

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**PREDICCIÓN DE COSECHAS DE GRANO DE TRIGO EN EL DISTRITO
DE RIEGO 002 "RÍO COLORADO" EN EL CICLO O-I 2006-2007**

ROBERTO FLAVIO ÁVILA CASILLAS

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del comité particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Ej. Nuevo León, Mexicali, Baja California, México Junio 2009

CONSEJO PARTICULAR

MC. Sergio De Carlo Guzmán Ruíz

Presidente

Dr. Juan Francisco Ponce Medina

Secretario

MC. Manuel Cruz Villegas

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y pecuarias, por haber hecho posible la realización de esta tesis.

Al Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, por la formación académica recibida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico para la impresión de esta tesis.

Al MC Sergio De Carlo Guzmán Ruiz por la dirección en la conducción y elaboración de esta tesis.

A todos mis maestros del Instituto de Ciencias Agrícolas, por su contribución en mi formación Académica.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A quienes les debo todo lo que soy.

A MIS HERMANOS

Eva y Víctor

Por su apoyo y comprensión.

A CAROLINA Y A MI HIJA

Hanna Valentina

Mi razón para superarme.

A MIS AMIGOS Y AMIGAS

Por creer en mí y ayudarme en mis estudios.

Y EN ESPECIAL

A quien me ayudo en mis estudios.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	2
2.1 HIPÓTESIS:.....	2
2.2 OBJETIVO:	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRIGO.....	3
3.1.1 Clasificación botánica	3
3.1.2 Descripción botánica	3
3.2 TRIGOS ECONÓMICAMENTE IMPORTANTES	4
3.2.1 Trigo blando (<i>T. vulgare</i>).	4
3.2.2 Trigo duro (<i>T. durum</i>).....	5
3.2.3 Origen geográfico	5
3.2.4 Origen citogenético.....	5
3.3 UTILIZACIÓN.....	6
3.3.1 Trigos duros.....	6
3.3.2 Trigos harineros.....	6
3.4 ADAPTACIÓN.....	6
3.4.1 Altitud.....	6
3.4.2 Latitud.....	7
3.4.3 Temperatura	7
3.5 Grados día	7
3.5.1 Umbrales de Desarrollo	8

3.5.2	Grados Día	8
3.5.3	Grados Día Acumulados.....	8
3.5.4	Métodos de Calculo	9
3.6	ÍNDICE DE AREA FOLIAR	10
3.6.1	Métodos de Medición.....	10
3.7	REGRESIÓN LINEAL	11
3.8	MÉTODOS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....	12
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5.1	RESULTADOS.....	17
5.1.1	Temperatura Ambiente	17
5.1.2	Manejo Agronómico del Cultivo	20
5.1.3	Rendimiento de Grano.....	26
5.1.4	Índice de Área Foliar Máximo	28
5.2	DISCUSIÓN	29
5.2.1	OBSERVACIONES.....	30
6.	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	31
6.1	Conclusión	31
6.2	Recomendaciones.....	32
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENTROIDE DE LOS POLÍGONOS DE MUESTREO PARA TRIGO, VALLE DE MEXICALI CICLO O-I 2005-06, ASÍ COMO SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	19
CUADRO 2. DIFERENCIAS DE PRODUCCION Y RENDIMIENTOS CON DIFERENTES FUENTES.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCION DE TRIGO BAJO RIEGO, HISTÓRICAS (1996-2008).....	1
FIGURA 2. POLÍGONO DE MUESTREO COLONIA HINDÚ DDR 002 "RÍO COLORADO" CICLO O-I 2004-05	13
FIGURA 3. ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO POR MÓDULOS DE RIEGO EN EL VALLE DE MEXICALI BAJA CALIFORNIA	14
FIGURA 4. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS PROMEDIO DE 11 AÑOS 1996-2005 Y DEL CICLO O-I 2006-07. EN EL DDR 002 RÍO COLORADO.....	18
FIGURA 5. NUMERO DE SITIOS SEMBRADOS POR QUINCENA.....	20
FIGURA 6. VARIEDADES MUESTREADAS Y SUPERFICIE SEMBRADA EN EL DDR-002 RÍO COLORADO EN EL CICLO O-I 2006-07.....	21
FIGURA 7. NUMERO DE RIEGOS APLICADOS EN LOS SITIOS DE MUESTREO DE TRIGO, EN EL CICLO O-I 2006-07, DDR-002 RÍO COLORADO.....	22
FIGURA 8. NUMERO DE SITIOS DE MUESTREO Y DOSIS DE ELEMENTOS MAYORES EN EL DDR-002 "RÍO COLORADO" CICLO O-I 2006-07.....	23
FIGURA 9. USO DE AGROQUÍMICOS EN LA PRODUCCION DE GRANO DE TRIGO EN EL DDR-002 "RÍO COLORADO" CICLO O-I 2006-07	24
FIGURA 10. ETAPAS DE DESARROLLO FENOLÓGICO DE TRIGO Y SUS GRADOS DÍAS ACUMULADOS, EN LOS SITIOS DE MUESTREO, DEL DDR-002 "RÍO COLORADO" CICLO O-I 2006-07.....	25

FIGURA 11. RENDIMIENTO DE GRANO DE TRIGO ESTIMADO DURANTE MUESTREO Y RENDIMIENTO OBTENIDO POR LOS PRODUCTORES EN EL DDR-002 "RÍO COLORADO" CICLO O-I 2006-07.....	26
FIGURA 12. MAPA DEL VALLE DE MEXICALI ZONIFICADO POR ÁREAS DE IGUAL RENDIMIENTO.	27
FIGURA 13. MODELO OBTENIDO CON EL RENDIMIENTO ESTIMADO Y EL IAF MÁXIMO PARA EL CULTIVO DE TRIGO EN EL DDR-002 "RÍO COLORADO" CICLO O-I 2006-07	28

1. INTRODUCCIÓN

En el estado de Baja California el cultivo de trigo ocupa una superficie histórica promedio de 85,688 ha de 1996-08. Se cultiva principalmente bajo condiciones de riego, con un rendimiento promedio histórico de 6.23 ton/ha bajo condiciones de riego. La producción promedio histórica es de 529,070 toneladas de grano. En el área de riego resaltan los ciclos de 2002 al 2005 como los de mayor superficie sembrada (101,932 Ha), de mayor volumen de producción (586,418 Ton), y el más alto rendimiento por unidad de superficie (7.21 Ton/Ha). En general se observa consistencia en todos los indicadores de la producción de trigo en el estado de Baja California, con una marcada tendencia al incremento de la superficie sembrada y del rendimiento por unidad de superficie. En la temporada del 2007-2008 se obtuvo la mayor producción de 635,651 Toneladas.

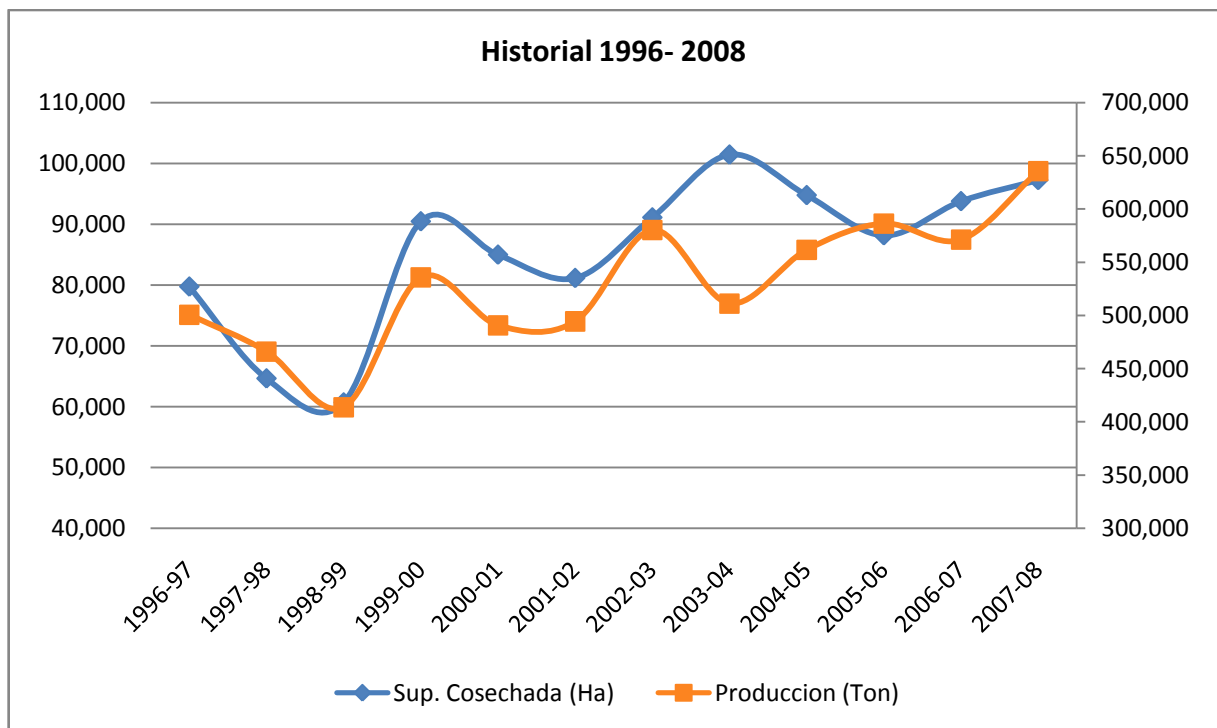


Figura 1. Superficie Sembrada y Produccion de Trigo Bajo Riego, Históricas (1996-2008)

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESIS:

Es posible predecir el rendimiento de grano de trigo, mediante su relación con el índice de área foliar.

2.2 OBJETIVO:

Encontrar un modelo que permita predecir el rendimiento de grano de trigo, dos meses antes de la cosecha.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRIGO

3.1.1 Clasificación botánica

Division	Embryophyta siphonogama
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Monocotiledonia
Familia	Gramínea
Genero	Triticum
Especie	Vulgare, durum

3.1.2 Descripción botánica

El trigo es una planta herbácea, monocotiledonia. En una planta adulta, se observa que la raíz es del tipo fasciculado, la hoja está provista de 2 partes. La vaina que envuelve al tallo y el limbo que es largo, estrecho con nerviaciones paralelas. El tallo adquiere su carácter de tal comienzo del encañe y se alarga considerablemente, cuenta al final con 7 hojas centrifórmes envainadoras, Clement y Jacques (1969).

La inflorescencia, es una espiga constituida por un eje central llamado raquis, provisto de nudos en los cuales se encuentran situadas las espiguillas.

Las espiguillas están cubiertas por dos brácteas, llamadas glumas. Cada espiguilla lleva de dos a cinco florecillas cubiertas de dos brácteas llamadas glumelas o glumillas, las glumillas además albergan los órganos sexuales; estambre y pistilo.

El pistilo, posee estigma bifido con un solo ovulo. Cuando la glumela presenta una arista se le denomina trigo aristado o de barba.

El fruto llamado cariósido, está constituido por el pericarpio, la endosperma, el endospermo o albumen y el embrión.

El endospermo, constituye la mayor parte del grano, está formado por un estrato aleurónico y el tejido amilífero o glutinoso.

La capa aleurónica es rica en compuestos orgánicos, fosforados cálcicos y magnésicos.

El tejido amilífero está formado por almidón y sustancias nitrogenadas, la mayor parte constituye el gluten, de cuyas propiedades dependen la tenacidad y elasticidad de la pasta de harina.

El embrión, situado en una extremidad del grano. En sección longitudinal presenta esbozo de dos primeras hojillas, de la radícula y del coleptilo, Enciclopedia de la ciencia y de la Técnica Vol. 6.

3.2 TRIGOS ECONÓMICAMENTE IMPORTANTES

3.2.1 Trigo blando (*T. vulgare*).

Es de paja hueca, paredes delgadas, espiga mocha y aristada, más ancha de frente que de perfil, gluma ancha o cariósido aplastada y fractura harinosa a veces más o menos vítrea; son aptas para panificación.

3.2.2 Trigo duro (*T. durum*).

Tiene paredes gruesas, el último entre nudo no es hueco, la espiga es aristada, más ancha de perfil que de frente, Enciclopedia de la ciencia y de la tecnología Vol. 6.

ORIGEN

3.2.3 Origen geográfico

Su centro de origen, se considera que es el suroeste de Asia, desde las costas del mediterráneo por el oeste; hasta la llanura del Tigris y Éufrates (Feldman y Sears 1967).

Estudios realizados por Mangelsdorf sugieren que su origen fue la región Cáucaso Turquía-Irak (Robles 1975).

3.2.4 Origen citogenético

Entre los años 1919-1924, se considera que provenía de la cruce de Einkorn ($2n=7$) y Emmer ($2n=14$), en los cuales al aparearse quedaban 7 cromosomas del Emmer como univalentes.

Actualmente su origen es considerado a partir del zacate *Aegilops speltoides*, pariente cercano del trigo (Robles 1975).

3.3 UTILIZACIÓN

3.3.1 Trigos duros

Son utilizados para sémolas en las fábricas de pastas.

3.3.2 Trigos harineros

Son aptos para la panificación, porque su harina proporciona rápidamente pan bien esponjado. Su adaptabilidad tanto de los trigos duros (*T durum*); para pastas alimenticias como de los trigos semi duros y blandos (*T vulgare*) para panificación, esta relacionadas con la estructura fisicoquímica del endospermo de las cariósides.

(Feldman y Sears 1967), mencionan que el trigo tuvo su origen a partir del híbrido formado entre el *T turgidum* y el *t tauschii*, ocurrido hace aproximadamente 8,000 años, al oeste de Irán.

3.4 ADAPTACIÓN

3.4.1 Altitud

El trigo se cultiva desde las zonas costeras 0 msnm hasta zonas encontradas a 3,000 msnm.

3.4.2 Latitud

El cultivo del trigo se realiza desde las regiones de Siberia hasta las próximas al Ecuador.

3.4.3 Temperatura

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados días.

La temperatura no debe ser demasiado fría en invierno ni demasiado elevada en primavera ni durante la maduración (Zalom *et al.*, 1983).

3.5 Grados día

La temperatura controla el grado del desarrollo de muchos organismos.

Las plantas al igual que otros organismos, incluyendo insectos y nematodos, requieren una cantidad dada de calor para su desarrollo. Esta cantidad de calor acumulado, se conoce como tiempo fisiológico. Teóricamente, el tiempo fisiológico proporciona una referencia común para el desarrollo de los organismos. La cantidad de calor requerido para completar el desarrollo de un organismo dado, a menudo es expresado en unidades llamadas grados día (°D).

3.5.1 Umbrales de Desarrollo

Cada organismo tiene sus propios umbrales inferior y superiores de temperatura entre los cuales se da el desarrollo. Estos umbrales se determinan en el laboratorio bajo condiciones controladas y/o mediante experimentos de campo.

El umbral inferior de desarrollo para un organismo es la temperatura debajo la cual el desarrollo se detiene. El umbral inferior está determinado por la fisiología del organismo.

El umbral superior de desarrollo es la temperatura encima de la cual el grado de crecimiento o desarrollo comienza a disminuirse o se detiene.

3.5.2 Grados Día

Se conoce como grados día a la cantidad total de calor acumulada, entre los umbrales inferior y superior, para que un organismo se desarrolle en un periodo de 24 hrs.

3.5.3 Grados Día Acumulados

La acumulación de grados día desde el inicio del ciclo de un organismo marca el tiempo fisiológico requerido para alcanzar una etapa dada de su desarrollo, o etapa fenológica. La fenología esta por lo general basada en acontecimientos específicos biológicos como la floración, madurez fisiológica, madurez de cosecha, entre otros.

3.5.4 Métodos de Calculo

Es relativamente sencillo calcular los grados día acumulados en una temperatura constante en el laboratorio, sin embargo en condiciones naturales existen fluctuaciones diarias de temperatura que hacen más difícil, su cálculo. Se conocen varios métodos para estimar los grado día sobresaliendo por su simplicidad el uso del promedio de temperaturas diarias mínimas y máximas. Pero todos los métodos solo son aproximaciones al número real de grados día acumulados y por lo tanto no proporcionan los valores exactos de grados día.

Estos métodos de cálculo están basados en el área bajo la curva diaria de temperatura formada entre los umbrales. Entre los métodos más conocidos se pueden citar el de temperatura promedio, seno simple, seno doble, triangulación simple y triangulación doble.

Todos estos métodos son lineales porque se supone que la tasa de desarrollo es una línea recta directamente relacionada con la temperatura. Existen también los métodos no lineales, pero se utilizan principalmente en investigación.

Temperatura Promedio

El método más simple usado para estimar el número de unidades calor por día es promediando, temperatura.

$$GD = \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} - T_b$$

Este método no utiliza un umbral superior, el cual se considera compensado por la sobreestimación de las temperaturas mínimas debajo del umbral inferior.

Este método se ve favorecido por su sencillez de cálculo ya que solo involucra un promedio simple de las temperaturas mínimas y máximas de cada día y el umbral inferior para el desarrollo del organismo (Zalom *et al.*, 1983).

Los grados días que requiere el cultivo de trigo oscilan aproximadamente entre las 1500 y 1700 unidades calor para llegar a la etapa de madurez fisiológica, (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>)

3.6 ÍNDICE DE AREA FOLIAR

El Índice de Área Foliar (IAF) es la relación que existe entre el área de hoja y el área de suelo por debajo de ellas. Un valor de IAF=4 indica que sobre 1 m² de suelo hay 4 m² de hojas. Es una forma de expresar la densidad de hojas presente en el cultivo.

Desde un enfoque teórico, cuando un cultivo alcanza los valores de IAF óptimo (equivalente a la máxima capacidad de intercepción de la luz), su velocidad de crecimiento se hace máxima. Si no se produce una defoliación y el crecimiento continúa, hasta que alcanzar el IAF máximo. Esta sería una situación de equilibrio en la cual la planta alcanza su máxima cantidad de área foliar para ese momento y condiciones: es decir por cada porción de hoja nueva que crece la hoja vieja muere, (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>).

3.6.1 Métodos de Medición

Existen varias metodologías destructivas y no destructivas para medir o derivar el índice de área foliar (IAF).

Métodos Destructivos o Directos:

Defoliado total (Malone *et al.*, 2001), y método de nervadura central (Clement *et al.*, 1997).

Métodos No Destructivos o Indirectos:

Son la fotografía, sunfleck ceptómetros y otros instrumentos como TRAC, LAI-2000, LI-COR o AccuPAR LP-80 (Chen *et al.*, 1997).

3.7 REGRESIÓN LINEAL

La regresión lineal o ajuste lineal es un método matemático que modeliza la relación entre una variable dependiente “Y”, las variables independientes “Xi” y un término aleatorio “ε”. Este modelo puede ser expresado como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \epsilon$$

Donde β_0 es la intersección o término “constante”, las β_i son los parámetros respectivos a cada variable independiente, y p es el número de parámetros independientes a tener en cuenta en la regresión. La regresión lineal puede ser contrastada con la regresión no lineal, (http://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_lineal).

3.8 MÉTODOS DE MÍNIMOS CUADRADOS

Es una técnica de optimización matemática que, dada una serie de mediciones, intenta encontrar una función que se aproxime a los datos (un “mejor ajuste”). Intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias ordenadas (llamadas residuos) entre los puntos generados por la función y los correspondientes en los datos. Específicamente, se llama mínimos cuadrados promedio (LMS) minimiza el residuo cuadrado esperado, con el mínimo de operaciones (por interacción). Pero requiere un gran número de iteraciones para converger.

Un requisito implícito para que funcione el método de mínimos cuadrados es que los errores de cada medida estén distribuidos de forma aleatoria. El teorema de Gauss-Márkov prueba que los estimadores mínimos cuadráticos carecen de sesgo y que el muestreo de datos no tiene que ajustarse, por ejemplo, a una distribución normal. También es importante que los datos recogidos estén bien escogidos, para que permitan visibilidad en las variables que han de ser resueltas (para dar más peso a un dato en particular).

La técnica de mínimos cuadrados se usa comúnmente en el ajuste de curvas. Muchos otros problemas de optimización pueden expresarse también en forma de mínimos cuadrados, minimizando la energía o maximizando la entropía, (http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADnimos_cuadrados).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el tamaño más apropiado para los marcos de muestreo, se considero la metodología propuesta por (Rodríguez *et al.*, 2007), y así en un ambiente de Sistema de Información Geográfica (SIG.) y con base en la fotoidentificación de la imagen de satélite del ciclo anterior se definieron marcos de muestreo de 49 has (700 m x 700 m). En cada marco o polígono de muestreo, mediante polilíneas Armenteras (2001), se identificaron los estratos que lo componía, formando así las unidades de producción, las áreas sin cultivo, el monte bajo y las entidades fotoidentificadas como caminos, canales, drenes, carreteras, etc. Mediante el uso de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y coordenadas DDd, Defense Mapping Agency (2000), Sistema Geodésico Nacional (2002), se ubicaron en campo tanto las coordenadas del centroide como de los vértices de cada uno de ellos. Una vez definidos en el campo los polígonos de muestreo, se identificaron los cultivos, las áreas correspondientes a carreteras, canales, drenes, etc. Tal como lo indica con todo detalle, Rodríguez y Tiscareño (2003). Se realizo un croquis a mano alzada del marco de muestreo, con todos sus detalles. Como el interés del presente trabajo está encaminado a la identificación de las firmas espectrales de trigo, en caso de que dentro del polígono no estuviera presente este cultivo se procedía a localizar otro polígono que si contuviera trigo.



Figura 2. Polígono de Muestreo Colonia Hindú DDR 002 "Río Colorado" Ciclo O-I 2004-05

Una vez identificado el cultivo de trigo se ubicaron dentro del polígono tres sitios de muestreo georeferenciados para su ubicación en el ambiente SIG. Además se marcaron visiblemente para facilitar su posterior localización durante los muestreos.

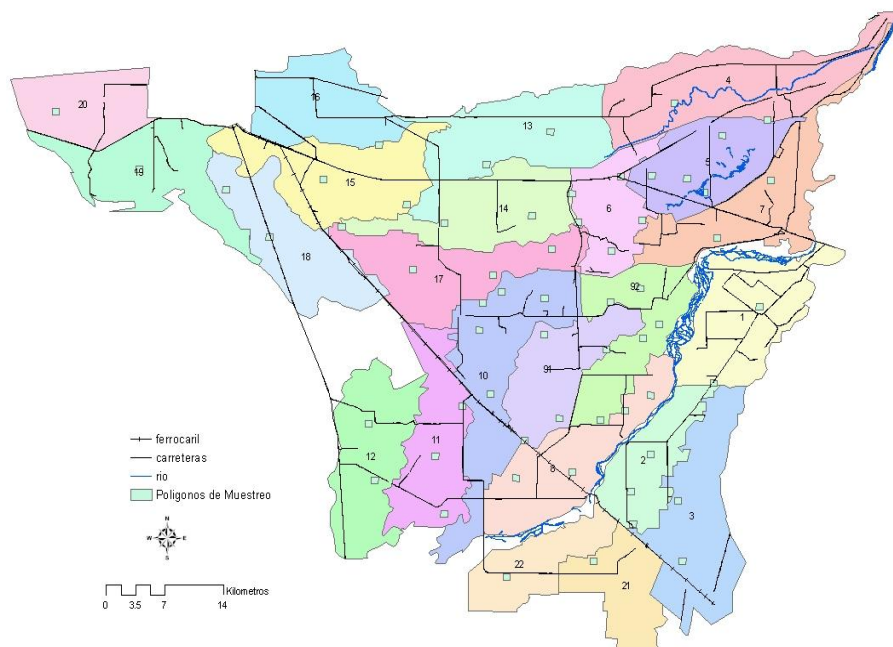


Figura 3. Esquema de la Ubicación de los Puntos de Muestreo por Módulos de Riego en el Valle de Mexicali Baja California

En forma periódica, se tomaron lecturas de IAF (Índice de Área Foliar del cultivo) las mediciones de cobertura (%C) e índice de área foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$ se realizaron sobre el centro de la melga o en su caso sobre el surco. El IAF durante el ciclo se midió en forma indirecta, se realizó por medio de un interceptómetro óptico (PAR/LAI Ceptometro AccuPAR LP-80 Decagon Devices, Pullman, Washington,

USA), efectuándose en cada de las etapas fenológicas del cultivo, con la barra dispuesta de manera perpendicular a los bordos o al surco en su caso, en los tres sitios de la parcela experimental. Los valores de IAF se calcularon a partir de las lecturas de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), medida por encima (PARa) y por debajo (PARd) del dosel, con la siguiente expresión:

$$IAF = \frac{[(1 - \frac{1}{2K}) fb - 1] \ln(\frac{PAR d}{PAR a})}{A (1 - 0.47 fb)}$$

Donde K es el coeficiente de extinción lumínico, que al considerar un parámetro de distribución angular esférico ($x=1$), simplifica su cálculo a $K=1/(2*\cos v)$, siendo v el ángulo cenital; fb es la fracción de la radiación directa con respecto a la radiación solar recibida, y A es un coeficiente de absorción general del dosel que resulta igual a 0.86 para un valor de absortividad de 0.9 (De la Casa *et al.*, 2007).

Además en cada punto de muestreo se tomó altura de planta, etapa fenológica y condiciones fitosanitarias del cultivo en cada visita, así como la recopilación de la información del proceso productivo del cultivo, variedad, fertilización, riegos, fecha de siembra, etc. Al final del ciclo se corto toda la planta dentro de un metro cuadrado en el mismo sitio de muestreo, y se le sumaron dos puntos más por sitio se muestreo de tal manera que se obtuvieron nueve metros cuadrados para estimar el rendimiento en cada polígono, en cada una de estas muestras se determino, peso de paja, peso de grano, relación paja grano, peso hectolitrico de grano, por otra parte mediante entrevistas directas con los productores de cada sitio de muestreo se determino el rendimiento obtenido por los mismo. Adicionalmente se llevo un registro diario de las temperaturas mínimas y máximas, para calcular los grados día (GD) que se usaron como indicador de la edad del cultivo.

$$GD = \frac{T \text{ Max} + T \text{ Min}}{2} - 4$$

Donde GD es la unidad de crecimiento o grado día, T máx es la temperatura máxima en grados centígrados, T min es la temperatura mínima en grados centígrados y 4 es la temperatura base para el cultivo de trigo (Acevedo *et al.*, 2002).

Se determino también el índice de área foliar (IAF) máximo que se presentó en el ciclo del cultivo mediante el uso de la propiedad de la derivada, que considera que toda función tiene un máximo relativo en un intervalo dado igual a su derivada. Para fines prácticos, para obtener los grados días a los cuales se presenta el IAF máximo basta con obtener el coeficiente del coeficiente de X1 y dividido entre dos veces el coeficiente de X2 en la función cuadrática del IAF, una vez encontrado este valor basta con sustituirlo en la función original para encontrar el IAF máximo.

$$Y = a + bx + cx^2$$

$$GD \text{ IAFmax} = \frac{b}{2c}$$

$$IAF \text{ max} = a + b \text{ GD IAFmax} + c(\text{GD IAFmax})^2$$

Con este índice se analizó su relación del rendimiento de grano estimado mediante rendimiento y el manifestado por los agricultores, para obtener dos modelos de regresión, que permita estimar el rendimiento en función del índice de área foliar máximo (IAF máx.).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS

5.1.1 Temperatura Ambiente

Para cuantificar el efecto del clima sobre el cultivo se consideró la variable climática de temperatura, en sus expresiones de mínimos y máximas diarias. Para esta variable se dispone de la información proporcionada por las estaciones climatológicas automatizadas (87 Meloland, 186 UC San Luis y 201 UC Andrade) del sistema CIMIS (California Irrigation Management System en USA), UC Mexicali, UC Nuevo León y UC Zacatecas, del sistema de Información de Manejo de Agua de Riego en Baja California (SIMARBC). En la figura No. 4 se consignan dichas temperaturas máximas y mínimas registradas en el ciclo del cultivo (O-I 2006-2007). En esta también se puntualizan las temperaturas promedio del periodo de 1995-2005 (los últimos 11 años). Cuando se comparan estas líneas puede notarse claramente que existe una marcada diferencia tanto para la mínima como para la máxima del ciclo con los promedios, a lo largo de todo el ciclo del cultivo se observa que las temperaturas máximas fueron menores al promedio de máximas de 11 años, y las temperaturas mínimas fueron superiores a su promedio propiciado, un año con condiciones favorables para el desarrollo del cultivo de trigo.

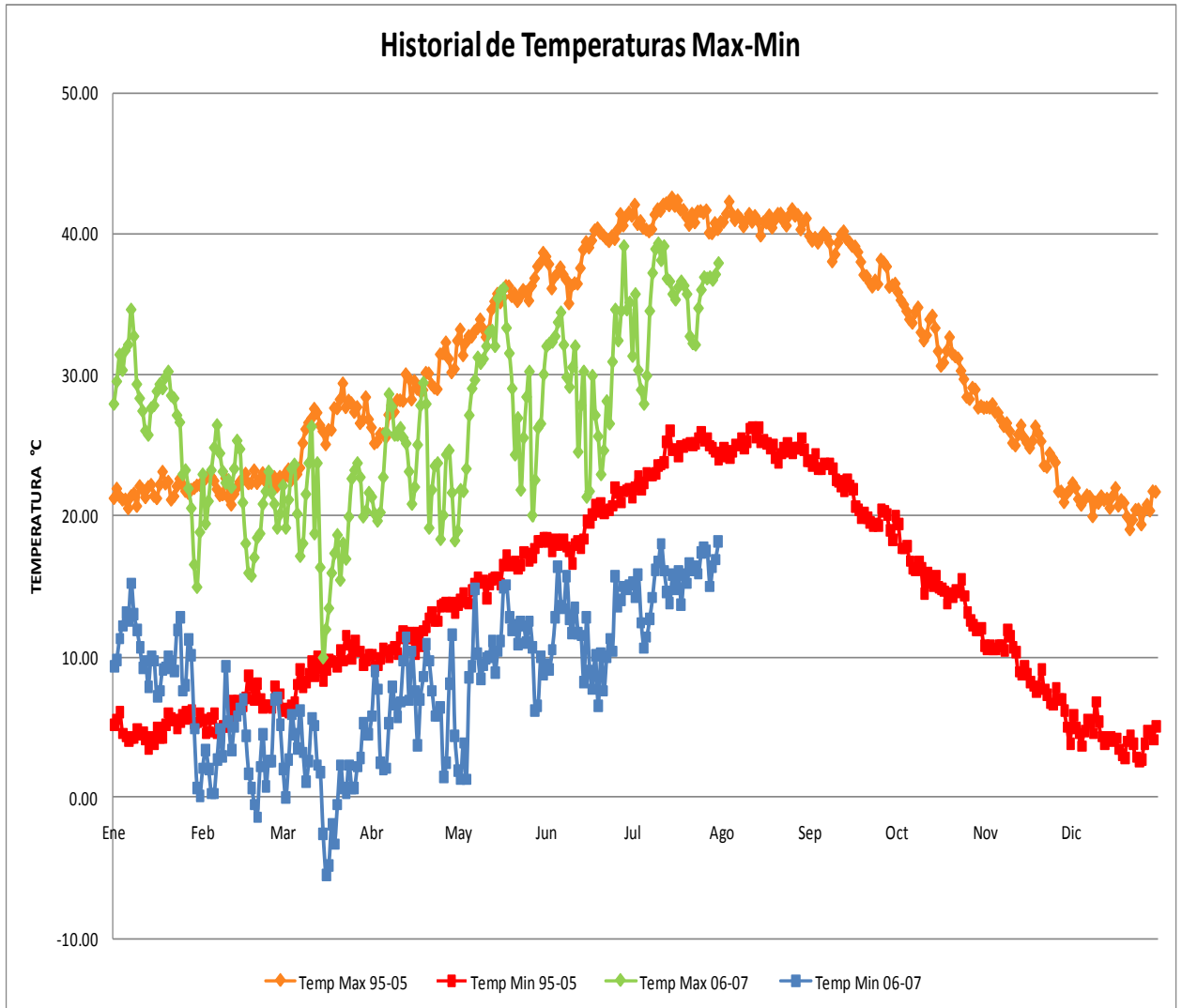


Figura 4. Temperaturas Máximas y Mínimas promedio de 11 Años 1996-2005 y del Ciclo O-I 2006-07. En el DDR 002 Río Colorado

En el Cuadro no. 1 se puede observar que los polígonos de muestreo se ubicaron en 29 ejidos y 22 colonias del valle de Mexicali, cubriendo prácticamente toda el área sembrada con Trigo. La estratificación, y el tamaño de muestra cumplen con los supuestos buscados, ya que involucran diferentes números de parcelas y los estratos significaron diferentes cultivos. En todos los polígonos se tenía el cultivo de Trigo, además se identificó cultivos como Avena, Alfalfa, Forrajes, Cártamo, Dátil, Cítricos y Algodón, algunas Hortalizas, Áreas sin Cultivo y otras con Monte Bajo.

Cuadro 1. Ubicación geográfica del centroide de los polígonos de muestreo para trigo, valle de Mexicali ciclo O-I 2005-06, así como sus principales características

ID	Longitud	Latitud	Localidad	Propietario	Cultivos Presentes
T01	32.463633	-115.248817	Col. Cerro Prieto	Jose Garcia	Trigo
T02	32.530733	-115.154817	Ej. Queretaro	Misael Lopez	Trigo
T03	32.348133	-115.014817	Col. Madero	Carmona	Trigo
T04	32.439933	-115.145033	Ej. Saitillo	Sergio Morales	Trigo, Alfalfa
T05	32.298417	-115.119650	Cd. Guadalupe Victria	Francisco Miranda	Trigo, sin cultivo
T06	32.419967	-115.065983	Ej. Toluca	Rogelio Ayala	Trigo
T07	32.549317	-114.947783	Ej. Tabasco	Guillermo Lopez	Trigo, sin cultivo
T08	32.331400	-115.006283	Col. Elias	Raul Gonzales	Trigo
T09	32.507917	-115.206983	Col. Polvora	Aurelio	Trigo
T10	32.298050	-115.082550	Cd. Guadalupe Victria	Palmerin	Trigo
T11	32.264017	-115.072350	Cd. Guadalupe Victria	Genaro Vazques	Trigo
T12	32.336567	-115.185150	Ej. Oaxaca	Chevo Rendon	Trigo, sin cultivo
T13	32.537150	-114.928883	Ej. Tabasco	Ricardo Mireles	Trigo, sin cultivo
T14	32.402717	-115.176733	Ej. Nvo Leon	Bernardina Martinez	Trigo, Forraje
T15	32.477100	-115.147933	Col. Astorga	Carlos Nuñez	Trigo
T16	32.315767	-115.081700	Ej. Chapultepec	Sr. Muñoz	Trigo
T17	32.276917	-115.122567	Ej. Aguascalientes	Alberto Lopez	Trigo, Hortalizas
T18	32.511350	-115.065283	Ej. Jiquilpan	Gregorio Barda	Trigo
T19	32.516917	-114.993983	Ej. Mexico	Yiyo Magaña	Trigo, sin cultivo
T20	32.484767	-115.029900	Ej. Distrito Federal	Ventura Fierro	Trigo, sin cultivo
T21	32.339100	-115.157250	Ej. Oaxaca	Jose Lopez Agramon	Trigo, sin cultivo
T22	32.341667	-114.989567	Col. Elias	Sergio Morales	Trigo
T23	32.432517	-115.170650	Ej. Nuevo Leon	Lucia Reyes	Trigo
T24	32.434650	-115.098517	Ej. Veracruz I	Felipe Lopez	Trigo, Forraje
T25	32.474917	-115.013317	Ej. Mexico	Jorge Palma	Hortalizas, Trigo
T26	32.539867	-115.073150	Ej. Monterrey	Ramon Acevedo	Trigo, sin cultivo
T27	32.556467	-114.991250	Ej. Campeche	Mauricio Perea	Trigo, sin cultivo
T28	32.431200	-115.032017	Col. Silva	Carlos Talamantes	Esparrago, Trigo
T29	32.486500	-115.092933	Ej. Quintana Roo	Efren Quevedo	Alfalfa, Trigo, forraje
T30	32.597200	-115.612250	Col. Centinela	Gustavo Cervantes	Trigo
T31	32.563667	-115.536583	Col. Progreso	Jacobo Nuñez	Trigo, sin cultivo
T32	32.541683	-115.439750	Col. Colorado	Fidel Flores	Trigo
T33	32.495850	-115.393850	Col. Colorado	Ruben Marcos Vallejo	Trigo, S/C
T34	32.551600	-115.338000	Ej. Puebla	Basilio Ruiz Fuentes	Forraje, Trigo
T35	32.502733	-115.312333	Ej. Guanajuato	Juan Carlos Ledesma	Trigo, Alfalfa
T36	32.573633	-115.177050	Ej. Tula		Trigo, Alfalfa
T37	32.601550	-115.098667	Ej. Yucatan	Francisco Marquez	Trigo
T38	32.652700	-114.961550	Ej. Villahermosa	Juan Molina	Trigo
T39	32.499350	-114.922083	Ej. Hermosillo	Everardo Ramos	S/C, Trigo
T40	32.603300	-114.927133	Ej. Cuervitos	Sr. Mendoza	Trigo
T41	32.296767	-114.977167	Col. Nuevo Leon	Guadalupe Padilla	Trigo, sin cultivo
T42	32.359233	-114.922600	Ej. Pozas de Arvizus	Ricardo Padilla	Hortalizas, Trigo, s/c
T43	32.552450	-114.868233	Ej. Janitzio	Hector Figueroa (Pato)	Trigo, Alfalfa
T44	32.611167	-114.845350	Ej. Morelos	Alfonso Leyva	Trigo
T45	32.329033	-114.964567	Ej. Pozas de Arvizus	Juan Quintero	Trigo
T46	32.159983	-115.138833	Col. Camacho	Javier Sanchez	Trigo
T47	32.216500	-115.151400	Col. Carranza	Eduardo Zavala	Trigo, sudan, alfalfa
T48	32.167450	-115.060733	Ej. Zacatecas	Oscar Urias Parra	Trigo, sin cultivo
T49	32.249333	-115.016500	Col. Nuevo Leon	Hugo Jimenez	Trigo, sin cultivo
T50	32.179417	-115.012617	Colonias Nuevas Km. 57	Dimas Trejo	Trigo
T51	32.294417	-115.004400	Col. Nuevo Leon	Gilberto Moreno	Alfalfa, Trigo, Hortalizas
T52	32.362183	-115.051350	Col. Silva	Juan Dojaquez	Hortalizas, Trigo
T53	32.232833	-115.016467	Col. Nuevo Leon	Oscar Castro	Sin Cultivo, Trigo
T54	32.275250	-115.219367	Ej. Sonora	Carlos Mandujano	Trigo
T55	32.232483	-115.218417	Ej. Durango	Roberto Gonzales	Trigo, Alfalfa
T56	32.260883	-115.275717	Ej. Durango	Pedro Amarillas	Trigo
T57	32.309017	-115.298317	Ej. Cucapah Mestizo	Raul Reyes	Trigo, Forraje
T58	32.400767	-115.103500	Ej. Veracruz II	Alfredo Garcia	Alfalfa, Trigo, forraje
T59	32.612817	-115.343633	Ej. Islas Agrarias	Cesar Gratiani	Trigo
T60	32.525900	-115.246383	Ej. Jalisco	Rafael Lopez	Trigo

5.1.2 Manejo Agronómico del Cultivo

Fecha de Siembra

Se observó que la mayor superficie sembrada fue en la primera quincena de diciembre correspondiendo a 22 sitios y 15 a la segunda quincena del mes, noviembre fue el segundo mes de importancia ya que fueron sembrados 6 sitios en la segunda quincena. El 75.51% sembró en el mes de de Diciembre, el 16.33% lo hizo en el mes de Noviembre y el 6.12% en el mes de Enero. Si se considera que el periodo de siembra es del 15 de Noviembre al 31 de Diciembre, el 87.8% sembró dentro del periodo recomendado. Las desviaciones correspondieron al 4.08% y 6.12% en forma temprana y tardía respectivamente.

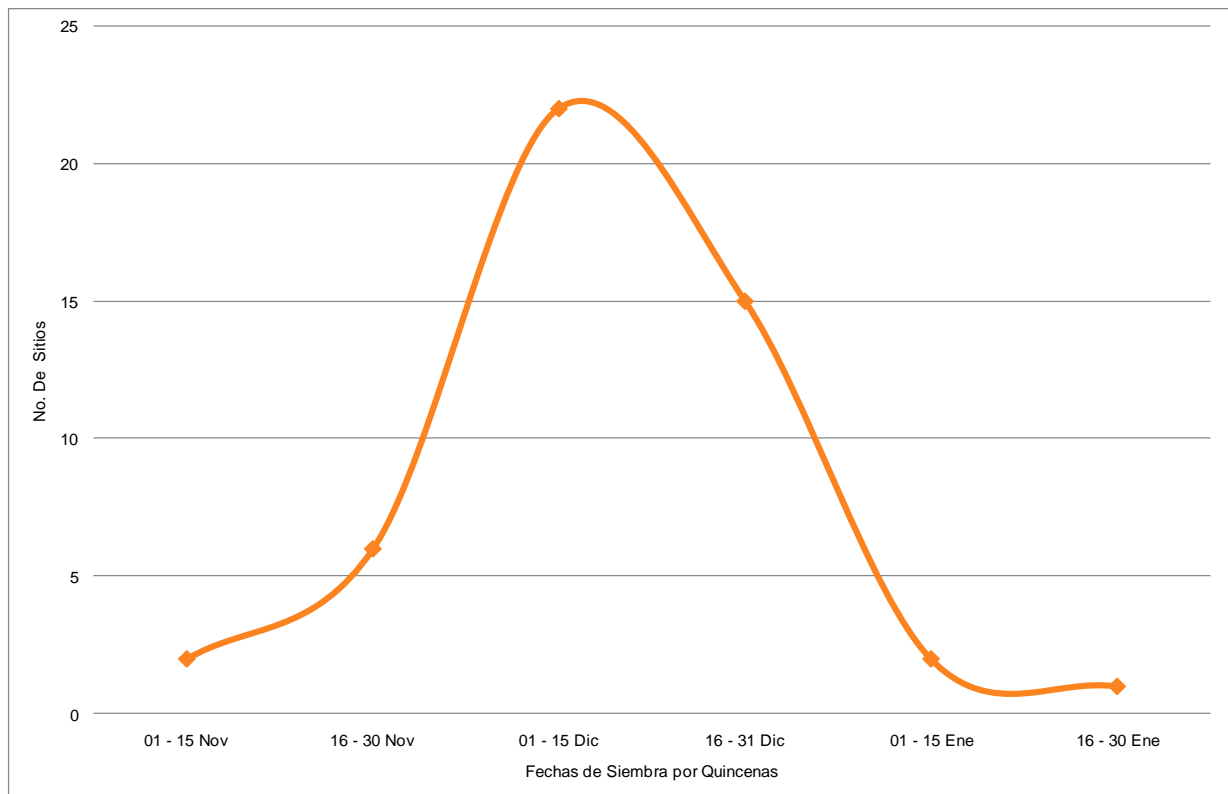


Figura 4 Numero de Sitios Sembrados por Quincena

Variedades Utilizadas

El 72.55% de las variedades utilizadas en el ciclo, correspondieron a variedades aptas para la región. En su mayoría fueron trigos cristalinos grupo V utilizado para la elaboración de pastas. Con un 25.49% se utilizó la variedad Aconchi C-89, con 19.61% la variedad Rafi C-97 y la variedad más utilizada fue Río Colorado con un 27.45% estas tres variedades más utilizadas pertenecen al grupo V. Las variedades menos utilizadas fueron Atil, Babiadora, Palmerin, Primavera, Sofía y Yecora Blanco con el 1.96% cada una de las variedades. En la figura no. 6 se presentan las variedades sembradas en el valle y la superficie que se sembró de cada una de ellas, observándose que son similares las variedades muestreadas con las sembradas en el valle.

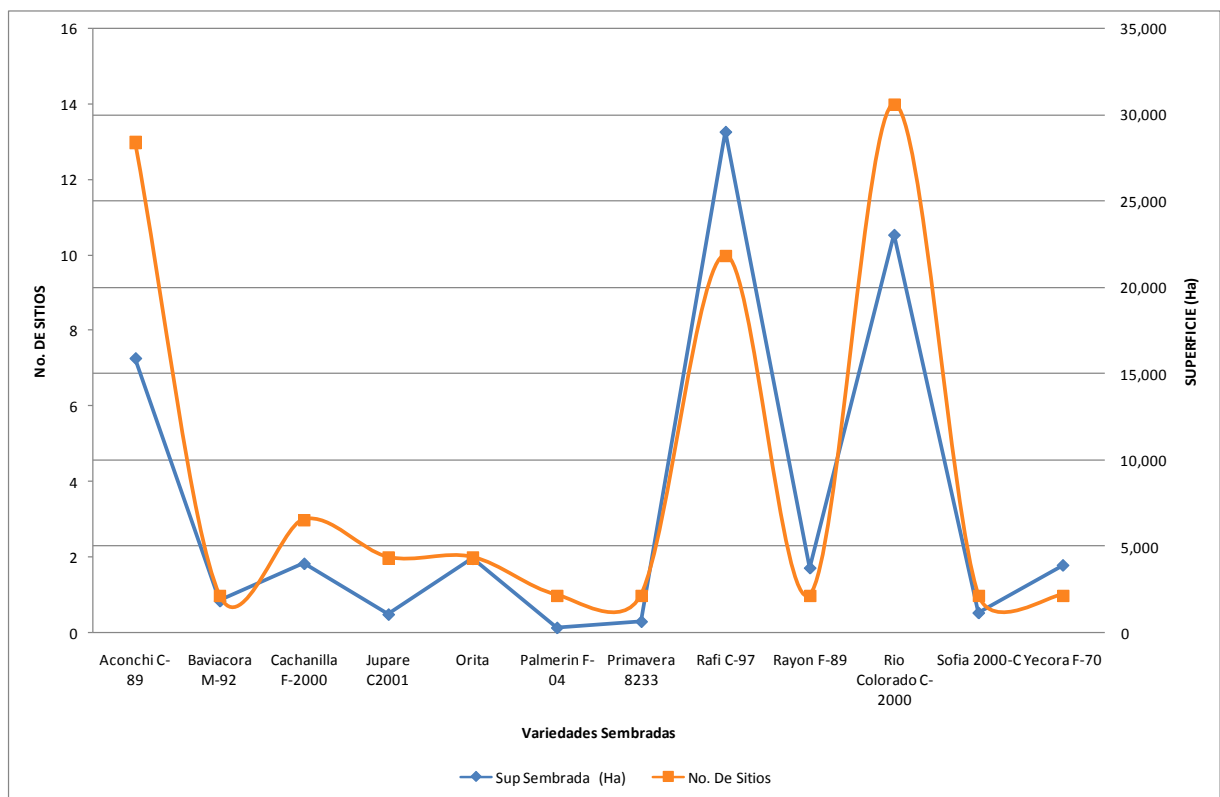


Figura 5 Variedades Muestreadas y Superficie Sembrada en el DDR-002 Río Colorado en el Ciclo O-I 2006-07.

Numero de Riegos

El manejo del agua de riego se considera como el aspecto más importante en la producción de trigo en el DDR 002, ya que este y la fertilización nitrogenada define principalmente el rendimiento. Aunque no se cuantificó la lamina de riego utilizada, el manejo del agua de riego en el cultivo, en cuanto a número exclusivamente, se considera apropiado para la región. El 82% de los sitios muestreados aplicó 5 riegos en total, un riego de germinación o de pre-siembra y 4 de auxilio, que es lo recomendado para la zona. El 12% aplicó 6 riegos, el de germinación y 5 de auxilio. Solamente el 6% aplicó 4 riegos, el de germinación y 3 de auxilio. El restante 13% usa otro término aplicó 3 riegos, el de germinación y 2 de auxilio y por último un 2% con 7 riegos, el de germinación y 6 de auxilio.

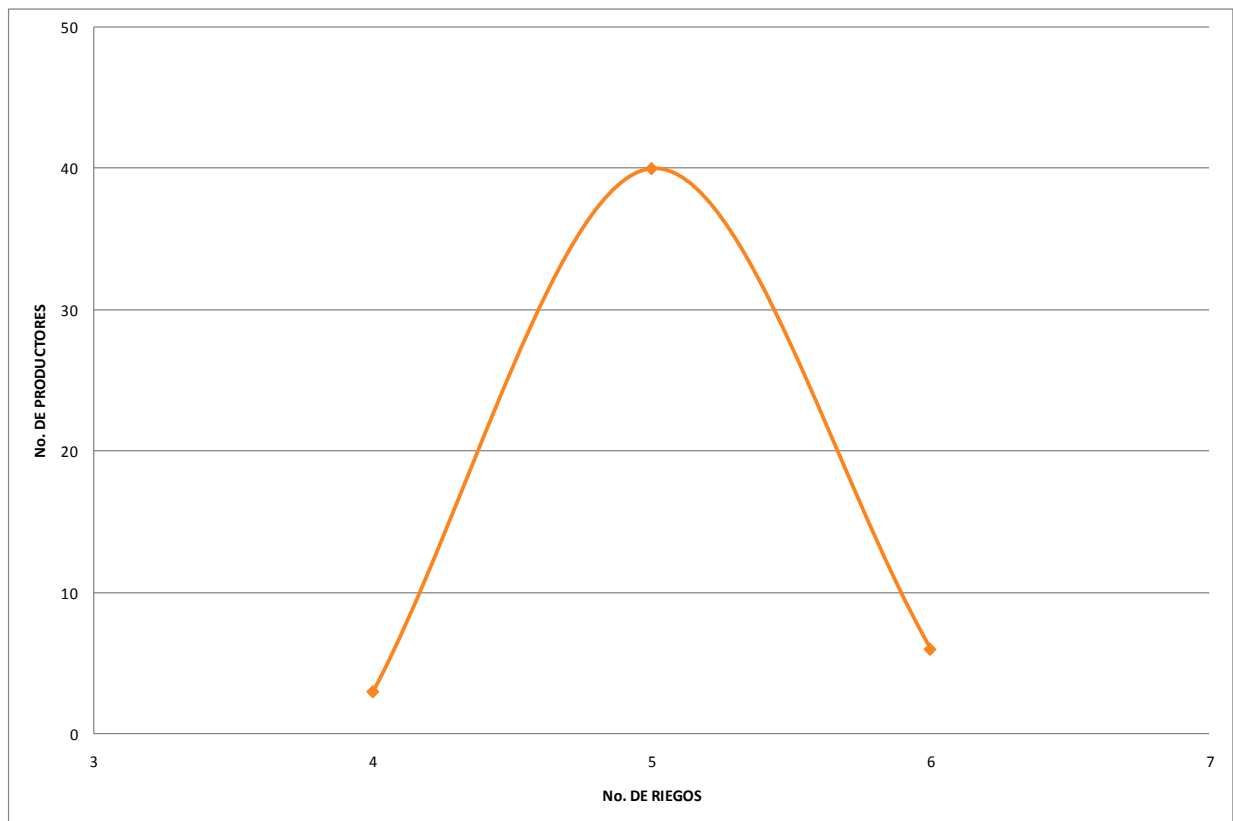


Figura 6 Número de Riegos Aplicados en los Sitios de Muestreo de Trigo, en el Ciclo O-I 2006-07, DDR-002 Río Colorado.

Fertilización

El uso manejo de los fertilizantes también fue el adecuado para la región. El promedio general de rendimiento fue de 6.38 Ton/Ha, se recomienda aplicar para este rendimiento esperado 223.3, 63.8 y 0 Kg/Ha de Nitrógeno, Fosforo y Potasio respectivamente. El promedio utilizado de estos elementos en los sitios de muestreo fue de 301.04, 70.92 y 0 Kg/Ha

El total de los productores de los sitios de muestreo utilizo fertilizante. Todos utilizaron nitrógeno, el 91.84% aplicó fosforo y ninguno aplicó Potasio, tal como se recomienda para esta zona.

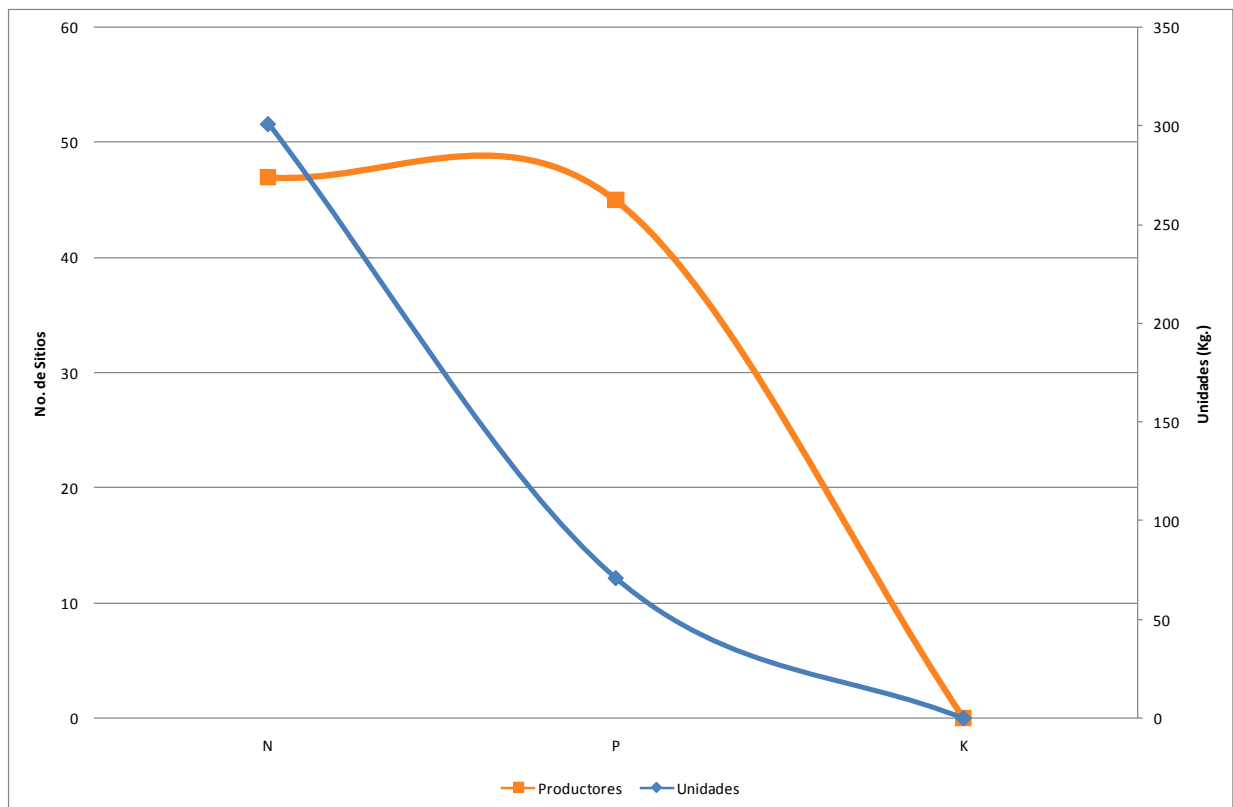


Figura 7 Número de Sitios de Muestreo y Dosis de Elementos Mayores en el DDR-002 "Río Colorado" Ciclo O-I 2006-07

Uso de Herbicidas e Insecticidas

El principal problema en la producción de Trigo en el DDR 002 es el de la maleza. El problema es derivado en forma económica, ya que se conoce perfectamente el uso de herbicidas, para su control, sin embargo solo se utiliza en casos extremos, donde no es posible obtener producción sin su aplicación, esta medida la utilizan los productores en forma errónea buscando reducir sus costos. La SAGARPA ha documentado el problema indicado que el 60% tienen un grado de infestación de maleza. Sin embargo solo el 92% de los sitios de muestreo revisados utilizaron herbicida, pero en los constantes recorridos por los sitios de muestreo se pudo constatar que el problema de maleza continuó en algunos casos aun después de la aplicación del herbicida, reduciendo drásticamente el rendimiento. El uso de insecticidas por otra parte depende de la presencia de algunas plagas principalmente el "pulgón del follaje" y los del tallo, cogollo y raíz en menor escala. El uso de insecticidas no es generalizado, en este ciclo solo el 22.45% utilizó algún insecticida.

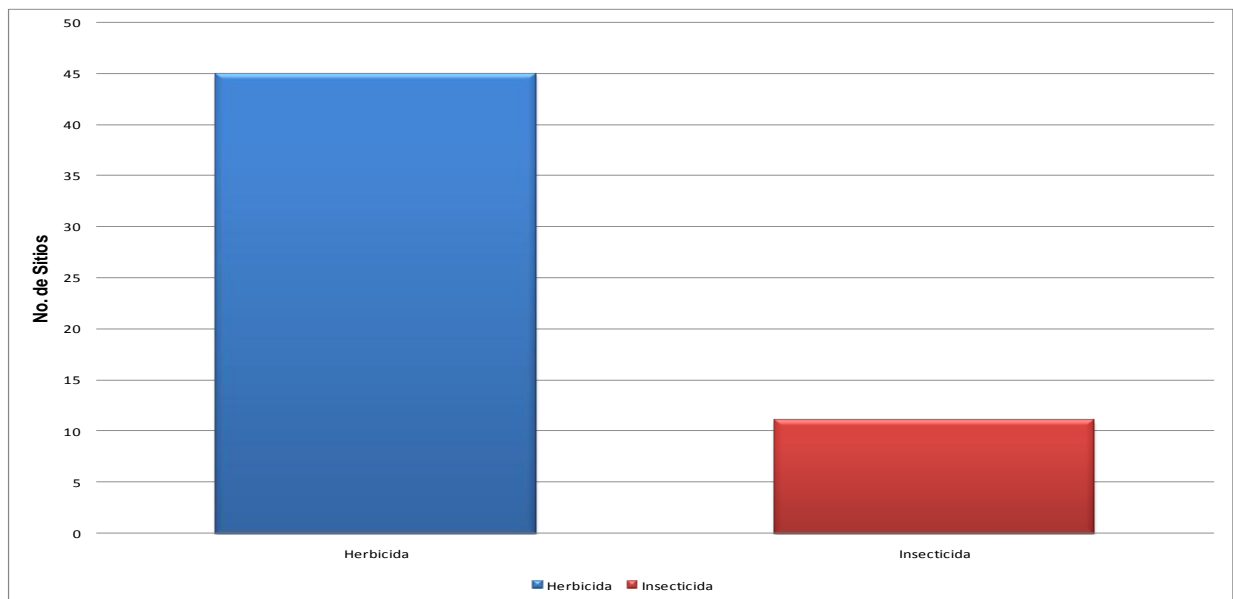


Figura 8 Uso de Agroquímicos en la Producción de Grano de Trigo en el DDR-002 "Río Colorado" Ciclo O-I 2006-07

Fenología del Cultivo

Aunque se sembraron distintas variedades de los grupos I, II y V, como se mencionó en las variedades, se observó que estas presentaron un desarrollo muy similar, con pequeñas diferencias entre ellas, probablemente debidas a la forma de determinación visual sin una escala numérica. En la figura 10 se resume el desarrollo fenológico de todas las variedades, las principales etapas que se identificaron a partir de la siembra fueron: Amacollo, Encañe, Embuche, Espigamiento, Medio Grano, Grano Lechoso-Masoso y Cosecha, presentándose a los 456.80, 734.50, 878.71, 982.93, 1047.29, 1219.80, 1366.08 y 1893.08 Grados Días Acumulados a partir de la siembra, respectivamente.

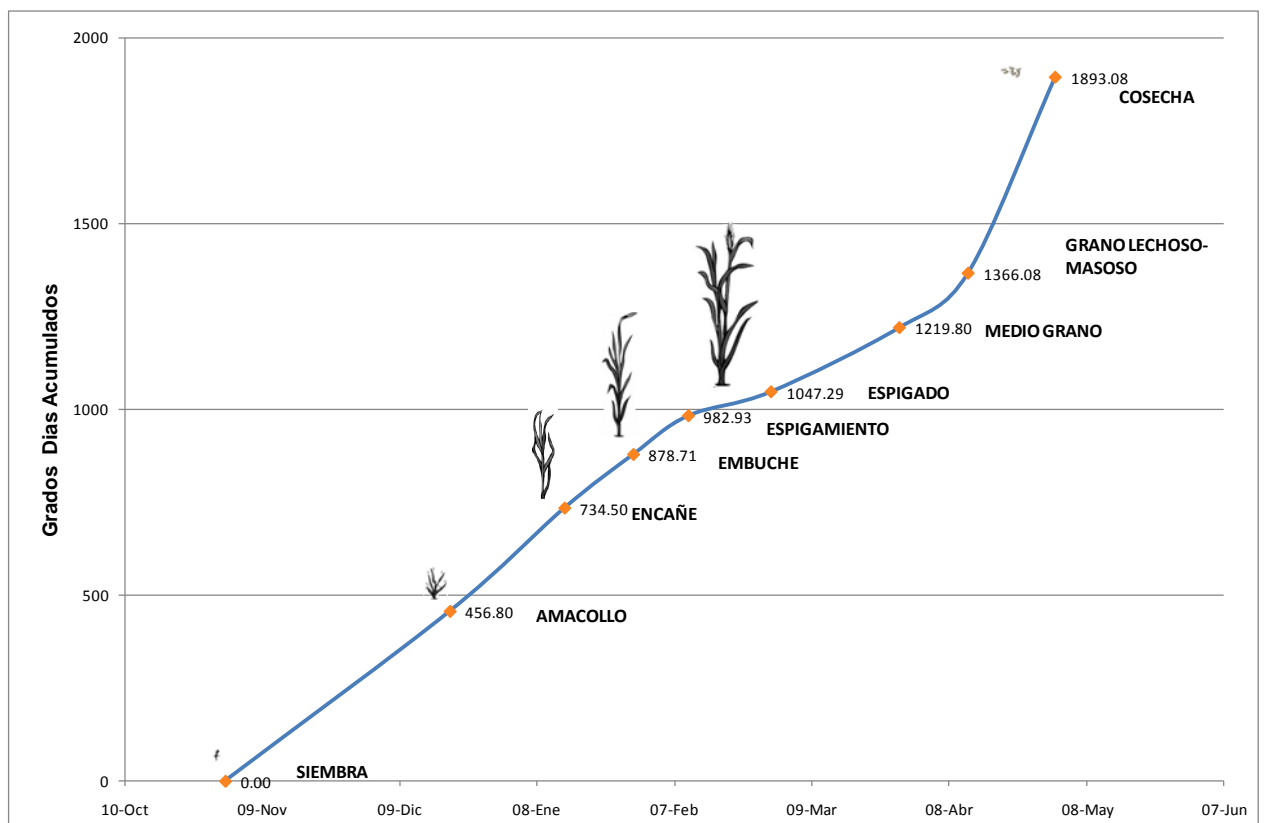


Figura 9 Etapas de Desarrollo Fenológico de Trigo y sus Grados Días Acumulados, en los Sitios de Muestreo, del DDR-002 "Río Colorado" Ciclo O-I 2006-07

5.1.3 Rendimiento de Grano

El rendimiento de grano de trigo se tiene en dos vertientes, el que se calculó mediante muestreo destructivo y el que los productores manifestaron haber obtenido, por lo tanto se divide en rendimiento calculado y rendimiento obtenido.

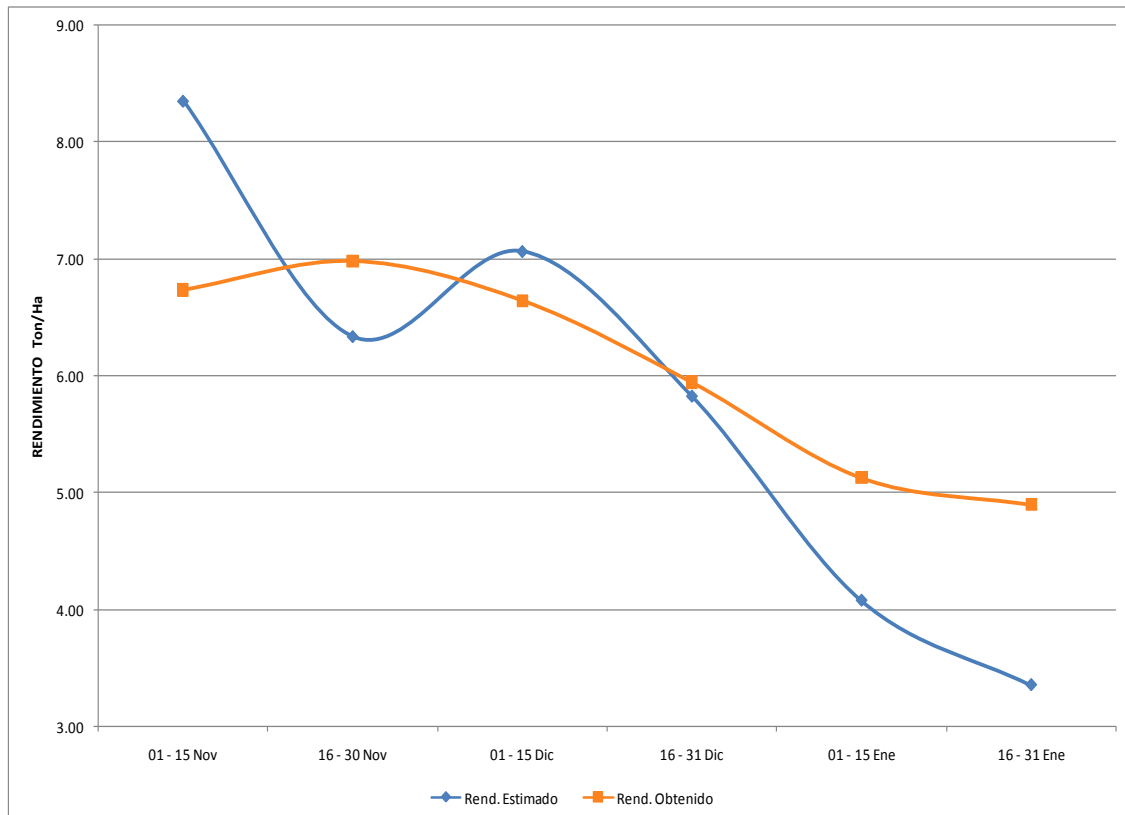


Figura 10 Rendimiento de Grano de Trigo Estimado Durante Muestreo y Rendimiento Obtenido por los Productores en el DDR-002 "Río Colorado" Ciclo O-I 2006-07.

En la figura 11 puede observarse el rendimiento de grano determinado mediante muestreo destructivo. Puede verse claramente que los mayores rendimientos se alcanzaron en las siembras durante la primera quincena del mes de noviembre y la primera quincena del mes de diciembre, disminuyendo paulatinamente conforme la fecha de siembra avanza hacia fines del año principios del siguiente. El mayor rendimiento de 8.36 Ton/Ha de grano se obtuvo en la primera

quincena de Noviembre, en la segunda quincena de este mes 6.34 Ton/ha, el rendimiento aumentó en la primera quincena del mes de Diciembre hasta 7.07 Ton/Ha reduciéndose hasta 5.83 Ton/Ha, en la segunda quincena del mes de Diciembre. Las fechas tardías del mes de enero obtuvieron unos rendimientos muy bajos que coinciden con lo esperado de acuerdo a la fecha de siembra recomendada.

En esta misma figura manifiesta los mayores rendimientos en las siembras tempranas y reduciéndose en forma que avanza la fecha de siembra, ya que se trata de los mismos predios salvo que es el rendimiento estimado mediante el muestreo y el rendimiento manifestado por los productores. Las cantidades son diferentes debido a que el muestreo sobreestima, y los productores tienden a manifestar un rendimiento menor, para cuidar su crédito ante instituciones financieras y pedir al gobierno mayores apoyos a los precios de referencia.

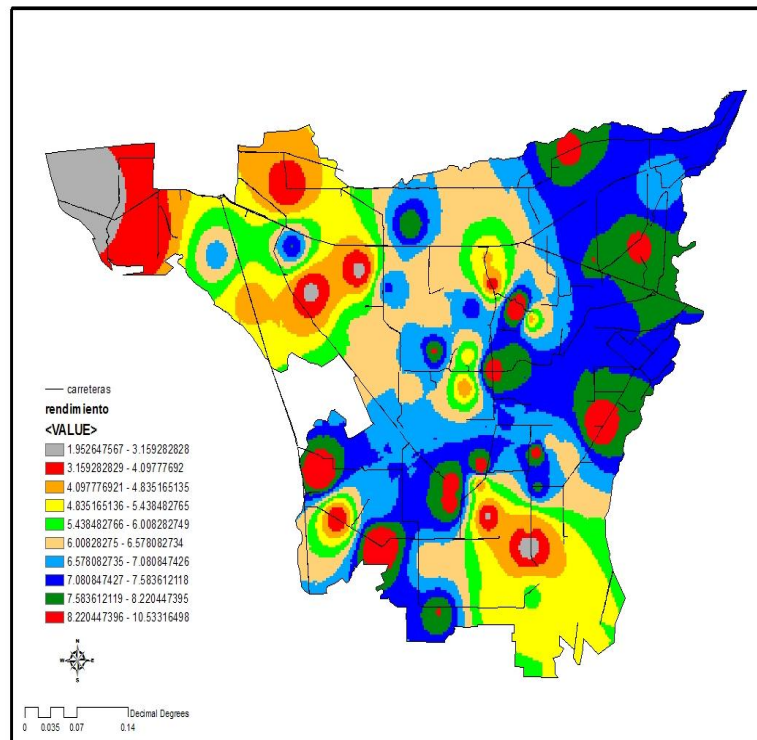


Figura 11 Mapa del Valle de Mexicali Zonificado por Áreas de Igual Rendimiento.

5.1.4 Índice de Área Foliar Máximo

Se analizó mediante la regresión del valor mayor del índice de área foliar, que se presentó en el ciclo, este generalmente se alcanza en la etapa de floración, con el rendimiento estimado mediante el muestreo. La regresión resultó altamente significativa. Con un coeficiente de R^2 de 0.7035. en este análisis se utilizaron solo 148 valores, en lugar de los 180 muestreados, debido a que se desecharon aquellos sitios de muestreo donde el cultivo presentó problemas fuertes de maleza, principalmente y aquellos sitios que presentaron problemas de "Acame" ya que ambos casos el índice de área foliar se vio seriamente afectado, sobrestimándose por la presencia de las plantas extrañas al trigo o bien por la caída de las plantas que evitaba la penetración de la luz que es el factor que utiliza el Ceptometro para determinar índice de área foliar. Otros sitios que se desecharon fueron lo que no tenían un valor de rendimiento estimado, por problemas de muestreo. En la figura no. 13 se muestra esta regresión lineal presentándose el modelo de regresión, que se considera como adecuado para estimar rendimiento en forma indirecta.

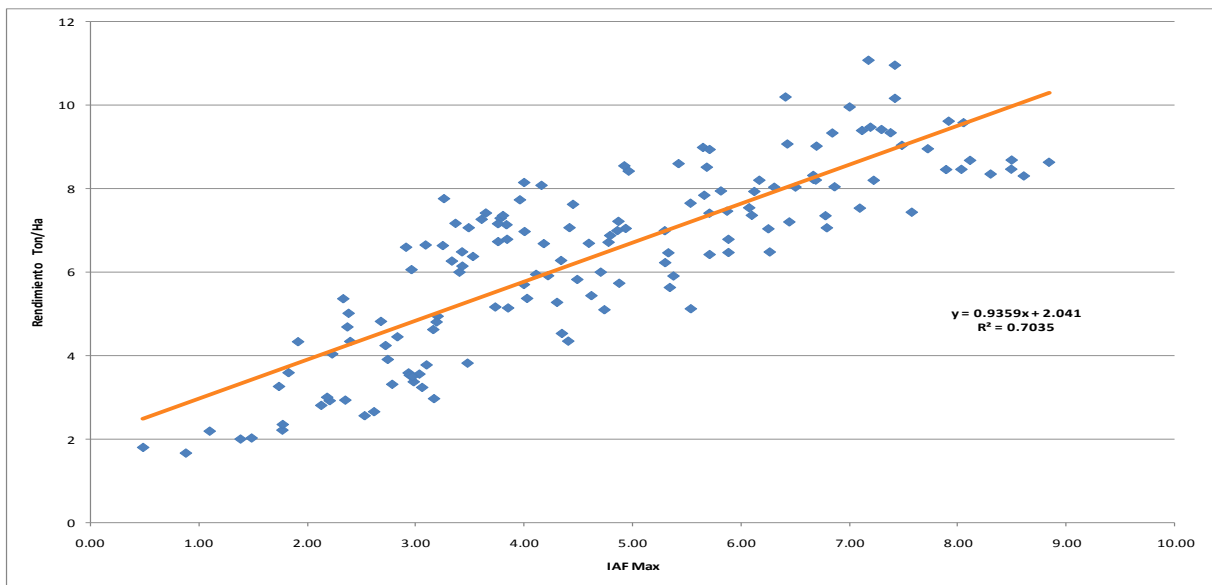


Figura 12 Modelo Obtenido con el Rendimiento Estimado y el IAF Máximo para el Cultivo de Trigo en el DDR-002 "Río Colorado" Ciclo O-I 2006-07

5.2 DISCUSIÓN

Predicción de Cosecha

En el Cuadro 2, se puede observar que de acuerdo con el reporte dado por la SAGARPA (2007), se sembró una superficie de 94,044 ha en el DDR-002 y al final del ciclo se cosecho una superficie de 93,788 ha, con una producción total de grano de 571,356 ton con un rendimiento promedio de 6.09 ton/ha.

CUADRO 2 Diferencias de Produccion y Rendimientos Con Diferentes Fuentes

Fuente	Rendimiento (Ton/Ha)	Produccion (Ton)
Rendimiento Estimado	6.08	570,231
Rendimiento Muestreado	6.33	598,367
SAGARPA	6.09	571,356

En el mes de marzo se estimó una producción de 570,231 Ton de grano de trigo con un promedio de 6.08 ton/ha teniendo una aproximación del 99.5% de efectividad.

En el mes de agosto se obtuvo el resultado del rendimiento muestreado dando una producción de 598,367 ton y un rendimiento promedio de 6.33 ton/ha acertando un 95.4%.

5.2.1 OBSERVACIONES

Los resultados que se presentan corresponden al trabajo realizado a partir de la segunda quincena de diciembre y los lotes de los productores se sembraron a partir del mes de noviembre.

La utilización del AccuPAR y como consecuencia los muestreos de Índice de Área Foliar se iniciaron en el mes de diciembre.

El principal problema de manejo del cultivo fue la maleza ya que el 48% de los lotes observados presento este problema.

El segundo problema para el cultivo de trigo y el desarrollo de este trabajo fue el “acame” de las plantas que se presenta a finales del ciclo, afectando a un 10% de los sitios de muestreo.

6. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusión

El modelo obtenido se considera efectivo para iniciar la predicción de cosechas en trigo en base al IAF máximo

En este trabajo se logró zonificar el DDR-002 por rendimiento de trigo, lo que servirá de base para la reconversión productiva.

El método de muestreo de rendimiento se considera apropiado, dada la coincidencia entre el rendimiento estimado y el obtenido realmente por los productores. Este sistema de muestreo sobreestima en un 15% el rendimiento real.

Las condiciones de clima durante el desarrollo del cultivo fueron las adecuadas para el cultivo de trigo, pero en el mes de marzo hubo un incremento de las temperaturas las cuales afectaron el rendimiento.

Las condiciones de manejo del cultivo, se consideran adecuadas, de acuerdo a las recomendadas para la región.

6.2 Recomendaciones

Se debe de validar el modelo de regresión obtenido en un segundo año de muestreo y replantearlo en caso necesario, para lograr la mayor aproximación a la realidad posible.

La localización de los polígonos de muestreo en campo debe iniciarse en la segunda quincena del mes de octubre, para dar oportunidad de recopilar la información de preparación de suelo y fecha de siembra en forma directa con el productor.

Los sitios de muestreo deben incrementarse, para asegurar un cubrimiento completo del área, ya que existen posibilidades de perder sitios de muestreo por manejo del cultivo o por imprevistos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo E., Silva P., Silva H. 2002 Wheat Growth and Physiology, B.C.: Curtis S., Rajaram, HM Gómez Ed. Planta Production and Protection Series No. 30 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Armenteras, D 2001. "GIS at the Alexander Von Humboldt Institute", Colombia. In: Conservation Geography by C. Convis. ESRI Press, USA.
- Chen JM, Rich PM, Gower ST, Norman JM, Plummer S, 1997. Índice de Área Foliar de los Bosques Boreales: Teoría, Técnicas y Mediciones. Geophys Res 102, 29429-29443.
- Clement, G.M., Jacques P. 1969. Los Cereales. Versión española Juan Ignacio de la Vega, Ed. Mundiprensa, Madrid.
- Cintra de Jesús W., Ribeiro do Vale F., Resende Coelho R. y Costa L. 2000. Comparision of two methods for estimating leaf area index on common bean. Villa Gianete campo experimental de la Universidad Federal de Vicosa, minas Gerais, Brasil.
- De la Casa A., Ovando G., Bressanini L., Rodríguez A y Martínez J. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de ciencias Agropecuarias.
- Defense Mapping Agency. 2000. DMA Technical Manual 8358.1 Datums, Ellipsoids, Grids, and Grid Reference System. USA.
- Enciclopedia de la Ciencia y de la Técnica 1996. Vol. 6 Barcelona, Ed. Dánae. Cuarta Impresión.

Evelt S. R., Howell T. A., Steiner J. L., Schneider A.D., Copeland K. S. and Dusek D. A. 1994 Energy and Water Balance Modeling of Winter Wheat USDA-Agricultural Research Service Conservation and Production Research Laboratory International Summer Meeting ASAE Crow Center Kansas City, Missouri June 19-22, 1994.

Feldman, Sears, E.R 1967. Los recursos genéticos del trigo silvestre; Scientific American no. 54.

http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADnimos_cuadrados

http://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_lineal

<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>

Influencia de los factores climáticos sobre el desarrollo y producción del trigo (*Triticum aestivum* L.), y su manejo en siembras tardías en el valle de Mexicali B.C.

Malone S., Herbert D., y Holshouser D. 2001. Evaluation of the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer to Estimate Leaf Area in Manually Defoliated Soybean. Virginia Polytechnic Inst, and State Univ., Tidewater Agric. Res. And Ext. Cent., 6321 Holland Rd., Suffolk, Va.

Murrieta Baldenegro F. 1985 Influencia de los Factores Climáticos Sobre el Desarrollo y Producción del Trigo (*Triticum aestivum* L.), y su Manejo en Siembras Tardías en el Valle de Mexicali, B.C. Tesis de la Universidad de Sonora.

Robles, S. R. 1975. Produccion de granos y forrajes. México. Ed. Limusa. 1ra Edición.

Rodríguez Moreno V. M. y Tiscareño López M. 2003 Propuesta de Marco de áreas (polígonos de muestreo), para caracterizar las zonas agrícolas con imágenes de satélite Spot. Reporte técnico 2003. Laboratorio Nacional de Sensores Remotos INIFAP. México.

Rodríguez V., Báez A., Gonzales M., Ramos j., 2007. Marco de área<s para caracterizar áreas agrícolas con imágenes de satélite. Folleto técnico no. 32 INIFAP Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Pabellón. Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos.

Sistema Geodésico Nacional 2002 (Versión 1.3) Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

Zalom Frank G., Goodell Peter B., Wilson Lloyd T., Barnett William W., Bentley Walter J. Degree-Days The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management Division of Agriculture and Natural Resources, University of California Berkeley, December 1983.