J., House, J. R., Wilson, S. C. (1998). Effects of yard weaning and pre-feedlot vaccination on feedlot performance of *Bos taurus* steers. *Animal Production in Australia*, 22: 173-176.
- Felton, E. E. D., Kerley, M. S. (2004). Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat. *Journal of Animal Science*, 82: 1794-1805.
- Fernández-Mejía, C., Lazo-de-la-Vega-Monroy, M. L. (2011). Biological Effects of pharmacological concentrations of biotin. *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 16: 40-48.
- Fernandez-Rivera S., Lewis, M., Klopfenstein, T. J., Thompson, T. L. (1989). A simulation model of forage yield, quality and intake and growth of growing cattle grazing cornstalks. *Journal of Animal Science*, 67: 581-589.
- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., Gutiérrez, C. G. (2009). *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 154: 112-118.
- Ferrier, S., Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43: 393-404.
- Firkins, J. L. (1996). Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *Journal of Nutrition*, 126: 1347S-1354S

LITERATURA

- Firkins, J. L., Eastridge, M. L., St-Pierre, N. R., Nofstger, S. M. (2001). Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 79: E218-238.
- Fitzgerald, T., Norton, B. W., Elliot, R., Podlich, H., Svendsen, O. L. (2000). The influence of long-term supplementation with biotin on the prevention of lameness in pasture fed dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83: 338-344.
- Foote, M. R., Horts, R. L., Huff-Lonergan, E. J., Trenkle, A. H., Parrish F.C., Beitz D.C. (2004). The use of vitamin D3 and its metabolites to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 82: 242-249.
- Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Tylutki, T. P. Russell, Van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N., Overton, T. R. (2004). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112: 29-78.
- France, J., Thornley, J. H. M. (1984). *Mathematical models in agriculture*. Butterworths. 355 pp.
- Franco, H. M. A., Calderón-Cortes, J. F., Corona, G. L., Plascencia, J. A., Zinn, R. A. (2014). Predicting ruminal and total tract starch digestion as influence by changes in density of steam-flaked corn: flake thickness, enzymatic reactivity, fecal starch. *Journal of Animal Science*, 92 (E-Suppl. 2).
- Fregonesi, J. A., Tucker, C. B., Weary, D. M., Flower, F. C., Vittie, T. (2004). Effect of rubber flooring in front of the feed bunk on the time budgets of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87: 1203-1207.
- Fulton, W. R., Klopfenstein, T. J., Britton, R. A. (1979). Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. I. Adaptation to corn and wheat diets. *Journal of Animal Science*, 49: 775-784.
- Gallo, C. (2009). Transporte y reposo pre-sacrificio en bovinos y su relación con la calidad de la carne. En: *Bienestar Animal y Calidad de la Carne*. (Eds.) D. Motta-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I. E. Ed. BM Editores, México.
- Gallo, C., Pérez V. S., Sanhueza V. C., Gasic Y. J. (2000). Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de la canal. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 32: 157-170.
- Galo, E., Emanuele, S. M., Sniffen, C. J., White, J. H., Knapp, J. R. (2003). Effects of a polymer-coated urea product on nitrogen metabolism in lactating Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86: 2154-2162.
- Galyean, M. L., Tedeschi, L. O. (2014). Predicting microbial protein synthesis in beef cattle: Relationship to intake of total digestible nutrients and crude protein. *Journal of Animal Science*, 92: 5099-5111.
- Galyean, M. L., Wagner, D. G., Owens, F. N. (1979). Corn particle size and site and extent of digestion by steers. *Journal of Animal Science*, 49: 204-210.
- Galyean, M. L., Wagner, D. G., Owens, F. N. (1981). Dry matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. *Journal of Dairy Science*, 64: 1804-1812.

- Garcia, F., Sainz, R. D., Agabriel, J., Barioni, L. G., Oltjen, J. W. (2008a). Comparative analysis of two dynamic mechanistic models of beef cattle growth. *Animal Feed Science and Technology*, 143: 220-241.
- Garcia, L. G., Nicholson, K. L., Hoffman, T. W., Lawrence, T. E., Hale, D. S., Griffin, D. F., Savell, J. W., VanOberveke, D. J., Morgan, J. B., Belk, K. E., Field, T. G., Scanga, J. A., Talum, J. D., Smith, G. C. (2008b). National Beef Quality-Audit-2005: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 86: 3533-3543.
- Garry, F. B. (2002). Indigestion in ruminants. In: Smith, B.P. (Ed.), *Large Animal Internal Medicine*, third ed. Mosby, St. Louis and Baltimore, pp. 722-747.
- Garza, J. D., Owens, F. N., Welty, S. (1991). Frequency of urea dosing for beef steers fed low protein hay. *Oklahoma Agricultural Experiment Station Research Report*, MP-136: 271-276.
- Gass, S. I. (1980). Programación lineal: Métodos y aplicaciones (2a imp.). México: Compañía Editorial Continental.
- Gaughan, J. B., Bonner, S., Loxton, I., Mader, T. L., Lisle, A., Lawrence, R. (2010). Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 88: 4056-4067.
- Gill, D. R., Owens, F. N., Martin, J. J., Williams, D. E., Zinn, R. A., Hillier, R. J. (1981). Roughage levels in feedlot rations. *Animal Science Report*. Oklahoma Agricultural Experimental Station. 142.
- Gillis, M. H., Duckett, S. K., Sackmann, J. R., Realini, C. E., Keisler, D. H., Pringle, T. D. (2004). Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance, carcass quality, and leptin concentrations in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82: 851-859.
- Girard, C.L., Matte J.J. (1998). Dietary supplements of folic acid during lactation: effects on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81: 1412-1419.
- Glennie, C. W. (1987). Physico-chemical properties of sorghum starch thermally treated by different methods. *Starch-Stärke*, 39: 273-276.
- González, G. U. A., González, R. M., Plascencia, A., Corona, L. 2010a. Influence of reconstituted and silage sorghum grain on site and extent digestion in finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 88 (E-Suppl. 2): 153.
- González, L., Schwartzkopf-Genswein, K., Caulkett, N., Janzen, E., McAllister, T., Fierheller, E., Schaefer, A., Haley, D., Stookey, J., Hendrick, S. (2010b). Pain mitigation after band castration of beef calves and its effects on performance, behavior, *Escherichia coli*, and salivary cortisol. *Journal of Animal Science*, 88: 802-810.
- González, L. A., Schwartzkopf-Genswein, K. S., Bryan, M., Silasi, R., Brown, F. (2012a). Factors affecting body weight loss during commercial long haul transport of cattle in North America. *Journal of Animal Science*, 90: 3630-3639.
- González, L.A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K.S.G., Ferret, A. (2012). Ruminant acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Animal Feed Science and Technology*, 172: 66-79.

LITERATURA

- Goodrich, R. D., Garret, J. E., Gast, D. R., Kirick, M. A., Larson, D. A., Meiske, J. C. (1984). Influence of monensin on the performance of cattle. *Journal of Animal Science*, 58: 1484-1491
- Gordon, G. (1978). System Simulation. 2ed ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 324 pp.
- Gorocica-Buenfil, M. A., Loerch, S. C., (2005). Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. *Journal of Animal Science*, 83: 705-714.
- Gottardo, F., Cozzi, G., Preciso, S., Ravarotto, L. (2003). Effect of type of floor and space at the manger on growth performance and feeding behaviour of beef cattle. *Italian Journal of Animal Science*, 2 (Suppl. 1): 322-324.
- Gottardo, F., Ricci, R., Preciso, S., Ravarotto, L., Cozzi, G. (2004). Effect of the manger space on welfare and meat quality of beef cattle. *Livestock Production Science*, 89: 277-285.
- Grain, J., Groliere, C. A., Senaud, J., de Puytorac, P., Zainab, B., Jouany, J. P. (1979). Ciliate implantation in the rumen: Influence of inoculated genus and type of diet. *Annales de Recherches Veterinaires*, 10: 264-267.
- Gramlich, S.M. (1988). Grain Hybrids and Starch Utilization in Ruminants. MSc. Thesis. University of Nebraska—Lincoln.
- Grandin, T. (1980a). Livestock behavior as related to handling facilities design. *International Journal for the Study of Animal Problems*, 1: 33-52.
- Grandin, T. (1980b). Observations of cattle behavior applied to the design of cattle handling facilities. *Applied Animal Ethology*, 6: 19-31.
- Grandin, T. (1997). Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, 75: 249-257.
- Grandin, T. (2003). Transferring results of behavioral research to industry to improve animal welfare on the farm, ranch and the slaughter plant. *Applied Animal Behaviour Science*, 81: 215-228.
- Grandin, T. (2007). Livestock handling and transport. 4th ed. CABI, Wallingford, UK.
- Grandin, T., Deesing, M. J. (1998). Behavioral genetics and animal science. In: T. Grandin (Ed.). *Genetics and the Behavior of Domestic Animals*. Academic Press, San Diego, California. pp.1-30.
- Grigsby, M. E., Trenkle, A. (1986). Plasma growth hormone, insulin, glucocorticoids and thyroid hormones in large, medium and small breeds of steers with and without an estradiol implant. *Domestic Animal Endocrinology*, 3: 261-267.
- Guiroy, P. J., Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Baker, M. J., Cravey, M. D. (2001). Predicting individual feed requirements of cattle fed in groups. *Journal of Animal Science*, 79: 1983-1995.
- Gunn, P. J., Weaver, A. D., Lemenager, R. P., Gerrard, D. E., Claeys, M. C., Lake, S. L. (2009). Effects of dietary fat and crude protein on feedlot performance, carcass characteristics, and meat quality in finishing steers fed differing levels of dried distillers grains with soluble. *Journal of Animal Science*, 87: 2882-2890.

- Guo, K., Zoccarato, I. (2005). A dynamic model to predict the nitrogen excretion in growing – finishing cattle. *Ecological Modelling*, 187: 219–231.
- Gutiérrez, C., Mendoza, G. D., Ricalde V. R., Melgoza, L. M., Plata P. F. (2005). Effect of exogenous amylase or glucoamylase dose on *in situ* ruminal digestion of corn and sorghum. *Journal Applied Animal Research*, 27: 7-10.
- Gutierrez, O. E. (1990). Escape protein supplementation for growing cattle grazing corn residues. Ph.D. Dissertation. University of Nebraska - Lincoln
- Guy, R. (2001). Extrusion Cooking–Technologies and Applications. CRC Press/Woodhead, Boca Raton, FL/Cambridge, England.
- Gyulai, F., Baran, M. (1988). Effect of monensin on rumen ciliate protozoa in sheep. *Archives of Animal Nutrition*, 38: 153-157.
- Hale, W. H. (1973). Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *Journal of Animal Science*, 37: 1075-1080.
- Hale, W. H., Theurer, C. B. (1972). In: Church D. C. (Ed.) *Digestive Physiology and nutrition of ruminants*. Vol 3. Oregon State Univ. Corvallis.
- Hall MB, GB Huntington. (2008). Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *Journal of Animal Science*, 86: E287–E292.
- Hamby, D. M. (1994). A review of techniques for parameter sensitivity of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32: 135-154.
- Hancock, D. L., Wagner, J. F., Anderson, D. B. (1991). Effects of estrogens and androgens on animal growth. In: A. M. Pearson and T. R. Dutson (Ed.) *Growth Regulation in Farm Animals I Advances in Meat Research*, 71: 255-297.
- Hardaker, J. B. (1971). Programación de granjas computadoras. Editorial ACRIBIA Zaragoza España.
- Harmon, D. L., McLeod, K. R. (2001). Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: Implications and whole-body energetics. *Journal of Animal Science*, 79: E59-E72.
- Harmon, L. D., Yamka, M. R., Elam, A. N. (2004). Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84: 309-318.
- Harrison, L. P., Heitzman, R. J., Sansom, B. F. (1983). The absorption of anabolic agents from pellets implanted at the base of the ear in sheep. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 6: 293-303.
- Hart, S. P. (1987). Associative effects of sorghum silage and sorghum grain diets. *Journal of Animal Science*, 64: 1779-1789.
- HAS. (1998). Humane Slaughter Association. *Captive bolt stunning of livestock*. 2nd ed. UK. pp. 2-26.
- Hayden, J. M., Bergen, W. G. y Merkel, R. A. (1992). Skeletal muscle protein metabolism and serum growth hormone, insulin, and cortisol concentrations in growing steers implanted with estradiol-17 beta, trenbolone acetate, or estradiol-17 beta plus trenbolone acetate. *Journal of Animal Science*, 70: 2109-2119.
- Heady E., Candler, W. C. (1964). Linear Programming Methods. Iowa State College Press. p: 608.
- Hedges J., Blowey R.W., Packington A.J., O’Callaghan C.J., Green L.E. (2001). A longitudinal field trial of the effect of biotin on lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84: 1969-1975.

LITERATURA

- Heffner, R. S., Heffner, H. E. (1983). Hearing in large mammals: horse (*Equus caballus*) and cattle (*Bos taurus*). *Behavioral Neuroscience*, 97: 299-309.
- Heffner, R.S. and H.E Heffner. (1992). Hearing in large mammals: sound-localization acuity in cattle (*Bos taurus*) and goats (*Capra hircus*). *Journal Comparative Psychology*, 106: 107-113.
- Heitzman, R. J., Harwood, D. J. (1977). Residue levels of trenbolone and oestradiol-17 β in plasma and tissues of steers implanted with anabolic steroid preparations. *British Veterinary Journal*, 133: 564-571.
- Herbst, L. A., Ulfelder, H., Poskanzer, D. C (1971). Stilbestrol therapy with tumor appearance in young women. *New England Journal of Medicine*, 284: 878-881.
- Herrera-Saldaña, R. E., Huber, J. T., Poore, M. H. (1990). Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *Journal of Dairy Science*, 73: 2386-2393.
- Herrera-Saldaña, R., Huber, J. T. (1989). Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cow. *Journal of Dairy Science*, 72: 1477-1483.
- Herschler, R. C., Olmsted, A. W., Edwards, A. J., Hale, R. L., Montgomery, T., Preston, R. L. Bartle, S. J., Sheldon, J. J. (1995). Production responses to various doses and ratios of estradiol benzoate and trenbolone acetate implants in steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 73: 2873-2991.
- Hibberd, C. A., Wagner, D. G., Hintz, R. L., Griffin, D. D. (1983). Effect of sorghum grain variety and processing method on the site and extent of starch digestion in steers. *Animal Science Research Report MP114*. Oklahoma State University, Stillwater. pp. 28.
- Highstreet, A., Robinson, P. H., Robinson, J., Garret, J. C. (2010). Response of Holstein cows to replacing urea with a slow rumen released urea in a diet high in soluble crude protein. *Livestock Science*, 129: 179-185.
- Hilton, G. G., Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Yates, D. A., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Blanton, Jr. J. R., Miller, M. F. (2009). Effects of feeding zilpaterol hydrochloride with and without monensina and tylosin on carcass cutability and meat palatability of beef steers. *Journal of Animal Science*, 87: 1394-1406.
- Hino T., Andoh, N., Ohgi, H. (1993). Effects of β -carotene and α -tocopherol on rumen bacteria in the utilization of long chain fatty acids and cellulose. *Journal of Dairy Science*, 76: 600-605.
- Hino, T., Kametaka, M., Kandatsu, M. (1973). The cultivation of rumen oligotrich protozoa. I. Factors influencing the life of *Entodinium*. *Journal of General Applied Microbiology*, 19: 305-315.
- Hino, T., Russell, J. B. (1987). Relative contributions of ruminal bacteria and protozoa to the degradation of protein in vitro. *Journal of Animal Science*, 64: 261-270.
- Hirooka, H. (2010). Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. *Animal Science Journal*, 81: 411-424.
- Hobson, P. N., Summers, R. S. (1967). The continuous culture of anaerobic bacteria. *Journal of General Microbiology*, 47: 53-65.
- Hoch, T., Agabriel, J. (2004). A mechanistic dynamic model to estimate beef cattle growth and body composition: 1. Model description. *Agricultural System*, 81: 1-15.

- Holland, J. L., Kronfeld, D. S., Richb, G. A., Kline, K. A., Fontenot, J. P , Meacham, T. N., Harris, P. A. (1998). Acceptance of fat and lecithin containing diets by horses. *Applied Animal Behaviour Science*, 56: 91-96
- Hook, S. E., Northwood, K. S., Wright, A. D. G., McBride, B. W. (2009). Long-term monensin supplementation does not significantly affect the quantity or diversity of methanogens in the rumen of the lactating dairy cow. *Applied Environmental Microbiology*, 75: 374-380.
- Horst, R. L., Goff, J. P., Reinhardt, T. A. (2003). Role of vitamin D in calcium homeostasis and its use in prevention of bovine periparturient paresis. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 97: 35-50.
- Hsu, J. T., Fahey, Jr. G. C., Merchen, N. R., Berger, L. L., Clark, J. H. (1989). The efficacy of alkanate 3SL3, calcium peroxide and nystatin as defaunating agents in sheep. *Nutrition Reports International*, 39: 205-213.
- Huber, T. L. (1976). Physiological effects of acidosis on feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 43: 902-909.
- Huber, J. T. (1991). El uso de hongos y cultivos de levaduras en Ganado lechero en producción. *Memoria del Curso Intensivo Internacional Sobre Producción de Leche*. Centro de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Huck, G. L., Kreikemeier, K. K., Kuhl, G. L., Eck T. P., Bolsen, K. K. (1998). Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled corn on growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 76: 2984-2990.
- Huffman, R. P., Stock, R. A., Sindt, M. H., Shain, D. H. (1992). Effect of type of fat and forage level on performance of finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 70: 3889-3898.
- Hughes, P., Tove, S. (1980). Identification of an endogenous electron donor for biohydrogenation as alpha-tocopherolquinol. *Journal of Biological Chemistry*, 255: 4447-4452.
- Hughes, P., Tove, S. (1982). Occurrence of α -tocopherolquinona and α -tocopherolquinol in microorganisms. *Journal of Bacteriology*, 151: 1397-1402.
- Hünerberg, M., Little, S. M., Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., O'Connor, D., Okine, E. K., Harstad, O. M., Kröbel, R., McAllister, T. A. (2014). Feeding high concentrations of corn dried distillers' grain decreases methane, but increases nitrous oxide emissions from beef cattle production. *Agricultural Systems*, 127: 19- 27.
- Hungate, R. E. (1966). *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, N. Y.
- Hungate, R. E. (1984). Challenges in rumen microbiology. In: L. P. Milligan, W. L. Grovum and Dobson, A. (Ed.). *Control and Metabolism in Ruminants*. Proceedings of the 6th International Symposium on Ruminant Physiology.
- Huntington, G. B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*, 75: 852-867.
- Huntington, G., Britton, R. (1978). Effect of dietary lactic acid content and energy level on rumen lactate metabolism in sheep. *Journal of Animal Science*, 47: 241-246.

LITERATURA

- Hutcheson, D. P. (1986). Programa nutricional de recepción para ganado en corral de engorda. *Memoria del Seminario Engorda de Bovinos en Corrales*. Centro de Ganadería 6° Aniversario, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Hutcheson, D. P., Cole, N. A. (1986). Management of transit-stress syndrome in cattle: nutritional and environmental effects. *Journal of Animal Science*, 62: 555-560.
- Hutchison, S., Kegley, E. B., Apple, J. K., Wistuba, T. J., Dikeman, M. E., Rule, D. C. (2006). Effects of adding poultry fat in the finishing diet of steers on performance, carcass characteristics, sensory traits, and fatty acid profiles. *Journal of Animal Science*, 84: 2426-2435.
- Ikwuegbu, O. A., Sutton, J. D. (1982). The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on metabolism of sheep. *British Journal of Nutrition*, 48: 365-375.
- Imberty, A., Chanzy, H., Pérez, S., Bulèon, A., Tran, A. (1998). The double-helical nature of the crystalline part of A-starch. *Journal of Molecular Biology*, 201: 365-378.
- Imwalle, D. B., Fernandez, D. L., Schillo, K. K. (2002). Melengestrol acetate blocks the preovulatory surge of luteinizing hormone, the expression of behavioral estrus, and ovulation in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 80: 1280-1284.
- Isaacson, W. K., Jones, S. J., Krueger, R. J. (1993). Testosterone, dihydrotestosterone, trenbolone acetate, and zeranol alter the synthesis of cortisol in bovine adrenocortical cells. *Journal of Animal Science*, 71: 1771-1777.
- Istasse, I., Evrard, P., Van Eenaeme, C., Gielen, M., Maghuin-Rogister, Bienfait, J.M. (1988). Trenbolone acetate in combination with 17 β -estradiol: Influence of implant supports and dose levels on animal performance and plasma metabolites. *Journal of Animal Science*, 66: 1212-1222.
- Jacobs, G. H., Deegan, J. F., Neitz, J. (1998). Photopigment basis for dichromatic colour vision in cows, goats and sheep. *Visual Neuroscience*, 15: 581-584.
- Jaeger, S. L., Macken, C. N., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Fithian, W. A., Jackson, D. S. (2004). The influence of corn kernel traits on feedlot cattle performance. *Nebraska Beef Report*, 54-57.
- Jarrige, R. (1981). Alimentación de los rumiantes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Jarrige, R. (1989). Ruminant Nutrition: Recommended allowances and feed tables. John Libbey Eurotext, London. pp, 395.
- Jiménez, V. J., Nuñez, O. (1992). Efecto de la suplementación mineral en bloques conteniendo ionóforos en el trópico Mexicano. *Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*, Chihuahua, México.
- Johnson, B. J., Anderson, P. T., Meiske, J. C., Dayton, W. R. (1996a). Effect of a combined trenbolone acetate and estradiol implant on feedlot performance, carcass characteristics, and carcass composition of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 74: 363-371.
- Johnson, B. J., Hathaway, M. R., Anderson, P. T., Meiske, J. C. y Dayton, W. R. (1996b). Stimulation of circulating insulin-like growth factor i (IGF-I) and insulin-like growth factor binding proteins (IGFBP) due to administration of a combined trenbolone acetate and estradiol implant in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 74: 372-379.

- Johnson, B. J., Halstead, N., White, M. E., Hathaway, M. R., Dayton, W. R. (1998a). Activation state of muscle satellite cells isolated from steers implanted with a combined trenbolone acetate and estradiol implant. *Journal of Animal Science*, 76: 2779–2786.
- Johnson, B. J., White, M. E., Hathaway, M. R., Christians, C. J., Dayton, W. R. (1998b). Effect of a combined trenbolone acetate and estradiol implant on steady-state IGF-I mRNA concentrations in the liver of wethers and the longissimus muscle of steers. *Journal of Animal Science*, 76: 491-497.
- Johnson, B. J., Ribeiro, F. R. B., Beckett, J. L. (2013). Application of growth technologies in enhancing food security and sustainability. *Animal Frontiers*, 3: 8-13.
- Johnson, S. E., Allen, R. E. (1993). Proliferating cell nuclear antigen (PCNA) is expressed in activated rat skeletal muscle satellite cells. *Journal of Cell Physiology*, 154: 39-43.
- Jones, G. M. (2013). Fats in the diet. Neb Guide. Foods & Nutrition. *Nutritive value of foods*. University of Nebraska-Lincoln extension. Institute of Agriculture and natural Resources.
- Jones, S. J., Johnson, R. D., Calkins, C. R. y Dikeman, M. E. (1991). Effects of trenbolone acetate on carcass characteristics and serum testosterone and cortisol concentrations in bulls and steers on different management and implant schemes. *Journal of Animal Science*, 69: 1363–1369.
- Jouany, J. P., Senaud, J. (1978). Utilization du monensin dans la ration des ruminants. II. Effets sur les fermentations et la population microbienne du rumen. *Annales de Zootechnie*, 27: 61-74.
- Jouany, J. P., Zainab, B., Senaud, J., Groliere, C. A., Grain, J., Thivend, P. (1981). Role of the rumen ciliate protozoa *Polyplastron multivesiculatum*, *Entodinium sp.* and *Isotricha prostoma* in the digestion of a mixed diet in sheep. *Reproduction Nutrition Development*, 21 (6A): 871-884.
- Kamanga-Sollo, E., Pampusch, M. S., Xi, G., White, M. E., Hathaway, M. R., Dayton, W. R. (2004). IGF-I mRNA levels in bovine satellite cell cultures: effects of fusion and anabolic steroid treatment. *Journal of Cellular Physiology*, 201: 181-189.
- Kamanga-Sollo, E., White, M. E., Hathaway, M. R., Chung, K. Y., Johnson, B. J., Dayton, W. R. (2008). Roles de IGF-I and the estrogen, androgen and IGF-I receptors in estradiol-17 β and trenbolone acetate-stimulated proliferation of cultured bovine satellite cells. *Domestic Animal Endocrinology*, 35: 88-97.
- Kamanga-Sollo, E., White, M. E., Hathaway, M. R., Weber, W. J., Dayton, W. R. (2011). Effect of trenbolone acetate on protein synthesis and degradation rates in fused bovine satellite cell cultures. *Domestic Animal Endocrinology*, 40: 60-66.
- Karges, K., Brooks, J. C., Gill, D. R., Breazile, J. E., Owens, F. N., Morgan, J. B. (2001). Effects of supplemental vitamin D3 on feed intake, carcass characteristics, tenderness, and muscle properties of beef steers. *Journal of Animal Science*, 79: 2844-2850.
- Karnati, S. K., Yu, Z., Firkins, J. L. (2009). Investigating unsaturated fat, monensin, or bromoethanesulfonate in continuous cultures retaining ruminal protozoa. II. Interaction of treatment and presence of protozoa on prokaryotic communities. *Journal of Dairy Science*, 92: 3861-3873.

LITERATURA

- Karr, M. R., Little, C. O., Mitchell, Jr. G. E. (1966). Starch disappearance from different segments of the digestive tract of steers. *Journal of Animal Science*, 25: 652-654.
- Kayden, J. H., Traber, M. G. (1993). Absorption, lipoprotein transport, and regulation of plasma concentrations of vitamin E in humans. *Journal of Lipid Research*, 34: 343-358.
- Kellems R.O., D.C. Church. (2003). Feed Processing. In: *Livestock feeds & feeding*. Kellems R.O and D.C. Church (Ed). Fifth edition. Prentice Hall. New Jersey. USA.
- Kerth, C. R., Montgomery, J. L., Morrow, K. J., Galyean, M. L., Miller, M. F. (2003). Protein turnover and sensory traits of *longissimus* muscle from implanted and nonimplanted heifers. *Journal of Animal Science*, 81: 1728-1735.
- Keunen, J. E., Plaizier, J. C., Kyriazakis, L., Duffield, T. F., Widowski, T. M., Lindinger, M. I., McBride, B. W. (2003). Effects of subacute ruminal acidosis on free-choice intake of sodium bicarbonate in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86: 954-957.
- Khafipour, E., Shucong, L., Plaizier, C. J., Krause, D. O. (2007). Rumen microbiome composition determined using two nutritional models of subacute ruminal acidosis. *Applied Environmental Microbiology*, 75: 7115-7124.
- Kim, M., Eastridge, M. L., Yu, Z. (2014). Investigation of ruminal bacterial diversity in dairy cattle fed supplementary monensin alone and in combination with fat, using pyrosequencing analysis. *Canadian Journal of Microbiology*, 60: 65-71.
- Kitts, S. E., Matthews, J. C., Schillo, K. K., Rumsey, T. S., Elsasser, T. H., Kahl, S., Baldwin, R. L., VI, McLeod, K. R. (2007). Effects of chlortetracycline and Synovex-S® on growth rate and on plasma growth hormone and thyroid hormone concentrations following administration of thyrotropin-releasing hormone and GH-releasing hormone in beef steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 87: 327-341.
- Klimek, S., Lohss, G., Gabriel, D. (2014). Modelling the spatial distribution of species-rich farmland to identify priority areas for conservation actions. *Biological Conservation*, 174: 65-74.
- Klopfenstein, T. J., Purser, D. B., Tyznik, W. J. (1966). Effects of defaunation on feed digestibility, rumen metabolism and blood metabolites. *Journal of Animal Science*, 25: 765-773.
- Klopfenstein, T. J., Erickson, G. E., Bremer, V. R. (2007). Feeding corn milling byproducts to feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23: 223-245.
- Koknaroglu, H., Akunal, T. (2013). Animal welfare: An animal science approach. *Meat Science*, 95: 821-827.
- Krajcarski-Hunt, H., Plaizier, J. C., Walton, J. P., Spratt, R., McBride, B. W., (2002). Effect of subacute ruminal acidosis on *in situ* fiber digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85: 570-573.
- Krehbiel C. R., Stock, R. A., Shain, D. H., Richards, C. J., Ham, G. A., McCoy, R. A., Klopfenstein, T. J., Britton, R. A., Huffman, R. P. (1995). Effect of level and type of fat on subacute acidosis in cattle fed dry-rolled corn finishing. *Journal of Animal Science*, 73: 2438-2446.

- Kreikemeier, K. K., Harmon, D. L., Peters, J. P., Gross, K. L., Armendariz, C. K., Krehbiel, C. R. (1990). Influence of dietary forage and feed intake on carbohydrase activities and small intestinal morphology of calves. *Journal of Animal Science*, 68: 2916-2929.
- Kreikemeier, K. K., Stock, R. A., Brink, D. R., Britton, R. A. (1987). Feeding combinations of high moisture corn and wheat to finishing steers. *Journal of Animal Science*, 65: 1647-1654.
- Kröbel, R., Janzen, H. H., Beauchemin, K. A., Bonesmo, H., Little, S. M. y Mcallister, T. A. (2012). A proposed approach to estimate and reduce the environmental impact from whole farms. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A*, 62: 225-232.
- Krotaski, S. F., Waniska, R. D., Thurn, K. K. (1992). Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *Journal of Nutrition*, 122: 178-190.
- Kuhl, G. L. (1997). Stocker cattle responses to implants. *Implants Symposium: Impact of Implants on Performance and Carcass Value of Beef Cattle*. Oklahoma State University.
- Ladely, S. R., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J., Sindt, M. H. (1995). High-lysine corn as a source of protein and energy for finishing calves. *Journal of Animal Science*, 73: 228-235.
- Lanzas, C., Fox, D. G., Pell, A. N. (2007). Digestion kinetics of dried cereal grains. *Animal Feed Science and Technology*, 136: 265-280.
- Larraín, R. E., Schaefer, D. M., Arp, S. C., Claus, J. R., Reed, J. D. (2009). Finishing steers with diets based on corn, high – tannin sorghum, or mix of both: feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *Journal of Animal Science*, 87: 2089-2095.
- Larson E., Stroup, W., Stock, R., Parrot, C., Britton, R., Laudert, S. (1992). Rumensin/Tylan and feed intake variation. *Nebraska Beef Report MP 58*.
- Lawrence, R. W., Doyle, J., Elliott, R., Loxton, I., McMeniman, J. P., Norton, B. W., Reid, D. J., Tume, R. W. (2006). The efficacy of a vitamin D3 metabolite for improving the myofibrillar tenderness of meat from *Bos indicus* cattle. *Meat Science*, 72: 69-78.
- Lee, P. C., Brooks, S. P., Kim, O. K., Heitlinger, L. A., Lebenthal, E. (1985). Digestibility of native and modified starches: *In vitro* studies with human and rabbit pancreatic amylases and *in vivo* studies in rabbits. *Journal of Nutrition*, 115: 93-103.
- Lee, C. Y., Henricks, D. M., Skelley, G. C., Grimes, L.W. (1990). Growth and hormonal response of intact and castrate male cattle to trenbolone acetate and estradiol. *Journal of Animal Science*, 68: 2682-2689.
- Lee, J. C., Pushpala, S., Lee, C. E. (2000). Polymeric microporous film coated subcutaneous implant. U.S. Patent No. 6,022,554.
- Lee, R. H., Mendoza, G. D., Pinos, J. M., Bárcena, R., Plata, F., Ricalde, R. (2006). Effect of an exogenous glucoamylase during different periods of time on performance of lambs fed sorghum based diets. *Journal of Applied Animal Research*, 29: 141-144
- Lee, R. H. A., Mendoza-Martínez, G. D., González, S. S., Ramírez-Valverde, G., Avellaneda-Cevallos, J. H. (2007). Effect of a ruminal buffer and an amylolytic enzy-

LITERATURA

- mes mixture added to a sorghum grain diet on finishing criollo lambs *Journal of Animal Science*, 85 (Suppl. 1): 338.
- Lee, M. R. F., Shingfield, K. J., Tweed, J. K. S., Toivonen, V., Huws, S. A., Scollan, N. D. (2008). Effect of fish oil on ruminal biohydrogenation of C18 unsaturated fatty acids in steers fed grass or red clover silages. *Animal*, 2: 1859–1869.
- Lee, H., Mendoza G. D., Gonzalez S. (2012). Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology*, 177): 237-241.
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., Cox, M. M. (1995). Principios de Bioquímica. *Omega*. Segunda edición. Barcelona, España.
- Leibovich, J., Vasconcelos, J. T., Galyean, M. L. (2009). Effects of corn processing method in diets containing sorghum wet distillers grain plus solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle and on *in vitro* fermentation of diets. *Journal of Animal Science*, 87: 2124–2132
- Lemieux, P. G. (1987). Utilización y evaluación de un programa de implantes para bovinos. *Memoria del Seminario Internacional Suplementación para bovinos en pastoreo*. Centro de Ganadería VII Aniversario. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Lerman P.S., Bie, S. W. (1975). Problems in determining the best levels of essential nutrients in feedingstuffs. *The Journal of Agricultural Science*, 84: 459-468.
- Leszczyński, W. (2004). Resistant starch—classification, structure, production. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 13: 37-50.
- Lewis, M. I., Fournier, M., Storer, T. W., Bhasin, S., Porszasz, J., Ren, S. G., Da, X., Casaburi, R. (2007). Skeletal muscle adaptations to testosterone and resistance training in men with COPD. *Journal of Applied Physiology*, 103: 1299-1310.
- Lichtenwalner, R. E., Ellis, E. B., Rooney, L. W. (1978). Effect of incremental dosages of the waxy gene of sorghum on digestibility. *Journal of Animal Science*, 46: 1113-1119.
- Lizarazo, A. C., Mendoza, G. D., Kú, J., Melgoza, L. M., Crosby, M. (2013). Effects of slow-release urea and molasses on ruminal metabolism of lambs fed with low-quality tropical forage. *Small Ruminant Research*, 116: 28-31.
- Loe, E. R., Bauer, M. L., Lardy, G. P. (2006) Grain source and processing in diets containing varying concentrations of we corn gluten feed for finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 84: 986-996.
- Loewer, O. J., Smith, E. M., Taul, K. L., Turner, L. W., Gay, N. (1983). A body composition model for predicting beef animal growth. *Agricultural Systems*, 10: 245-256.
- Lofgreen, G. P., Garrett W. N. (1968). A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27: 793-806.
- López, D. D. E., Martínez, V. S. (2000). Iniciación a la simulación dinámica. Ed. *Ariel Economía*. Barcelona, España. Pp. 213.
- Lourenço, M., Ramos-Morales, E., Wallace, R. J. (2010). The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal*, 4: 1008-1023
- Lowe, D. E., Steen, R. W. J., Beattie, V. E. (2001). Preferences of housed finishing beef cattle for different floor types. *Animal Welfare*, 10: 395-404.

- Loza, P. L., Buckner, C. D., Vander Pol, K. J., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Stock, R. A. (2010). Effect of feeding combinations of wet distillers grains and wet corn gluten feed to feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 88: 1061–1072.
- Mackie, R. I., Gilchrist, F. M. C., Roberts, A. M., Hannah, P. E., Schwartz, H. M. (1978). Microbiological and chemical changes in the rumen during the stepwise adaptation of sheep to high concentrate diets. *The Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 90: 241-254.
- Mader T. L., Guyer, P. Q., Stock, R. (1974). Feeding high moisture corn. *Historical materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. G74-100*, 248.
- Mader, T. L. (1983). Lifetime evaluation of growth promoters. *The Range Beef Cow Symposium VIII*. Sterling, CO.
- Mader, T. L., Stock, R., Deutscher, G. (1987). Growth promoting implants. *NebGuide G84-677*. University of Nebraska, Lincoln.
- Mader, T. L., Dahlquist, J. M., Britton, R. A., Krause, V. E. (1991). Type and mixtures of high-moisture corn in beef cattle finishing diets. *Journal of Animal Science*, 69: 3480-3486.
- Mader, T. L. (1998). Implants. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 14: 279–290.
- Mader, T., Rust, S. (2006). High moisture grains: Harvesting, processing and storage. *Cattle grain Processing Symposium*. Tulsa, Oklahoma. 88-92.
- Mader, T. L., Arias, I. R. A. (2011). Implantes promotores del crecimiento en ganado de carne y riesgo potencial de contaminación ambiental. Producción de carne: aspectos técnicos para enfrentar las demandas de calidad y sustentabilidad en un clima cambiante. *XXII Jornadas de Extensión Agrícola UC Temuco*, Agosto 31. s/n.
- Mader, T. L. (2014). Animal welfare concerns for cattle to adverse environmental conditions. *Journal of Animal Science*, 92: 5319-5324.
- Mahasukhonthachat, K., Sopade, P. A., Gidley, M. J. (2010). Kinetics of starch digestion in sorghum as affected by particle size. *Journal of Food Engineering*, 96: 18–28.
- Maia, M. R. G., Chaudhary, L. C., Figueres, L., Wallace, R. J. (1997). Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie van Leeuwenhoek*, 91: 303-314.
- Maia, M. R. G., Chaudhary, L. C., Bestwick, C. S., Richardson, A. J., McKain, N., Larson, T. R., Graham, I. A., Wallace, R. J. (2010). Toxicity of unsaturated fatty acids to the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivibrio fibrisolvens*. *BMC Microbiology*, 10: 52-61.
- Mankell, K. O., Janni, K. A., Walker, R. D., Wilson, M. E., Pettigrew, J. E., Jacobson, L. D., Wilcke, W. F. (1995). Dust Suppression in Swine Feed Using Soybean Oil. *Journal of Animal Science*, 73: 981-985.
- Manners, D. J. (1989). Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydrate Polymers*, 11: 87-112.
- Marounek, M., Simunek, J., Bartos, S., Kalacnjuck, G. I., Savka, O. G. (1989). The effects of monensin on *in vitro* utilization of lactate in the rumen contents. *Archives of Animal Nutrition*, 39: 527-533.

LITERATURA

- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M., Chilliard, Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science*, 86: 2642-2650.
- Matanobu, A., Iriki, T. (1989). Mechanism whereby holotrich ciliates are retained in the reticulo-rumen of cattle. *British Journal of Nutrition*, 62: 579-587.
- Matsushima J. K. (2006). History of feed processing. *Cattle Grain Processing Symposium*, Oklahoma State University MP-177.
- May, M. J. (1999). Is ascorbic acid an antioxidant for the plasma membrane. *The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 13: 995-1006.
- May, M. L., Quinn, M. J., Reinhardt, C. D., Murray, L., Gibson, M. L., Karges, K. K., Drouillard, J. S. (2009). Effects of dry-rolled or steam-flaked corn finishing diets with or without twenty-five percent dried distillers grains on ruminal fermentation and apparent total tract digestion. *Journal of animal science*, 87: 3630-3638.
- McAllister, T. A., Cheng, C. J., Rode, L. M. (1990a). Digestion of barley, maize, and wheat by selected species of ruminal bacteria. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 56: 3146-3153.
- McAllister, T. A., Rode, L. M., Major, D. J., Chung, K. J., Buchanan-Smith, J. G. (1990b). Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Canadian Journal of Animal Science*, 70: 571-579.
- McAllister, T. A., Phillippe, R. C., Rode, L. M., Cheng, K. J. (1993). Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science*, 71: 205-212.
- McAllister, T. A., Bae, H. D., Jones, G. A., Chung, K. J. (1994). Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science*, 72: 3004-3018.
- McDowell, L. R. (2000). Vitamins in animal and human nutrition. 2nd edition. *Iowa State University Press*. United States of America.
- McMeniman, J. P., Tedeschi, I. O., Defoor, P. J., Galyean, M. L. (2010). Development and evaluation of feeding-period average dry matter intake prediction equations from a commercial feedlot database. *Journal of Animal Science*, 88: 3009-3017.
- McNeill, J. W., Potter, G. D., Riggs P. J. K. (1971). Ruminal and postruminal carbohydrate utilization in steers fed processed sorghum grain. *Journal of Animal Science*, 33: 1371-1374.
- McNeil, J. W., Potter, G. D., Riggs, J. K., Rooney, L. W. (1975). Carbohydrates chemical and physical properties of processed sorghum grain. *Journal of Animal Science*, 40: 335-341.
- Mehrez, A., Ørskov, E. R., McDonald, I. (1977). Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *British Journal of Nutrition*, 38: 437-443.
- Mehrez, A. Z., Ørskov, E. R. (1978). A study of artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 88: 645-650.
- Meister, A. (1994). Glutathione-ascorbic acid antioxidant system in animals. *Journal of Biological Chemistry*, 269: 9397-9400.
- Mele, M., Serra, A., Pauselli, M., Luciano, G., Lanza, M., Pennisi, P., Conte, G., Taticchi, A., Esposito, S., Morbidini, L. (2014). The use of stoned olive cake and rolled

- linseed in the diet of intensively reared lambs: effect on the intramuscular fatty-acid composition. *Animal*, 8: 152-162.
- Mella, C. M., Perez-Oliva, O., Loew, F. M. (1976). Induction of bovine polioencephalomalacia with a feeding system based on molasses and urea. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 40: 104-10.
- Mendoza, M. G. D. (1991). Site and extent of starch digestion in ruminants fed high grain diets. I. Role of ruminal protozoa. II. Mixtures of high moisture corn and dry rolled sorghum. III. Duodenal infusion of casein. Doctoral Dissertation, University of Nebraska, Lincoln.
- Mendoza, G. D. y R. Britton. (1991). Metodología para medir la actividad amilolítica de microorganismos ruminales. *XXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Ciudad Victoria Tamps, Noviembre de 1991. p. 28.
- Mendoza, M. G., Ricalde V. R. (1993). Manual técnico de alimentación de bovinos en clima templado. *Libro de texto*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. 76 p.
- Mendoza, M. G. D., Britton, R. A., Stock, R. A. (1993). Influence of ruminal protozoa on site and extent of starch digestion and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 71: 1572-1578.
- Mendoza, M. G. D. (1995). Dietas altas en granos y problemas de acidosis. (Ed.) *Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal y Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura*. Chapingo, México. pp: 63-72
- Mendoza, M. G. D., Britton, R. A., Stock, R. A. (1995). Effect of protozoa and urea level on *in vitro* starch disappearance and amylolytic activity of ruminal microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 54: 315-325.
- Mendoza, M. G. D., Britton, R. A., Stock, R. A. (1998). Ruminal fermentation and *in situ* starch digestion with high moisture corn, dry rolled grain sorghum or a mixture of these grains. *Animal Feed Science and Technology*, 74: 329-335.
- Mendoza, M. G. D., Britton, R. A., Stock, R. A. (1999). Effect of feeding mixtures of high moisture corn and dry rolled grain sorghum on ruminal fermentation and starch digestion. *Small Ruminant Research*, 32: 113-118.
- Mendoza, M. G. D., Ortega, C. M. E., Ricalde, V. R., Martínez, G. J. A. (2000). Modelos matemáticos para evaluar la tasa de digestión *in vitro* del almidón. *Técnica Pecuaria en México*, 38: 51- 65.
- Mendoza, M. G. D., Pinos, R. J. M., Ricalde, R. V., Aranda, I. E., Rojo, R. R. (2003). Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia*, 28: 202-207.
- Mendoza, G. D., Mota, M., Plata, F. X., Martinez, J. A., Hernández, P. A. (2013a). Effects of exogenous glucoamylase from *Aspergillus niger* and grain level on performance of the lambs. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13: 391-398.
- Mendoza, M. G. D., Hernández, G. P. A., Plata, P. F. X., Martínez, G. J. A. (2013b). Evaluación económica del uso de enzimas fibrolíticas en México usadas en ruminantes. *XVI Congreso Bienal AMENA*. Puerto Vallarta 22-25 octubre.

LITERATURA

- Mendoza, G. D., Loera C. O., Plata P. F. X., Hernández, G. P. A., Ramírez, M. M. (2014). Considerations on the use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. *The Scientific World Journal*, 2014: 1-9.
- Mendoza, G. D., Aguilera P. U., Aguilera P. M. I., Pérez S. M. A., Hernández G. P. A., Espinosa, A. E. (2015). Economic evaluation of amylolytic enzymes in finishing lambs diet in Mexico. *Life Science Journal*, 12: 10-15.
- Mercer, L. P. (1980). Mathematical models in nutrition. *Journal Nutrition Reports International*, 21: 189-198.
- Mercer, L. P., Dodds J. (1985). The saturation kinetics model. In "Proceedings 1985 Conference on Mathematical Models in Experimental Nutrition" (N. L. Canolty and T.P. Cain, Eds.) University of Georgia Athens, GA pp. 33-45.
- Mercer, L. P., Dodds, S. J., Smith, D.L. (1987). New method for formulation of amino acid concentrations and ratios in diets of rats. *Journal of Nutrition*, 117: 1936-1944.
- Mertens, D. R. (1977). Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of digestion. *Federation Proceedings*, 36: 187-192.
- Mertens, D. R. (1987). Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science*, 64: 1548-1558.
- Mertens, D. R., Ely, L. O. (1982). Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization-A dynamic model evaluation. *Journal of Animal Science*, 54: 895-905.
- Mialon, M. M., Renand, G., Ortigues-Marty, I., Bauchart, D., Hocquette, J. F., Mounier, L., Noël, L., Micol, D., Doreau, M. (2015). Fattening performance, metabolic indicators, and muscle composition of bulls fed fiber-rich versus starch-plus-lipid-rich concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 93: 319-333.
- Miller, D. R., Elliott, R., Norton, B. W. (2008). Effects of an exogenous enzyme, Roxazyme® G2, on intake, digestion and utilization of sorghum and barley grain-based diets by beef steers. *Animal Feed Science and Technology*, 145: 159-181.
- Minish, G. L, Danny, G. F. (1982). Beef Production and Management. *Reston Pub Co*, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
- Moe, P. W., Tyrrell, H. F. (1976). Effects of feed intake and physical form on energy value of corn in timothy hay diets for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 60: 752-758.
- Montemayor, D. M. (1986). Criterios de evaluación de respuesta a los implantes anabólicos en el corral de engorda. *Memoria del Seminario Engorda de Bovinos en Corrales*. Centro de Ganadería 6° Aniversario, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Montgomery, J. L., Parrish, F. C., Beitz, D. C., Horts, R. L., Huff-Lonergan, E. J., Trenkle A. H. (2000). The use of vitamin D3 to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 78: 2615-2621.
- Montgomery, T. H., Dew, P. F., Brown, M. S. (2001). Optimizing carcass value and the use of anabolic implants in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 79 (E. Suppl.): E296-E306.
- Montgomery, J. L., Galyean, M. L., Horst, R. L., Morrow, K. J., Blanton, J. R., Wester, D. B., Miller, M. F. (2004a). Supplemental vitamin D3 concentration and biologi-

- cal type of beef steers. I. Feedlot performance and carcass trait. *Journal of Animal Science*, 82: 2050-2058.
- Montgomery, J. L., King, M. B., Gentry, J. G., Barham, A. R., Barham, B. L., Hilton, G. G., Blanton, J. R., Horts, R. L., Galyean, M. L., Morrow, K. J., Wester, D. B., Miller, M. F. (2004b). Supplemental vitamin D3 concentration and biological type of steers. II. Tenderness, quality, and residues of beef. *Journal of Animal Science*, 82: 2092-2104.
- Montgomery, S. P., Drouillard, J. S., Sindt, J. J., Greenquist, M. A., Depenbusch, B. E., Good, E. J., Loe, E. R., Sulpizio, M. J., Kessen, T. J., Ethington, R. T. (2005). Effects of dried full-fat corn germ and vitamin E on growth performance and carcass characteristics of finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 83: 2440-2447.
- Mora, J. L. (1981). Investigación de operaciones e informática. Trillas. México Universidad Autónoma Metropolitana.
- Mora, O., Romano, J. L., Gonzalez, E., Ruiz, F., Shimada, A. (2000). Low cleavage activity of 15, 15'dioxygenase to convert beta-carotene to retinal in cattle compared with goats, is associated with the yellow pigmentation of adipose tissue. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 70: 199-205.
- Mora, J. G., Bárcena, G. R., Mendoza M. G. D., González, M. S., Herrera, H. J. G. (2002). Respuesta productiva y fermentación ruminal en borregos alimentados con grano de sorgo tratado con amilasas. *Agrociencia*, 36: 31-39.
- Moran, E. T., Jr. (1982). Starch digestion in fowl. *Poultry Science*, 61: 1257-1267.
- Morris, T. R. (1983). The interpretation of response data from animal feeding trials. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. W. Haresign, ed. Butterworth, London, UK
- Mota, N., Mendoza, G. D., Plata, F. X., Martínez, J. A., Lee, H., Rojo, R., Crosby, M. M. (2011). Effect of exogenous glucoamylase enzymes and reduction of grain level on lamb performance. *Journal of Applied Animal Research*, 39: 129-131.
- Mould, D. L., Thomas, G. J. (1958). The enzymic degradation of starch by Holotrich protozoa from sheep rumen. *Biochemical Journal*, 69: 327-337.
- Mould, F. L., Ørskov, E. R., Mann, S. O. (1983). Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 10: 15-30.
- Mountfort, D. O., Asher, R. A. (1988). Production of alpha amylase by the ruminal anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 54: 2293-2299.
- Murphy, T. A., Fluharty, F. L., Loerch, S. C. (1994). The influence of intake level and corn processing on digestibility and ruminal metabolism in steers fed all-concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 72: 1608-1615.
- Nagaraja, T. G., Avery, T. B., Bartley, E. E., Roof, S. K., Dayton, A. D. (1982). Effect of lasalocid, monensin or thiopeptin on lactic acidosis in cattle. *Journal of Animal Science*, 54: 649-658
- Nagaraja, T. G., Towne, G., Beharka, A. B. (1990). Moderation of ruminal fermentation by protozoa in cattle fed high grain diets. *Cattlemen's Day Report of Progress* 592. Agricultural Experimental Station. Kansas State University, Manhattan.

LITERATURA

- Nagaraja, T., Lechtenberg, K. F. (2007a). Acidosis in feedlot cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 23: 333-350.
- Nagaraja, T., Lechtenberg, K. F. (2007b). Liver abscesses in feedlot cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 23: 351-369.
- Nares, P. M. L. (1996). Efecto del tiempo de inclusión ruminal del compuesto nitrogenado en la digestión ruminal de bovinos. Tesis de Maestría. Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Neijssel, O. M., Tempest, D. W. (1976). Bioenergetic aspects of aerobic growth of *Klebsiella aerogenes* NCTC 418 in carbon-limited and carbon-sufficient chemostat culture. *Archives of Microbiology*, 107: 215-231.
- Nelson, M. L., Marks, D. J., Busboom, J. R., Cronrath, J. D., Falen, L. (2004). Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed barley-potato product finishing diets: I. Feedlot performance, carcass traits, appearance, water binding, retail storage, and palatability attributes. *Journal of Animal Science*, 82: 3600-3610.
- Nelson, M. L., Busboom, J. R., Ross, C. F., O'Fallon, J. V. (2008). Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed corn finishing diets. *Journal of Animal Science*, 86: 936-948.
- NEODA. (2013). National Edible Oil Distributors Association. Chemistry of oils and fats. Disponible en línea: <http://www.neoda.org.uk/resources/documents/Information-Downloads/chemistry%20of%20oils%20and%20fats%202013.pdf> Consultado el 30 de enero de 2015
- Neville B. W., Schauer, C. S., Karges, K., Gibson, M. L., Thompson, M. M., Kirschten, L. A., Dyer, N. W., Berg, P. T., Lardy, G. P. (2010). Effect of thiamine concentration on animal health, feedlot performance, carcass characteristics, and ruminal hydrogen sulfide concentrations in lambs fed diets based on 60% distillers dried grains plus solubles *Journal of Animal Science*, 88: 2444-2455.
- Newbold, C. J., Chamberlain, D. G., Williams, A. G. (1986). The effects of defaunation on the metabolism of lactic acid in the rumen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37: 1083-1090.
- Nichols, C. A., Bremer, V. R., Watson, A. K., Buckner, C. D., Harding, J. L., Smith, D. R., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J. (2012). Meta-analysis of the effect of dietary sulfur on feedlot health. *Nebraska Beef Cattle Report*, 82-84.
- Nikkhah, J., Plaizier, C., Einarson, M. S., Berry, R. J., Scott, S. L., Kennedy, A. D. (2005) Short Communication: Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. *Journal of Dairy Science* 88: 2749-2753.
- Nocek, J. E. (1997) Bovine acidosis: Implications on laminitis. *Journal of Dairy Science* 80: 1005-1028.
- NOM-034-ZOO-1996 (1996) Norma Oficial Mexicana. Determinación de dietilestilbestrol, zeranol y taleranol en hígado y músculo de bovinos, equinos, porcinos, ovinos, aves, caprinos y cérvidos por cromatografía de gases-Espectrometría de masas. *Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de febrero de 1996.*

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

- NOM-061-ZOO-1999. (1999). Norma Oficial Mexicana. Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal. *PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 11 DE OCTUBRE DEL 2000.*
- NOM-051-SCFI/SSA1-2010. (2010). Norma Oficial Mexicana. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados- Información comercial y sanitaria. *Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril del 2010.*
- Nozière, P., Ortigues-Marty, I., Loncke, C., Sauvant, D. (2010). Carbohydrate quantitative digestion and absorption in ruminants: from feed starch and fibre to nutrients available for tissues. *Animal*, 4: 1057–1074.
- NRC. (1945). Recommended Nutrient Allowances for Beef Cattle. *Number IV. Washington, D. C. Committee on Animal Nutrition.*
- NRC. (1950). Recommended Nutrient Allowances for Beef Cattle. *Number IV. Washington, D. C. Committee on Animal Nutrition.*
- NRC. (1958). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- NRC. (1963). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- NRC. (1970). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Fourth Revised Ed. Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- NRC. (1976). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Fifth Revised Ed. Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- NRC. (1981a). Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. *Washington, D. C. National Academy Press.*
- NRC. (1981b). Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms. Second Revised Ed. *Washington, D. C. National Academy Press.*
- NRC. (1982). United States – Canadian Tables of Feed Composition. Third Revised Ed. *Washington, D. C. National Academy Press.*
- NRC. (1984). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Sixth Revised Ed. Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- NRC. (1985). Ruminant Nitrogen Usage. *Washington, D. C. National Academy Press.*
- NRC. (1987). Predicting Feed Intake of Food – Producing Animals. *Washington, D. C. National Academy Press.*
- NRC. (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Seventh Revised Ed. Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- NRC. (2000). Nutrient Requirements of Beef Cattle: Update 2000. *Seventh Revised Ed. Washington, D. C. National Academy of Sciences.*
- Núñez, A. J. C., Felix, T. L., Lemenager, R. P., Schoonmaker, J. P. (2014). Effect of calcium oxide inclusion in beef feedlot diets containing 60% dried distillers grains with solubles on ruminal fermentation, diet digestibility, performance, and carcass characteristics. *Journal Animal Science*, 92: 3954-3965.
- O'Connor, J. D., Sniffen, C. J., Fox, D. G., Chalupa, W. (1993). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: iv. Predicting amino acid adequacy. *Journal of Animal Science*, 71:1298-1298.

LITERATURA

- Odle, J., Schaefer, D. M. (1987). Influence of rumen ammonia concentration on the rumen degradation rates of barley and maize. *British Journal of Nutrition*, 57: 127-138.
- Odum, H. T., Peterson, N. (1996). Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological Modelling*, 93: 155-173.
- Offner, A., Bach, A., Sauvant, D. (2003). Quantitative review of *in situ* starch degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 106: 81-93.
- Oldick, B. S., Firkins, J. L. (2000). Effects of degree of fat saturation on fiber digestion and microbial protein synthesis when diets are fed twelve times daily. *Journal of Animal Science*, 78: 2412-2420
- Oltjen, J. W., Bywater, A. C., Baldwin, R. L., Garrett, W. N. (1986). Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *Journal of Animal Science*, 62: 86-97.
- Orozco, P; Lazcano, R., Corona, L. (2008). Comparative effects of whole, reconstituted-rolled, reconstituted-whole, dry-rolled and ground sorghum grain on growth and carcass characteristics in lambs. *Journal of Animal Science*, 86 (Suppl.1): 472.
- Ørskov, E. R. (1986). Starch digestion and utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*, 63: 1624-1633.
- Ørskov, E. R., Fraser, C., Kay, R. N. B. (1969). Dietary factors influencing the digestion of starch in the rumen and small and large intestine of early weaned lambs. *British Journal of Nutrition*, 23: 217-226.
- Ortega, C. M. E. (2010). Aspectos fisiológicos del estrés con énfasis en el transporte de Ganado. *XIII Seminario Internacional de Actualización de Engorda de Bovinos en Corral*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Gobierno de Nuevo León. 26-27 agosto 2010. Monterrey, N.L.
- Osborne, J. K., Mutsvangwa, T., Alzahal, O., Duffield, T. F. (2004). Effects of monensin on ruminal forage degradability and total tract diet digestibility in lactating dairy cows during grain-induced subacute ruminal acidosis. *Journal of Dairy Science*, 87: 1840-1847.
- Osman, H. F., Theurer, B., Hale, W. H., Mehen, S. M. (1970). Influence of grain processing on *in vitro* enzymatic starch digestion of barley and sorghum grain. *Journal of Nutrition*, 100:1133-1139.
- Owens, F. N., Goetsch, A. L. (1986). Digesta passage and microbial protein synthesis. In: *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. p 196.
- Owens, F. N., Zinn, R. A., Kim, Y. K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, 63: 1634-1648.
- Owens F.N., Gill, D. R. (1986). Influence of feed intake on site and extent of digestion. *Proceedings of the National Beef Symposium and Oklahoma Feeders Cattle Seminar*, Stillwater. Division of Agriculture, Oklahoma State University.
- Owens, F. N., Secrist, D. S., Hill, W. J., Gill, D. R. (1997). The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 75: 868-879.
- Owens, F. N. (1998). Nutrient Composition of Cereal Grains: *Book versus real values for balancing rations for cattle*. Southwest Nutrition and Management Conference. AZ

- Owens, F. N., Secrist, D. S., Hill, W. J., Gill, D. R. (1998). Acidosis in cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 76: 275-286.
- Owens, F., Secrist, D., Hill, W., Gill, D. (1998). Acidosis in cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 76: 275-286.
- Owens, F. N., Zinn, R. A. (2005). Corn Grain for Cattle: Influence of Processing on Site and Extent of Digestion. In: *Proceedings of the 19th Annual Southwest Nutrition & Management Conference*. Phoenix AZ. 86-112.
- Packer, L., Weber, S. U., Rimbach, G. (2001). Molecular aspects of α -tocotrienol antioxidant action and cell signaling. *Journal of Nutrition*, 131: 369S-373S.
- Paengkoum, P. (2006). Using rumen degradation model to evaluate microbial protein yield and intestinal digestion of grain in cattle. In: Kebread, E, Dijkstra, J., Bannink, A., Gerrits, W. J. J. and France, J. *Nutrient digestion and utilization in farm animals*. Ed. CABI Publisuhin.
- Pajor, E. A., Rushen, J., de Pasille, A. M. B. (2000). Aversion learning techniques to evaluate dairy cattle handling practices. *Applied Animal Behaviour Science*, 69: 89-102.
- Palmquist, D. L., Baldwin, R. L. (1966). Enzymatic techniques for the study of pathways of carbohydrate utilization in the rumen. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 14: 60-69.
- Pampusch, M. S, Johnson, B. J., White, M. E., Hathaway, M. R., Dunn, J. D., Waylan, A. T. (2003). Time course of changes in growth factor mRNA levels in muscle of steroid-implanted and nonimplanted steers. *Journal of Animal Science*, 81: 2733-2740.
- Pampusch, M. S., White, M. E., Hathaway, M. R., Baxa, T. J., Chung, K. Y., Parr, S. L., Johnson, B. J., Weber, W. J., and Dayton, W. R. (2008). Effects of implants of trenbolone acetate, estradiol, or both, on muscle insulin-like growth factor-I, insulin-like growth factor-I receptor, estrogen receptor- α , and androgen receptor messenger ribonucleic acid levels in feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 86: 3418-3423.
- Partridge, I. (2011). Hormone growth promotants and beef production. A best practice guide. *Published by: Meat & Livestock Australia Limited ABN*: pp. 42.
- Paton, L. J., Beauchemin, K. A., Veira, D. M., von Keyserlingk, M. A. G. (2006). Use of sodium bicarbonate, offered free choice or blended into the ration, to reduce the risk of ruminal acidosis in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 86: 429-437.
- Patra, A. K. (2014). A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. *Livestock Science*, 162: 97-103.
- Peel, D. S., Mathews, K. H., Johnson, R. J. (2011). Trade, the expanding Mexican beef industry, and feedlot and stocker cattle production in Mexico. LDP-M-206-01, U. S. Department of Agriculture, Economic Research Service. Disponible en línea: <http://www.ers.usda.gov/media/118317/ldpm20601.pdf>. Consultado el 5 de febrero de 2015.
- Pell, J. M., Bates, P. C. (1987). Collagen and non-collagen protein turnover in skeletal muscle of growth hormone-treated lambs. *Journal of Endocrinology*, 115: R1-R4.
- Pérez, S., Baldwin, P., Gallant, D. J. (2009). Structural features of starch. In: *Starch-Chemistry and Technology*, 3rd edition. BeMiller J, Whistler R (eds.). New York, NY, USA: Academic Press. pp. 149-192.

LITERATURA

- Pérez, S., E. Bertoft. (2009). The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch-Stärke*, 62: 389-420.
- Perry, T. C., Fox, D. G., Beermann, D. H. (1991). Effect of an implant of trenbolone acetate and estradiol on growth, feed efficiency, and carcass composition of Holstein and beef steers. *Journal of Animal Science*, 69: 4696-4702.
- Pescara, J. B., Pires, J. A., Grummer, R. R. (2010). Antilipolytic and lipolytic effects of administering free or ruminally protected nicotinic acid to feed-restricted Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93: 5385-5396.
- Peters, C. J., Picardy, J. A., Darrouzet-Nardi, A, Griffin, T. S. (2014). Feed conversions, ration compositions, and land use efficiencies of major livestock products in U.S. *Agricultural Systems*, 130: 35-43.
- Pietrzkowski, Z., Wernicke, D., Porcu, P., Jameson, B. A., Baserga, R. (1992). Inhibition of cellular proliferation by peptide analogues of insulin-like growth factor 1. *Cancer Research*, 52: 6447-6451.
- Pinos, R. J. M., González, M. S. (2000). Efectos biológicos y productivos de los ionóforos en rumiantes *Interciencia*, 25: 379-385.
- Pinos-Rodríguez, J. M., Peña, L. Y., González-Muñoz, S. S., Bárcena, R., Salem, A. (2010). Effects of slow-release coated urea product on growth performance and ruminal fermentation in beef steers. *Italian Journal of Animal Science*, 9: e4.
- Pinotti, L.; Baldi, A., Dell'Orto, V. (2002). Comparative mammalian choline metabolism with emphasis on role in ruminants, especially the high yielding dairy cow. *Nutrition Research Review*, 15: 315-331.
- Pinotti L., Baldi, A., Politis, I., Rebucci, R., Sngalli, L., Dell'Orto, V. (2003). Rumen-protected choline administration to transition cows: effects on milk production and vitamin E status. *Journal of Veterinary Medicine Series A-Physiology Pathology Clinical Medicine*, 50: 18-21.
- Pitt, R. E., Pell, A. N. (1997). Modeling ruminal pH fluctuations: interactions between meal frequency and digestion rate. *Journal of Dairy Science*, 80: 2429-2441.
- Plaizier, J. C., Krause, D. O., Gozho, G. N., McBride, B. W. (2007). Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *The Veterinary Journal*, 176: 21-31.
- Plascencia, A., Estrada, M., Zinn, R. A. (1999). Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 77: 2603-2609.
- Plascencia, A., Torrentera, N., Zinn, R. (1999). Influence of the agonist Zilpaterol on growth, performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*, 50: 331-334.
- Plascencia, A., Zinn, R. A. (2002). Evaluation of a forage-fat blend as an isocaloric substitute for steam-flaked wheat in finishing diets for feedlot cattle: growth performance and digestive function. *The Professional Animal Scientist*, 18: 247-253.
- Plascencia, J. A., Arellano, G. E., López, S. M. A, Zinn, R. A. (2002). Estudio comparativo sobre el sitio y la tasa de digestión de la fracción nitrogenada y del almidón

- de cuatro cereales procesados con vapor utilizados en dietas para bovinos de engorda. *Veterinaria México*, 33: 371-386.
- Plascencia, A., Mendoza M. G. D., Vásquez P. C., Zinn, R. A. (2003). Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 81: 2653-2659
- Plascencia, A., Mendoza M. G. D., Vásquez P. C., Zinn, R. A. (2005). Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: Una revisión. *Interciencia*, 30: 134-142.
- Plascencia, A., Lopez-Soto, A. M., Montañó, M. F., Serrano, J., Ware, R. A., Zinn, R. A. (2007). Influence of surfactant supplementation and maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets for Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 85: 2575-2581.
- Plascencia, A., Alvarez, E., Corona, L., Gonzalez, V. M., Montano, M. F., Salinas-Chavira, J., Zinn, R. A. (2012). Effect of corn variety and fat supplementation on digestion of diets for feedlot cattle containing dry rolled or steam-flaked corn. *Animal Feed Science and Technology*, 173: 159-166.
- Plata F. X. (1992). Efecto de un probiótico (*Saccharomyces cerevisiae*) en la fermentación ruminal, digestibilidad *in situ* y el consumo en bovinos alimentados con tres niveles de paja de avena. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Centro de Ganadería.
- Plata, P. F., Mendoza, G. D., Bárcena G. R., González, M. S. (1994). Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on neutral detergent fiber digestion in steers fed oat straw diets. *Animal Feed Science and Technology*, 49: 203-210.
- Plata, P. X., Ricalde, V. R., Melgoza, C. L. M., Mendoza, M. G. D., Franco, G. F. J. (2004). Efecto de la dosis de α -amilasa (*Bacillus licheniformis*), temperatura de la solución y molido del grano de sorgo en la aglutinación del almidón y digestibilidad ruminal *in vitro*. *Interciencia*, 29: 686-691.
- Pogge, D. J., Hansen, S. (2013a). Effects of varying concentrations of vitamin C on performance, blood metabolites, and carcass characteristics of steers consuming a common high-sulfur (0.55% S) diet. *Journal of Animal Science*, 91: 5754-5761.
- Pogge, D. J., Hansen, S. (2013b). Supplemental vitamin C improves marbling in feedlot cattle consuming high sulfur diets. *Journal of Animal Science*, 91: 4303-4314.
- Poss, M. I., Hanson, T. L., Klopfenstein, T. J. (1979). Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *Journal of Animal Science*, 48: 1516-1524.
- Pottier J., Focant, M., Debier, C., De Buysser, G., Goffe, C., Mignolet, E., Friodmont, E., Larondelle, Y. (2006). Effect of dietary vitamin E on rumen biohydrogenation pathways and milk fat depression in dairy cows fed high-fat diets. *Journal of Dairy Science*, 89: 685-692.
- Preston, R. L. (1999). Hormone containing growth promoting implants in farmed livestock. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 38: 123-138.
- Prokop, M.J., Klopfenstein, T. J. (1977). Slow ammonia release urea. *Nebraska Beef Cattle Report No. EC 77-218*, Nebraska

LITERATURA

- Ramírez-Mella, M., Hernández-Mendo, O., Ramírez-Bribiesca, E. F., Améndola-Masioti, R. D., Crosby-Galván, M.M., Burgueño-Ferreira, J. A. (2013). Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Tropical Animal Health and Production*, 45: 1783-1788.
- Raun, A. P., Preston R. L. (2002) History of diethylstilbestrol use in cattle. *Journal of Animal Science*. J Anim Sci, 2002 - asianamlitf10.umwblogs.org
- Regal, P., Nebot, C., Díaz-Bao, M., Barreiro, R., Cepeda, A., Fente, C. (2011). Disturbance in sex-steroid serum profiles of cattle in response to exogenous estradiol: A screening approach to detect forbidden treatments. *Steroids*, 76: 365–375.
- Reiling, B. A., Johnson, D. D. (2003). Effects of implant regimens (trenbolone acetate-estradiol administered alone or in combination with zeranol) and vitamin D3 on fresh beef color and quality. *Journal of Animal Science*, 81: 135-142.
- Reilly, P. J. (1985). Enzymic degradation of starch. In: G. M. A. Van Beyunm and J. A. Roels (Ed.) *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Relling, A. E., Pate, J. L., Reynolds, C. K., Loerch, S. C. (2010). Effect of feed restriction and supplemental dietary fat on gut peptide and hypothalamic neuropeptide mRNA concentrations in growing wethers. *Journal of Animal Science*, 88: 737-748.
- Relling, A. E., Reynolds, C. K., Loerch S. C. (2011). Effect of feeding fat or intrajugular infusion of glucagon-like peptide-1 and cholecystokinin on dry matter intake, digestibility, and digesta rate of passage in growing wethers. *Journal of Animal Science*, 89: 168–178.
- Renaville, R., Hammadi, M., Portetelle, D. (2002). Role of the somatotropic axis in the mammalian metabolism. *Domestic Animal Endocrinology*, 23: 351–360.
- Ricalde, V.R., Mendoza, M.G.D., Crosby, G.M.M. (1998). Manejo nutricional en corrales de engorda. *Veterinaria México*, 29: 291-297.
- Richards, J. C., Hicks, B. (2007). Processing of corn and sorghum for feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23: 207–221.
- Riquelme, V. E. (1984). Efectos asociativos en dietas basadas en subproductos agrícolas. *Revista Mexicana de Producción Animal*, 16: 13-24.
- Robinson, P. H., Fadel, J. G., Tamminga, S. (1986). Evaluation of mathematical models to describe neutral detergent residue in terms of its susceptibility to degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 15: 249-271.
- Rodríguez, M. F., Buntinx, D. S. E., Ortega, C. M. E., Corona, L. (2010). Effect of germinated and ensiling sorghum grain on digestion and ruminal fermentation by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 88 (Suppl. 2). 153.
- Rodríguez-Palacio, A., Weese, J. S., Duffield, T., Staempfli, H. R. (2004). Effect of oral probiotics on calf diarrhea: Clinical trials published between 1973-2003. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 18: 395-396.
- Roeber, D. L., Cannell, R. C., Belk, K. E., Miller, R. K., Tatum, J. D. y Smith, G. C. (2000). Implant strategies during feeding: Impact on carcass grades and consumer acceptability. *Journal of Animal Science*, 78: 1867–1874.
- Rogan, M. T., LeDoux, J. E. (1996). Emotion: systems, cells and synaptic plasticity. *Cell*, 83, Cambridge, Massachusetts, pp. 369-475.

- Rojo, R. R., Mendoza, M. G., Crosby G. M. M. (2001). Uso de la amilasa termoestable de *Bacillus licheniformis* en la digestibilidad *in vitro* del almidón de sorgo y maíz. *Agrociencia*, 35: 423-427.
- Rojo, R., Mendoza, G. D., González, S., Landois, L., Bárcena, R., Crosby, M. M. (2005). Effects of exogenous amylases from *Bacillus licheniformis* and *Aspergillus niger* on ruminal starch digestion and lamb performance. *Animal Feed Science and Technology*, 123-124: 655-665.
- Rojo, R. R., Mendoza, M. G. D., Montañez, O., Rebolgar, S., Cardoso, J. D., Hernández, M. J., González, R. F. (2007). Enzimas amilolíticas en la alimentación de rumiantes. *Universidad y Ciencia*, 23: 173-181.
- Romero, B. M. A., López, D. J. M., Gómez, A. R. A. (1992). Digestibilidad de dietas de engorda tratadas con enzimas para grano de sorgo. *Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Chihuahua, Chih. pp: 181
- Romero, H. M., Sánchez, J. A., Gutiérrez, C. (2011). Evaluación de prácticas de bienestar animal durante el transporte de bovinos para sacrificio. *Revista Salud Pública*, 13: 684-690.
- Rooney, L. W., Pflugfelder, R. L. (1986). Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*, 63: 1607-1623.
- Rowe, J. B., Choct, M., Pethick, D. W. (1999). Processing cereal grains for animal feeding. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50: 721-736.
- Rungruang S., Collier, J. L., Rhoads, R. P., Baumgard, L. H., de Veth, M. J., Collier, R. J. (2014). A dose-response evaluation of rumen-protected niacin in thermoneutral or heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 97: 1-12.
- Russell, J. B. (1986). Heat production by ruminal bacteria in continuous culture and its relationship to maintenance energy. *Journal of Bacteriology*, 168: 694-701.
- Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science* 70: 3551-3561
- Russell, J. B., Strobel, H. J. (1989). Effect of ionophoros on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 1-6.
- Salem, A. Z. M., Gado, H. M., Colombatto, D., Elghandour, M. M. Y. (2013). Effects of exogenous enzymes on nutrient digestibility, ruminal fermentation and growth performance in beef steers. *Livestock Science*, 154: 69-73.
- Salinas, C. J., Ramírez; R. G., Domínguez; M. M., Palomo, C. R., López, A. V. H. (2004). Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of pelibuey lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 26: 13-16.
- Salinas, C. J., Domínguez; M. M., Díaz; M. R., Cruz; B. P., Montaña, G. M. F., Arzola, A. C. (2006). Effect of duration of zilpaterol hydrochloride treatment on carcass characteristics and weight gain in grazing pelibuey lambs, *Journal Applied Animal Research*, 29: 25-28.
- Salinas-Chavira, J. Arrizon, A. A., Barreras, A., Chen, C. Z., Plascencia, A., Zinn R. A. (2014). Evaluation of supplemental vitamin A and E on 56-day growth performance, dietary net energy, and plasma retinol and tocopherol concentrations in Holstein steer calves. *Professional Animal Scientist*, 30: 510-514.

LITERATURA

- Santana, M. C. A., Fiorentini, G., Dian, P. H. M., Canesin, R. C., Messana, J. D., Oliveira, R. V., Reisa, R. A., Berchielli, T. T. (2014). Growth performance and meat quality of heifers receiving different forms of soybean oil in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 194: 35-43.
- Santschi, D. E., Berthiaume, R., Matte, J. J., Mustafa, A. F., Girald, C. L. (2005). Fate of supplemental B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88: 2043-2054.
- Sartin, J. L., Whitlock, B. K., Daniel, J. A. (2011). Triennial growth symposium: neural regulation of feed intake: Modification by hormones, fasting, and disease. *Journal of Animal Science*, 89: 1991-2003.
- Saslow, C. A. (1999). Factors affecting stimulus visibility in horses. *Applied Animal Behaviour Science*, 61: 273-284
- Satter, L. D., Slyter, L. L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein *in vitro*. *British Journal of Nutrition*, 32: 199-208.
- Schanbacher, B. D. (1984). Manipulation of endogenous and exogenous hormones for red meat production. *Journal of Animal Science*, 59: 1621-1630.
- Schindler, G. E., Farlin, S. F. (1980). High by-pass protein, urea compared in finishing rations. *Nebraska Beef Cattle Report EC 80*.
- Schröder B., Breves G. (2006). Mechanisms and regulation of calcium absorption from the gastrointestinal tract in pigs and ruminants: comparative aspects with special emphasis on hypocalcemia in dairy cows. *Animal Health Research Reviews*, 7: 31-41
- Schroeder, A. R., Iakiviak, M., Felix T. L. (2014). Effects of feeding dry or modified wet distillers grains with solubles with or without supplemental calcium oxide on ruminal metabolism and microbial enzymatic activity of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92: 3997-4004.
- Schultz, E., Lipton, B. H. (1982). Skeletal muscle satellite cells: Changes in proliferation potential as a function of age. *Mechanisms of Ageing and Development*, 20: 377-383.
- Schwartzkopf-Genswein, K., Beauchemin, K., Gibb, D., Crews, D., Hickman, D., Streeter, M., McAllister, T. (2003). Effect of bunk management on feeding behavior, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 81: E149-E158.
- Scollan, N. D., Choi, N. J., Kurt, E., Fisher, A. V., Enser, M., Wood, J. D. (2001). Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *British Journal of Nutrition*, 85: 115-124.
- Scolland, N. D., Hocquette, J. F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., Moloney, A. (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 74: 17-33.
- Scott, T. L., Milton, C.T., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Stock, R. A. (2003). Corn processing method in finishing diets containing wet corn gluten feed. *Journal of Animal Science*, 81: 3182-3190.

- Secrist, D. S., Hill, W. J., Owens, F. N., Gill, D. R., Welty, S. D. (1996). Rolled or whole corn for feedlot steers being limit or ad libitum-feed. *Animal Science Research Report. Oklahoma State University*, 173-180.
- Selinger, L. B., Forsberg, C. W., Cheng, K.-J. (1996). The rumen: a unique source of enzymes for enhancing livestock production. *Anaerobe* 2: 263-284
- Serrano-Ponce, J. G., Sánchez-Mendoza, B., Alvarez, E. G., Aguirre-Ortega, J., González-Vizcarra, V. M., Lemus-Flores, C., López-Soto, M. A., Mendoza-Martínez, G. D., Plascencia, A., Stuart-Montalvo, J. R., Zinn, R. A. (2011). Influence of mechanical maceration on wheat straw on characteristics of digestion in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Live Science*, 142: 175-180.
- Seymour, W. M. (1998). Role of biotin in ruminant nutrition examined. *Feedstuffs*, 11.
- Shabi, Z., Bruckental, I., Zamwell, S., Tagari, H., Areli, A. (1999). Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82: 1252-1260.
- Shain, D., Stock, R. (1992). Effect of alfalfa particle size on intake and performance in finishing diets. *Nebraska Beef Report EC* 80.
- Sharma, L. C., Yadav, P. S., Mandal, A.B., Sunaria, K. R. (2004) Effect of varying levels of dietary minerals on growth and nutrient utilization in lambs. *Asian-Australian Journal. Animal Science*, 17: 46-52.
- Sharp, G. D., Dyer, I. A. (1971). Effect of zeralanol on the performance and carcass composition of growing-finishing ruminants. *Journal of Animal Science*, 33: 865-871.
- Sharpe, P. M., Haynes, N. B. y Buttery, P. J. (1986). Glucocorticoid status and growth. In: P. J. Buttery, D. B. Lindsay, N. B. Haynes (Ed.) *Control and Manipulation of Animal Growth*. pp 207-222. Butterworths, London.
- Shaver, R. D., Bal, M. A. (2000). Effect of dietary thiamin supplementation on milk production by dietary cows. *Journal of Dairy Science*, 83: 2335-2340.
- Shingfield, K. J., Bonnet, M., Scollan, N. D. (2013). Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal*, 7: 132-162.
- Sides, G. E., Vasconcelos, J. T., Borg, R. C., Turgeon, O. A., Koers, W. C., Davis, M. S., Vander Pol, K., Weigel, D. J., Tucker, C. M. (2009). A comparison of melengestrol acetate fed at two dose levels to feedlot heifers. *The Professional Animal Scientist*, 25: 731-736.
- Siebert, B. D., Kruk, Z. A., Davis, J., Pitchford, W. S., Harper, G. S, Bottema, C. D. K. (2006). Effect of low vitamin A status on fat deposition and fatty acid desaturation in beef cattle. *Lipids*, 41: 365-370.
- Silveira, P. C. M., Luchiari, F. A., Oliveira, L. V. B., Hojaij, C. M. (2003). Quality characteristics of *Longissimus dorsi* muscle from *Bos indicus* animals treated with vitamin D3. *Scientia Agricola*, 60: 637-642.
- Simpson, R. B., Chase, Jr. C. C., Spicer, L. J., Carrol, J. A., Hammond, A. C., Welsh, Jr. T. H. (1997). Effect of exogenous estradiol on plasma concentrations of somatotropin, insulin-like growth factor-I, insulin-like growth factor binding protein activity, and metabolites in ovariectomized Angus and Braham cows. *Domestic Animal Endocrinology*, 14: 367-380.

LITERATURA

- Sinclair, L. A., Cooper, S. L., Chikunya, S., Wilkinson, R. G., Hallett, K. G., Enser, M., Wood, J. D. (2005). Biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids in the rumen and their effects on microbial metabolism and plasma fatty acid concentrations in sheep. *Animal Science*, 81: 239-248
- Sindt, M. H., Stock, R. A., Klopfenstein, T.J. (1993). Protein source and grain type on ruminal metabolism. *Nebraska Beef Report MP 59-A*.
- Sindt, M. R., Cleale, L., Stock, R., Goedecken, F., Britton, R. (1987). High moisture corn, dry grain combinations for finishing cattle. *Nebraska Beef Cattle Report. MP 52* University of Nebraska, Lincoln.
- Slyter, L. L. (1976). Influence of acidosis on rumen function. *Journal of Animal Science*, 43: 910-29.
- Slyter, L. L., Oltjen, R. R., Kern, D. L., Blank, F. C. (1970). Influence of type and level of grain and diethylbestrol on the rumen microbial populations of steers fed all concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 31: 996-1002.
- Slyter, L. L., Rumsey T. S. (1991) Effect of coliform bacteria, feed deprivation, and pH on ruminal D-lactic acid production by steer or continuous-culture microbial populations changed from forage to concentrates. *Journal of Anim Science* 69: 3055-3066.
- Smith, G. C., Morgan, J. B., Sofos, J. N., Tatum, J. D. (1996). Supplemental vitamin E in beef cattle diets to improve shelf-life of beef. *Animal Feed Science and Technology*, 59: 207-214.
- Smith, B. (1998). Moving'em: A Guide to Low Stress Animal Handling. Graziers Hui, Kamuela, Hawaii.
- Smith, K. R., Duckett, S. K., Azain, M. J., Sonon, Jr. R. N. y Pringle, T. D. (2007). The effect of anabolic implants on intramuscular lipid deposition in finished beef cattle. *Journal of Animal Science*, 85: 430-440.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox D. G., Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70: 3562-3577.
- Somers, J. G. C. J., Frankena, K., Noordhuizen-Stasse, E. N., Metz, J, H, M. (2003). Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems. *Journal of Dairy Science*, 86: 2082-2093.
- Song, H., Dinkel, C. A. (1978). Mathematical models of postweaning growth, feed intake and carcass composition of beef cattle. I, Empirical predictive model of voluntary feed intake from weaning to slaughter. *Journal of Animal Science*, 47: 56- 69.
- Sonnenburg, J. L., Chen, C. L., Gordon, J. I. (2006). Genomic and metabolic studies of the impact of probiotics on a model gut symbiont and host. *PLoS Biology*, 4: e413: 0001-0014.
- Spears, J. W., Weiss, W. P. (2014). Invited review: Mineral and vitamins nutrition in ruminants. *The Professional Animal Scientist*, 30: 180-191.
- Stafford, K., Mellor, D. (2005). The welfare significance of the castration of cattle: A review. *New Zeland Veterinary Journal*, 53: 271-278.
- Steele, D., Brink, D. (1983). Calcium source and level of corn effects digestibility. *Nebraska Beef Report*, MP 44: 19-21

ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO CON DIETAS ALTAS EN GRANO

- Stock, R., Mader, T. L. (1974). G74-136 Grain sorghum processing for beef cattle. *Historical Materials from University of Nebraska Lincoln. Extension*, 1-8.
- Stock, R., Mader, T. L. (1985). G85-761 Feed Additives for Beef Cattle. *Historical Materials from University of Nebraska Lincoln. Extension*, 1-7.
- Stock, R. A., Brink, D. R., Brandt, T. R., Merrill, J. K., Smith, K. K. (1987a). Feeding combinations of high moisture corn and dry corn to finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 65: 282-289.
- Stock, R. A., Brink, D. K., Britton, R. A., Goedecken, F. K., Sindt, M. H., Kreikemeier, K. K., Bauer, M. L., Smith, K. K. (1987b). Feeding combinations of high moisture corn and dry rolled grain sorghum to finishing steers. *Journal of Animal Science*, 65: 290-302.
- Stock, R. A. (1988). A review of methods to improve feed efficiency in beef cattle. In: *49th Minnesota Nutrition Conference and Degussa Technical Symposium*. Bloomington, Minnesota.
- Stock, R. A., Sindt, M. H., Parrot, J. C., Goedecken, F. (1990). Effects of grain type, roughage level and monensin level on finishing cattle performance. *Journal of Animal Science*, 68: 3441-3455.
- Stock, R. A., Sindt, M. H., Cleale, R. M. (1991). High-moisture corn utilization in finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 69: 1645-1656.
- Stock, R. A., Laudert, S. B., Stroup, W. W., Larson, E. M., Parrott, J. C., Britton, R. A. (1995). Effect of monensin and monensin and tylosin combination on feed intake variation of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 73: 39-44.
- Stock, R. (2000). Acidosis in cattle: an overview. In: *Proceedings of the 33rd Annual Convention of the American Association of Bovine Practitioners*, Rapid City, USA, pp. 30-37.
- Streeter, M. N., Wagner, D. G., Owens, F. N., Hibberd, C. A. (1989). Combinations of high moisture harvested sorghum grain and dry rolled corn: effect on site and extent of digestion in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 67: 1623-1633.
- Streeter, M. N., Wagner, D. G., Owens, F. N., Hibberd, C. A. (1991). The effect of pure and partial yellow endosperm sorghum grain hybrids on site and extent of digestion in beef steers. *Journal of Animal Science*, 69:2571-2584.
- Stone, W. C. 1999. The effect of subclinical rumen acidosis on milk components. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. Cornell Univ., Ithaca, NY. pp: 40-46.
- Struempfer, A. W., Burroughs, W. (1959). Stilbestrol feeding and growth hormone stimulation in immature ruminants. *Journal of Animal Science*, 18: 427-436.
- Strydom P. E., Hope-Jones M., Flylinck L., Webb E. C. (2011). The effects of a beta-agonist treatment, vitamin D3 supplementation and electrical stimulation on meat quality of feedlot steers. *Meat Science*, 89: 462-468.
- Sumano, L. H.; C. L. Ocampo, C.L., O. L. Gutiérrez, O. L. (2002). Clembuterol y otros β -agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria un riesgo para la salud pública?. *Veterinaria México*, 33: 137-159.
- Sutherland, M., Mellor, D., Stafford, K., Gregory, N., Bruce, R., Ward, R. (2002). Cortisol responses to dehorning of calves given a 5-h local anaesthetic regimen plus

LITERATURA

- phenylbutazone, ketoprofen, or adrenocorticotrophic hormone prior to dehorning. *Research in Veterinary Science*, 73: 115-123.
- Swanek, S. S., Morgan, J. B., Owens, F. N., Gill, D. R., Strasia, C. A., Dolezal, H. G., Ray, F. K. (1999). Vitamin D3 supplementation of beef steers increases *longissimus* tenderness. *Journal of Animal Science*, 77: 874-881.
- Swingle, S. (1995). Effect of roughage level and type on intake and performance of feedlot cattle. *Oklahoma Agricultural Experiment Station, Miscellaneous Publication*, P-942: 257-263.
- Swinkels, J. J. M. (1985). Sources of starch, its chemistry and physics. In: Van Beyunm, G. M. A., Roels J. A. (Ed.) *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Szasz, J. I., Hunt, C. W., Szasz, P. A., Weber, R. A., Owens, F. N., Kezar, W., Turgeon, O. A. (2007). Influence of endosperm vitreousness and kernel moisture at harvest on site and extent of digestion of high-moisture corn by feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 85: 2214-2221
- Tanaka, K. (2005). Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. *Animal Science Journal*, 76: 291-303
- Tatsumi, R., Anderson, J. E., Nevoret, C. J., Halevy, O., Allen, R. E. (1998). HGF/SF is present in normal adult skeletal muscle and is capable of activating satellite cells. *Developmental Biology*, 194: 114-128.
- Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Guiroy, P. J. (2004). A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. *Agricultural System*, 79: 171-204.
- Tedeschi, L. O. (2006). Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural System*, 89: 225-247.
- Teeter, R. G., Owens, F. N., Gill, D. R., Martin, J. J. (1979). Corn moisture level for feedlot steers. Oklahoma Agricultural Experimental Station. *Animal Science Report*, 62-64.
- Teeter, R. G., Owens, F. N., Gill, D. R. (1981). Roughage-concentrate associative effects. Oklahoma Agricultural Experimental Station. *Animal Science Report*, 161-164.
- Teter, N. C., Thompson, T. L. (2014). CC246 Farm storage of wet grain by ventilating or ensiling. University of Nebraska-Lincoln Extension. Paper 3016. Disponible en línea: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4100&context=extensionhist>. Consultado 29 de Enero de 2015.
- Theurer, C. B. (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 63: 1649-1662.
- Theurer, B. C. (1989). Ruminant versus intestinal starch digestion for optimal productivity. In: Official Proceedings 24th Annual. *Pacific Northwest Animal Nutrition Conference*, Boise, Idaho.
- Thompson, F., and G. E. Lamming, G. E. (1972). The flow of digesta, dry matter and starch to the duodenum in sheep given rations containing straw of varying particle size. *British Journal of Nutrition*, 28: 391-403.
- Thompson, S. H., Boxhorn, L. K., Kong, W., Allen, R. E. (1989). Trenbolone alters the responsiveness of skeletal muscle satellite cells to fibroblast growth factor and insulin-like growth factor I. *Endocrinology*, 124: 2110-2117.

- Thomson, D. U. (1996). *In vitro* muscle cell protein synthesis and degradation, nitrogen balance and the feedlot response to trenbolone acetate, estradiol and somatotropin in finishing beef steers. Ph.D. Dissertation. Texas Tech University.
- Thurn, K. K., Kotarski, S. F. (1987). Subcellular localization of starch-degrading enzymes in *Bacteroides rumenicola*. In: *19th Biennial Conference on Rumen Function*. Chicago, Illinois.
- Tilley, D. R. (2014). Exploration of Odum's dynamic energy accounting rules for suggested refinements. *Ecological Modelling*, 279: 36-44.
- Toral, P. G., Shingfield, K. J., Hervás, G., Toivonen, V., Frutos, P. (2010). Effect of fish oil and sunflower oil on rumen fermentation characteristics and fatty acid composition of digesta in ewes fed a high concentrate diet. *Journal of Dairy Science*, 93: 4804-4817.
- Torrentera, N., Ware, R. A., Zinn, R. A. (2005). Influence of maceration and fibrolytic enzymes on the feeding value of rice straw. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 4: 387-392.
- Towne, G., Nagaraja, T. G. (1990). Omasal ciliated protozoa in cattle, bison, and sheep. *Applied and Environmental Microbiology*, 56: 409-412.
- Towne, G., Nagaraja, T. G., Brandt, R. T., Kemp, K. E. (1990). Ruminant ciliated protozoa in cattle fed finishing diets with or without supplemental fat. *Journal of Animal Science*, 68: 2150-2155.
- Trenkle, A. (1970). Plasma levels of growth hormone, insulin and plasma protein-bound iodine in finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 31: 389-393.
- Trenkle, A. (1997). Mechanisms of action of estrogens and androgens on performance of cattle-hormonal basis. In F. Owens, D. Gill, G. Dolezal, B. Morgan, G. Horn (Organizing Comm.), *Oklahoma State University Implant Symposium: Impact on Performance and Carcass Value of Beef Cattle*, P-957, Ok. Agric. Expt. Sta., Div. Agric. Sci. Natural Res., Ok. State Univ., Stillwater, pp 15-22.
- Trujillo, F. V. (1987). Métodos matemáticos en la nutrición animal, Segunda ed. McGraw-Hill, México.
- Turgeon, O. A., Brink, D. R., Britton, R. A. (1983). Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steer diets. *Journal of Animal Science*, 57: 739-749.
- USDA. (2000). Feedlot 1999. Part III. Health management and biosecurity in US Feedlots, 1999, *USDA-APHIS National Health Monitoring System*, Fort Collins, CO.
- USDA. (2011). Feedlot 2011, Part I: Management practices on US feedlots with a capacity of 1,000 or more head, *USDA-APHIS National Health Monitoring System*, Fort Collins, CO.
- Utley, P.R., McCormick, W. C. (1975). Comparison of cattle finishing diets containing various physical forms of corn. *Journal of Animal Science*, 40: 952-956.
- Van Donkersgoed, J. (1992). Meta-analysis of field trials of antimicrobial mass medication for prophylaxis of bovine respiratory disease in feedlot cattle. *The Canadian Veterinary Journal*, 33: 786-795
- Van laer, E., Moons, C. P. H., Sonck, B., Tuytens, F. A. M. (2014). Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates. *Livestock Science*, 159:87-101.

LITERATURA

- Vander Pol, K. J., Luebke, M. K., Crawford, G. I., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J. (2009). Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *Journal of Animal Science*, 87:639–652.
- Varga, G. A., Hoover, W. H. (1983). Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs in situ. *Journal of Dairy Science*, 66: 2109-2115.
- Varga, G. A. (1986). Factors affecting estimation of lag time in the rumen. In: *International Symposium on Feed Intake by Beef Cattle*. Oklahoma City, OK.
- Vargas, L. V., Ku, J. V., Vargas, F. V., Medina, S. P. (2005). Evaluación de un sistema ruminal basado en caña de azúcar mediante un modelo dinámico mecanístico. *Interciencia*, 30: 424-430.
- Vargas, J. M., Mendoza, G. D., Rubio-Lozano, M. S., Castrejón, F. A. (2013). Effect of exogenous fibrolytic enzymes on the carcass characteristics and performance of grain-finished steers. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13: 435-440.
- Vasconcelos, J. T., Galyean, M. L. (2007). Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. *Journal of Animal Science*, 85: 2772-2781.
- Vázquez-Armijo, J. F., Martínez-Tinajero, J. J., López, D., Salem, A. Z. M., Rojo, R. (2011). *In vitro* gas production and dry matter degradability of diets consumed by goats with or without copper and zinc supplementation. *Biological Trace Element Research*, 144: 580-587.
- Veira, D. M., Ivan, M., Yui, P. J. (1983). Rumen ciliate protozoa: Effects on digestion in the stomach of sheep. *Journal of Dairy Science*, 66: 1015-1022.
- Veira, D. M. (1986). The role of ciliate protozoa in nutrition of the ruminant. *Journal of Animal Science*, 63:1547-1560.
- Velarde, A., Dalmau, A. (2012). Animal welfare assessment at slaughter in Europe: Moving from inputs to outputs. *Meat Science*, 92: 244-251.
- Venken, K., Moverare-Skrtic, S., Kopchick, J. J., Coschigano, K. T., Ohlsson, C., Boonen, S., Bouillon, R., Vanderschueren, D. (2007). Impact of androgens, growth hormone, and IGF-I on bone and muscle in male mice during puberty. *Journal of Bone and Mineral Research*, 22: 72-82.
- Veracini, J. L., Walker, P. M., Faulkner, M. J., Hall, R. E., Atkinson, R. L., Wiegand, B. R. (2013). Effects of high fat, modified wet, corn distiller's grains plus solubles on beef steer performance and carcass characteristics. *Livestock Science*, 157: 151-161.
- Von Bertalanffy, L. (1950). The theory of open systems in physics and biology. *Science*. 111: 23- 29.
- Vyas, D., Uwizeye, A., Yang, W. Z., Beauchemin, K. A. (2014). Importance of yeast viability for reducing the effects of ruminal acidosis in beef heifers during and following an imposed acidosis challenge. *Animal Feed Science and Technology*, 197: 103–113.
- Wagner, J. F. (1983). Estradiol controlled release implants: Efficacy and drug delivery, In: E. Meisssonier (Ed), *Anabolics in Animal Production*, Office International des Epizooties, Levallois. France. 1983. Pp. 129-142.
- Wagner, J. J., Archibeque, S. L., Feuz, D. M. (2014). The modern feedlot for finishing cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2: 535-554.

- Waldo, D. R., Smith, L. W., Cox, E. L. (1972). Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science*, 55: 125-129.
- Waldo, D. R. (1973). Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*, 37: 1062-1074.
- Waldrip, H. M., Todd, R. W., Cole, N. A. (2013). Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Animal Science*, 91: 4290-4302.
- Wallace, R. J. (1979). Effect of ammonia concentration on the composition, hydrolytic activity and nitrogen metabolism of the microbial flora of the rumen. *Journal of Applied Bacteriology*, 47: 443-455.
- Wallace, R. J., Czerkawski, J. W., Breckendrige, G. (1981). Effect of monensin on the fermentation of basal rations in the rumen simulation technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*, 46: 131-148.
- Wallis, O., Coleman, G. S. (1967). Incorporation of ¹⁴C-labelled components of *Escherichia coli* and amino acids by *Isotricha intestinalis* and *Isotricha prostoma* from sheep rumen. *Journal of General Microbiology*, 49: 315-323.
- Walmsley, B. J., Wolcott, M. L., McPhee, M. J. (2010). Modeling the relationship between scanned and 12th-rib fat in young temperate and tropical bovines: Model development and evaluation. *Journal of Animal Science*, 88: 1848-1859.
- Warner, L., Woods, W. (1972). High grain rations and calcium. *Nebraska Beef Report*, EC 68-128.
- Waynert, D. F., Stookey, J. M., Schwartzkopf-Gerwein, K. S., Watts, J. M., Waltz, C. S. (1999). Response of beef cattle to noise during handling. *Applied Animal Behavior Science*, 62: 27-42.
- Webster, A. J. F., Brockway, J. M., Smith, J. S. (1974). Prediction of the energy requirements for growth in beef cattle. *Animal Production*, 19: 127-139.
- Weller, R. A., Pilgrim, A. F. (1974). Passage of protozoa and volatile fatty acids from the rumen of the sheep and from a continuous *in vitro* fermentation system. *British Journal of Nutrition*, 32: 341-351.
- Wester, T. J. (1989). Evaluation of starch and protein of grain sorghum hybrids for finishing ruminants. M. Sc. Dissertation. University of Nebraska, Lincoln. Animal Science Department.
- Wester, T. J., Gramlich, S. M., Britton, R. A., Stock, R. A. (1992). Effect of grain sorghum hybrid on *in vitro* rate of starch disappearance and finishing performance of ruminants. *Journal of Animal Science*, 70: 2866-2876.
- Whetsell, M. S., Rayburn, E. B., Osborne, P. I. (2006). Evaluation in Appalachian pasture systems of the 1996 (update 2000) National Research Council model for weaning cattle. *Journal of Animal Science*, 84: 1265-1270.
- Whitelaw, F. G., Eadie, M., Bruce, L. A., Shand, W. J. (1984). Methane formation in faunated and ciliate-free cattle and its relationship with rumen volatile fatty acid proportions. *British Journal of Nutrition*, 52: 261-275.
- Wilcox, R. A. (1973). Acid Preservatives for grain. NebGuide. Cooperative Extension Service College of Agriculture, *University of Nebraska, Lincoln G73-52*.
- Williams, A. G. (1988). Factors affecting the formation of polysaccharide-degrading enzymes by rumen microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 21: 191.

LITERATURA

- Williams, A. G., Coleman, G. S. (1988). The rumen protozoa. In: P. N. Hobson (Ed.) *The Rumen Microbial Ecosystem*. Elsevier Applied Science. London and New York.
- Williams, A. G., Newbold, C. J. (1990). Rumen Probiosis: The effects of novel microorganisms on rumen fermentation and ruminant productivity. Williams, P.E.V., Newbold, C.J. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. (Eds. W. Haresign & D.J.A Cole). Butterworths, London.
- Williams, C. B., Jenkins, T. G. (2003a). A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *Journal of Animal Science*, 81: 1371-1381.
- Williams, C. B., Jenkins, T. G. (2003b). A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. II. Metabolizable energy utilization for gain. *Journal of Animal Science*, 81: 1382-1389.
- Williams, P. E. V., Newbold, C. J. (1990). Rumen probiosis. The effect of novel microorganisms on rumen fermentation and ruminant productivity. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. University of Nottingham, School of Agriculture. pp. 211-227.
- Woods, W., Tolman, W., Clanton, D. (1969). Forage levels in finishing rations. Nebraska. *Beef Cattle Report*, EC 69-218:14
- Wotton, S. (1993). Stunning. Animal Welfare Officer Training Course. *University of Bristol, England*. pp. 14-15.
- Wu, Z., Sadik, M., Sleiman, F. T., Simas, J. M., Pessarakli, M., Huber, J. T. (1994). Influence of yucca extract on ruminal metabolism in cows. *Journal of Animal Science*, 72: 1038-1042.
- Xin, H. S., Schaefer, D. M., Liu, Q. P., Axe, D. E., Meng, Q. X. (2010). Effects of polyurethane-coated urea supplement on *in vitro* ruminal fermentation, ammonia release dynamics and lactating performance of Holstein dairy cows fed a steam-flaked corn-based diet. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 23: 491-500.
- Yao Y., Thompson, D. B., Guiltinan, M, J. (2004). Maize starch-branching enzyme isoforms and amylopectin structure. In the absence of starch-branching enzyme IIb, the further absence of starch-branching enzyme Ia leads to increased branching. *Plant Physiology*, 136: 3515-3523.
- Yuryev V. P., Krivandin, A. V., Kiseleva, V. I., Wasserman, L. A., Genkina, N. K., Fornal, J., Blaszcak, W., Schiraldi, A. (2004). Structural parameters of amylopectin clusters and semi-crystalline growth rings in wheat starches with different amylose content. *Carbohydrate Research*, 15: 2683-2691.
- Zinn, R. A. (1987). Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 65: 256-266.
- Zinn, R. A. (1988). Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *Journal of Animal Science*, 66: 213-227.
- Zinn, R. A. (1990). Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *Journal of Animal Science*, 68: 776-781
- Zinn, R. A. (1994). Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *The Professional Animal Scientist*, 10: 66-72.

- Zinn, R. A. (1994). Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 72: 21-28.
- Zinn, R. A., Plascencia, A. (1996). Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 74: 1194-201.
- Zinn, R. A., Alvarez, E. G., Montano, M. F., Ramirez, J. E. (2000). Interaction of protein nutrition and laidlomycin on feedlot growth performance and digestive function in Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 86: 2680-2689.
- Zinn, R. A., Barajas, R., Montano, M., Ware, R. E. (2003). Influence of dietary urea level on digestive function and growth performance of cattle fed steam-flaked barley-based finishing diets. *Journal of Animal Science*, 81: 2383-2389.
- Zinn, R. A., Ware, R. A. (2007). Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. *22nd Annual Southwest Nutrition & Management Conference*. Tempe. AZ. pp: 49-54.
- Zinn, R.A., A. Plascencia, A. (2007). Feed value of supplemental fats used in feedlot cattle diets. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23: 247-268
- Zinn, R. A., Barreras, A., Corona, L., Owens, F. N., Ware, R. A. (2007). Starch digestion by feedlot cattle: predictions from analysis of feed and fecal starch and nitrogen. *Journal of Animal Science*, 85: 1727-1730.
- Zinn, R. A., Barreras, A., Owens, F. N., Plascencia, A. (2008). Performance by feedlot steers and heifers: Daily gain, mature body weight, dry matter intake, and dietary energetics. *Journal of Animal Science*, 86: 2680-2689.
- Zinn, R. A., Barreras, A., Corona, L., Owens, F. N., Plascencia, A. (2011). Comparative effects of processing methods on the feeding value of maize in feedlot cattle. *Nutrition Research Reviews*, 24: 183-190.
- ZoBell, D. R., Wiedmeier, R. D., Olson, K. C., Treacher, R. (2000). The effect of an exogenous enzyme treatment on production and carcass characteristics of growing and finishing steers. *Animal Feed Science and Technology*, 87: 279-285.
- Zorrilla-Ríos, J., Rowe J. B., Speijers, J. (1994). Feeding grain with Virginiamycin to cattle. 3.- Supplementation under pen and grazing conditions. *Advances in Agricultural Research*, 3: 45-52.

AUTORES

GERMÁN DAVID MENDOZA MARTÍNEZ

Egresado de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Obtuvo la Maestría en Nutrición Animal en el Centro de Ganadería del Colegio de Postgraduados y el Doctorado en Nutrición de Rumiantes en la Universidad de Nebraska. Realizó estudios posdoctorales en la Universidad de Nuevo México en el área de Nutrición de Fauna Silvestre. Ha publicado numerosos artículos científicos, además de dictar diversas conferencias nacionales e internacionales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel III, es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia Mexicana Veterinaria. Profesor-Investigador en el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM –Xochimilco.

RAUL RICALDE VELASCO

Egresado de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó estudios de Maestría en Cirugía Experimental en Lafayette, Purdue en la Universidad de Indiana. Su docencia incluyó la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma de Baja California fue Profesor Titular de la Universidad Autónoma Metropolitana de 1978 a 2005 donde dejó numerosas publicaciones y libros de texto.

FERNANDO XICOTENCATL PLATA PÉREZ

Médico Veterinario Zootecnista, egresado de la FES Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Maestro en Ciencias en el área de Nutrición de Rumiantes en el Colegio de Postgraduados y Doctor en Ciencias en el Doctorado de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Es Profesor Investigador en el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM–Xochimilco. Es autor y colaborador de artículos científicos en el área de nutrición de rumiantes, miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ GARCÍA

Egresado de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Obtuvo la Maestría en Fisiología de la Reproducción en el Centro de Ganadería del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y el Doctorado en Conservación y Manejo de Fauna Silvestre en el Colegio de Postgraduados. Su área de investigación considera especies endémicas en Peligro de Extinción y nutrición de rumian-

tes. Profesor Titular del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana. Autor y colaborador de artículos científicos en el área de nutrición de animales domésticos y de fauna silvestre. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

PEDRO ABEL HERNÁNDEZ GARCÍA

Egresado de la Licenciatura en Producción Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, obtuvo Maestría y Doctorado en Ciencias en Nutrición de Rumiantes en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, realizó estudios posdoctorales en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco en el área de nutrición de rumiantes. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I. Profesor Investigador Tiempo Completo de la Licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Centro Universitario UAEM Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México.

LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

Egresado de la Licenciatura en Químico Bacteriólogo y Parasitólogo de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Obtuvo la Maestría y el Doctorado en Nutrición Animal en el Centro de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Es autor y coautor de artículos científicos en el área de la fermentación ruminal y nutrición de rumiantes. Promotor del área biotecnológica de Microbiología Pecuaria y fundador de los Congresos Estudiantiles y Congresos Nacionales de Microbiología Pecuaria. Es miembro de la Sociedad Mexicana en Producción Animal y de la Sociedad Latinoamericana de Producción Animal. Profesor-Investigador del Posgrado en Producción Animal, en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, su investigación la ha enfocado al desarrollo de Productos y Procesos Microbianos para la Producción Animal.

MARÍA ESTHER ORTEGA CERRILLA

Egresada de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Obtuvo la Maestría en Nutrición de Rumiantes en la Universidad de Wisconsin-Madison, E.U. y el doctorado en Nutrición de Rumiantes en la Universidad de Newcastle, Inglaterra. Realizó una estancia sabática en la Universidad de Hull, Inglaterra en Conducta y Bienestar Animal. Ha publicado numerosos artículos científicos, además de dictar diversas conferencias nacionales e internacionales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores desde 1992 en forma ininterrumpida y es miembro de la Academia Mexicana Veterinaria. Profesora-Investigadora Titular en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados.

ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

Médico Veterinario Zootecnista, egresado de la Universidad Autónoma de Baja California, Maestro en Ciencias en Producción Animal por la UABC y Doctorado en Producción Animal de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es Profesor-Investigador de Nutrición de Rumiantes en el Instituto de Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California. Su área de investigación se centra en el valor nutritivo de los ingredientes, subproductos, aditivos para piensos y su impacto en la utilización de los nutrientes (métodos *in vivo*) y la productividad en los sistemas de engorda en confinamiento. Cuenta con numerosas publicaciones nacionales e internacionales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel II. Actualmente se desempeña como investigador asociado invitado en Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Sinaloa, como instructor en el Diplomado en línea en Producción de Carne en Corral de Engorda en la UNAM) y como investigador asociado invitado en el Desert Research and Extension Center de la Universidad de California, Davis.

GILBERTO CARLOS ORTEGA NAVARRO

Egresado del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, obtuvo Maestría y Doctorado en Ciencias en Nutrición de Rumiantes en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados. Experiencia profesional como asesor en explotaciones pecuarias (engorda de ganados bovinos en corral y pastoreo, ovinos de ciclo completo y consultor pecuario en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura "FAO"). Actualmente está realizando estudios posdoctorales en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, en el área de nutrición de rumiantes. Ha desarrollado y registrado modelos de simulación para alimentación de rumiantes.

MÓNICA RAMÍREZ MELLA

Egresada de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Obtuvo la Maestría y el Doctorado en Nutrición de Rumiantes en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados y realizó estudios posdoctorales en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco en el área de Nutrición de Rumiantes. Candidato en el Sistema Nacional de Investigadores. Es Académico Cátedras Conacyt en el Colegio de Postgraduados Campus Campeche.

HÉCTOR AARÓN LEE RANGEL

Egresado de la Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, obtuvo Maestría y Doctorado en Ciencias en Nutrición de Rumiantes en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados; Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores. Profesor Investigador Tiempo Completo de la Licenciatura de Ingeniería Agrónomo Zootecnista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

LUIS CORONA GOCHI

Médico Veterinario Zootecnista, egresado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. Maestro en Producción Animal en el área de Nutrición de Rumiantes en la UNAM-CP. Doctor en Ciencias en Nutrición de Rumiantes por la Universidad Autónoma de Baja California-UC Davis, realizando el trabajo doctoral en el Dessert Research and Extension Center de la Universidad de California, Davis USA. Es autor y colaborador de artículos científicos en el área de nutrición de rumiantes. Es Profesor en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ de la Universidad Nacional Autónoma de México.

MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVÁN

Egresada de la Licenciatura de Ingeniería de los alimentos de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, obtuvo la Maestría en Ciencias en Nutrición de Rumiantes en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados y el Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud en la especialidad de Nutrición en Rumiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Profesora Titular Asociada de tiempo completo en el Programa en Ganadería del Colegio de Postgraduados.

JOSÉ LUIS ARCOS GARCÍA

Egresado del Centro de Estudios Profesionales-CSAEGRO como Ingeniero Agrónomo Zootecnista, realizó estudios de Maestría en Ciencias Producción Animal en el Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Doctorado en Ciencias en el Programa de de Ganadería del Colegio de Postgraduados. Es autor y colaborador de artículos científicos en el área de nutrición de rumiantes y de especies no convencionales. Profesor Investigador de la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Mixtepec, Juquila, Oaxaca, miembro de Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

SILENE MARIELLA FERRARO SÍBULO

Médico Veterinario egresada del Decanato de Ciencias Veterinarias de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, Barquisimeto, Venezuela. Obtuvo su doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal en el Departamento de Reproducción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha realizado estancias postdoctorales en el Departamento de Farmacobiología del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav y en Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Es autora y coautora de artículos científicos en el área de nutrición-reproducción en animales domésticos. Candidato en el Sistema Nacional de Investigadores.

Directorio de correos electrónicos de autores

Autor	Institución	Correo electrónico
Dr. Germán D. Mendoza M.	Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.	gmendoza@correo.xoc.uam.mx
Dra. María M. Crosby G.	Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo	maria@colpos.mx
Dra. Silene M. Ferraro S.	Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.	sileneferraro@hotmail.com
Dra. María Esther Ortega C.	Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo	meoc@colpos.mx
Dra. Mónica Ramírez M.	Colegio de Postgraduados, Campus Campeche	monicara@colpos.mx
Dr. José L. Arcos G.	Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, Oaxaca	jarcos@zicatela.umar.mx jarcos@colpos.mx
Dr. Luis Corona G.	Universidad Nacional Autónoma de México	gochi@servidor.unam.mx
Dr. Pedro A. Hernández G.	Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Amecameca	pedro_abel@yahoo.com
Dr. Héctor A. Lee R.	Universidad Autónoma de San Luis Potosí	leehec@hotmail.com hec-tor.lee@uaslp.mx
Dr. José A. Martínez G.	Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.	jamgar@correo.xoc.uam.mx
Dr. Luis A. Miranda R.	Universidad Autónoma Chapingo	microbiologia.pecuaria08@gmail.com albertomiranda@correo.chapingo.mx
Dr. Gilberto C. Navarro O.	Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.	gilbertonavarro27@hotmail.com
Dr. Alejandro Plascencia J.	Universidad Autónoma de Baja California	alejandro.plascencia@uabc.edu.mx
Dr. Fernando X. Plata P.	Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.	ppfx2221@correo.xoc.uam.mx

“Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano” se terminó de editar en diciembre de 201 en los talleres gráficos de Guzón diseño-publicidad y editorial, ubicados en Río Mexapa 307, Col. Hda. Tetela, Cuernavaca, Mor, C.P. 62160. Se emplearon los tipos Minion Pro, en tamaños de 10 a 14 puntos.

Diseño y formación, Nathalie Guzón André
e-mail: nathalieguz@hotmail.com