

# **Manejo Agronómico del Cultivo de Trigo en el valle de Mexicali, B. C. México.**

---

Por:

**Carlos R. Orozco Riezgo**



Mexicali, Baja California, octubre del 2012.

## Contenido

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Labores agrícolas a ejecutar previo a la siembra de trigo en el valle de Mexicali .....</b>            | <b>1</b>  |
| <b>2. Tipos de suelos apropiados para la siembra de trigo, y la razón de ello .....</b>                      | <b>3</b>  |
| <b>3. Beneficios de subsolear un predio, previo a la siembra de trigo.....</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>4. Esquema tradicional de fertilización de trigo en el valle de Mexicali.....</b>                         | <b>3</b>  |
| <b>5. Consideraciones que se deben tener en el manejo de trigo, con presencia de sales en el suelo .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>6. Efecto de la salinidad del suelo en el rendimiento del trigo .....</b>                                 | <b>8</b>  |
| 6.1. Efecto de la salinidad en los suelos del valle de Mexicali .....                                        | 8         |
| 6.2. Efecto de las sales en el cultivo del trigo.....                                                        | 10        |
| <b>7. Origen de la panza blanca en trigo .....</b>                                                           | <b>13</b> |
| <b>8. Altos rendimientos de trigo con porcentajes de proteína superiores a 12% .....</b>                     | <b>15</b> |
| 8.1. Fechas de siembra .....                                                                                 | 15        |
| 8.2. Fertilización.....                                                                                      | 15        |
| 8.3. Variedades .....                                                                                        | 17        |
| <b>9. Influencia que tienen las horas frío en el desarrollo del cultivo del trigo.....</b>                   | <b>21</b> |
| 9.1. La temperatura como facto biometeorológico .....                                                        | 21        |
| 9.2. Constante térmica .....                                                                                 | 22        |
| 9.3. Horas Frío.....                                                                                         | 22        |
| 9.4. Relación de las HF y las HC con el crecimiento del trigo .....                                          | 24        |
| 9.5. Daño por frío y calor en la planta de trigo.....                                                        | 29        |
| <b>10. Comportamiento de las horas frío en el valle de Mexicali.....</b>                                     | <b>31</b> |

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| 10.1. Las horas frío en el valle de Mexicali ..... | 32        |
| 10.2. Estaciones climatológicas del SIMARBC .....  | 36        |
| <b>11. Bibliografía citada.....</b>                | <b>39</b> |

## Índice de Cuadros

| CUADRO                                                                                                                                                        | PÁGINA |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Cantidad de nitrógeno y fósforo para trigo en el valle de Mexicali, B. C.....                                                                              | 4      |
| 2. Constantes de humedad de los suelos del Distrito de Riego 014. ....                                                                                        | 8      |
| 3. Tolerancia de varios cultivos a la salinidad.....                                                                                                          | 12     |
| 4. Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable.....                                                                                       | 14     |
| 5. Dosificación del nitrógeno y el fósforo para alto rendimiento y calidad de trigo en el valle de Mexicali, B. C.....                                        | 17     |
| 6. Características agronómicas de las variedades de trigo recomendadas por el INIFAP para los valles de Mexicali y de San Luis, R. C., Sonora .....           | 18     |
| 7. Clasificación del trigo en México .....                                                                                                                    | 19     |
| 8. Umbral térmico por etapa fenológica del trigo .....                                                                                                        | 22     |
| 9. Suma de horas térmicas al inicio de cada etapa fenológica, ciclo 2008-2009 .....                                                                           | 25     |
| 10. Horas térmicas acumuladas por etapa fenológica, ciclo 2008-2009.....                                                                                      | 25     |
| 11. Variación en la duración del ciclo biológico de la planta de trigo hasta la madurez fisiológica del grano, dependiendo de las horas frío acumuladas ..... | 29     |
| 12. Horas-Frío acumuladas por estación climatológica en el ciclo 2011-12 .....                                                                                | 32     |
| 13. Ubicación de las estaciones climatológicas del SIMARBC .....                                                                                              | 37     |

## Índice de Figuras

| FIGURA                                                                                                                                                                      | PÁGINA |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Control de salinidad utilizando siembra en surcos .....                                                                                                                  | 6      |
| 2. Curva de retención de humedad del suelo, para un suelo arcillo-limoso con diferentes grados de salinidad (ECe).....                                                      | 10     |
| 3. Relación entre la disponibilidad de N, el rendimiento y la concentración de proteína en grano .....                                                                      | 14     |
| 4. Fecha de siembra de trigo recomendada para incrementar rendimientos y proteína.....                                                                                      | 15     |
| 5. Rendimiento comercial con base en las HF, en los Distritos de Riego: Valles del Mayo, Yaqui Guaymas, costa de Hermosillo y San Luis R.C., ciclos 2004-05 a 2008-09 ..... | 23     |
| 6. Dinámica de los umbrales térmicos durante las etapas fenológicas del trigo .....                                                                                         | 24     |
| 7. Dinámica de acumulación de horas frío durante seis ciclos agrícolas en el sur de Sonora, en relación con el rendimiento de trigo .....                                   | 31     |
| 8. Horas-Frío acumuladas en el valle de Mexicali, en los ciclos de 2006 a 2012 .....                                                                                        | 32     |
| 9. Gráfica de Horas-Frío acumuladas por estación climatológica ciclo 2011-12.....                                                                                           | 33     |
| 10. Horas-Frío acumuladas en los ciclos 2010-11 y 2011-12, en el valle de Mexicali .....                                                                                    | 34     |
| 11. Horas-Frío mensuales en los ciclos 2010-11 y 2011-12, en el valle de Mexicali .....                                                                                     | 34     |
| 12. Distribución de las HF en el valle de Mexicali, del 1 al 30 de noviembre del 2011 .....                                                                                 | 35     |
| 13. Distribución de las HF en el valle de Mexicali, de nov. 01, 2011 a enero 31, 2012 .....                                                                                 | 35     |
| 14. Distribución de las HF en el valle de Mexicali, de nov. 01, 2011 a febrero 29, 2012.....                                                                                | 36     |
| 15. Ubicación de las estaciones de la red estatal del SIMARBC.....                                                                                                          | 38     |
| 16. Ubicación de las cinco estaciones climatológicas del SIMARBC en valle de Mexicali.....                                                                                  | 38     |
| 17. Estaciones climatológicas del SIMARBC del valle de Maneadero y de Santo Tomas, Ensenada, B. C. ....                                                                     | 39     |

## **1. LABORES AGRÍCOLAS A EJECUTAR PREVIO A LA SIEMBRA DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI**

Las labores a realizar previo a la siembra de trigo son diversas y están en función del tipo de suelo, método de siembra (plano o en surco), cultivo previo, y sistema de siembra utilizado (tradicional, labranza cero, etc.), entre otros.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2010) recomienda las siguientes labores mínimas necesarias en la preparación del terreno, ello con la finalidad de conformar una buena cama de siembra.

### **LABORES AGRÍCOLAS**

**Subsoleo.** Esta labor es necesaria en suelos arcillosos con drenaje deficiente y con problemas de salinidad y en suelos compactados por el paso continuo de la maquinaria; puede realizarse cada dos o tres años, según se requiera. Los cinces deben penetrar 35 a 40 centímetros de profundidad para romper el piso de arado.

**Barbecho.** Debe realizarse a una profundidad de 25 a 30 centímetros, con suficiente humedad residual para favorecer la desintegración de agregados. El barbecho puede omitirse en suelos con labor de subsuelo y alternarse cada dos o tres años en suelos medios.

**Rastreo.** Esta labor permite triturar e incorporar los residuos del cultivo anterior y desmenuzar los terrones que quedan después del barbecho. En suelos medios y ligeros pueden ser suficientes uno o dos pasos de rastra, mientras que en suelos pesados se pueden requerir hasta tres pasos para lograr una buena cama de siembra.

Para el caso de las rastras de discos, uno de los beneficios que aporta es que los esfuerzos que provocan los discos en el suelo van dirigidos hacia abajo, por lo que los terrones se rompen con mayor facilidad.

**Nivelación.** Permite una distribución más eficiente del agua de riego y los fertilizantes, lo que promueve una germinación más uniforme y un mejor desarrollo del cultivo.

### **MÉTODO Y DENSIDAD DE SIEMBRA.**

El método de siembra en plano, para el cultivo del trigo, ha sido el tradicional en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado, Sonora, recomendándose su uso en seco para los suelos de textura pesada (arcillosas) y en húmedo para suelos de textura media y ligera (limos). En ambos casos se recomienda utilizar no más de 180 kg de semilla certificada por hectárea

para lograr calidad del producto (INIFAP, 2010).

En los últimos años se ha estado utilizado el método de siembra en surcos demostrando ser una buena opción, puesto que permite obtener un rendimiento similar al método tradicional, con la variante de que se logra un manejo integral más eficiente del cultivo. La dosis de siembra recomendada en este método es de 60 kg de semilla por hectárea. Si por algún motivo, se excede de las fechas de siembra recomendados, se sugiere adicionar un 10% a las dosis de semilla anteriormente mencionadas.

## **2. TIPOS DE SUELOS APROPIADOS PARA LA SIEMBRA DE TRIGO**

El cultivo del trigo puede adaptarse a todo tipo de suelos, si se cuenta con una buena preparación y manejo del agua de riego, ya que la frecuencia e intensidad de éste varía según la textura de este.

En suelos arenosos la frecuencia de riegos será mayor que en cualquier otro tipo de suelo, ello debido a los bajos valores del porcentaje de saturación del suelo, lo que también representa un cambio en la estrategia de fertilización, por la misma razón.

Para el caso de suelos arcillosos y con un drenaje deficiente, habrá que tener atención en una buena preparación a fin de mantener un suelo lo más aireado posible, la literatura cita que el cultivo del trigo requiere de 10 a 15% de capacidad de aire. Para estos casos se aplican riegos ligeros y se evita el anegamiento del suelo, en el valle de Mexicali esta situación se presenta en los suelos de la zona oeste que corresponde a suelos con estratos arcillosos, de ahí que los agricultores aplican de uno a dos riegos de auxilio más que el resto del valle, siendo siempre riegos ligeros.

Los suelos en los cuales el trigo tiene un mejor desarrollo, son aquellos con buen drenaje y estructura, tal es el caso de los suelos medios. En este tipo de suelos es en donde el trigo tiene más posibilidad de poder expresar su mejor potencial productivo, bajo una buena preparación de suelo y un manejo agronómico adecuado.

### **3. BENEFICIOS DE SUBSOLEAR UN PREDIO, PREVIO A LA SIEMBRA DE TRIGO**

La acción de subsolear el suelo antes de la siembra de trigo en el valle de Mexicali, se lleva a cabo en suelos de textura pesada (arcillas) y/o con problemas de compactación y drenaje natural, de ahí que el propósito de romper las capas compactadas del suelo que restringen el movimiento del agua, del aire y la penetración de raíces.

El principal implemento agrícola con el que se subsolea el suelo, es un “subsuelo” el cual es una pieza metálica, pesada y de gran resistencia, la cual al introducirse en el suelo y ser tirada por un tractor, causa la ruptura de las capas compactadas. La recomendación es hacerlo hasta una profundidad de un metro, a fin de permitir el movimiento del agua a estratos más profundos y permitir el crecimiento radicular.

Cuando un suelo presenta compactación o drenaje interno impedido, el crecimiento de las raíces es restringido, se limita la captura de humedad y se incrementa la escorrentía y la erosión. Rice (1983), señaló que los cultivos con un desarrollo radicular restringido en el horizonte superficial nunca llegan a alcanzar su potencial de producción.

Cuando el suelo está húmedo se requiere de menos energía para el subsoleo, pero el volumen de suelo que es disturbado disminuye. Por lo general, el mayor beneficio se logra cuando el suelo se encuentra húmedo. Según Cassel (1979), el ámbito óptimo de humedad se encuentra en una condición cercana a la capacidad de campo.

Donde no existen problemas de compactación o drenaje, no es necesario subsolar. Si hubiese horizontes compactados, entonces, es importante considerar los beneficios económicos del subsoleo u otra práctica de labranza.

### **4. ESQUEMA TRADICIONAL DE FERTILIZACIÓN DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI**

La fertilización que se requiere aplicar a un cultivo, depende de la tasa de absorción de los nutrientes por cada tonelada del producto que se va a producir (Cuadro 1), una vez que se tiene esta información, se estima una meta en la producción y de esta forma se tendrán los requerimientos totales de los nutrientes para el cultivo. Aunado a esta información, se recomienda hacer un análisis de fertilidad de suelos, ya que se pueden aprovechar los niveles de nutrientes disponibles que contenga el mismo para contemplarlos en los cálculos del fertilizante por aplicar (INIFAP, 2010).

El INIFAP (2010), en base a resultados de años de investigación, ha desarrollado un paquete tecnológico para la producción de trigo del valle de Mexicali el cual considera un esquema claro de fertilización.

Cuadro 1. Cantidad de nitrógeno y fósforo para trigo en el valle de Mexicali, B. C. (INIFAP, 2010).

| Producción Estimada (Ton/ha) | Siembra (kg/ha) |           | Amacolle  | Encañe-Embuche | Floración |
|------------------------------|-----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
|                              | Fósforo         | Nitrógeno | Nitrógeno | Nitrógeno      | Nitrógeno |
| 5                            | 50              | 45        | 55        | 55             | 30        |
| 6                            | 60              | 55        | 65        | 65             | 35        |
| 7                            | 70              | 60        | 75        | 75             | 40        |
| 8                            | 80              | 65        | 85        | 85             | 45        |
| 9                            | 90              | 70        | 95        | 95             | 50        |

El éxito en el manejo de la fertilidad del suelo depende en gran medida de la oportunidad y precisión con que se aplique un programa de diagnóstico del estado nutrimental. En el caso de los cultivos anuales, este diagnóstico se hace midiendo en el suelo su potencial para abastecer de nutrimentos a las plantas.

Un diagnóstico de fertilidad de suelo se hace necesario a fin de poder contar con información química, física y biológica del suelo. Aunque se considera a los tres aspectos en un diagnóstico completo, generalmente se privilegia sólo la fertilidad química.

Con los resultados del análisis de fertilidad de suelo, se podrá realizar un programa de fertilización acorde a cada predio, sin embargo, en el caso de que no se contara con esta información, las investigaciones indican tomar en consideración las siguientes recomendaciones (INIFAP, 2010).

**Nitrógeno.** Considerando que en el suelo existe menos del 1% de materia orgánica y que la eficiencia de las fuentes nitrogenadas recomendadas oscila alrededor del 63%, se requieren en promedio 35 kg de nitrógeno por cada tonelada de grano esperada. La aplicación de este nutrimento es vital para lograr un alto rendimiento y calidad proteica del grano.

- a) **Dosis.** La dosis está en función del rendimiento esperado, de tal manera que si un predio produce 6.0 ton/ha, se requieren 210 kg/ha distribuidos en tres partes iguales de 60 kg/ha en las etapas de siembra o pre-siembra, amacollé o inicio de encañe y embuche o floración, respectivamente, y 30 kg/ha en la etapa de grano acuoso (penúltimo riego de auxilio). Esta última fertilización es para asegurar calidad, particularmente en el porcentaje de proteína.
- b) **Fuentes.** En las etapas iniciales utilice fuentes de alta concentración y de lenta y mediana rapidez de absorción como el Amoníaco y la Urea. A partir de la etapa de encañe es

conveniente mezclar fuentes de lenta asimilación como el amoníaco combinado o UAN 32. En la última aplicación use únicamente fuentes de rápida asimilación.

**Fosforo.** Se recomienda aplicar 10 kg de fósforo por tonelada de grano producida. Utilizar de preferencia fuentes granuladas que son más baratas. Se debe aplicar todo el fósforo en pre-siembra. Las fuentes granuladas recomendadas son Fosfato monoamónico (11-52-0-2) y Fosfato Diamónico (18-46-00).

**Potasio.** La planta para su desarrollo requiere de cantidades muy similares a las de nitrógeno. Una deficiencia de potasio se ve marcada por una clorosis inicial en las hojas, que después se vuelve necrosis, raquitismo y baja producción. Aun cuando la mayoría de los suelos son ricos en potasio, se recomienda realizar un análisis foliar en amacolle (parte basal del tallo) y determinar el contenido de potasio asimilado por la planta. Las deficiencias deberán corregirse con adiciones de cualquiera de estas:

- a) **Fuentes.** Nitrato de Potasio líquido, Multi K, K Power o Tiosulfato de Potasio. La dosis estará en función del grado de deficiencia encontrado y según la etapa vegetativa en que se realizó. Para realizar una recomendación de este elemento es conveniente consultar previamente a su técnico.

## **5. CONSIDERACIONES QUE SE DEBEN TENER EN EL MANEJO DE TRIGO, CON PRESENCIA DE SALES EN EL SUELO**

El trigo está considerado como un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad del suelo, según Grattan and Hanson (1993), ya que su Umbral de Salinidad (US) es de 6.0 dS/m, es decir, a partir de esta concentración el rendimiento del cultivo decrece conforme se incrementa la salinidad del suelo.

El método tradicional de siembra en el valle de Mexicali es en melgas y habría que considerar cambiar a siembra en surcos, con la finalidad de ser más eficientes en el uso del agua de riego y de sembrar el trigo en el lomo del surco a fin de que las sales solubles se concentren en la cresta el mismo (Figura 1).

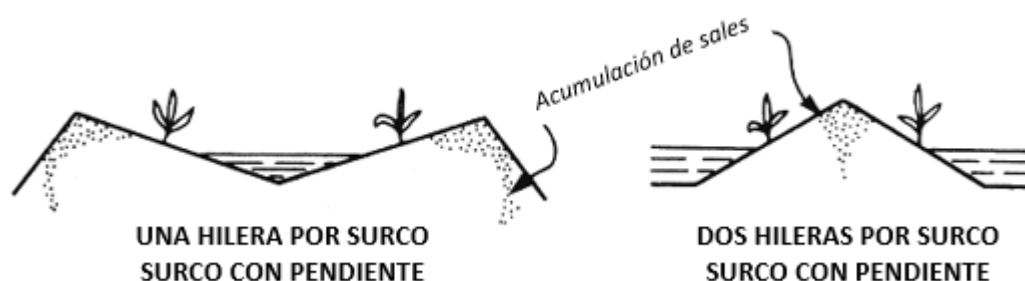


Figura 1. Control de salinidad utilizando siembra en surcos (tomado de Ayers and Westcot, 1994).

Adicionalmente se debe considerar el Requerimiento de Lavado (RL), como complemento a la lámina de riego aplicada. A continuación, se presenta un ejercicio para un caso hipotético en el valle de Mexicali.

### CÁLCULO DE LA LÁMINA DE RIEGO (NETA).

La lámina de riego se calcula a partir de las constantes del suelo y del cultivo a regar, aplicando la siguiente fórmula.

$$Lr = \frac{(CC - PMP) * Da * Prof}{100}$$

Ejemplo:

Suelo medio arcilloso (valores para suelos del valle de Mexicali ver Cuadro 2).

- CC = 27 %
- PMP = 14.5 %
- Da = 1.20 gr/cm<sup>3</sup>
- Prof. = 90 cm

$$Lr = \frac{(27 - 14.5) * 1.2 * 90}{100} = 13.50 \text{ cm (lam. neta)}$$

### REQUERIMIENTO DE LAVADO

Si la conductividad eléctrica es menor de 0.7 dS/m y las pérdidas de agua por percolación profunda son mayores a 15% de los requerimientos hídricos de los cultivos, no es necesario

aplicar láminas de lavado (FAO, 1980, citado por CONAGUA 2002). Para el agua de riego con alto contenido de sales (valores de CE entre 0.7 y 3 dS/m), se requieren láminas de lavado para mantener un contenido bajo de sales en la zona radicular. Bajo estas condiciones, el agua percolada puede ser suficiente para mantener un contenido adecuado de sales en el suelo.

En muchos textos, los términos “Fracción de Lavado” (FL) y “Requerimiento de Lavado” (RL) son usados indistintamente. Ambos se refieren a esa porción del riego que debe pasar a través de la zona radicular para controlar las sales a un nivel específico. Mientras que la FL indica que el valor esta expresado como una fracción, el RL puede ser expresado como fracción o como porcentaje del agua de riego (Ayers and Westcot, 1994).

#### **AJUSTE POR SALINIDAD.**

Dadas las condiciones de salinidad del agua de riego, se debe aplicar una lámina de requerimiento de lavado.

$$RL = \frac{CEr}{(CEd - CEr)} Lr$$

Donde:

- RL = Requerimiento de lavado.
- CEr = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).
- CEd = Conductividad eléctrica deseada en el suelo (tolerancia del trigo) (dS/m).
- Lr = Lámina de riego neta en cm (calculada).

#### **EJEMPLO PARA EL CASO DEL VALLE DE MEXICALI CON EL CULTIVO TRIGO.**

Valores a utilizar:

- CEr = 1.6 dS/m (valor promedio del agua de riego superficial en el valle de Mexicali).
- CEd = 6 dS/m (tolerancia del trigo).
- Lr = 13.50 cm (calculada previamente).

$$RL = \frac{1.6}{(6.0 - 1.6)} 13.50 = 4.91 \text{ cm}$$

Cálculo de la lámina de riego ajustada

$$Lr_{ajus.} = Lr + RL$$

Sustituyendo valores

$$Lr_{ajus.} = 13.50 + 4.91 = 18.41 \text{ cm}$$

Lamina de riego ajustada = 18.41 cm.

Cuadro 2. Constantes de humedad de los suelos del Distrito de Riego 014.

| Textura                                         | C.C.<br>(%) | P.M.P<br>(%) | H.A.<br>(%) | Da<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------------------------|
| <b>Arenosos (ligeros); serie Meloland</b>       | 18          | 10           | 8           | 1.50                        |
| <b>Medio arenosos; serie Gila Fase Ligera</b>   | 21          | 12           | 9           | 1.35                        |
| <b>Medio arcillosos; serie Gila Fase Pesada</b> | 27          | 14.5         | 12.5        | 1.20                        |
| <b>Pesados (arcillosos); serie Imperial</b>     | 37          | 20           | 17          | 1.15                        |

Fuente: SRH, 1966.

## 6. EFECTO DE LA SALINIDAD DEL SUELO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIGO

Para dar respuesta a la interrogante planteada, es necesario revisar primeramente el efecto de la salinidad en los suelos del valle de Mexicali en donde se cultiva el trigo, y posteriormente abordar el efecto de las sales en el cultivo del trigo.

### 6.1. Efecto de la salinidad en los suelos del valle de Mexicali

La presencia de sales en el suelo tiene como consecuencia que éste realice un mayor esfuerzo para tomar el agua a través de sus raíces, para una mejor explicación habrá que decir que cuando el suelo queda a su máxima capacidad de retención de humedad se encuentra a Capacidad de Campo, y el agua queda retenida en el suelo debido a la acción de las siguientes dos fuerzas.

1. Tensión superficial, y
2. Fuerza de adsorción.

A la suma de estas dos fuerzas se le llama tensión de humedad del suelo (THS). Estas fuerzas de tensión se oponen a la fuerza de adsorción de las raíces de las plantas, pero éstas a su vez para absorber el agua del suelo tienen que vencer a otra fuerza, que es;

3. La presión osmótica; según Devlin (1976) citado por Aguilera y Martínez (1996), se puede definir como “la presión necesaria para contrarrestar el paso de agua pura al interior de una solución acuosa a través de una membrana semipermeable, evitando así un incremento en el volumen de la solución”.

Lo mismo sucede con las sales en solución existentes en el suelo, por lo que la raíz para absorber el agua tiene que vencer a la THS y a la presión osmótica (PO) debido a la presencia de sales. Esta es la condición de los cultivos en el valle de Mexicali.

A la suma de las fuerzas de tensión, más la presión osmótica se le llama Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS), el cual define el potencial de humedad, y se expresa de la siguiente manera.

$$EHS = PO + T$$

Donde;

EHS = Esfuerzo de humedad del suelo (atm).

PO = Presión osmótica (atm).

T = Tensión (atm).

El efecto acumulativo de la tensión de humedad del suelo y de la presión osmótica, resulta en una reducción importante de la disponibilidad de agua para los cultivos, a medida que se incrementa la salinidad, esto se puede observar en la Figura 2, elaborada por Ayers and Westcot (1994). Los efectos por salinidad son análogos que aquellos por sequía, y ambos reducen el crecimiento de los cultivos.

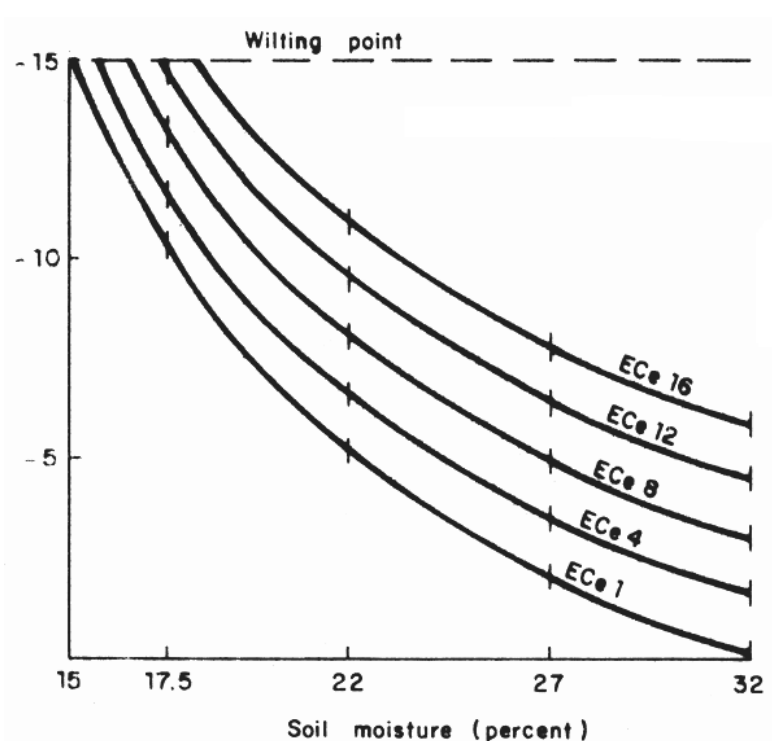


Figura 2. Curva de retención de humedad del suelo, para un suelo arcillo-limoso con diferentes grados de salinidad (EC<sub>e</sub>) (Ayers and Westcot, 1994).

En la gráfica anterior se aprecia que cuando el suelo pierde humedad, el esfuerzo de humedad del suelo se incrementa, y es mayor medida que la concentración de sales aumenta.

## 6.2. Efectos de las sales en el cultivo del Trigo

La salinidad excesiva en la zona radicular reduce la velocidad de crecimiento del cultivo del trigo. La mejor hipótesis en este sentido parece ser la que indica que las plantas necesitan incrementar su uso de energía para tomar el agua presente en el suelo, y hacer los ajustes bioquímicos necesarios para sobrevivir. Esta energía es desviada del proceso responsable del crecimiento de la planta y de su rendimiento, incluyendo el alargamiento celular y la síntesis de compuestos metabólicos y estructurales (Rhoades, 1990).

Típicamente, el crecimiento es suspendido cuando el valor del umbral de la salinidad es excedido. Este valor del umbral depende del cultivo, factores ambientales externos como temperatura, humedad relativa, o velocidad del viento y el potencial para suministrar agua a la zona radicular. El crecimiento de la planta disminuye de una manera más o menos lineal a medida que se incrementa la salinidad del suelo, hasta que la planta muere, (Maas y Hoffman, 1977, citados por Rhoades, 1990).

Tanto los autores citados anteriormente como Grattan and Hanson (1993) indican que la relación entre el rendimiento relativo y la salinidad del suelo es usualmente descrita por la siguiente ecuación:

$$Y_r = 100 - B (CE_e - A)$$

Donde:

$Y_r$  = rendimiento relativo del cultivo (%), cultivado bajo condiciones de salinidad.

$A$  = valor del umbral (dS/m) de la salinidad del suelo a la cual el rendimiento empieza a decrecer, o salinidad máxima en la zona radicular a la cual se tiene el 100% de rendimiento.

$B$  = pendiente de la recta de la regresión lineal (porcentaje de reducción en rendimiento relativo por incremento en la salinidad del suelo (dS/m).

$CE_e$  = promedio de la salinidad del suelo en la zona radicular (dS/m).

La ecuación anterior asume que los cultivos responden primeramente al potencial osmótico de la solución del suelo. Valores de  $A$  y  $B$  para varios tipos de cultivos se presentan en el Cuadro 3.

Se debe hacer énfasis en que estos valores representan la respuesta del cultivo bajo condiciones experimentales, la  $CE_e$  refleja el promedio de la salinidad en la zona radicular que el cultivo encuentra durante la mayoría de la temporada, después de haber sido establecido bajo condiciones de no salinidad.

Los efectos de iones específicos o elementales deben ser considerados separadamente, generalmente tienen una importancia secundaria.

Cuadro 3. Tolerancia de varios cultivos a la salinidad<sup>1</sup>.

| CULTIVO                           | UMBRAL DE<br>SALINIDAD (dS/m)<br>A | PENDIENTE (dS/m)<br>B | <sup>1</sup> CLASIFICACIÓN |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b><u>Fibras y granos</u></b>     |                                    |                       |                            |
| Algodón                           | 7.7                                | 5.2                   | T                          |
| Arroz                             | 3.0                                | 12.0                  | S                          |
| Cacahuete                         | 3.2                                | 29.0                  | MS                         |
| Caña de azúcar                    | 1.7                                | 5.9                   | MS                         |
| Cebada                            | 8.0                                | 5.0                   | T                          |
| Centeno                           | 11.4                               | 10.8                  | T                          |
| Frijol                            | 1.0                                | 19.0                  | S                          |
| Maíz                              | 1.7                                | 12.0                  | MS                         |
| Remolacha                         | 7.0                                | 5.9                   | T                          |
| Sorgo                             | 6.8                                | 16.0                  | MT                         |
| Soya                              | 5.0                                | 20.0                  | MT                         |
| <b>Trigo</b>                      | <b>6.0</b>                         | <b>7.1</b>            | <b>MT</b>                  |
| Trigo (semi-enano)                | 8.6                                | 3.0                   | T                          |
| Trigo, duro                       | 5.9                                | 3.8                   | T                          |
| <b><u>Forrajes</u></b>            |                                    |                       |                            |
| Alfalfa                           | 2.0                                | 7.3                   | MS                         |
| Cebada forrajera                  | 6.0                                | 7.1                   | MT                         |
| Bermuda (zacate)                  | 6.9                                | 6.4                   | T                          |
| Maíz, forraje                     | 1.8                                | 7.4                   | MS                         |
| Rye Grass                         | 5.6                                | 7.6                   | MT                         |
| Sesbania                          | 2.3                                | 7.0                   | MS                         |
| Sudán                             | 2.8                                | 4.3                   | MT                         |
| <b><u>Hortalizas y frutas</u></b> |                                    |                       |                            |
| Ajo                               | 3.0                                | 17.0                  | S                          |
| Apio                              | 1.8                                | 6.2                   | MS                         |
| Betabel, rojo                     | 4.0                                | 9.0                   | MT                         |
| Brocoli                           | 2.8                                | 9.2                   | MS                         |
| Cebolla                           | 1.2                                | 16.0                  | S                          |
| Espárrago                         | 4.1                                | 2.0                   | T                          |
| Lechuga                           | 1.3                                | 13.0                  | MS                         |
| Maíz, dulce                       | 1.7                                | 12.0                  | MS                         |
| Pepino                            | 2.5                                | 13.0                  | MS                         |
| Repollo                           | 1.8                                | 9.7                   | MS                         |

Fuente: Grattan and Hanson (1993).

<sup>1</sup>S = Sensible; MS = Moderadamente Sensible; MT = Moderadamente Tolerante; T = Tolerante.

Un aspecto importante a considerar es el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y la tolerancia de los cultivos, en el Cuadro 4, se presenta una relación de cultivos y su tolerancia.

Cuadro 4. Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable.

| Sensibles<br>PSI < 15 | Semitolerantes<br>15 < PSI < 40 | Tolerantes<br>PSI > 40 |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------|
| Aguacate              | Zanahoria                       | Alfalfa                |
| Frutas caducifolias   | Trébol ladino                   | Cebada                 |
| Nueces                | Pasto miel, gramalote           | Betarraga hornamental  |
| Frijol                | Festuca alta                    | Remolacha azucarera    |
| Algodón (germinación) | Lechuga                         | Gramma de Bermuda      |
| Maíz                  | Mijo                            | Algodón                |
| Guisante, arveja      | Caña de azúcar                  | Capín, hierba de Pará  |
| Pomelo                | Berseem, Trébol de Alejandría   | Gramma Rhodes          |
| Naranja               | Meliloto, Trébol dulce          | Agropiro crestado      |
| Durazno               | Mostaza                         | Agropiro alargado      |
| Mandarina             | Avena                           | Gramma karnal          |
| Frijol chino          | Rábano                          |                        |
| Lentejas              | Arroz                           |                        |
| Cacahuete             | Centeno                         |                        |
| Garbanzo              | Gramma de centeno               |                        |
| Caupíes               | Sorgo                           |                        |
|                       | Espinaca                        |                        |
|                       | Tomate                          |                        |
|                       | Veza                            |                        |
|                       | Trigo                           |                        |

Fuente: FAO-UNESCO, (1960) y Abrol, (1982), citados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

En el cuadro anterior los cultivos están colocados en orden descendente en cuanto a tolerancia de sodio. Las tolerancias son relativas debido a que los factores de nutrición y condiciones adversas del suelo, por lo general, paralizan el crecimiento antes de alcanzar estos niveles de PSI. Los suelos con PSI con valor por encima de 30, no tienen una estructura adecuada para producir buenas cosechas. En las mayorías de los casos se establecieron las tolerancias previa estabilización de la estructura del suelo.

## 7. ORIGEN DE LA PANZA BLANCA EN TRIGO

El carácter panza blanca es un desorden fisiológico que afecta al grano de trigo, y ocurre cuando el cultivo en la etapa de llenado de grano no cuenta con el nitrógeno suficiente, y se identifica por cambios en la coloración del grano y en su composición proteínica.

Las características de la panza blanca son granos con color ligeramente amarillo, opacos y suaves; es decir, algunas fracciones del grano son amarillas y harinosas mientras que otras son

fuertes, vítreas y traslúcidas. Este desorden se presenta con la estructura y contenido de las células del endospermo, especialmente con el tamaño de los granos de almidón y con la fracción proteínica, ante el déficit de nitrógeno se presenta una disputa fisiológica entre el gluten y el almidón durante el crecimiento del grano.

Diversos autores, Selles & Zentner (1998), citados por Reussi, *et al.* (2006), mencionan que la relación entre el rendimiento y el contenido de proteína en grano depende de la disponibilidad de nitrógeno (Figura 3).

En situaciones de baja disponibilidad de N, el rendimiento del cultivo aumenta por el agregado de este nutriente, mientras que los niveles de proteína en grano no se modifican o disminuyen (Quattrocchio *et al.*, 2004, citados por Reussi, *et al.* 20069); en situación de disponibilidad media, el agregado de N incrementa simultáneamente los rendimientos y la proteína; y frente a alta disponibilidad de N la fertilización con este nutriente provoca solamente un efecto sobre la concentración de proteína en grano.

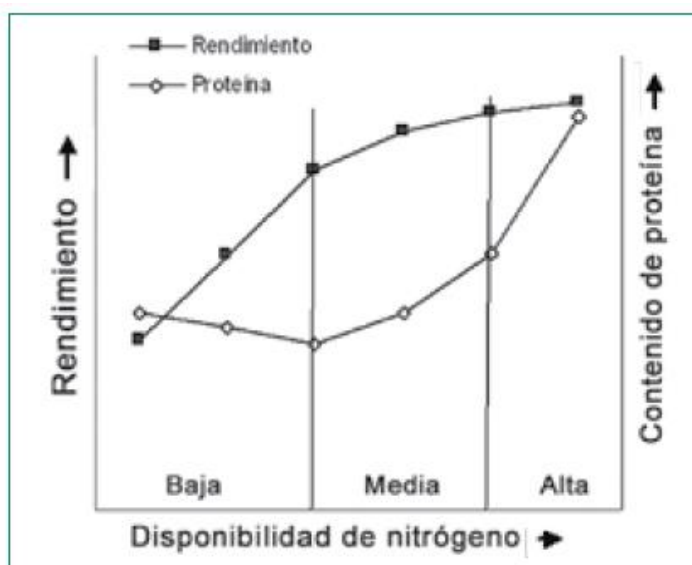


Figura 3. Relación entre la disponibilidad de N, el rendimiento y la concentración de proteína en grano.

Se ha reportado, además, que la aplicación foliar de N en los estadios avanzados del cultivo aumenta el contenido de proteína del grano (Echeverría & Studdert, 1998; citados por Reussi, *et al.* 2006), el de gluten y reduce el porcentaje de panza blanca, lo cual es relevante cuando se buscan granos de trigos de calidad para la panificación.

## 8. ALTOS RENDIMIENTOS DE TRIGO CON PORCENTAJES DE PROTEÍNA SUPERIORES AL 12%

El potencial para la producción de proteína, así como su color, son características genéticas de cada variedad de trigo, sin embargo, si éste no se cultiva en condiciones óptimas ni con un manejo agronómico adecuado, el cultivo no lograr expresar su potencial.

El INIFAP (2010) generó un paquete tecnológico para asegurar que se cultive el trigo con un manejo que le permita expresar su rendimiento proteico potencial. Fundamentalmente hay dos aspectos principales que se deben cuidar:

1. Fecha de siembra.
2. Fertilización nitrogenada adecuada en tiempo y forma.
3. Variedad de trigo a sembrar.

### 8.1. Fechas de siembra

El periodo recomendado para siembra del trigo en el valle de Mexicali por parte del INIFAP (2010) comprende del día 15 de noviembre al 31 de diciembre para siembras en plano, y del 15 de noviembre al 20 de diciembre para siembras en surco. Sin embargo, el periodo recomendado para siembra a fin de incrementar el contenido de proteína y reducir la incidencia de panza blanca en el grano, se establece durante el mes de diciembre, evitando la siembra después del 20 de diciembre y densidades bajas (100-120 kg de semilla/ha) para evitar pérdidas en rendimiento (Figura 4).

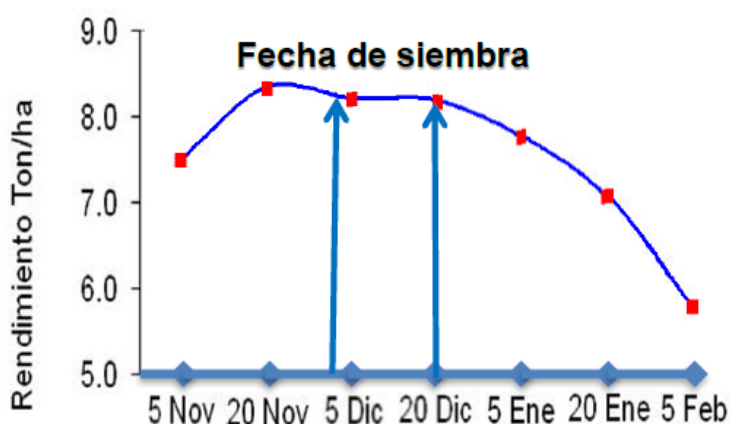


Figura 4. Fecha de siembra de trigo recomendada para incrementar rendimientos y proteína (INIFAP, 2010).

### 8.2. Fertilización

El programa de fertilización recomendado es el siguiente.

**A. Nitrógeno.**

Considerando que en el suelo existe menos del 1% de materia orgánica y que la eficiencia de las fuentes nitrogenadas recomendadas oscila alrededor del 63%, se requieren en promedio 35 kg de nitrógeno por cada tonelada de grano esperada. La aplicación de este nutrimento es vital para lograr un alto rendimiento y calidad proteica del grano.

**Dosis.**

La dosis está en función del rendimiento esperado, de tal manera que si un predio produce 6.0 ton/ha, se requieren 210 kg/ha distribuidos en tres partes iguales de 60 kg/ha en las etapas de siembra o pre-siembra, amacollé o inicio de encañe y embuche o floración, respectivamente, y 30 kg/ha en la etapa de grano acuoso (penúltimo riego de auxilio). Esta última fertilización es para asegurar calidad, particularmente en el porcentaje de proteína.

**Fuentes.**

En las etapas iniciales utilice fuentes de alta concentración y de lenta y mediana rapidez de absorción como el Amoníaco y la Urea. A partir de la etapa de encañe es conveniente mezclar fuentes de lenta asimilación como el amoníaco combinado o UAN 32. En la última aplicación use únicamente fuentes de rápida asimilación.

**B. Fósforo.**

Se recomienda aplicar 10 kg de fósforo por tonelada de grano producida. Utilizar de preferencia fuentes granuladas que son más baratas. Se debe aplicar todo el fósforo en pre-siembra. Las fuentes granuladas recomendadas son Fosfato monoamónico (11-52-0-2) y Fosfato Diamónico (18-46-00).

**C. Potasio.**

La planta para su desarrollo requiere de cantidades muy similares a las de nitrógeno. Una deficiencia de potasio se ve marcada por una clorosis inicial en las hojas, que después se vuelve necrosis, raquitismo y baja producción. Aun cuando la mayoría de los suelos son ricos en potasio, se recomienda realizar un análisis foliar en amacolle (parte basal del tallo) y determinar el contenido de potasio asimilado por la planta. Las deficiencias deberán corregirse con adiciones de cualquiera de las fuentes que se mencionan a continuación.

**Fuentes.**

Nitrato de Potasio líquido, Multi K, K Power o Tiosulfato de Potasio. La dosis estará en función del grado de deficiencia encontrado y según la etapa vegetativa en que se realizó. Para realizar una recomendación de este elemento es conveniente consultar previamente a su técnico.

En el Cuadro 5 se establece la dosis y las etapas de fertilización para el cultivo de trigo en función del potencial de rendimiento esperado, recomendadas para el valle de Mexicali por el INIFAP (2010). El éxito de la fertilización dependerá del caso particular de cada lote o parcela.

Cuadro 5. Dosificación del nitrógeno y el fósforo para alto rendimiento y calidad de trigo en el valle de Mexicali, B. C.

| Producción<br>Estimada<br>Ton/ha | Siembra |                        | Amacolle<br><sup>2</sup> Nitrógeno | Encañe-Embuche<br>Nitrógeno | Floración<br>Nitrógeno |
|----------------------------------|---------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                                  | Fósforo | <sup>1</sup> Nitrógeno |                                    |                             |                        |
| 5                                | 50      | 45                     | 55                                 | 55                          | 30                     |
| 6                                | 60      | 55                     | 65                                 | 65                          | 35                     |
| 7                                | 70      | 60                     | 75                                 | 75                          | 40                     |
| 8                                | 80      | 65                     | 85                                 | 85                          | 45                     |
| 9                                | 90      | 70                     | 95                                 | 95                          | 50                     |

**8.3. VARIEDADES**

La selección de variedades es uno de los factores críticos en la producción de trigo, ya que la selección inadecuada del genotipo puede llegar a tener graves consecuencias en los rendimientos. Las variedades a sembrar deben considerar los siguientes factores: potencial de rendimiento, rango de adaptabilidad, región agrícola, productividad del manejo, potencial genético, ciclo vegetativo, resistencia a enfermedades, entre otros más.

El INIFAP (2010) y empresas privadas han generado variedades de trigo para atender la demanda de los productores locales y del consumidor final, de toda suerte que se cuenta con un paquete de variedades que se adaptan a las condiciones de la zona. En el Cuadro 6 se presentan las principales variedades recomendadas por el propio INIFAP (2010).

Cuadro 6. Características agronómicas de las variedades de trigo recomendadas por el INIFAP para los valles de Mexicali y de San Luis, R. C., Sonora (INIFAP, 2010).

| Variedad           | Días de Espigamiento | Madurez Fisiológica | Altura de Planta (cm) | Color de grano |
|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------|
| <b>GRUPO I</b>     |                      |                     |                       |                |
| Roelfs F2007       | 96-109               | 127-146             | 95-110                | Blanco         |
| Palmerín F2004     | 102-114              | 136-153             | 85-100*               | Blanco         |
| Kronstad F2004     | 95-104               | 128-147             | 90-105                | Rojo           |
| Cachanilla F2000   | 94-105               | 129-146             | 85-100                | Blanco         |
| Yécora F70         | 92-103               | 125-141             | 60-80                 | Blanco         |
| Rayón F89          | 97-108               | 129-146             | 90-105*               | Rojo           |
| Oasis F86          | 95-105               | 130-145             | 65-85                 | Blanco         |
| <b>GRUPO II</b>    |                      |                     |                       |                |
| Baviácora M92      | 93-109               | 130-146             | 95-115*               | Rojo           |
| <b>GRUPO III</b>   |                      |                     |                       |                |
| Cucurpe S86        | 91-102               | 125-140             | 80-95                 | Ámbar          |
| <b>GRUPO V</b>     |                      |                     |                       |                |
| CEMEXI C2008       | 96-112               | 132-146             | 90-105*               | Ámbar          |
| Batáquez C2004     | 96-110               | 131-144             | 90-105*               | Ámbar          |
| Río Colorado C2000 | 99-115               | 132-145             | 90-105*               | Ámbar          |
| Atil C2000         | 98-109               | 133-147             | 85-105*               | Ámbar          |
| Rafi C97           | 98-109               | 133-148             | 85-100*               | Ámbar          |
| Nácori C97         | 98-110               | 134-149             | 85-105                | Ámbar          |
| Aconchi C89        | 95-106               | 132-145             | 80-100*               | Ámbar          |
| Altar C84          | 94-105               | 128-143             | 85-100*               | Ámbar          |

La letra después del nombre de la variedad indica su uso industrial potencial.

\*Variedades vigorosas con alto potencial de amacollamiento.

De acuerdo a las características del trigo éste se clasifica en cinco grupos, según lo presentado en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación del trigo en México.

| Grupo            | Tipo Gluten                               | Textura de Grano/Endospermo                                                                                 | Usos                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Grupo I</b>   | Fuerte (muy elástico) y extensible.       | Duro a semiduro.                                                                                            | Lo utiliza la <b>industria mecanizada</b> de la panificación, produciendo principalmente harina para pan de caja. Se le utiliza como mejorador de trigos débiles.                                         |
| <b>Grupo II</b>  | Medio fuerte (elástico) y extensible.     | Duro a semiduro.                                                                                            | Es para la industria del <b>pan hecho a mano o semi-mecanizado</b> ; se le utiliza como mejorador de trigos débiles o trigos con gluten muy fuerte.                                                       |
| <b>Grupo III</b> | Débil (ligeramente elástico) y extensible | Suave (blando). No producen harinas panificables por sí solos; requieren mezclarse con trigos Grupo I y II. | Se utilizan para la <b>industria galletera</b> y elaboración de <b>tortillas, buñuelos</b> y otros; aunque puede utilizarse en la panificación artesanal. Como corrector de trigos con gluten muy fuerte. |
| <b>Grupo IV</b>  | Medio y tenaz (no extensible)             | Duro a semiduro.                                                                                            | No es panificable por su alta tenacidad. Se mezcla con trigos fuertes. Es utilizado para la <b>industria de la repostería</b> (pastelera y galletera).                                                    |
| <b>Grupo V</b>   | Fuerte, tenaz y corto (no extensible).    | Es un grano muy duro y cristalino. Endospermo con alto contenido de pigmento amarillo (carotenoides)        | No es panificable. Se usa para la industria de <b>pastas alimenticias</b> (espagueti, macarrones, sopas secas, etc.).                                                                                     |

A continuación, se hace referencia a las principales características de las variedades más sembradas en el valle de Mexicali B. C. y San Luis Río Colorado, Sonora, (INIFAP, 2010).

**CEMEXI C2008.** Es una variedad de trigo duro de ciclo intermedio, periodo de espigamiento y madurez fisiológica a los 87 y 128 días después de la siembra, respectivamente. Es de habito de primavera, insensible al fotoperiodo, con una altura promedio de 95 cm. Tallos semi-erectos, con serosidad fuerte en el cuello y muy baja frecuencia de hojas banderas curvadas; la vaina y el envés de la hoja bandera presentan serosidad fuerte y media, respectivamente; al madurar, los tallos son blancos, medio macizos en corte transversal y con resistencia al acame.

Presenta una espiga de longitud media. El grano es de color ámbar y brocha corta. Presenta un potencial de rendimiento superior a las 9.0 toneladas por hectárea. El contenido de proteína promedia 12.6%, micro sedimentación de 9.8 ml y valores de 27.6 en el color de la harina (Minolta b). Esta variedad presenta características competitivas en rendimiento y calidad a las variedades de trigo más sembradas en el Valle de Mexicali.

**Río Colorado C2000.** Es una variedad con periodo de espigamiento entre los 103 y 120 días y la madurez fisiológica entre los 136 y 171 días. Es una planta de habito de primavera, insensible al fotoperiodo, con una altura promedio de 95 cm. Tallos erectos, con serosidad media en el

cuello y muy baja frecuencia de hojas banderas curvadas; la vaina y el envés de hoja bandera presentan serosidad media; al madurar, los tallos son blancos, medio macizos en corte transversal y con resistencia al acame.

Presenta una espiga de longitud y densidad media. El grano es de forma alargada, con brocha corta y color ámbar. Presenta un potencial de rendimiento superior a las 9 toneladas por hectárea. El contenido de proteína promedia 12.9%, micro sedimentación de 12.0 ml y valores de 19.6 en el color de la harina (Minolta b). De las más de 75,000 hectáreas de trigo duro sembradas en el Valle de Mexicali, esta variedad representó el 37% de la superficie sembrada (27,851 has.).

**Batáquez C2004.** Es una planta de habito de primavera, insensible al fotoperiodo, con periodo de espigamiento y madurez fisiológica promedio de 90 y 129 días después de la siembra, respectivamente, una altura de planta de 95 cm. Tallos semi-erectos, con serosidad fuerte en el cuello y muy baja frecuencia de hojas bandera curvadas; la vaina y el envés de hoja bandera presentan serosidad fuerte y débil, respectivamente; al madurar los tallos son blancos, medio macizos en corte transversal y con resistencia al acame.

Presenta una espiga de longitud y densidad media, de forma piramidal y serosidad media. El grano es de color ámbar, forma elíptica y brocha corta. Presenta un potencial de rendimiento superior a las 9 toneladas por hectárea. El contenido de proteína promedia 13.3%, micro sedimentación de 7.9 ml y valores de 23.3 en el color de la harina (Minolta b).

**Rafi C97.** Es una planta de hábito de primavera, con periodo de espigamiento y madurez fisiológica promedio de 87 y 128 días después de la siembra, respectivamente. La planta alcanza una altura de 90 cm. Tallos son erectos, baja frecuencia o nula de hojas bandera curvadas. Al madurar los tallos son de color blanco, con médula mediana en sección transversal entre la base de la espiga y el nudo de la hoja bandera. La espiga es de longitud y densidad medianas. El color del grano es blanco y semi-elíptico.

Presenta un alto contenido de pigmentos carotenoides (24.4, Minolta b), 13.2 % de proteína y 8.8 ml de micro sedimentación. Su potencial de rendimiento supera las 8 toneladas por hectárea. Esta variedad además de sus excelentes características de calidad y rendimiento juega un papel importante para los productores del Valle de Mexicali, pues representa 37% de la superficie de trigos duros sembrados.

**Aconchi C89.** Es una planta de hábito de primavera, con periodo de espigamiento y madurez fisiológica entre los 70 y 89 días y 102 y 129 días después de la siembra, respectivamente, una altura de planta de 85 a 90 cm. Los tallos al madurar son amarillos vigorosos y con el centro hueco. Presenta una espiga de oblonga y densa. Al madurar, las barbas son de color amarillo

en la base y negro en el ápice, y alcanzan una longitud de 62 a 73 mm. Es resistente al desgrane y cuando madura mantiene una posición inclinada. El grano es largo y color ámbar, de textura dura, oval y con ausencia de brocha y la epidermis lisa.

Presenta un potencial de rendimiento superior a las 8.5 toneladas por hectárea. El contenido de proteína promedia 13.1%, micro sedimentación de 10.0 ml y 17.5 en el color de la harina (Minolta b). Esta variedad de trigo cristalino es la tercera en superficie sembrada en el valle de Mexicali.

## 9. INFLUENCIA DE LAS HORAS FRÍO EN EL DESARROLLO DEL TRIGO

La temperatura es un factor biometeorológico importante en el desarrollo de los cultivos. El trigo debe encontrarse en un ambiente con ciertos límites de temperatura en su desarrollo para poder satisfacer sus procesos vitales fisiológicos, cuando esto no sucede en todas y cada una de las etapas de cultivo, éste no expresa su rendimiento potencial.

### 9.1. Las temperaturas como factor biometeorológico

En biometeorología se consideran distintos tipos de temperatura, dentro de las cuales se encuentra la **temperatura vital** y se refiere a aquella que toma valores en un rango en el cual el organismo vegetal desarrolla su ciclo de vida sin daños (por efecto de muy bajas o muy altas temperaturas).

El crecimiento y desarrollo de los vegetales ocurre dentro de ciertos umbrales. Según los valores de las temperaturas se consideran como vitales y letales.

- **Temperatura vital mínima;** umbral inferior por debajo del cual se detiene el crecimiento o desarrollo y por encima del cual estos procesos son incrementados o incentivados.
- **Temperatura óptima;** a la cual el proceso alcanza su mejor expresión y velocidad.
- **Temperatura máxima vital;** umbral superior por encima del cual la planta suspende sus procesos fisiológicos.
- **Temperatura mínima letal;** temperatura por debajo de la mínima vital, a partir de la cual, y para valores inferiores el vegetal no solo detiene sus procesos, sino que manifiesta daños permanentes y es probable la muerte de sus tejidos.
- **Temperatura máxima letal;** ídem a la anterior, pero superior a la máxima vital.

## 9.2. CONSTANTE TÉRMICA

Habría que comentar sobre el concepto de constante térmica, y se refiere a la suma de la temperatura media desde que se produce la germinación de una planta hasta el momento de la madurez, la suma total es siempre la misma, cualquiera haya sido la ubicación del cultivo y el año considerado.

La literatura cita (Réamur) que la cebada requiere desde la germinación hasta la madurez una suma de 1,700°C, el trigo 2,000 y el maíz 2,500 (sin considerar temperaturas bajo cero). Esta constante también aplica para cada una de las etapas fenológicas de los cultivos.

## 9.3. Horas-Frío

Es la suma de horas en que la temperatura es igual o menor a 10oC. Sólo se acumulan horas frío cuando la temperatura es menor a la temperatura base del cultivo o llamada también *temperatura mínima vital*, la cual es diferente para cada especie vegetal y para cada una de sus fases de desarrollo. Puede variar en una especie dependiendo de su área de adaptación y hábito de crecimiento (INIFAP, 2009).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Centro de Investigación Regional del Noroestes, Campo Experimental Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora (2009), como producto de varios años de investigación generó los límites térmicos para las variedades de trigo sembradas en la zona, mismos que se utilizan como referencia para el valle de Mexicali y que se presentan en el Cuadro 8.

Las tolerancias térmicas se determinaron en base a la temperatura mínima y máxima de ciclos de crecimiento frío y cálido, del histórico de la temperatura y el rendimiento en las diferentes zonas de producción de trigo en el estado de Sonora.

Cuadro 8. Umbral térmico por etapa fenológica del trigo (INIFAP, 2009).

| Temperatura del Aire (°C) | Plántula | Amacollo | Encañe | Floración | Llenado de grano |
|---------------------------|----------|----------|--------|-----------|------------------|
| Mínima letal              | -4       | -5       | -1     | 0         | 0                |
| Mínima vital              | 0        | 3        | 5      | 8         | 10               |
| Rango óptimo              | 6 a 20   | 4 a 18   | 8 a 22 | 10 a 24   | 12 a 26          |
| Máxima vital              | 24       | 22       | 26     | 28        | 29               |
| Máxima letal              | 32       | 31       | 31     | 31        | 32               |

Como resultado de los trabajos ya comentados, en la Figura 5 se observa un alto grado de correlación entre el rendimiento y las horas frío (HF), lo cual permite predecir el rendimiento con una confianza del 89%. La relación muestra como base, un acumulado de 340 HF para

obtener un rendimiento de 4.63 ton/ha, y por cada incremento de 100 HF de este nivel, el rendimiento se incrementa en 330 kilogramos (INIFAP, 2009).

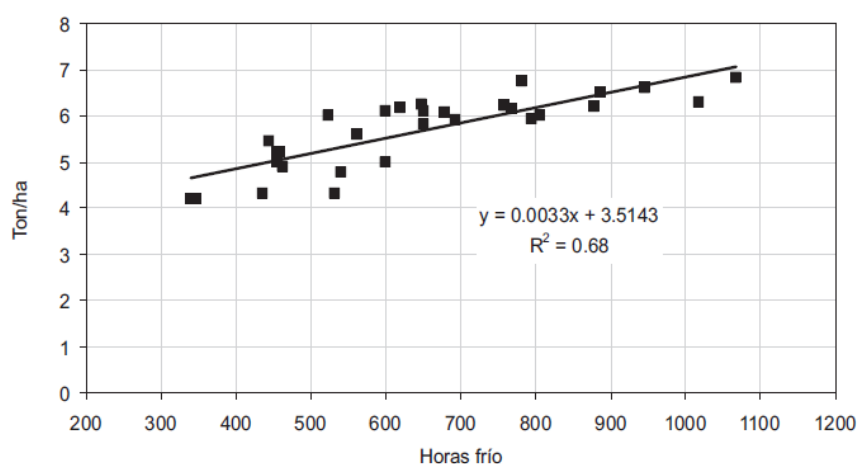


Figura 5. Rendimiento comercial con base en las HF, en los Distritos de Riego: Valles del Mayo, Yaqui y Guaymas, costa de Hermosillo y San Luis R.C., ciclos 2004-05 a 2008-09.

Para su desarrollo óptimo, la planta de trigo requiere desde la germinación de la semilla hasta la madurez de un “estado de confort climático”. En términos de potencial de rendimiento, las condiciones óptimas de temperatura del aire son las nocturnas que propician un estado de reposo o descanso del cultivo, y las temperaturas diurnas que estimulan su crecimiento.

La información presentada en el Cuadro 8, se adaptó con un modelo matemático de simulación para generar la dinámica de los umbrales térmicos durante las etapas fenológicas del trigo, los cuales se expresan en la Figura 6 (INIFAP, 2009).

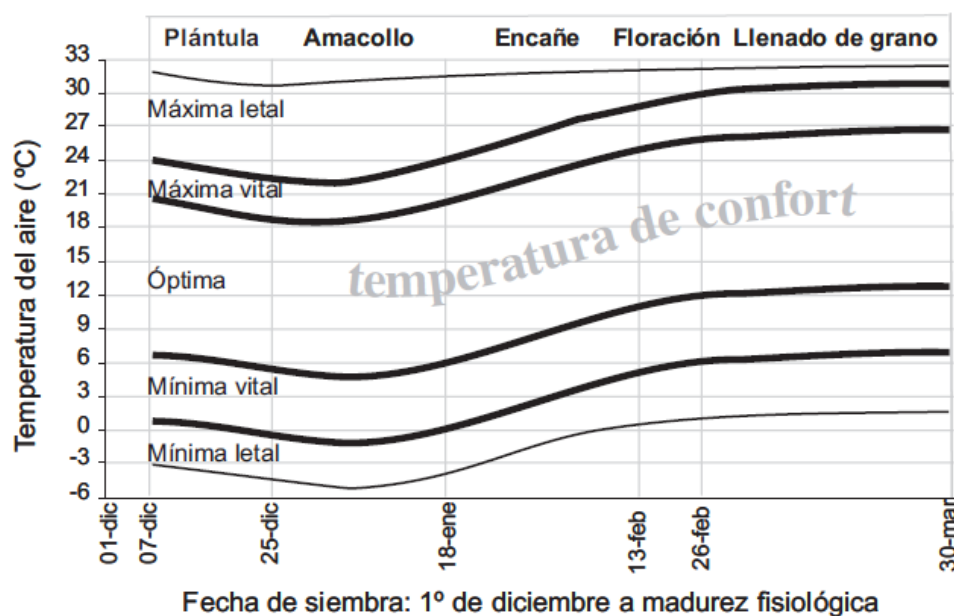


Figura 6. Dinámica de los umbrales térmicos durante las etapas fenológicas del trigo.

El efecto negativo sobre el rendimiento final del cultivo es consecuencia de la oscilación máxima de la temperatura, que afecta principalmente las etapas vegetativas y reproductivas, cuando los tejidos de la planta están tiernos o están en crecimiento rápido, por ejemplo, en la corona de la raíz, durante la diferenciación de la espiga, durante la elongación del tallo y las hojas, y durante la floración y el desarrollo del grano; éstas son también etapas críticas a la falta de agua y sensibles a las carencias nutricionales y a la toxicidad de algún elemento químico del suelo (INIFAP, 2009).

#### 9.4. Relación de las HF y las HC con el crecimiento del trigo

Desde el punto de vista climático, todas las etapas fenológicas del trigo son sensibles a la oscilación de la temperatura del aire. Su efecto extremo es irreversible cuando daña los tejidos; cuando su efecto es moderado, entre los límites tolerantes, se manifiesta controlando los períodos fenológicos de la planta y como consecuencia generando resultados variables en la producción (INIFAP, 2009).

Es importante distinguir la relación que guarda el desarrollo de la planta con las horas calor (HC) y con las horas frío (HF).

Las **horas calor** definen las etapas de crecimiento como una constante térmica (Pascale y Damario, 2004, citados por INIFAP, 2009), es decir, al cumplirse un número determinado de horas calor, la planta cambia de etapa fenológica, independientemente de la fecha de siembra

y de la localidad. Cuando el año es cálido, rápidamente se completan las horas calor necesario de cada etapa fenológica, acortando así la duración del ciclo biológico del trigo.

Las **horas frío**, por el contrario, alargan los períodos fenológicos, proporcionando condiciones que reducen la velocidad con que se llevan a cabo los procesos fisiológicos y consecuentemente retardan el crecimiento. La experiencia indica que en años fríos se alarga el ciclo biológico del trigo, y por lo general se genera un mayor rendimiento de grano.

La información que se ha obtenido durante seis años (2003-04 a 2008-09), en los ensayos de rendimiento en fechas de siembra que se establecen en el Campo Experimental Valle del Yaqui, y los datos del monitoreo de parcelas comerciales de trigo en diferentes distritos de producción en Sonora, han sido base para determinar las horas térmicas relacionados con el crecimiento y el rendimiento potencial de trigo, que se presenta en los Cuadros 9 y 10 (INIFAP, 2009).

Cuadro 9. Suma de horas térmicas al inicio de cada etapa fenológica, ciclo 2008-2009 (INIFAP, 2009).

| Fecha de Siembra | Yemas corona raíz |     | Primer nudo |     | Hoja bandera |     | Madurez fisiológica |     |
|------------------|-------------------|-----|-------------|-----|--------------|-----|---------------------|-----|
|                  | HC                | HF  | HC          | HF  | HC           | HF  | HC                  | HF  |
| 17-11-08         | 219               | 7   | 352         | 34  | 515          | 202 | 919                 | 415 |
| 01-12-08         | 152               | 19  | 384         | 135 | 506          | 302 | 845                 | 439 |
| 15-12-08         | 106               | 44  | 302         | 191 | 488          | 384 | 807                 | 475 |
| 02-01-09         | 130               | 117 | 279         | 244 | 482          | 322 | 793                 | 417 |

HC = Horas Calor; HF = Horas Frío.

Cuadro 10. Horas térmicas acumuladas por etapa fenológica, ciclo 2008-2009 (INIFAP, 2009).

| Fecha de Siembra | Plántula |     | Amacollo |     | Encañe |     | Llenado de Grano |     |
|------------------|----------|-----|----------|-----|--------|-----|------------------|-----|
|                  | HC       | HF  | HC       | HF  | HC     | HF  | HC               | HF  |
| 17-11-08         | 209      | 7   | 144      | 27  | 163    | 168 | 403              | 213 |
| 01-12-08         | 142      | 19  | 142      | 116 | 223    | 167 | 339              | 137 |
| 15-12-08         | 100      | 44  | 202      | 147 | 186    | 193 | 319              | 91  |
| 02-01-09         | 120      | 117 | 159      | 127 | 204    | 78  | 311              | 95  |

HC = Horas Calor; HF = Horas Frío.

**Plántula;** Esta etapa inicial del desarrollo es quizás el evento más significativo que asegura altos rendimientos en el trigo, y se logra después de obtener una adecuada cobertura del suelo con un número de plantas y/o macollos completamente desarrollados. También es la etapa del desarrollo menos vulnerable a la temperatura del aire, dado que soporta temperaturas desde los -5 a 32°C, según las experiencias recabadas en el histórico de las temperaturas mínimas y máximas, expresadas durante esta etapa inicial del cultivo.

**Macollos formados;** Dependiendo de la fecha de siembra y las condiciones climáticas, la etapa de amacollamiento puede alargarse con mayor frío formando más cuerpo (mayor índice de área foliar), dando oportunidad a la formación completa de mayor número de macollos; en cambio, esta etapa puede acortarse por efectos del calor, produciendo macollos incompletos con menor cuerpo vegetal (menor índice de área foliar). Los requerimientos de frío en esta etapa son importantes para completar su óptimo crecimiento, en particular, aquellos macollos que contribuyen al rendimiento potencial.

La tasa de crecimiento del amacollamiento muestra una cobertura vegetal del 30% cuando se han acumulado 150 horas frío, en un ciclo frío (2007-08), mientras que para la misma fecha de siembra en un ciclo cálido (2008-09), la cobertura vegetal fue de 17% con sólo 30 horas frío y un acumulado similar de 140 horas calor en ambos ciclos de siembra.



El período de amacollamiento puede durar en condiciones de estrés por calor de 15 a 20 días con una escasa acumulación de 30 horas frío, mientras que el período puede alargarse de 30 a 35 días con un acumulado de 150 horas frío o más.

Si la etapa de amacollamiento se acelera, como lo ocurrido en el ciclo agrícola 2008-09 para siembras tempranas, los macollos no completan su desarrollo y aunque exista frío suficiente en etapas posteriores, el daño ocasionado por el estrés de calor es irreversible, lo cual puede manifestarse en una reducción del rendimiento unitario.

**Primer nudo;** En esta fase de crecimiento, las nuevas hojas adquieren una posición más erecta y cesa el desarrollo de macollos.

Luego de acumular una cierta cantidad de horas calor (Cuadro 9), se diferencia la espiguilla (ubicada por debajo del nivel del suelo) a los 36 y 42 días después de la siembra. Esto implica que ya se han formado todas las hojas y la espiguilla todavía está terminándose de formar



En esta etapa se determina el tamaño de la espiga y el número de espiguillas en cada espiga, por lo que es importante escoger la fecha de siembra adecuada para que la planta esté expuesta a un período amplio de horas frío, y consecuentemente desarrolle el máximo potencial de espigas que pueda expresar bajo estas condiciones.

Después de aparecida la **yema terminal** (espiguilla), el desarrollo de nuevos macollos ya no tiene efecto positivo en el rendimiento, más bien actúan compitiendo como una maleza. Travis (1992), citado por INIFAP (2009) señala que las aplicaciones de nitrógeno en esta etapa pueden



Yema terminal

afectar al número y tamaño de granos por espiga cosechados, pero no influye en la formación de un mayor número de espigas cosechadas, ni tampoco modifica el número potencial de granos por espiga.

Durante el proceso de diferenciación de las espiguillas, el manejo del riego puede ser crítico. Un estrés intenso durante esta etapa puede reducir el número potencial de granos por espiga, y el daño puede acentuarse con la presencia de temperaturas que sobrepasen el nivel vital máximo (Figura 6), cuando la incidencia de este nivel de temperatura se presente por más de tres horas continuas y se repita por más de tres días consecutivos. Este daño se percibe hasta que emerge la espiga de la hoja bandera y se ven porciones vanas en la punta de la espiga.

**Encañe;** Esta etapa se caracteriza por la aparición del segundo nudo sobre la superficie del suelo, fácilmente detectable con los dedos de la mano. El tallo se alarga a una velocidad de 1.8 cm/día al igual que la espiguilla su estructura se desarrolla rápidamente. El período puede durar 23 días con un acumulado cercano a 80 horas frío, o alargarse por más de 30 días cuando las condiciones de frío superan las 170 horas, según se describe en el Cuadro 10.

**Hoja bandera:** Esta etapa comienza cuando la última hoja empieza a emerger y a desplegarse. Esta hoja es de gran importancia ya que conforma aproximadamente el 75% del área foliar que contribuye de manera efectiva al llenado del grano (Travis, 1992, citado por INIFAP, 2009).



Cuando emerge la hoja bandera también emerge la espiga. La aplicación de nitrógeno en esta etapa sólo eleva el porcentaje de proteína al grano, pero no aumenta el rendimiento (Davidson y Campbell 1983, citados por INIFAP, 2009). La falta de agua es crítica y no debe producirse un estrés 10 días antes de iniciar la floración, para proteger el crecimiento del grano desde la fase inicial hasta el final de la fase lechosa del grano.

En hoja bandera, los trigos bien desarrollados muestran una cobertura del 95% en su follaje y es definida con 500 horas calor. También, esta etapa ya debió haber acumulado cerca de las 500 horas frío.

**Floración;** En fechas tempranas de siembra, la mayoría de las flores son polinizadas 4 a 5 días después de emergida la espiga. Por el contrario, en el estado de Sonora en fechas tardías de fines de diciembre y principios de enero, la polinización se inicia antes de emerger las espigas del embuche. La floración en una planta de trigo dura en promedio 12 días cuando es sembrada desde mediados de noviembre y 8 días a principios de enero.



Cuando aparecen las anteras, la flor ya fue polinizada. En un año fresco, la etapa de floración inicia cuando se acumulan alrededor de 530 horas calor y 500 horas frío, ó 350 horas frío cuando el ciclo agrícola es cálido (INIFAP, 2009).

**Llenado de grano;** El período de llenado de grano es muy sensible a las variaciones de la temperatura del aire. Esta etapa puede durar 35 días en un ambiente con estrés por calor durante el ciclo, falta de agua y normalmente por fechas de siembra tardía. Puede prolongarse a 50 días en siembras tempranas y en años fríos, sin estrés de agua y nutrición, que son factores conducentes a un ambiente favorable para expresar un potencial máximo de rendimiento.

En el Cuadro 9 se expresan los valores de calor y de frío logrados como respuesta a las temperaturas ocurridas en las diferentes fechas de siembra del ciclo 2008-09, en el estado de Sonora. En el registro diario de la temperatura del 23 de febrero al 5 de marzo, se detectó la presencia de niveles mayores de 30°C durante la etapa de llenado de grano, que es el límite inferior de la temperatura máxima letal (Figura 6). La temperatura del aire osciló entre los 30 a 34°C, por lo que este intervalo de temperatura puede ser parte de la explicación de una merma de 460 kilos por hectárea en el rendimiento medio de la región sur de Sonora, en comparación al rendimiento medio del ciclo de 2007-08.



**Madurez fisiológica;** Durante el ciclo agrícola 2008-09, la madurez del grano se logró a las 900 horas calor en siembras del 15 de noviembre, y para siembras del 2 de enero se logró a las 800 horas calor (Cuadro 9).

El comportamiento del frío durante el ciclo de crecimiento, infiere ser la causa que da origen a las diferencias del rendimiento (Cuadro 11). Sin embargo, este fenómeno no se dio de esta manera en el ciclo agrícola 2007-08, donde las condiciones de frío fueron propicias para obtener altos rendimientos de grano en la fecha tardía de siembra del 2 de enero. El segundo factor climático que ha afectado los rendimientos históricos de trigo de siembras tardías ha sido el alargamiento del día, es decir la cantidad de horas de luz o fotoperíodo.

El ciclo biológico de la planta de trigo puede acortarse 20 días, entre una fecha de siembra temprana a una tardía durante un ciclo agrícola frío; mientras que para uno cálido, el acortamiento puede ser de hasta 33 días para una fecha de siembra tardía.

El efecto que se manifiesta en el rendimiento de grano por el acortamiento de las etapas puede llegar a ser dramático, con reducciones importantes en la producción.



Cuadro 11. Variación en la duración del ciclo biológico de la planta de trigo hasta la madurez fisiológica del grano, dependiendo de las horas frío acumuladas. (INIFAP, 2009).

| Fecha de Siembra | Días a madurez fisiológica |                         | <sup>1</sup> Horas Frío |                         |
|------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                  | 2007-08<br>Ciclo frío      | 2008-09<br>Ciclo cálido | 2007-08<br>Ciclo frío   | 2008-09<br>Ciclo cálido |
| 16 - Nov.        | 134                        | 115                     | 796                     | 460                     |
| 01 - Dic.        | 130                        | 112                     | 828                     | 496                     |
| 16 - Dic.        | 123                        | 109                     | 812                     | 509                     |
| 02 - Ene.        | 115                        | 101                     | 689                     | 444                     |

<sup>1</sup>Acumuladas, desde la siembra hasta la madurez fisiológica del grano.

## 9.5. Daño por frío y calor en la planta de trigo

### DAÑO POR FRÍO

La etapa de crecimiento de fin de amacollo a encañe, puede resistir temperaturas de 0°C sin afectar la producción. Sin embargo, este nivel puede afectar la etapa de floración y llenado del grano.

La etapa de desarrollo de la planta de trigo más sensible a heladas es durante la emergencia de la espiga y hasta el estado lechoso del grano. Si se presenta una helada, sólo se dañará la

fracción de espiguillas expuestas al aire. Si la espiga ha emergido totalmente, se dañará la fracción que esté en crecimiento activo y posteriormente se detectarán espacios vacíos en las espiguillas. Si el grano se encuentra en la etapa inicial de desarrollo, se deshidrata y se desprende de su base. La identificación puede realizarse cinco días después de registrarse la helada.

También se puede presentar esterilidad de flores y daños durante la fase inicial del llenado del grano, cuando se está expuesto a varios días consecutivos de temperaturas nocturnas menores de 5°C. Dos o más períodos consecutivos expuestos a este nivel de temperatura pueden tener consecuencias graves sobre el rendimiento.

### **DAÑO POR CALOR**

El calor acelera el desarrollo de cualquier etapa fenológica de la planta. La presencia de temperaturas que superan al límite máximo vital (Figura 6) puede causar daños que se acentúan en los tejidos jóvenes de la planta.

El grado de daño depende del nivel de temperatura y es proporcional al tiempo que dura dicho nivel durante el día.

Dada las condiciones dominantes del clima en Sonora, el riesgo de daños por altas temperaturas es mayor que el riesgo por frío. Durante el ciclo agrícola 2003-04, se tuvo la experiencia de que durante la mayor parte del ciclo se presentó una condición de temperatura favorable para un desarrollo óptimo del cultivo, es decir, se había completado un número de horas frío que permitió una excelente expresión en el crecimiento de la planta, y se tenían perspectivas de un buen rendimiento de grano; sin embargo, se presentó una onda de calor o incremento súbito de la temperatura durante la etapa inicial a intermedia del llenado del grano, asociado a restricciones del agua de riego, factores que incidieron en una reducción del rendimiento potencial (Figura 7).

Las medidas para tratar de reducir el impacto de las altas temperaturas en el rendimiento, es a través del manejo del cultivo con tecnología más precisa, principalmente en lo que se refiere al suministro de agua y la nutrición. Especial atención debe ponerse a los ciclos agrícolas con limitación en el número de horas frío.

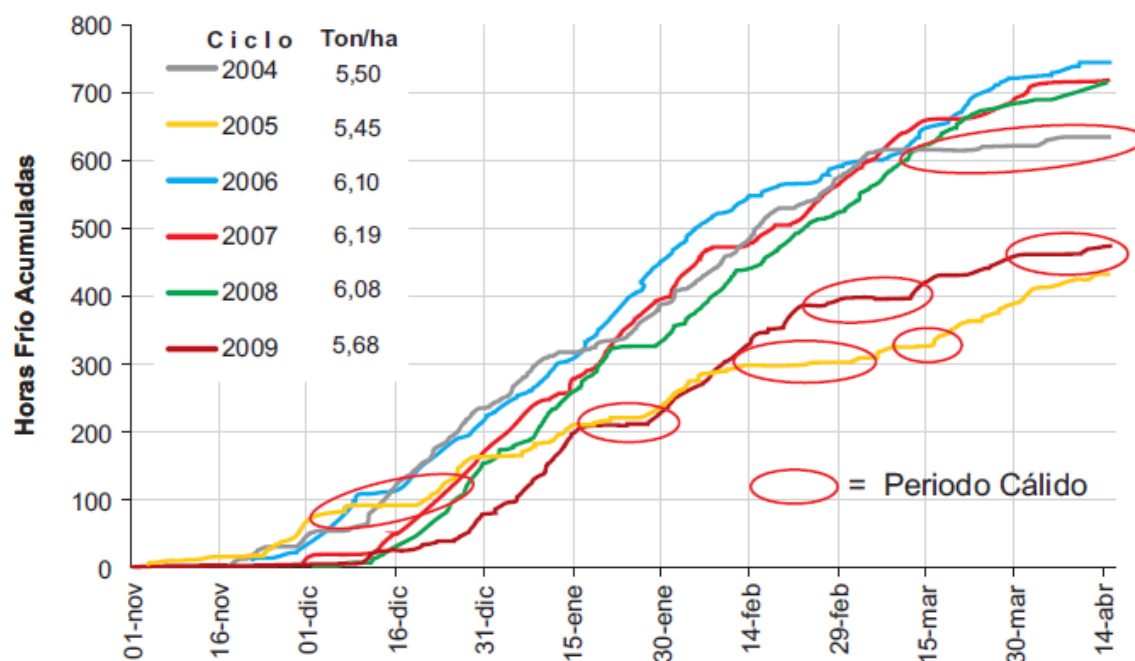


Figura 7. Dinámica de acumulación de horas frío durante seis ciclos agrícolas en el sur de Sonora, en relación con el rendimiento de trigo (INIFAP, 2009).

## 10. COMPORTAMIENTO DE LAS HORAS FRÍO EN EL VALLE DE MEXICALI

A partir del 2002 el Gobierno del Estado de Baja California en coordinación con el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), celebró un Convenio de Colaboración con la Universidad de Davis California para establecer dos estaciones climatológicas automatizadas, como una herramienta que permitiera para tomar las decisiones más adecuadas, en cuanto al manejo del agua de riego para los cultivos. Una de las estaciones se instaló en el campo experimental del ICA y la otra en el Centro de Validación Tecnológica del Gobierno del Estado, ubicado en la colonia Miguel Alemán del valle de Mexicali. A la fecha se cuenta con 17 estaciones en todo el estado, mismas que conforman el Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego (SIMARBC), de las cuales cinco se localizan en el valle de Mexicali.

Entre muchas de las variables e información que arrojan estas estaciones climatológicas se encuentran las Horas-Frío (HF), y se refiere a la suma de horas en que la temperatura es igual o menor a 10°C. Asimismo, el periodo de registro de las HF para su análisis se considera a partir del 01 de noviembre de un determinado año y concluye el 31 de marzo del año siguiente. Las

HF de cada predio sembrado de trigo, se deberán considerar a partir de la germinación del cultivo.

### 10.1. Las horas frío en el valle de Mexicali

De acuerdo al comportamiento de las HF acumuladas en los ciclos agrícolas otoño-invierno de 2006 al 2012, el promedio es de 1,072, siendo el ciclo 2011-2012 el que más acumulo con la cantidad de 1,201 (Figura 8).

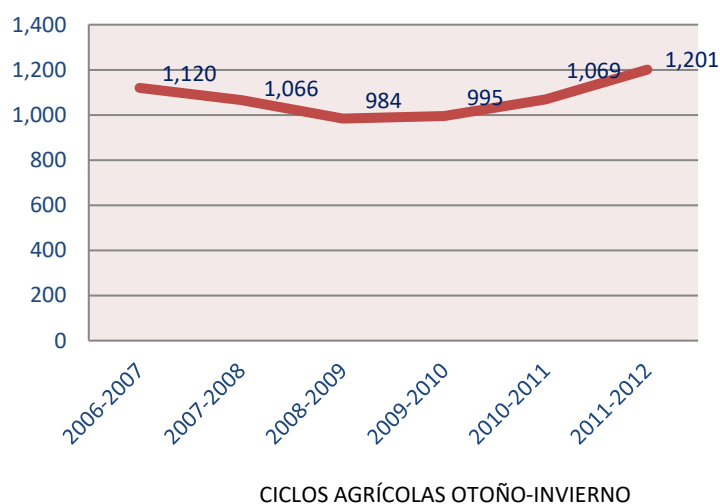


Figura 8. Horas-Frío acumuladas en el valle de Mexicali, en los ciclos de 2006 a 2012.

En lo que respecta al ciclo agrícola otoño-invierno 2011-2012, la información generada por las cinco estaciones del SIMARBC se encuentra en el Cuadro 12, en donde se presenta la información de todas y cada una de las estaciones del valle de Mexicali.

Cuadro 12. Horas-Frío acumuladas por estación climatológica en el ciclo 2011-12 (SIMARBC).

| Estación        | 2 0 1 1 (HF) |            | 2 0 1 2 (HF) |            |            | Acumulado    |
|-----------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|
|                 | Noviembre    | Diciembre  | Enero        | Febrero    | Marzo      |              |
| Andrade         | 100          | 392        | 230          | 177        | 116        | 1,015        |
| San Luis        | 161          | 408        | 270          | 219        | 157        | 1,215        |
| Zacatecas       | 142          | 394        | 280          | 266        | 194        | 1,276        |
| Nuevo León      | 139          | 375        | 269          | 203        | 139        | 1,125        |
| Mexicali        | 204          | 422        | 341          | 245        | 164        | 1,376        |
| <b>Promedio</b> | <b>149</b>   | <b>398</b> | <b>278</b>   | <b>222</b> | <b>154</b> | <b>1,202</b> |

La información anterior nos indica que el mes que más HF acumulo fue diciembre 2011, y la estación con el valor más alto fue la “Mexicali” (ubicada en la Colonia Colorado III) con 422 HF,

seguida de la estación “San Luis” (Colonia Miguel Alemán) con 408, ambas en el mismo mes de diciembre. La información del cuadro anterior, se presentan en gráfica de barras en la siguiente Figura 9.

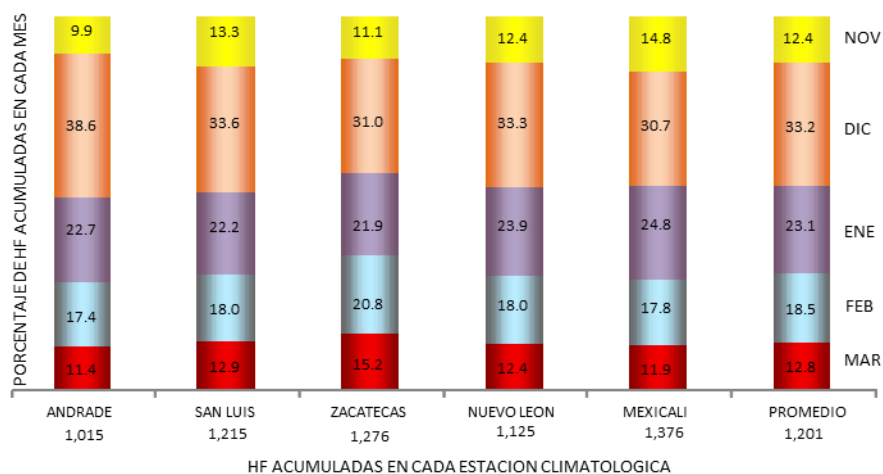


Figura 9. Gráfica de Horas-Frío acumuladas por estación climatológica ciclo 2011-12.

De manera clara se observa en la gráfica anterior que el comportamiento en las cinco zonas productoras del valle de Mexicali en las cuales se cuenta con estaciones climatológicas del SIMARBC, se tiene un comportamiento similar, en las cuales el ms que más acumula HR es diciembre con más del 30% del total acumulado, siendo este mes el más frío en el ciclo agrícola otoño-invierno 2011-2012.

Conforme avanza el ciclo agrícola las HF acumuladas va disminuyendo, de tal suerte que en el mes de marzo se acumulan en promedio 12.8 HF, dato muy similar al mes de noviembre que tiene 12.4 con valor promedio.

Es importante el análisis anterior ya que deja en claro la importancia de sujetarse a las fechas de siembra recomendadas para esta zona por el INIFAP, que es del 15 de noviembre al 31 de diciembre. En siembras tempranas (antes de la fecha recomendada) se corre el riesgo de días cálidos en el mes de febrero, y en siembras tardías (mes de enero) el cultivo no tendrá las HF requeridas para un buen desarrollo.

Por otro lado, el comportamiento de las HF mensuales no necesariamente es el mismo todos los años, si bien es cierto al mes de marzo se acumulan más de 1,000 HF, éstas pueden tener una distribución distinta de un año a otro.

En la Figura 10 se presentan el comparativo entre los ciclos 2010-2011 y 2011-2012, para los cuales en el primer caso se acumularon 1,069 HF y para el segundo caso 1,201. Sin embargo, el

mes que más acumulo HF en el 2010-2011 fue enero con 321 HF, y el ciclo 2011-2012 fue el mes de diciembre acumulando un total de 398 HF (Figura 11).

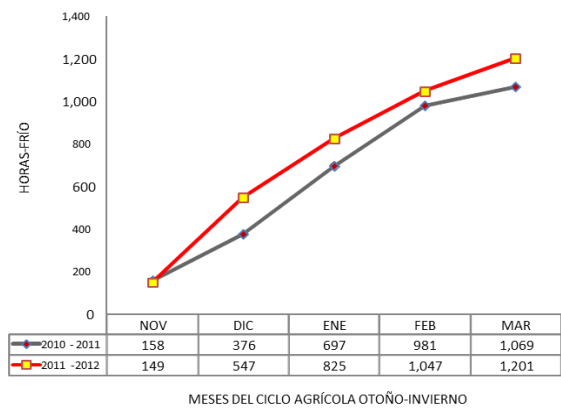


Figura 10. Horas-Frío acumuladas en los ciclos 2010-11 y 2011-12, en el valle de Mexicali.

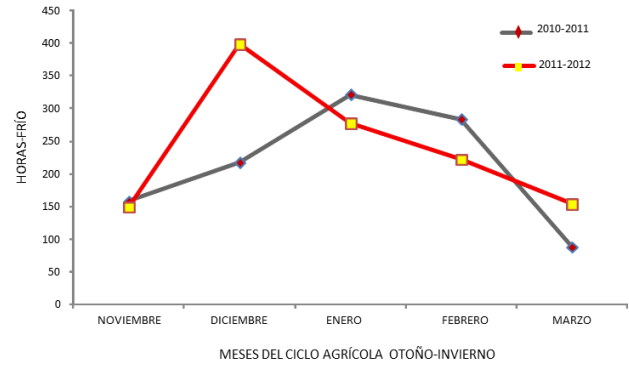


Figura 11. Horas-Frío mensuales en los ciclos 2010-11 y 2011-12, en el valle de Mexicali.

En las Figuras 12, 13 y 14 se presenta la distribución de las HF en el valle de Mexicali en distintos mese del ciclo agrícolas 2011-2012, en las cuales se aprecia que la zona que menos HF acumula es la parte central del valle.

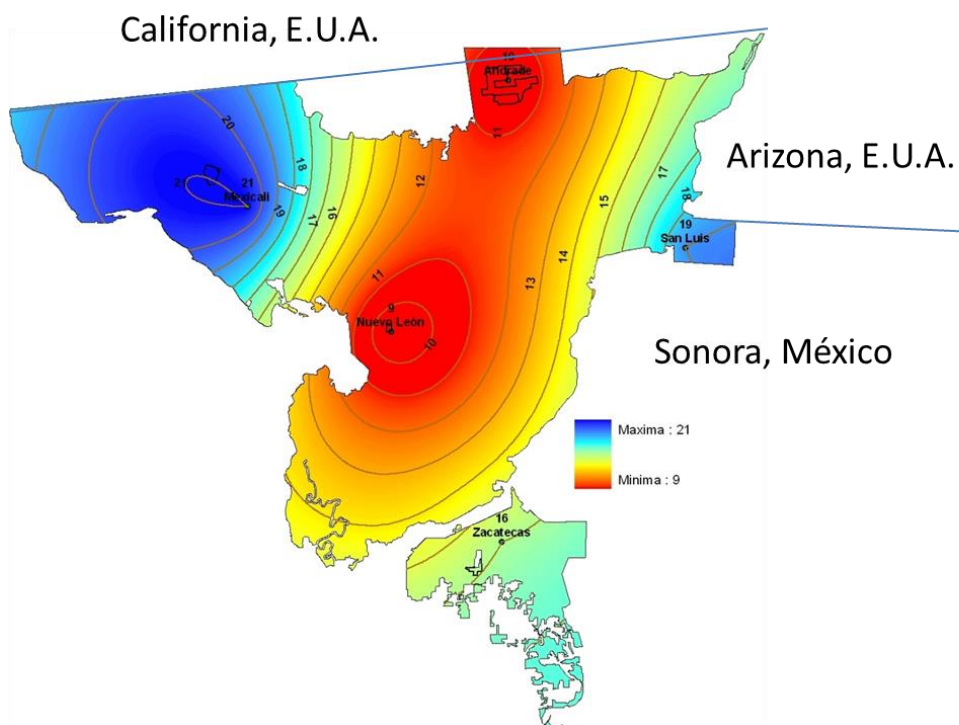


Figura 12. Distribución de las HF en el valle de Mexicali, del 1 al 30 de noviembre del 2011.

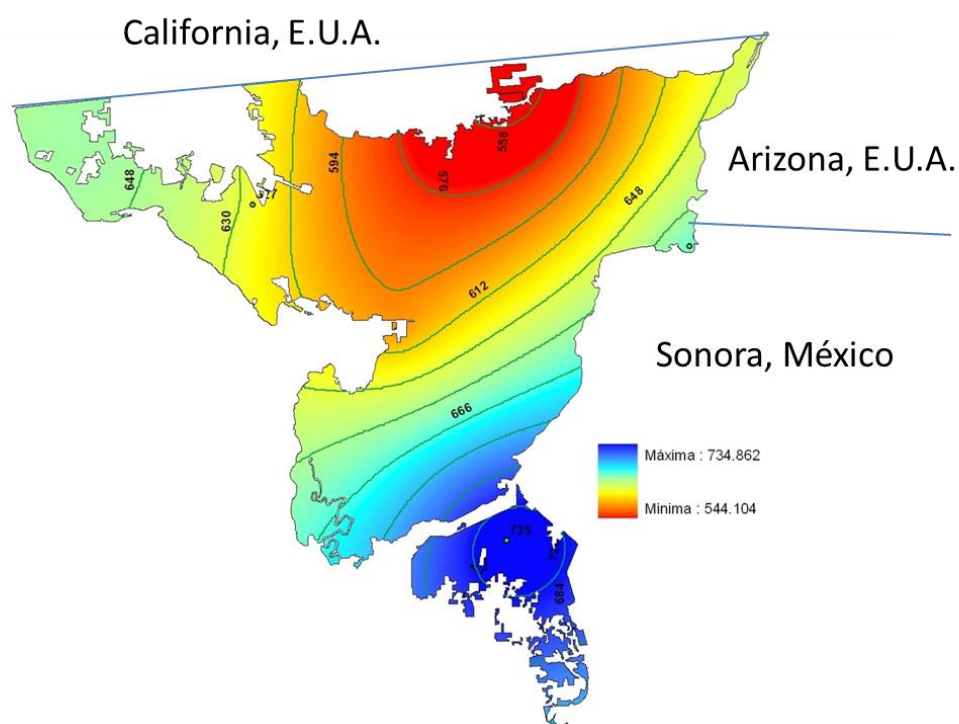


Figura 13. Distribución de las HF en el valle de Mexicali, de nov. 01, 2011 a enero 31, 2012.

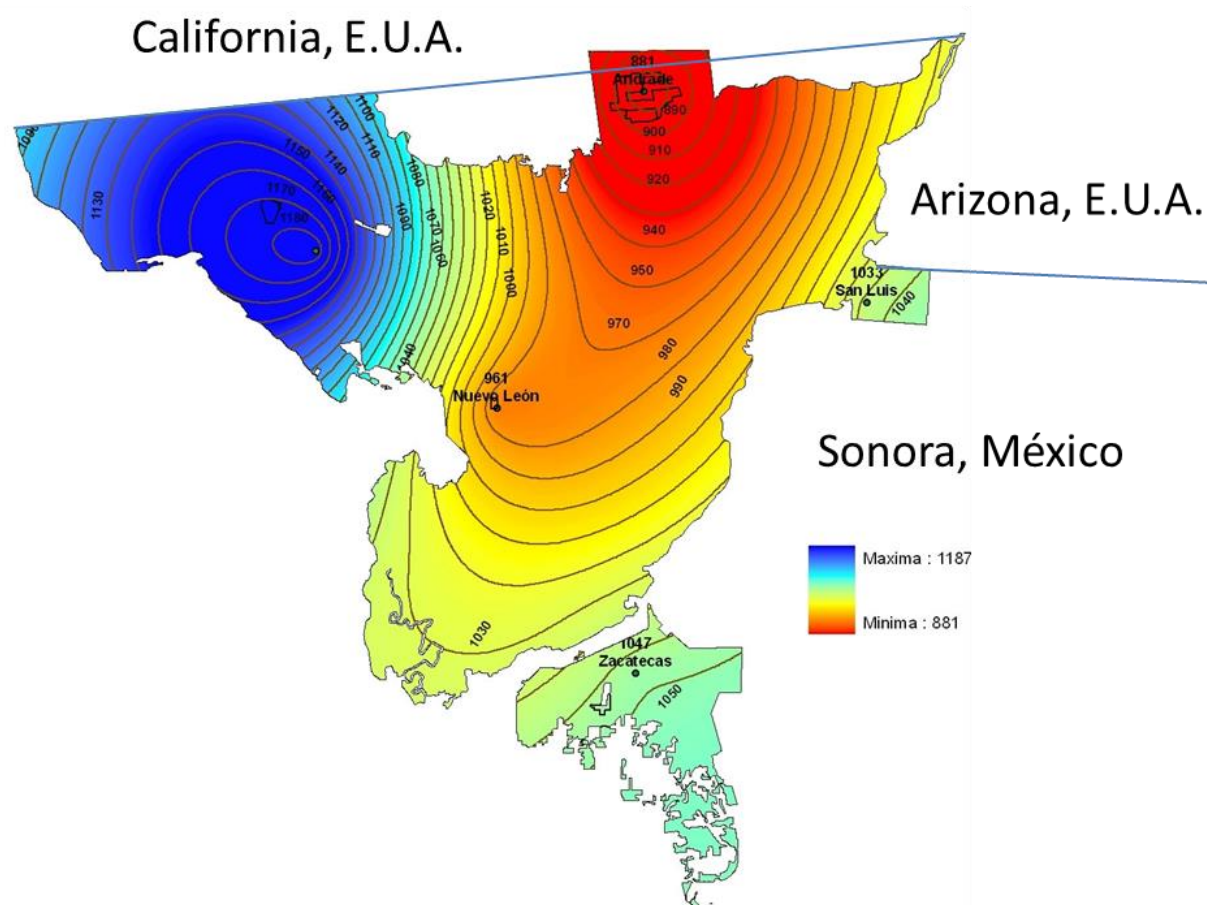


Figura 14. Distribución de las HF en el valle de Mexicali, de nov. 01, 2011 a febrero 29, 2012.

## 10.2. Estaciones agroclimatológicas del SIMARBC

La distribución de las estaciones del Sistema de Información para el Manejo del Agua de Riego en Baja California (SIMARBC) se encuentra en las principales zonas agrícolas del estado. Actualmente el valle de Mexicali cuenta con cinco estaciones, una más se localiza en el valle de las Palmas, municipio de Tecate, y los once restantes en valles agrícolas del municipio de Ensenada, según el Cuadro 13.

Cuadro 13. Ubicación de las estaciones climatológicas del SIMARBC.

| No. | Nombre de Estación | Ubicación                     | Municipio | Coordenadas Geográficas         | Altura (snmm) |
|-----|--------------------|-------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|
| 1   | Andrade            | Mesa Testamentaria de Andrade | Mexicali  | 32° 40' 28" N<br>115° 02' 37" W | 39.969        |
| 2   | San Luis           | Col. Miguel Alemán            | Mexicali  | 32° 29' 33" N<br>114° 49' 31" W | 27.422        |
| 3   | Zacatecas          | Col. Zacatecas                | Mexicali  | 32° 11' 01" N<br>115° 03' 42" W | 9.702         |
| 4   | Nuevo León         | ICA – UABC. ejido Nuevo León  | Mexicali  | 32° 24' 40" N<br>115° 11' 46" W | 8.685         |
| 5   | Mexicali           | Col. Colorado III             | Mexicali  | 32° 32' 42" N<br>115° 22' 24" W | 7.611         |
| 6   | Las Palmas         | Valle de las Palmas           | Tecate    | 32° 23' 05" N<br>116° 39' 07" W | 227.139       |
| 7   | El Porvenir        | Valle de Guadalupe            | Ensenada  | 32° 04' 28" N<br>116° 37' 18" W | 282.445       |
| 8   | Guadalupe          | Valle de Guadalupe            | Ensenada  | 32° 07' 04" N<br>116° 31' 10" W | 320.767       |
| 9   | Ojos Negros        | Valle de Ojos Negros          | Ensenada  | 31° 54' 26" N<br>116° 14' 08" W | 687.375       |
| 10  | Trinidad Este      | Valle de la Trinidad          | Ensenada  | 31° 22' 18" N<br>115° 42' 49" W | 729.687       |
| 11  | Trinidad Oeste     | Valle de la Trinidad          | Ensenada  | 31° 23' 39" N<br>115° 45' 25" W | 721.255       |
| 12  | Santo Tomas        | Valle de Santo Tomas          | Ensenada  | 31° 33' 46" N<br>116° 24' 42" W | 112.134       |
| 13  | Maneadero          | Valle de Maneadero            | Ensenada  | 31° 42' 09" N<br>116° 36' 38" W | 16.681        |
| 14  | Eréndira           | Valle de San Vicente          | Ensenada  | 31° 16' 24" N<br>116° 22' 43" W | 22.000        |
| 15  | San Simón          | Valle de San Quintín          | Ensenada  | 30° 24' 45" N<br>115° 51' 56" W | 14.000        |
| 16  | San Isidro         | Valle de San Quintín          | Ensenada  | 30° 35' 49" N<br>115° 56' 45" W | 10.000        |
| 17  | Colonet            | Valle de Colonet              | Ensenada  | 30° 59' 46" N<br>116° 09' 47" W | 65.000        |

La ubicación física en el estado, se presenta esquemáticamente en la Figura 15.

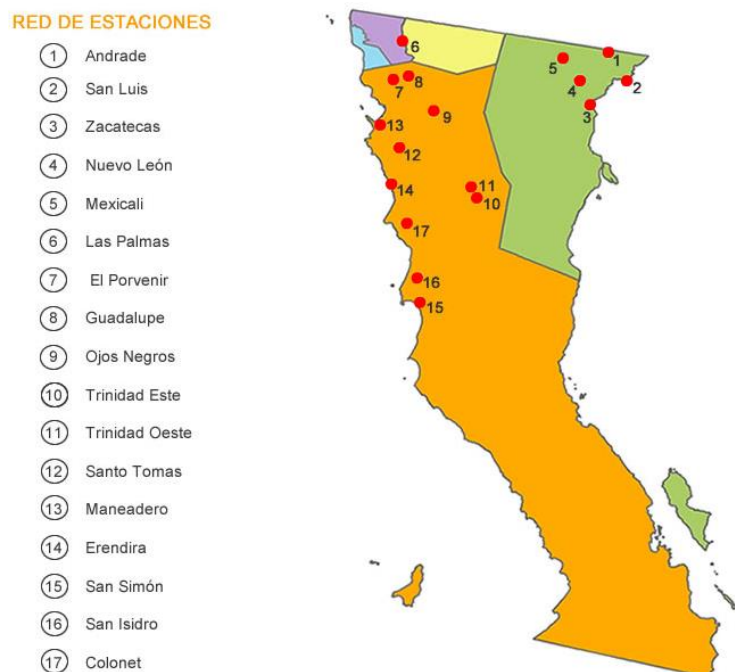


Figura 15. Ubicación de las estaciones de la red estatal del SIMARBC.

Las estaciones ubicadas en el valle de Mexicali, se presentan en la Figura 16.



Figura 16. Ubicación de las cinco estaciones climatológicas del SIMARBC en valle de Mexicali.

En la Figura 17, se presentan imágenes de estaciones climatológicas tipo del SIMARBC, mismas que se localizan una de ellas en el valle agrícola de Maneadero, y la otra en el de Santo Tomás, municipio de Ensenada.



Valle de Maneadero.



Valle de Santo Tomas.

Figura 17. Estaciones climatológicas del SIMARBC del valle de Maneadero y de Santo Tomas, Ensenada, B. C.

## 11. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilera, C.M. y Martínez, E.R., 1996. Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Cuarta Edición.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1994. Water quality for agriculture. University of California Davis, California, U.S.A. and D.W. Westcot California Regional Water Quality Control Board Sacramento, California, USA. FAO Irrigation and Drainage Paper. 29 Rev. 1.
- Cassel, D.K. 1979. Subsoiling. Crops and Soils. American Society of Agronomy. Madison, WI. p. 7-10.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2002. Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelarios. México.
- Grattan, S. and Hanson, B., 1993. Agricultural Salinity and Drainage. University of California Irrigation Program. University of California. Davis, California.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2010. Guía Técnica para el área de influencia del Campo Agrícola Experimental valle de Mexicali.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2009. Centro de Investigación Regional del Noroestes, Campo Experimental Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora. Folleto Técnico No. 63. ISBN 978-607-425-159-3.
- Reussi, C.A., Echeverría, H., Barbieri, P. y Sainz, R.H. 2006. Nitrógeno y azufre en trigo: ¿Rendimiento y proteína? XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – Salta-Jujuy, 19-22 de septiembre de 2006.
- Rice, R.W. 1983. Fundamentals of no-till farming. American Association for vocational Instructional Materials. Athens, GA. p. 59-60.
- Rhoades, J. D., 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers. Manual and Reports on Engineering Practice No. 71. New York, N. Y. U.S.A.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). 1966. Laminas de riego en las diferentes series del Distrito. Dirección General de Distritos de Riego. Distrito de Riego del Río Colorado.
- Sistema de Información para el Manejo del Agua de Riego en el estado de Baja California (SIMARBC). [www.sfa.gob.mx/simarbc/](http://www.sfa.gob.mx/simarbc/)