

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas

Instituto en Investigaciones en Ciencias Veterinarias



DESARROLLO DE UN MODELO FENOLOGICO, DE PRODUCCIÓN Y PARTICIÓN DE MATERIA SECA Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DEL ESTATUS NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN EL VALLE DE MEXICALI B. C.

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

LÁZARO SANDOVAL ALVAREZ

DIRECTOR DE TESIS

PhD ROBERTO SOTO ORTIZ

La presente tesis “**DESARROLLO DE UN MODELO FENOLOGICO, DE PRODUCCIÓN Y PARTICIÓN DE MATERIA SECA Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DEL ESTATUS NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN EL VALLE DE MEXICALI B. C**” realizada por el **C. LÁZARO SANDOVAL ALVAREZ**, dirigido por el **PhD ROBERTO SOTO ORTIZ**, ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias
Comité Particular

PhD ROBERTO SOTO ORTIZ.
Director de Tesis

PhD. RAMÓN ANTONIO CINCO CASTRO
Secretario

DR. LUIS FERNANDO ESCOBOZA GARCÍA
Sinodal

DR. ALEJANDRO MANELIK GARCÍA LÓPEZ.
Sinodal

DRA. SILVIA MÓNICA AVILÉS MARÍN
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **DIOS** por incorporarme a la vida y a todo lo que involucra este misterio; permitiéndome coincidir en las realidades de personas que han hecho posible mantenerme en el amor y completar mis necesidades académicas y profesionales.

Al **CONACYT** por ser enlace indispensable del financiamiento que el pueblo de México me otorgó en mi preparación doctoral.

A la **UABC** por ofrecerme la oportunidad y los medios para recibir una educación pertinente a la realidad agropecuaria.

Al **ICA-UABC** por generar y mantener el programa Doctoral en Ciencias Agropecuarias y ofrecerme las herramientas y estrategias en mi preparación académica.

A mi amigo y Asesor **PhD Roberto Soto Ortiz** por regalarme su visión integral, en mi formación académica y profesional; que ha sido básica e indispensable para alcanzar este grado.

Al **PhD Ramón Antonio Cinco Castro** por ayudarme a lo largo de mi vida académica y laboral siempre anteponiendo su amistad y su apertura científica ilimitada.

A **mi comité doctoral** por su enseñanza invaluable y apoyo a sobrepasar los obstáculos en obtener este grado.

A **mi familia: Lizeth Ham Corrales mi esposa, mis hijos Miryam, Jacqueline, Isaac y Job** por haber hecho durante cada día de este proceso estuviera siempre conectado en el amor, dándome la fortaleza y el motivo para terminar esta preparación académica y alcanzar el grado de doctor que desde niño soñé.

A **mis padres, Pedro Camerino Sandoval Valencia y Petra Alvarez Mejía**, porque me han amado y enseñado el camino del éxito por escabroso que sea.

A **todos los maestros** que participaron en mi preparación académica a lo largo de mi vida.

A Miguel Ángel Bojórquez Aguilar y Oscar Aldana por su compañía humana insustituible y su colaboración responsable en los trabajos de esta investigación.

A **todo el personal administrativo y operativo del ICA** por su apoyo incondicional a lo largo de estos años de trabajo.

DEDICATORIA

Entre los motivos fundamentales de realizar estos estudios de posgrado esta mi familia. Mi esposa Lizeth Ham Corrales, mis hijos Miryam, Jacqueline, Isaac y Job; son a diario el agar de la metamorfosis de mi actitud creativa, de mi pensamiento propositivo y objetivo. Intentar resumir en una tesis este trabajo doctoral es insuficiente para mostrar lo mucho que mi familia intervino, sin embargo, es una buena oportunidad para evidenciarles lo mucho que los amo y necesito. Le dedico esta tesis a mi familia esperando que nunca quiten el dedo del renglón en su preparación académica y profesional.

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
1. Resumen.....	1
2. Introducción	5
3. Materiales y Métodos.....	8
3. Bibliografía citada	13
4. Artículo I	16
MODELO DE DESARROLLO FENOLÓGICO PARA VARIEDADES DE TRIGO DEL VALLE DE MEXICALI B.C. MEXICO.	
5. Artículo II	27
CONCENTRACION CRITICA DE NITRATOS EN TALLOS Y SU RELACION CON PANZA BLANCA EN TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI, B.C.	
6. Conclusiones Generales	36

RESUMEN

Con el propósito de desarrollar un modelo fenológico del cultivo de trigo basado en unidades calor y generar modelos de regresión que describen la producción y distribución de biomasa, así como encontrar los umbrales críticos de concentración de nitratos en tallos de trigo en etapas determinantes de fertilización nitrogenada, bajo las condiciones del Valle de Mexicali B C; se establecieron una serie de experimentos con 16 variedades comerciales de trigo, cuyo desarrollo fenológico fue monitoreado durante los ciclos agrícolas del 2007 al 2013, en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle de Mexicali Baja California (32° 24' N, 115° 11'W, altitud 9 m). Y en lotes de producción en el mismo Valle durante los ciclos 2013 al 2015.

Para los estudios que involucraron la determinación de niveles de concentración crítica de nitratos en tallos. 5 variedades de trigo de los grupos de calidad I y II fueron establecidas durante el ciclo agrícola 2011-2012, en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle Mexicali, Baja California, México.

En todos los experimentos, el manejo agronómico realizado, fue el recomendado para el valle de Mexicali, se puso especial cuidado en minimizar los factores de causa de estrés en el cultivo (nutrientes, agua, plagas, etc.).

Las variables de estudio incluyeron el monitoreo en campo de las diferentes etapas fenológicas del cultivo, de acuerdo a la escala de Feekes. Asimismo, se hicieron colectas de biomasa superficial en 1 m² de cada unidad experimental en las siguientes etapas fenológicas: Amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica. Se generaron modelos de regresión para describir la producción y partición de la materia seca. En relación con la determinación de valores de concentración crítica de nitratos en el follaje de trigo, se formaron tratamientos que correspondieron a diferentes niveles de fertilización nitrogenada, determinándose el valor crítico como aquel que correspondió a un rendimiento relativo del 90%.

Como resultado de este proyecto de investigación, se presenta a la comunidad científica un modelo de predicción del comportamiento fenológico de variedades de trigo en el valle de Mexicali en base a la cuantificación del tiempo térmico en unidades

calor. Los valores correspondientes obtenidos en etapas fenológicas seleccionadas fueron: 343, 660, 844, 977, 1227, 1375 y 1597 unidades calor después de la siembra que corresponden a las etapas de amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica respectivamente. Las mayores tasas de acumulación de materia seca en los órganos vegetativos ocurren desde la emergencia del cultivo hasta la etapa fenológica identificada como embuche que corresponde a 844 unidades calor acumuladas después de la siembra (UCAS); a partir de este momento la tasa de producción de materia seca disminuye; alcanzando la máxima producción entre el rango de las 1000 a 1200 UCAS, que corresponde del espigamiento al grano lechoso. La mayor proporción de materia seca reproductiva producida se acumula en el grano, donde alcanza sus máximos valores en el rango cercano a la madurez fisiológica (1500 a 1597 UCAS)

Asimismo, los umbrales críticos de concentración de nitratos para un 90 % de rendimiento relativo fueron 2692, 1188 y 780 ppm en la etapa de amacollo, encañe y embuche respectivamente. Asimismo, si se mantiene la concentración de nitratos en tallos en los niveles críticos durante la etapas anteriormente mencionadas; el porcentaje de panza blanca será igual o menor al 10 %. Estos valores de concentración serán tomados como base en investigaciones posteriores a nivel valle de Mexicali encaminadas a encontrar su generalidad regional.

Palabras Clave: Trigo, Fenología, materia seca, concentración crítica de nitratos.

ABSTRACT

In order to develop a phenological model of the wheat crop based upon heat units and to generate regression models that describe production and distribution of biomass, and to establish critical thresholds of nitrate concentration in stems of wheat related to key stages of nitrogen fertilization under the conditions of the Mexicali Valley, B.C; a series of experiments with 16 commercial wheat cultivars, which phenological development was monitored during the agricultural years from 2007 to 2013, were conducted at the experimental agricultural field of the Instituto de Ciencias Agrícolas in the Mexicali Valley, Baja California (32° 24 'N, 115 ° 11'W, altitude 9 m). Also, experiments were conducted in commercial wheat fields at the same Valley during the 2013 to 2015 agricultural years.

Five wheat cultivars from quality groups I and II were established during the 2011-2012 agricultural cycle, at the agricultural experimental field of the Instituto de Ciencias Agrícolas, in the Mexicali Valley, Baja California, Mexico, in order to find critical concentration levels of nitrates in stalks.

For all experiments, the agronomic management followed to recommendations given to wheat crop in the Mexicali Valley. Special care was taken to minimize stressful issues in the crop (nutrients, water, pests, etc.).

The experimental variables included follow-up of different growth stages of the wheat crop, according to the Feekes scale. In addition, aboveground biomass was collected in a 1 m² area of each experimental unit at the following phenological stages: Tillering, stalk formation, boot stage, heading, milk grain, dough grain and physiological maturity. Regression models were generated to describe dry matter production and partitioning.

Regarding the characterization of critical values of nitrate concentrations in the foliage of wheat, treatments that corresponded to different levels of nitrogen fertilization were set. Critical values were determined as that which corresponded to a relative yield of 90%.

As a result of this research project, a model to predict the phenology of wheat cultivars in the Mexicali Valley, based on the quantification of the thermal time in heat units is presented to the scientific community.

The corresponding values obtained at selected phenological stages were: 343, 660, 844, 977, 1227, 1375 and 1597 heat units after planting, corresponding to the stages of tillering, stalk formation, boot stage, heading, milk grain, dough grain and physiological maturity respectively for these values. Also, the critical thresholds of nitrate concentration for a 90% relative yield were 2692, 1188 and 780 ppm at the stage of tillering, stalk formation and boot stage respectively for these values.

The highest rates of vegetative dry matter accumulation occur from field crop emergence to booting stage, corresponding to 844 heat units accumulated after planting (HUAP); from this point forward the rate of dry matter production decreases; reaching maximum production within the range of 1000-1200 HUAP, which corresponds from heading to the milky grain stage. The highest proportion of reproductive dry matter is allocated into the grain, reaching a peak to physiological maturity (1500-1597 HUAP)

In addition, if nitrate concentration is kept at critical levels in stems during the aforementioned steps; the percentage of white belly is equal to or less than 10%. These concentration values shall be taken as a basis in the Mexicali Valley aimed at finding regional scaling.

Key words: Wheat, Phenology, dry matter, critical nitrate thresholds.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo es uno de los más importantes en el noroeste de México, anualmente se siembra una superficie aproximada de 365 000 ha, con un rendimiento promedio de 6.3 ha^{-1} . Tan solo en el valle de Mexicali, la superficie anual sembrada oscila entre 80 y 85 000 ha, dedicándose a la siembra de este cultivo aproximadamente 5000 familias rurales (SAGARPA, 2011).

El mosaico de variedades de trigo en la región se renueva constantemente, liberándose al mercado materiales genéticos con atributos superiores de rendimiento y calidad de grano. Sin embargo, se carece de información en cuanto a los requerimientos nutricionales de estas nuevas variedades que optimicen su rendimiento y calidad.

Una adecuada predicción de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de trigo, incluida la fecha de cosecha, tiene gran importancia para el mejoramiento en la eficiencia de diferentes prácticas agronómicas, tales como: Fertilización, riegos, control de insectos plaga y malezas, etc.

El concepto de tiempo térmico se basa en el hecho de que la mayoría de los procesos fenológicos y de crecimiento de los cultivos ocurre en relación directa con la acumulación de temperatura por el cultivo. Debajo de un nivel de temperatura base, no se acumula tiempo térmico y el crecimiento se detiene. Arriba de una temperatura óptima, el crecimiento se ve reducido. Este concepto asume que entre estos dos umbrales de temperatura, la planta acumula cierta cantidad de tiempo térmico a fin de completar su desarrollo (Roberts y Summerfield, 1987).

Boswell (1929) fue el primero en documentar el uso de Unidades Calor (UC) en agricultura, en 1929. A partir de ahí, las UC se han aplicado con éxito en numerosos cultivos, tales como: melón, (Baker y Reddy, 2001; Baker et al., 2001, y Soto y Silvertooth., (2008), chile (Perry et al., 1993, y Soto y Silvertooth., 2008), tomate (Perry et al., 1997), y trigo (McMaster y Wilhelm, 1998) entre otros. Actualmente, la

información relativa al comportamiento fenológico de las variedades de trigo utilizadas en el Valle de Mexicali en función de UC es nula. Un mejor entendimiento de los patrones fenológicos permitirá incrementar la eficiencia en la producción de este cultivo.

En adición a lo anteriormente mencionado, la cantidad de agua y nutrientes aplicados a un cultivo, mediante la práctica del riego y la fertilización respectivamente, son los factores del manejo agronómico que influyen de manera más significativa en la rentabilidad del cultivo de trigo. La fertilización nitrogenada es la más importante debido a su alto costo comparativo, así como por la necesidad obligada de tener que realizarla año tras año, esto debido a las características propias del nitrógeno, el cual se pierde fácilmente una vez aplicado al suelo, por procesos básicos que incluyen: fijación a los minerales del suelo, lixiviación al subsuelo y volatización a la atmósfera (Cortez y Ortiz; 2009). Las principales consecuencias de estas pérdidas son: Disminución en la eficiencia del nitrógeno; manifestado como una menor absorción del nitrógeno por la planta en relación con lo aplicado al suelo, y contaminación al ambiente.

En el sistema de fertilización actual para el cultivo de trigo en el Valle de Mexicali, el nitrógeno es aplicado considerando que se requiere emplear 35 kg de nitrógeno para obtener una tonelada de grano por hectárea. Esto considerando la aplicación de urea y amoníaco, con una eficiencia de absorción del 64% (INIFAP, 1994). Asimismo, la práctica de fertilización implica fraccionar el nitrógeno de la siguiente manera: 25 % en presembrado, 30 % en amacollo, 30 % en embuche y el 15 % restante en floración (INIFAP, 2010). No obstante el éxito de los productores locales en alcanzar altos rendimientos, la técnica actual presenta una importante debilidad: el fertilizante nitrogenado se aplica sin utilizar técnica alguna que determine los niveles de nitrógeno presente en la planta al momento de la fertilización, y que permita en consecuencia el tomar decisiones prácticas en cuanto a la dosis óptima requerida, que determine finalmente el rendimiento óptimo del cultivo y maximice los parámetros de calidad del grano.

La determinación de niveles de concentración crítica de nitratos en tallos es una técnica que ha sido utilizada con éxito como método de diagnóstico rápido para la evaluación del estatus nutricional del trigo (Echeverría *et al.* 1992). Los niveles de nitratos declinan notablemente hacia la madurez y, por lo tanto, la etapa fenológica de

amacollo es la más indicada para predecir deficiencias, ya que en esta fase desarrollo, todavía no se han diferenciado la totalidad de los componentes del rendimiento. Diversas investigaciones han mostrado ahorro significativo en el uso de fertilizante nitrogenado, mediante el uso de esta técnica en trigo, sin detrimento del rendimiento de grano (Castellarin et al., 1982; Alberdi et al. 1989).

La disponibilidad limitada de nitrógeno es la causa principal de panza blanca (López et al., 2010). La panza blanca es mayormente asociada con dosis de nitrógeno que con fecha de siembra y número de riegos (Solís y Díaz de León ; 2001) y no esta correlacionada con el rendimiento (Solís y Díaz de León ; 2001) reafirmado por (Reyes et al., 2011). Si se aplican 240 Kg ha⁻¹ de nitrógeno al suelo se presenta un porcentaje menor al 10 % de panza blanca, que es el valor crítico utilizado en la industria harinera local para aplicar castigos económicos al grano cosechado. Pero si no se aplica nitrógeno se genera un 69.7 % (Solís y Díaz de León ; 2001).

En función de lo anterior, el presente programa doctoral tuvo como propósito los siguientes objetivos:

1. Desarrollar modelos de desarrollo fenológico en el cultivo de trigo en función de unidades calor acumuladas después de la siembra.
2. Determinar los patrones de absorción y partición de materia seca de este cultivo, manejado bajo las condiciones del valle de Mexicali.
3. Establecer los niveles críticos de concentración de nitratos en tallos de trigo en etapas fenológicas determinantes de fertilización de nitrógeno.

Lo anterior permitirá generar un programa de fertilización integral adecuado a las condiciones particulares de cada variedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento de los objetivos 1 y 2; se condujeron una serie de experimentos con el objetivo de proponer un modelo fenológico del cultivo de trigo basado en unidades calor y generar modelos de regresión que describen la producción y distribución de biomasa del cultivo de trigo en función de las unidades calor, cultivado bajo las condiciones del Valle de Mexicali B C.

Para el cumplimiento del objetivo 3; se condujeron dos series de experimentos con el propósito de establecer los umbrales críticos de concentración de nitratos en tallos de trigo en etapas determinantes de fertilización nitrogenada, y determinar su efecto en panza blanca en el grano.

A continuación se describen los materiales y procedimientos de los experimentos mencionados.

a) Modelo de desarrollo fenológico para variedades de trigo del valle de Mexicali B.C. México.

Durante los ciclos agrícolas 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2011-12, 2012-13 en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle de Mexicali, Baja California ($32^{\circ} 24' N$, $115^{\circ} 11' W$, altitud 9 m). Se establecieron parcelas experimentales de 500 m^2 para los primeros 3 ciclos y 750 m^2 para los dos últimos. En las cuales fueron sembradas con las 16 variedades comerciales de trigo más importantes en el Valle de Mexicali B. C.; Yecora F-70, Oasis F-86, Rayon F-89, Cachanilla F-2000, Palmerin F-2004, Avelino F-2004, Baviacora M-92, Aconchi C-89, Rafi C-97, Atil C-2000, Rio Colorado C-2000, Jupare C-2001, Orita C-2001, Bataquez C-2004, Banamichi C-2004, Samayoa C-2004. En todos los ciclos de evaluación, la siembra se realizó en seco, durante el mes de diciembre, las generalidades de métodos y fechas de siembra se presentan en el cuadro 1. Muestras compuestas de suelo de 30 cm de profundidad fueron tomadas en cada parcela previa a la siembra para análisis de fertilidad. El programa general de fertilización de los ciclos 2007-10 fue igual en todas las variedades y consistió en la adición de 280 kg N ha^{-1} y 44 kg P ha^{-1} . De acuerdo a las recomendaciones de Soto et al. (1997), 25 % del nitrógeno y todo el fósforo fueron aplicados en presembrado, resto del nitrógeno fue aplicado en partes iguales en el primero, segundo y tercer

riego de auxilio. La variación en fertilización para los ciclos 2011-13 consistió en la distribución del nitrógeno: 25 % en presembrado, 30 % en amacollo, 30% en encañe y 15% en embuche (INIFAP ; 2010). Se aplicaron 20 cm de lámina en el riego de germinación, según lo recomendado por González y Vélez (1987); y cinco riegos de auxilio con 12 cm de lámina cada uno (INIFAP, 2002); que se efectuaron cuando el suelo alcanzó una tensión de 30-40 kPa, para lo cual se instalaron tensiómetros en cada unidad experimental a una profundidad de 0-30 cm., que se monitorearon cada tercer día; con el fin de mantener un nivel de humedad aprovechable de entre 60 y 70% en los primeros 30 cm de suelo. Los nutrientes y agua fueron agregados en cantidades suficientes y con el objetivo de que no constituyeran una limitante para el crecimiento y desarrollo. El control de plagas, enfermedades y malezas se realizó de acuerdo a las necesidades del cultivo; según las recomendaciones de Soto et al. (1997). Se realizaron muestreos de desarrollo del cultivo cada tercer día, a fin de identificar la etapa fenológica correspondiente a cada variedad en cuatro puntos aleatorios en cada parcela y época de muestreo. Se identificaron las siguientes etapas de desarrollo fenológico: Amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso-masoso, grano masoso y madurez fisiológica. Las etapas fenológicas seleccionadas tienen una significación especial para el manejo agronómico del cultivo de trigo. Para la identificación de las diferentes etapas fenológicas se siguió la escala de Feekes, según metodología descrita por Large (1954), cuadro 2. Cuatro elementos se utilizaron para la estimación diaria de unidades calor. Primero se consideró como temperatura base inferior 5°C considerando las observaciones de Nuttonson (1956) y temperatura base superior 30 °C según Gregory et al. (2008). Segundo, el método de la curva doble seno, según lo presentado por Baskerville y Emin (1969) y su posterior modificación por Brown (1989). Tercero, la calculadora de unidades calor, disponible en el sitio Web del Programa de manejo integrado de plagas de la universidad de California (<http://www.ipm.ucdavis.edu>). Cuarto, la unidad climatológica automatizada del Sistema de Información de Manejo del Agua de Riego en Baja California (SIMARBC), localizada in situ, para obtener lecturas diarias de temperaturas máximas y mínimas. La acumulación diaria de unidades calor se sumó desde la fecha de siembra y se reportó como Unidades

Calor después de la siembra (UCAS). Se calcularon las UCAS correspondientes a las etapas fenológicas anteriormente mencionadas, se obtuvieron los valores medios observados para cada etapa fenológica y la desviación estándar correspondiente. Lo anterior de acuerdo a procedimientos estadísticos señalados por Steele y Torrie (1980). Al modelo fenológico se sumaron los muestreos semanales de lotes comerciales distribuidos en el centro y noreste del Valle de Mexicali B. C., 47 en el ciclo 2013-14 y 32 en el ciclo 2014-15, con las variedades Rio Colorado C-2000, Aconchi C-89, Ceamexi C-2008, Atil C-2000. La determinación de la biomasa se efectuó en los ciclos de experimentales del 2007 al 2010; en las etapas fenológicas de amacollo, termino de amacollo, inicio de encañe, encañe temprano, encañe tardío, embuche, grano lechoso y cosecha; que corresponden a las etapas 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11.1 y 11.3 de la escala de Feekes (Cuadro 2); las cuales estuvieron sometidas a los muestreos fenológicos y cálculo de sus UCAS. Para la determinación de la biomasa total, se cortó manualmente con hoz en cada etapa fenológica y por cuatro repeticiones, un metro cuadrado del cultivo al ras del suelo, secándolo posteriormente en estufa a 60 °C por 24 horas para posteriormente pesarlo. La biomasa reproductiva consistió en el peso de las espigas extraídas de las muestras en la etapa de embuche, grano lechoso y grano duro. La biomasa vegetativa se obtuvo del el peso de las muestras sin espigas de las etapas fenológicas. Con los valores de la biomasa y las unidades calor se generaron modelos de regresión que describen la producción y distribución de biomasa del cultivo de trigo en función de las unidades calor.

b) Concentración crítica de nitratos en tallos y su relación con panza blanca en trigo en el valle de Mexicali, B.C.

El experimento se estableció en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle Mexicali, Baja California (32° 24' N, 115° 11'W, altitud 9 m); durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2011-2012. El clima del lugar se clasifica como árido cálido, muy extremoso, con una temperatura media anual de 22.9 °C, máxima de 48.5 °C y mínima durante el invierno de -7.0 °C, con una precipitación media anual de 60 mm (García, 1988). El suelo donde se estableció el experimento fué un Aridisol, con una conductividad eléctrica de 6.0 dS m⁻¹ y un pH de 8.0. La siembra se realizó en

seco, con sembradora de precisión, en hileras separadas 12 cm y en plano, con una densidad de siembra de 200 kg ha⁻¹ de semilla. Se aplicaron 20 cm de lámina en el riego de germinación, según lo recomendado por González y Vélez (1987); y cinco riegos de auxilio con 12 cm de lámina cada uno (INIFAP, 2002); que se efectuaron cuando el suelo alcanzó una tensión de 30-40 kPa, para lo cual se instalaron dos tensiómetros por parcela grande, y a una profundidad de 0-30 cm. El diseño fue un bloques al azar con cuatro repeticiones con arreglo de tratamientos en parcelas divididas; formándose cuatro parcelas grandes de 3750 m² y cinco parcelas chicas de 750 m², La parcela grande consistió en por ciento de nitrógeno aplicado al suelo, considerando que se requieren 35 unidades de nitrógeno por hectárea, para producir una tonelada de grano (INIFAP; 1994); y un rendimiento objetivo, según el registro histórico de este predio de 8 ton ha⁻¹; formándose 4 niveles; nivel 0, nivel 50, nivel 100 y nivel 150. Las unidades totales de nitrógeno aplicadas por parcela grande y que corresponden a los tratamientos anteriormente mencionados fueron: 0, 140, 280 y 420 kg N ha⁻¹, respectivamente. La parcela chica consistió en variedades; asignándose una variedad comercial de trigo a cada una. Se utilizaron dos variedades del grupo I; Cachanilla F- 2004 y Rayón F-89 y tres variedades del grupo V; Aconchi C-89, Atil C-2000 y Río Colorado C-2000. Los tratamientos se formaron por la combinación de dosis de nitrógeno con variedades. La aplicación del nitrógeno en presembrado se ajustó a un análisis de suelo previo; el cual diagnostico 6 unidades de nitrógeno. Para cada nivel de parcela grande, el nitrógeno se fraccionó de la siguiente forma: 25, 30, 30 y 15% en presembrado, amacollo, encañe y embuche, respectivamente (INIFAP, 2010). Estos momentos de fertilización corresponden a las etapas fenológicas de la escala de Feekes (Large, 1954) 3.0, 7.0 y 10.0; respectivamente. En presembrado y Feekes 3, se utilizó urea (46-0-0) como fuente nitrogenada, posteriormente, en Feekes 7 y 10, se utilizó urea nitrato de amonio líquida (UAN-32, 32-0-0). Para el control de malezas, (*Phalaris minor*, *Avena fatua*, *Rumex crispus*, *Chenopodium murale*, *Chenopodium album* y *Polygonum argyrocoleon*), se aplicó una dosis de 500 g i.a. ha⁻¹ de Mesosulfuron-Methyl; y para el control del pulgón de la hoja (*Schizaphis graminum*), se utilizaron 31.5 g i.a. ha⁻¹ de Imidacloprid y 13.5 g i.a. ha⁻¹ de Betacyflutrin; ambos se aplicaron en mezcla con mochila aspersora, 10 días después del primer riego de auxilio.

Las variables analizadas fueron: a) Concentración de nitratos en tallos y b) Rendimiento relativo. Para la determinación de la concentración de nitratos en tallos, se colectó la savia de los tallos utilizando el equipo Twin NO_3^- B-341 marca Horiba®. Para Feekes 3, se tomaron los primeros 5 cm basales y en Feekes 7 y 10 hasta los 10 cm basales. En todos los momentos de muestreo se eliminaron las hojas y raíces de las plantas antes de extraer la savia por maceración. La hora de muestreo osciló entre las siete y nueve de la mañana. Para la determinación de la variable biomasa, se cortó manualmente con hoz, un metro cuadrado del cultivo al ras del suelo, secándolo posteriormente en estufa a 60 °C por 24 horas para posteriormente pesarlo. El momento de muestreo para las tres variables, fue inmediatamente antes del primero, segundo y tercer riego de auxilio; que coincidieron con las etapas fenológicas de Feekes 3, 7 y 10 respectivamente. El rendimiento relativo se obtuvo asignando al nivel 100; un valor absoluto de 100%; y en función de lo anterior se asignaron valores porcentuales a cada una de las unidades experimentales en relación a este valor absoluto, en cada momento de muestreo. Se generaron modelos de regresión para describir la relación entre el rendimiento relativo de biomasa y la concentración de nitratos en tallos, en las diferentes etapas de fenológicas de muestreo, utilizando el software SAS ver. 9. Los valores críticos de concentración de nitratos para las etapas fenológicas Feekes 3, 7 y 10, se tomaron al 90 % del rendimiento relativo, quedando al 10% el intervalo de confianza. Este modelo coincide con el propuesto por Cate y Nelson (1971).

LITERATURA CITADA

- Alberdi H., Echeverría H., Navarro C. 1989. Algunos factores que condicionan la concentración de nitratos en pseudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 7:31-35.
- Baker, J.T., D.I. Leskovar, V.R. Reddy, y F.J. Dainello. 2001. A simple phenological model of muskmelon development. *Annals of Botany*. 87:615-621.
- Baker, J.T. y V.R. Reddy. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. *Annals of Botany*. 87:605-613.
- Baskerville, G.L. y P. Emin. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50:514-517.
- Boswell, V. R. 1929. Factors influencing yield and quality of peas. Maryland Agric. Exp. Sta. Bull. 306.
- Brown, P. W. 1989. Heat units. Ariz. Coop. Ext. Bull. 8915. Univ. of Arizona, Tucson, AZ.
- Cate R., B. Jr. y L.A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 658-659.
- Cortes J. Juan M. y Ortiz A. 2009. Seminario sobre tecnología para la producción de trigo. Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo experimental Valle del Yaqui. Memoria técnica Núm. 1. Cd Obregón Sonora, México.
- Echeverría H.E., Navarro C.A., Andrade F.H. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci., Cambridge*. 118:157-163.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM, México. 217 p.
- González M. A., Vélez M. O. 1987. Optimización del uso del agua de riego en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L) en el Valle de Mexicali. Tesis profesional, Ingeniero Agrónomo, especialista en Fitotecnia. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León. Mexicali B, C., México. Página 59.

- Gregory S. M., J. W. White, L. A. Hunt, P. D. Jamieson, S. S. D y J. I. Ortiz-Monasterio. 2008. Simulating the Influence of Vernalization, Photoperiod and Optimum Temperature on Wheat Developmental Rates. *Annals of Botany* 102: 561–569.
- INIFAP.1994. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Paquetes/semilla.pdf> .
- INIFAP. 2002. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Paquetes/trigo.pdf>
- INIFAP. 2010. Guía para la producción de trigo en los valles de Mexicali, B. C. y San Luis Rio Colorado, Son. Folleto para productores Núm. 57. Mexicali B. C.
- Large, E.G. 1954. Growth stages in cereals: Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*. Vol. 3 (4): 128–129.
- López A. G. A., Ramírez W. B., Torres C. P. I. 2010. Physicochemical Characteristic of starch from bread wheat (*Triticum aestivum*) with “yellow berry”. *Starch-journal*, 62, 517-523.
- McMaster, G.S., and W.W.Wilheim. 1998. Is soil temperature better than air temperature for predicting winter wheat phenology? *Agronomy Journal*. 90:602-607.
- Perry, K.B., Y.Wu, D.C. Sanders, J.T. Garret, D.R. Decoteau, R.T. Nagata, R.J. Dufault, K.D. Batal, D.M. Granberry, y W.J. McLaurin. 1997. Heat units to predict tomato harvest in the southeast USA. *Agricultural and Forest Meteorology*. 84:249-254.
- Perry, K.B., D.C. Sanders, D.M. Granberry, J. T. Garret, D.R. Decoteau, R.T. Nagata, R. J. Deufault, K.D. Batal, y W.J. McLaurin. 1993. Heat units, solar radiation and day length as pepper harvest predictors. *Agricultural and Forest Meteorology*. 65:197-205.
- Nuttonson, 1956. A comparative study of lower and upper limits of temperature in measuring variability of day degree summations of wheat, barley and rye. *Amer. Instt. Crop Ecol*. Washington DC.
- Reyes RA1, Vázquez RJA1, Sánchez AD1. 2011. Uso de micorrizas en trigo bajo riego restringido en la región centro de Coahuila. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola. León, Guanajuato. México.
- Roberts, E.H., y R. J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. En: J.C. Atherton (ed), *Manipulation of flowering*. Butterworths. pp-17-50.
- SAGARPA, 2011. Estadística Agrícola básica. Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (última revisión: Agosto de 2011).

- Solís Moya Ernesto y Díaz de León Tobías José Gonzalo. 2001. Efectos de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. *TERRA Latinoamericana*, octubre- diciembre, año/vol. 19, numero 004. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Pp. 375-383.
- Soto, O. R., V.A. Cárdenas, C. Ceceña y P. Méndez. 1997. Manejo Agronómico del Trigo orientado a obtener calidad industrial en los valles de Mexicali y San Luis Rio Colorado. Folleto Técnico. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California.
- Soto, O.R. and Silvertooth, J. 2008. Crop Phenology for irrigated spring cantaloupes (*Cucumis melo* L.). Vegetable Report P-152. College of Agriculture. University of Arizona. pp. 113-122.
- Soto, O.R. and Silvertooth, J. 2008. A Crop Phenology model for irrigated New Mexico Chile (*Capsicum annuum* L.). Vegetable Report P-152. College of Agriculture. University of Arizona. pp. 104-112.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, New York.
- University of California – Integrated Pest Management Program. 2015. Weather, models,& Degree days. En: <http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/index.html>

ARTICULO I

MODELO DE DESARROLLO FENOLÓGICO PARA VARIEDADES DE TRIGO DEL VALLE DE MEXICALI B.C. MEXICO

**Sandoval Álvarez Lazaro¹, Soto Ortiz Roberto², Escoboza García Luis Fernando²,
López López, Angel² y Avilés Marín Mónica².**

¹Estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Baja California

²Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California.

Resumen

Con el propósito de proponer un modelo fenológico del cultivo de trigo basado en unidades calor y generar modelos de regresión que describen la producción y distribución de biomasa del cultivo de trigo en función de las unidades calor, cultivado bajo las condiciones del Valle de Mexicali B C; que permita un mejor entendimiento de los patrones fenológicos del cultivo, y subsecuentemente un incremento en la eficiencia de las diferentes prácticas agronómicas que inciden en su rendimiento, 16 variedades comerciales de trigo fueron sembradas en surcos y en plano y su fenología monitoreada durante los ciclos agrícolas del 2007 al 2013, en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle de Mexicali Baja California (32° 24' N, 115° 11'W, altitud 9 m). Y cinco variedades comerciales fueron monitoreadas en lotes de producción en el mismo Valle durante los ciclos 2013 al 2015. El seguimiento fenológico incluyó la verificación de las etapas de desarrollo cada tercer y séptimo día respetivamente, según la escala de Feekes en amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica; a las cuales se les calculó las unidades calor después de la siembra (UCAS) correspondientes a las etapas fenológicas referidas. Se determinó la biomasa total, vegetativa y reproductiva cortando un metro cuadrado de cada unidad experimental al ras del suelo y secando en estufa por 24 horas a 60 °C. Los valores del modelo de predicción del comportamiento fenológico de variedades de trigo en base a la cuantificación del tiempo térmico en unidades calor, fueron: 343, 660, 844, 977, 1227, 1375 y 1597 UCAS, que corresponden a las etapas de amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica respectivamente. Los modelos de regresión de distribución de biomasa en función de las UCAS encontrados fueron: para

biomasa total $Y = -4.8188 E^{-6} X^2 + 0.0197 X - 6.7301$, con una R^2 de 0.84;
Biomasa vegetativa $Y = -7.3175 E^{-6} X^2 + 0.0184X - 5.4949$, con una R^2 de 0.68 y
biomasa reproductiva $Y = -0.0076 X - 4.9127$, con una R^2 de 0.81.

Palabras clave: Trigo, fenología y unidades calor.

Abstract

In order to obtain a phenological crop model for wheat crop as a function of heat units, and to generate regression models that describe the production and distribution of wheat crop biomass as a function of heat units, grown under the conditions of the Valley of Mexicali BC; allowing a better understanding of crop phenological patterns, and consequently an increase in the efficiency of different agronomic practices that affect yield of this crop. 16 commercial wheat cultivars were furrow and flat planted during the agricultural years from 2007 through 2013, at the experimental agricultural field of Instituto de Ciencias Agrícolas of Mexicali Baja California ($32^{\circ} 24' N$, $115^{\circ} 11' W$, altitude 9 m), and phenology monitored. Also, five commercial wheat fields were monitored in the same Valley during 2013 to 2015. The phenological follow-up included identification of each developmental stages every third and seventh day, according to the Feekes scale that corresponded to: tillering, stalk formation, boot stage, heading, milky grain, dough grain and physiological maturity; to which heat units after planting (HUAP) were estimated. Total, vegetative and reproductive biomass was determined by cutting a square meter of each experimental unit to the ground and drying in an oven for 24 hours at $60^{\circ} C$. The amount of heat units predicted from the phenological model to attain tillering, stalk formation, boot stage, heading, milky grain, dough grain and physiological maturity was: 343, 660, 844, 977, 1227, 1375 and 1597 HUAP respectively for these growth stages. Regression models of biomass distribution as a function of HUAP were as follow: Total biomass, $Y = -4.8188 E^{-6} X^2 + 0.0197 X - 6.7301$, ($R^2 = 0.84^{**}$); vegetative biomass $Y = -7.3175 E^{-6} X^2 + 0.0184X - 5.4949$, ($R^2 = 0.68^{**}$) and reproductive biomass, $Y = -0.0076 X - 4.9127$, ($R^2 = 0.81^{**}$).

Key Words: wheat, crop phenology and heat units.

Introducción

El trigo es uno de los cultivos más importantes en el noroeste de México, anualmente la superficie sembrada en los Estados de Sonora, Baja California y Sinaloa comprende aproximadamente 365 000 ha, con un rendimiento promedio de 5.6 ton ha^{-1} . En el valle de Mexicali, B.C., se cultiva el trigo de mayor rendimiento comercial en el país, con un rendimiento medio de 6.3 ha^{-1} . La superficie anual sembrada oscila entre 80 y 85 000 ha, dedicándose a la siembra de este cultivo aproximadamente 5000 familias rurales (SAGARPA, 2011). El mosaico de variedades de trigo en la región se renueva constantemente, liberándose al mercado materiales genéticos con atributos superiores de rendimiento y calidad de grano. Sin embargo, se carece de información actualizada relativa a los patrones de desarrollo fenológico de las nuevas variedades. Una adecuada predicción de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de trigo, incluida la fecha de cosecha, tiene gran importancia para el mejoramiento en la eficiencia de diferentes prácticas agronómicas, tales como: fertilización (cantidades de nutrientes requerido en las diferentes etapas fenológicas y su distribución dentro de los diferentes órganos de la planta), riegos, control de insectos plaga y malezas, etc.

El uso de modelos de acumulación de unidades calor (UC) ha demostrado su eficiencia en la predicción de ocurrencia de las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas. El concepto de acumulación de horas calor se basa en el hecho de que la mayoría de los procesos fenológicos y de crecimiento de los cultivos ocurre en relación directa con la acumulación de temperatura por el cultivo. Debajo de un nivel de temperatura base, no se acumula tiempo térmico y el crecimiento se detiene. Arriba de una temperatura óptima, el crecimiento se ve reducido. Este concepto asume que entre estos dos umbrales de temperatura, la planta acumula cierta cantidad de tiempo térmico a fin de completar su desarrollo (Roberts y Summerfield, 1987). El uso de UC ha mostrado ser más eficiente para modelar y predecir el desarrollo fenológico de los cultivos en comparación con el método tradicional de computar días después de la siembra (DDS), debido principalmente a que las variaciones entre ciclos agrícolas y localidades pueden ser estandarizadas en forma más precisa mediante UC en comparación con DDS. Boswell (1929) fue el primero en documentar el uso de UC en

agricultura, en 1929. A partir de ahí, las UC se han aplicado con éxito en numerosos cultivos, tales como: melón, (Baker y Reddy, 2001; Baker et al., 2001, y Soto y Silvertooth., (2008), chile (Perry et al., 1993, y Soto y Silvertooth., 2008), tomate (Perry et al., 1997), y trigo (McMaster y Wilhelm, 1998) entre otros. Actualmente, la información relativa al comportamiento fenológico de las variedades de trigo utilizadas en el valle de Mexicali es nula.

En función de lo anterior, el presente estudio tuvo como propósito el desarrollar un modelo de desarrollo fenológico del trigo en función de unidades calor, cultivado bajo las condiciones del noroeste de México; que permita un mejor entendimiento de los patrones fenológicos del cultivo, y subsecuentemente un incremento en la eficiencia de las diferentes prácticas agronómicas que inciden en su rendimiento.

Materiales y Métodos

Durante los ciclos agrícolas 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2011-12, 2012-13 en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle de Mexicali, Baja California ($32^{\circ} 24' N$, $115^{\circ} 11' W$, altitud 9 m). Se establecieron parcelas experimentales de 500 m^2 para los primeros 3 ciclos y 750 m^2 para los dos últimos. En las cuales fueron sembradas con las 16 variedades comerciales de trigo más importantes en el Valle de Mexicali B. C.; Yecora F-70, Oasis F-86, Rayon F-89, Cachanilla F-2000, Palmerin F-2004, Avelino F-2004, Baviacora M-92, Aconchi C-89, Rafi C-97, Atil C-2000, Rio Colorado C-2000, Jupare C-2001, Orita C-2001, Bataquez C-2004, Banamichi C-2004, Samayoa C-2004. En todos los ciclos de evaluación, la siembra se realizó en seco, durante el mes de diciembre, las generalidades de métodos y fechas de siembra se presentan en el cuadro 1. Muestras compuestas de suelo de 30 cm de profundidad fueron tomadas en cada parcela previa a la siembra para análisis de fertilidad. El programa general de fertilización de los ciclos 2007-10 fue igual en todas las variedades y consistió en la adición de 280 kg N ha^{-1} y 44 kg P ha^{-1} . De acuerdo a las recomendaciones de Soto et al. (1997), 25 % del nitrógeno y todo el fósforo fueron aplicados en presembrado, resto del nitrógeno fue aplicado en partes iguales en el primero, segundo y tercer riego de auxilio. La variación en fertilización para los ciclos

2011-13 consistió en la distribución del nitrógeno: 25 % en presiembra, 30 % en amacollo, 30% en encañe y 15% en embuche (INIFAP ; 2010). Se aplicaron 20 cm de lámina en el riego de germinación, según lo recomendado por González y Vélez (1987); y cinco riegos de auxilio con 12 cm de lámina cada uno (INIFAP, 2002); que se efectuaron cuando el suelo alcanzó una tensión de 30-40 kPa, para lo cual se instalaron tensiómetros en cada unidad experimental a una profundidad de 0-30 cm., que se monitorearon cada tercer día; con el fin de mantener un nivel de humedad aprovechable de entre 60 y 70% en los primeros 30 cm de suelo. Los nutrientes y agua fueron agregados en cantidades suficientes y con el objetivo de que no constituyeran una limitante para el crecimiento y desarrollo. El control de plagas, enfermedades y malezas se realizó de acuerdo a las necesidades del cultivo; según las recomendaciones de Soto et al. (1997). Se realizaron muestreos de desarrollo del cultivo cada tercer día, a fin de identificar la etapa fenológica correspondiente a cada variedad en cuatro puntos aleatorios en cada parcela y época de muestreo. Se identificaron las siguientes etapas de desarrollo fenológico: Amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso-masoso, grano masoso y madurez fisiológica. Las etapas fenológicas seleccionadas tienen una significación especial para el manejo agronómico del cultivo de trigo. Para la identificación de las diferentes etapas fenológicas se siguió la escala de Feekes, según metodología descrita por Large (1954), cuadro 2. Cuatro elementos se utilizaron para la estimación diaria de unidades calor. Primero se consideró como temperatura base inferior 5°C considerando las observaciones de Nuttonson (1956) y temperatura base superior 30 °C según Gregory et al. (2008). Segundo, el método de la curva doble seno, según lo presentado por Baskerville y Emin (1969) y su posterior modificación por Brown (1989). Tercero, la calculadora de unidades calor, disponible en el sitio Web del Programa de manejo integrado de plagas de la universidad de California (<http://www.ipm.ucdavis.edu>). Cuarto, la unidad climatológica automatizada del Sistema de Información de Manejo del Agua de Riego en Baja California (SIMARBC), localizada in situ, para obtener lecturas diarias de temperaturas máximas y mínimas. La acumulación diaria de unidades calor se sumó desde la fecha de siembra y se reportó como Unidades Calor después de la siembra (UCAS). Se calcularon las UCAS correspondientes a las etapas fenológicas anteriormente mencionadas, se obtuvieron

los valores medios observados para cada etapa fenológica y la desviación estándar correspondiente. Lo anterior de acuerdo a procedimientos estadísticos señalados por Steele y Torrie (1980). Al modelo fenológico se sumaron los muestreos semanales de lotes comerciales distribuidos en el centro y noreste del Valle de Mexicali B. C., 47 en el ciclo 2013-14 y 32 en el ciclo 2014-15, con las variedades Rio Colorado C-2000, Aconchi C-89, Ceamexi C-2008, Atil C-2000. La determinación de la biomasa se efectuó en los ciclos de experimentales del 2007 al 2010; en las etapas fenológicas de amacollo, termino de amacollo, inicio de encañe, encañe temprano, encañe tardío, embuche, grano lechoso y cosecha; que corresponden a las etapas 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11.1 y 11.3 de la escala de Feekes (Cuadro 2); las cuales estuvieron sometidas a los muestreos fenológicos y cálculo de sus UCAS. Para la determinación de la biomasa total, se cortó manualmente con hoz en cada etapa fenológica y por cuatro repeticiones, un metro cuadrado del cultivo al ras del suelo, secándolo posteriormente en estufa a 60 °C por 24 horas para posteriormente pesarlo. La biomasa reproductiva consistió en el peso de las espigas extraídas de las muestras en la etapa de embuche, grano lechoso y grano duro. La biomasa vegetativa se obtuvo del el peso de las muestras sin espigas de las etapas fenológicas. Con los valores de la biomasa y las unidades calor se generaron modelos de regresión que describen la producción y distribución de biomasa del cultivo de trigo en función de las unidades calor.

Resultados y Discusión

El cuadro 3, resume los valores medios de unidades calor promediados por todos los cultivares en los 7 años de evaluación. Según los datos obtenidos, la etapa de amacollo se alcanza en promedio a las 343 UCAS, encañe tardío a las 660 UCAS, embuche a las 844 UCAS, y las etapas de espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica a las 977, 1227, 1375 y 1597 UCAS respectivamente. La lectura de los valores de desviación estándar muestra un rango de valores que oscila desde 53 a 147, correspondiendo la mayor variabilidad para la etapa de madurez fisiológica. Expresados en días calendario, este rango de valores corresponde de 1 a 4 días de variación respectivamente con respecto a los valores medios expresados para cada etapa fenológica. A pesar de esta variabilidad natural, los valores de coeficiente de

variación obtenidos son aceptables para este tipo de estudios, siendo el valor mayor de 15.45 para la etapa de espigamiento.

La figura 1 indica los patrones de absorción de materia seca, distribuida en materia seca acumulada en órganos vegetativos (tallos y hojas), materia seca acumulada en órganos reproductivos (espiga) y materia seca total (suma de la acumulación de materia seca vegetativa y reproductiva), en función de unidades calor después de la siembra.

Las mayores tasas de acumulación de materia seca en los órganos vegetativos ocurren desde la emergencia del cultivo hasta la etapa fenológica identificada como embuche que corresponde a 844 UCAS; a partir de este momento la tasa disminuye; alcanzando la máxima producción entre el rango de las 1000 a 1200 UCAS, que corresponde al espigamiento al grano lechoso. La mayor proporción de materia seca reproductiva absorbida se acumula en el grano, donde alcanza sus máximos valores en el rango cercano a la madurez fisiológica (1500 a 1597 UCAS). La intersección de estas curvas; materia seca reproductiva y vegetativa ocurre cercano a las 1400 UCAS, este punto es importante porque indica el decremento de la producción de la materia seca vegetativa y el incremento de la producción de materia reproductiva. La importancia de este comportamiento de absorción de materia seca para el manejo de la fertilización nitrogenada implica la necesidad de un abasto suficiente de este nutriente en etapas tempranas para el crecimiento de las estructuras vegetativas de la planta de trigo.

Asimismo, a partir de la etapa fenológica conocida como embuche; el abasto de nutrientes es acumulado preferencialmente en la espiga. El abasto de nutrientes en esta etapa es vital para un adecuado rendimiento de las variedades de trigo estudiadas.

Conclusiones

Se presenta a la comunidad científica un modelo de predicción del comportamiento fenológico de variedades de trigo en el Valle de Mexicali B. C. en base a la cuantificación del tiempo térmico en unidades calor. Los valores correspondientes obtenidos en etapas fenológicas seleccionadas fueron: 343, 660, 844, 977, 1227, 1375 y 1597 unidades calor después de la siembra que corresponden a las etapas de

amacollo, encañe tardío, embuche, espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica respectivamente. Además los modelos de regresión que describen la producción y distribución de biomasa reproductiva, vegetativa y total del cultivo de trigo en función de las unidades calor. Que en ambos casos eran información nula. Los modelos de regresión de producción de biomasa en función de las UCAS encontrados fueron: para biomasa total $Y = -4.8188 E^{-6} X^2 + 0.0197 X - 6.7301$, con una R^2 de 0.84; Biomasa vegetativa $Y = -7.3175 E^{-6} X^2 + 0.0184X - 5.4949$, con una R^2 de 0.68 y biomasa reproductiva $Y = -0.0076 X - 4.9127$, con una R^2 de 0.81.

Literatura Citada

- Baker, J.T., D.I. Leskovar, V.R. Reddy, y F.J. Dainello. 2001. A simple phenological model of muskmelon development. *Annals of Botany*. 87:615-621.
- Baker, J.T. y V.R. Reddy. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. *Annals of Botany*. 87:605-613.
- Baskerville, G.L. y P. Emin. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50:514-517.
- Boswell, V. R. 1929. Factors influencing yield and quality of peas. Maryland Agric. Exp. Sta. Bull. 306.
- Brown, P. W. 1989. Heat units. Ariz. Coop. Ext. Bull. 8915. Univ. of Arizona, Tucson, AZ.
- González M. A., Vélez M. O. 1987. Optimización del uso del agua de riego en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) en el Valle de Mexicali. Tesis profesional, Ingeniero Agrónomo, especialista en Fitotecnia. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León. Mexicali B, C., México. Página 59.
- Gregory S. M., J. W. White, L. A. Hunt, P. D. Jamieson, S. S. D y J. I. Ortiz-Monasterio. 2008. Simulating the Influence of Vernalization, Photoperiod and Optimum Temperature on Wheat Developmental Rates. *Annals of Botany* 102: 561–569.
- INIFAP. 2002. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Paquetes/trigo.pdf>

- INIFAP. 2010. Guía para la producción de trigo en los valles de Mexicali, B. C. y San Luis Rio Colorado, Son. Folleto para productores Núm. 57. Mexicali B. C.
- Large, E.G. 1954. Growth stages in cereals: Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*. Vol. 3 (4): 128–129.
- McMaster, G.S., and W.W.Wilheim. 1998. Is soil temperature better than air temperature for predicting winter wheat phenology? *Agronomy Journal*. 90:602-607.
- Perry, K.B., Y.Wu, D.C. Sanders, J.T. Garret, D.R. Decoteau, R.T. Nagata, R.J. Dufault, K.D. Batal, D.M. Granberry, y W.J. McLaurin. 1997. Heat units to predict tomato harvest in the southeast USA. *Agricultural and Forest Meteorology*. 84:249-254.
- Perry, K.B., D.C. Sanders, D.M. Granberry, J. T. Garret, D.R. Decoteau, R.T. Nagata, R. J. Deufault, K.D. Batal, y W.J. McLaurin. 1993. Heat units, solar radiation and day length as pepper harvest predictors. *Agricultural and Forest Meteorology*. 65:197-205.
- Nuttonson, 1956. A comparative study of lower and upper limits of temperature in measuring variability of day degree summations of wheat, barley and rye. *Amer. Instt. Crop Ecol*. Washington DC.
- Roberts, E.H., y R. J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. En: J.C. Atherton (ed), *Manipulation of flowering*. Butterworths. pp-17-50.
- SAGARPA, 2011. Estadística Agrícola básica. Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (última revisión: Agosto de 2011).
- Soto, O. R., V.A. Cárdenas, C. Ceceña y P. Méndez. 1997. Manejo Agronómico del Trigo orientado a obtener calidad industrial en los valles de Mexicali y San Luis Rio Colorado. Folleto Técnico. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California.
- Soto, O.R. and Silvertooth, J. 2008. Crop Phenology for irrigated spring cantaloupes (*Cucumis melo* L.). *Vegetable Report P-152*. College of Agriculture. University of Arizona. pp. 113-122.

- Soto, O.R. and Silvertooth, J. 2008. A Crop Phenology model for irrigated New Mexico Chile (*Capsicum annuum* L.). Vegetable Report P-152. College of Agriculture. University of Arizona. pp. 104-112.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, New York.
- University of California – Integrated Pest Management Program. 2015. Weather, models, & Degree days. En: <http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/index.html>

Cuadro 1. Métodos y fechas de siembra de variedades de trigo utilizadas en la obtención de un modelo general de desarrollo fenológico. 2007-2010.

Ciclo	Fecha de Siembra	Método de siembra	Densidad de Siembra
2007-2008	21 de diciembre	Surcos de 1 m de ancho, siembra a doble hilera.	80 kg ha ⁻¹
2008-2009	28 de diciembre	Siembra en plano en melgas de 20 m de ancho.	200 kg ha ⁻¹
2009-2010	8 de diciembre	Surcos de 1 m de ancho, siembra a doble hilera.	80 kg ha ⁻¹
2001-2012	12 de diciembre	Siembra en plano, en melgas de 20 m de ancho.	200 kg ha ⁻¹
2012-2013	8 de diciembre	Siembra en plano, en melgas de 20 m de ancho.	200 kg ha ⁻¹

Cuadro 2. Correspondencia de la escala de Feekes con las etapas fenológicas trigo seleccionadas.

	Amacollo	Encañe Tardío	Embucho	Espiga- miento	Grano Lechoso	Grano masoso	Madurez Fisiológica
UCAS	343	660	844	977	1227	1375	1597
DE	53	66	106	102	96	109	147
n	107	119	119	108	112	86	90
C.V.	15.45	10.00	12.57	10.47	7.83	7.92	9.20

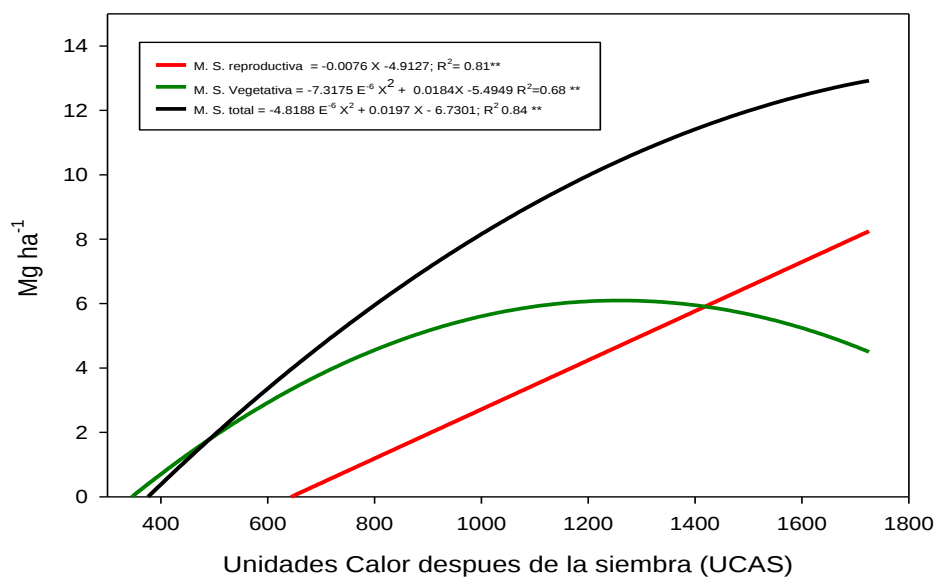


Figura1. Modelos de producción y partición de materia seca en variedades de trigo En el Valle de Mexicali B. C.

ARTICULO II

CONCENTRACION CRITICA DE NITRATOS EN TALLOS Y SU RELACION CON PANZA BLANCA EN TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI, B.C.

Sandoval Alvarez Lázaro¹, Soto Ortiz Roberto², Escoboza García Luis Fernando², Avilés Marín Silvia Mónica² y Bojórquez Aguilar Miguel Angel³.

¹Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Instituto Ciencias Agrícolas, universidad Autónoma de Baja California. Carretera Blvd. Delta s/n, Ejido Nuevo León, Mexicali BC, CP 21705 México. Email: obrero52@hotmail.com

² Profesor-Investigador. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Blvd. Delta s/n, Ejido Nuevo León, Mexicali BC, CP 21705 México.

³Estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo. Instituto Ciencias Agrícolas, universidad Autónoma de Baja California. Carretera Blvd. Delta s/n, Ejido Nuevo León, Mexicali BC, CP 21705 México.

Resumen

Riegos y fertilización son factores del manejo agronómico que influyen significativamente en alcanzar niveles rentables en el cultivo de trigo. La fertilización nitrogenada es la más importante debido a su costo y aplicación ciclo tras ciclo al suelo, ya que se pierde por fijación, lixiviación y volatilización (Cortez y Ortiz; 2009). Estas pérdidas generan disminución de la eficiencia del nitrógeno aplicado al suelo contaminando al medio ambiente. En el sistema de fertilización actual en el Valle de Mexicali el nitrógeno es aplicado sin utilizar técnica alguna que determine los niveles de nitrógeno presente en la planta o agroecosistema y que se utilice para modificar su dosificación y provocar impactar en rendimiento y calidad de grano, consiguiendo un rendimiento económico rentable. Esta investigación tiene como objetivo, encontrar los umbrales críticos de concentración de nitratos en tallos de trigo en etapas determinantes de fertilización de nitrógeno y determinar su efecto en panza blanca en el grano. El experimento se estableció en ciclo 2011-12 en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle Mexicali, Baja California, México. Los tratamientos se formaron con niveles de nitrógeno y variedades de trigo grupo I y V. Se determinó el rendimiento relativo (%), la concentración de nitratos en tallos (ppm) y panza blanca en el grano. Encontrándose para un 90 % de rendimiento relativo, umbrales de concentración críticos de nitratos en tallos de 2692, 1188 y 780 ppm, que corresponden a las etapas de Feekes 3, 7 y 10 respectivamente. A si mismo se

encontró que estos valores críticos se corresponden con valores de panza blanca iguales o menores al 10 %. Estos valores de concentración serán tomados como base en investigaciones posteriores a nivel valle de Mexicali y aumentar su generalidad regional.

Palabras clave: Concentración crítica de nitratos; panza blanca; trigo.

Abstract

Irrigation and fertilization are key agronomic practices that affect wheat crop profitability. Nitrogen fertilization is the most important factor affecting the crop cost. Also, nitrogen is easily lost from soil environment due to processes of fixation on soil minerals, leaching and volatilization (Cortez and Ortiz; 2009). These processes diminish nitrogen utilization efficiency; also they lead to soil and atmosphere pollution. Actual fertilization practices in the Mexicali valley are done without taking into account neither residual soil nitrogen nor nitrogen concentration on the vegetable tissue. This study aims to find critical nitrogen concentration thresholds at certain phenological stages that are important to nitrogen fertilization and their effect upon yellow berry in grain. An experiment was conducted during the 2011-2012 agricultural year at the Instituto de Ciencias Agrícolas agricultural field, in Baja California, México. Treatments were formed by the combination of nitrogen fertilization levels and wheat cultivars selected from group qualities I and V. Relative yield (%) and nitrate concentration in stems (ppm), were estimated relative to stages corresponding to the Feekes scale of 3, 7 and 10. In addition, percent of yellow berry at the harvest time was estimated. The critical nitrate thresholds corresponding to a 90% relative yield and the Feekes stages previously stated were that of 2692, 1188 and 780 ppm respectively. These data are to be taken for future research in the Mexicali valley and eventually being able to scale it to regional level.

Key words: critical nitrate thresholds; yellow berry; wheat.

Introducción

El nitrógeno es un nutriente importante para las plantas, forma parte de la clorofila por lo que interviene en el proceso de transferencia de energía lumínica a química para que cumpla su ciclo de vida, además es constituyente básico de las proteínas y enzimas regulando los procesos fisiológicos y formando sus estructuras anatómicas; por lo que en el cultivo de trigo su influencia está ligada al rendimiento de grano e íntimamente asociada a la cantidad de proteína en este. En el cultivo de trigo, la fertilización nitrogenada es la más importante debido a su costo y aplicación ciclo tras ciclo al suelo, debido a que el nitrógeno se pierde por fijación, lixiviación y volatilización (Cortez y Ortiz; 2009). Estas pérdidas generan disminución de la eficiencia del nitrógeno aplicado al suelo y contaminación al medio ambiente. En el sistema de fertilización actual en el Valle de Mexicali el nitrógeno es aplicado considerando la necesidad de 35 kg ton⁻¹ de grano esperado y un 63.5 % de eficiencia utilizando urea y amoníaco (INIFAP; 1994). En la utilización de esta dosis por el cultivo se debe considerar además del fertilizante, el método de aplicación, las condiciones ambientales y las propiedades físicas y químicas del suelo. Actualmente esta técnica de fertilización se realiza sin monitorear el nitrógeno presente en el agroecosistema afectando la eficiencia económica y fisiológica. Para corregir lo anterior, es importante el diagnóstico nutrimental durante el ciclo de producción; el cual puede ser directo al suelo; por análisis químico, e indirecto por mapeo satelital; o directo al tejido vegetal por análisis químico; e indirecto por sensores que pueden medir unidades spad, refracción de la luz y conductibilidad eléctrica de la savia para ser correlacionadas con la cantidad de nitrógeno presente en el tejido. Determinar la concentración de nitratos en tallos en la etapa de amacollo es utilizado con éxito como método de diagnóstico rápido de la fertilización nitrogenada de trigo (Echeverría et al. 1992). Esta técnica es útil para determinar el nitrógeno provisto por el suelo y el fertilizante; cuando aún no se han diferenciado la totalidad de los componentes del rendimiento, permitiendo corregir la deficiencia (Castellarin et al., 1982). El rendimiento se incrementa con la concentración de nitratos en el tallo en la etapa de amacollo hasta las 3500 ppm, presentando la etapa 2 de Feekes (4-5 hojas) mayor sensibilidad al diagnóstico (Castellarin et al., 1982). Al medir nitratos en tallos

estos declinan notablemente hacia la madurez y, por lo tanto, el estadio de amacollo es el más indicado para predecir deficiencias, ya que todavía no se han diferenciado la totalidad de los componentes del rendimiento (Alberdi et al. 1989). Para utilizar esta técnica se requiere previamente establecer los niveles críticos de concentración para la zona productora en cuestión, los cuales indican el estado nutricional, de tal manera que se puedan asociar y tomar decisiones agronómicas. Determinar nitratos en tejido, es determinar el nitrógeno que fue absorbido por la planta bajo las condiciones propias del suelo y que no ha sido metabolizado por la planta por lo que puede ser utilizado para sus funciones vitales. La determinación de los valores críticos de concentración de nitratos se pueden obtener por el método propuesto por Cate y Nelson (1971); el cual consiste en graficar la concentración de nitratos de plantas tratadas con niveles de nitrógeno aplicado al suelo preestablecidas contra el rendimiento relativo, obtenido en función del nivel de fertilización óptimo de la zona. De tal manera que, si la mayoría de los puntos graficados se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y el cuadrante superior derecho, entonces el método si explica el comportamiento de los nitratos en el cultivo. La disponibilidad limitada de nitrógeno es la causa principal de panza blanca (López et al., 2010). La panza blanca es mayormente asociada con dosis de nitrógeno que con fecha de siembra y número de riegos (Solís y Díaz de León ; 2001) y no está correlacionada con el rendimiento (Solís y Díaz de León ; 2001) reafirmado por (Reyes et al., 2011). Si se aplican 240 Kg ha⁻¹ de nitrógeno al suelo se presenta un porcentaje menor al 10 % de panza blanca, que es el valor crítico utilizado en la industria harinera local para aplicar castigos económicos al grano cosechado. Pero si no se aplica nitrógeno se genera un 69.7 % (Solís y Díaz de León ; 2001). Considerando la importancia de elevar la eficiencia económica, fisiología y modificar la contaminación por nitratos: El objetivos de este trabajo fue determinar los umbrales de concentración críticos de nitratos en tallos en trigo de las etapas fenológicas determinantes para la fertilización nitrogenada y determinar su efecto en panza blanca en el grano.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el campo agrícola experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas del valle Mexicali, Baja California (32° 24' N, 115° 11' W, altitud 9 m); durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2011-2012. El clima del lugar se clasifica como árido cálido, muy extremoso, con una temperatura media anual de 22.9 °C, máxima de 48.5 °C y mínima durante el invierno de -7.0 °C, con una precipitación media anual de 60 mm (García, 1988). El suelo donde se estableció el experimento fue un Aridisol, con una conductividad eléctrica de 6.0 dS m⁻¹ y un pH de 8.0. La siembra se realizó en seco, con sembradora de precisión, en hileras separadas 12 cm y en plano, con una densidad de siembra de 200 kg ha⁻¹ de semilla. Se aplicaron 20 cm de lámina en el riego de germinación, según lo recomendado por González y Vélez (1987); y cinco riegos de auxilio con 12 cm de lámina cada uno (INIFAP, 2002); que se efectuaron cuando el suelo alcanzó una tensión de 30-40 kPa, para lo cual se instalaron dos tensiómetros por parcela grande, y a una profundidad de 0-30 cm. El diseño fue un bloques al azar con cuatro repeticiones con arreglo de tratamientos en parcelas divididas; formándose cuatro parcelas grandes de 3750 m² y cinco parcelas chicas de 750 m². La parcela grande consistió en porcentaje de nitrógeno aplicado al suelo, considerando que se requieren 35 unidades de nitrógeno por hectárea, para producir una tonelada de grano (INIFAP; 1994); y un rendimiento objetivo, según el registro histórico de este predio de 8 ton ha⁻¹; formándose 4 niveles; nivel 0, nivel 50, nivel 100 y nivel 150. Las unidades totales de nitrógeno aplicadas por parcela grande y que corresponden a los tratamientos anteriormente mencionados fueron: 0, 140, 280 y 420 kg N ha⁻¹, respectivamente. La parcela chica consistió en variedades; asignándose una variedad comercial de trigo a cada una. Se utilizaron dos variedades del grupo I; Cachanilla F- 2004 y Rayón F-89 y tres variedades del grupo V; Aconchi C-89, Atil C-2000 y Río Colorado C-2000. Los tratamientos se formaron por la combinación de dosis de nitrógeno con variedades. La aplicación del nitrógeno en presembrado se ajustó a un análisis de suelo previo; el cual diagnosticó 6 unidades de nitrógeno. Para cada nivel de parcela grande, el nitrógeno se fraccionó de la siguiente forma: 25, 30, 30 y 15% en presembrado, amacollo, encañe y embuche, respectivamente (INIFAP, 2010). Estos

momentos de fertilización corresponden a las etapas fenológicas de la escala de Feekes (Large, 1954) 3.0, 7.0 y 10.0; respectivamente. En presiembra y Feekes 3, se utilizó urea (46-0-0) como fuente nitrogenada, posteriormente, en Feekes 7 y 10, se utilizó urea nitrato de amonio líquida (UAN-32, 32-0-0). Para el control de malezas, (*Phalaris minor*, *Avena fatua*, *Rumex crispus*, *Chenopodium murale*, *Chenopodium album* y *Polygonum argyrocoleon*), se aplicó una dosis de 500 g i.a. ha⁻¹ de Mesosulfuron-Methyl; y para el control del pulgón de la hoja (*Schizaphis graminum*), se utilizaron 31.5 g i.a. ha⁻¹ de Imidacloprid y 13.5 g i.a. ha⁻¹ de Betacyflutrin; ambos se aplicaron en mezcla con mochila aspersora, 10 días después del primer riego de auxilio. Las variables analizadas fueron: a) Concentración de nitratos en tallos y b) Rendimiento relativo. Para la determinación de la concentración de nitratos en tallos, se colectó la savia de los tallos utilizando el equipo Twin N03- B-341 marca Horiba®. Para Feekes 3, se tomaron los primeros 5 cm basales y en Feekes 7 y 10 hasta los 10 cm basales. En todos los momentos de muestreo se eliminaron las hojas y raíces de las plantas antes de extraer la savia por maceración. La hora de muestreo osciló entre las siete y nueve de la mañana. Para la determinación de la variable biomasa, se cortó manualmente con hoz, un metro cuadrado del cultivo al ras del suelo, secándolo posteriormente en estufa a 60 °C por 24 horas para posteriormente pesarlo. El momento de muestreo para las tres variables, fue inmediatamente antes del primero, segundo y tercer riego de auxilio; que coincidieron con las etapas fenológicas de Feekes 3, 7 y 10 respectivamente. El rendimiento relativo se obtuvo asignando al nivel 100; un valor absoluto de 100%; y en función de lo anterior se asignaron valores porcentuales a cada una de las unidades experimentales en relación a este valor absoluto, en cada momento de muestreo. Se generaron modelos de regresión para describir la relación entre el rendimiento relativo de biomasa y la concentración de nitratos en tallos, en las diferentes etapas de fenológicas de muestreo, utilizando el software SAS ver. 9. Los valores críticos de concentración de nitratos para las etapas fenológicas Feekes 3, 7 y 10, se tomaron al 90 % del rendimiento relativo, quedando al 10% el intervalo de confianza. Este modelo coincide con el propuesto por Cate y Nelson (1971).

Resultados y Discusión

Se observa en la figura 1, que el 90 por ciento del rendimiento relativo en la etapa Feekes 3, se alcanza cuando la concentración de nitratos es de 2692 ppm. Esto es explicado con el modelo $Y = -9.8256E-6 X^2 + 0.0593 X + 1.9564$ con una R^2 de 0.7219. Esta concentración de nitratos en tallos de trigo indica que en la etapa de amacollo la planta tiene cubierta sus necesidades nutricionales de nitrógeno. Esto coincide con Castellarin et al., 1982 el cual indica que no se requieren más 3500 ppm en esta etapa para alcanzar el rendimiento máximo. La figura 2 muestra, que el 90 por ciento del rendimiento relativo en la etapa Feekes 7 se alcanza cuando la concentración de nitratos es de 1187.89 ppm. Esto es explicado con el modelo $Y = -2.1385E^{-5} X^2 + 0.0880 X + 15.5197$ con una R^2 de 0.8224. Esta concentración de nitratos en tallos de trigo indica que en la etapa de encañe la planta tiene cubierta sus necesidades nutricionales de nitrógeno. Esta concentración de nitratos en Feekes 7 disminuye en un 56 % con respecto a Feekes 3.

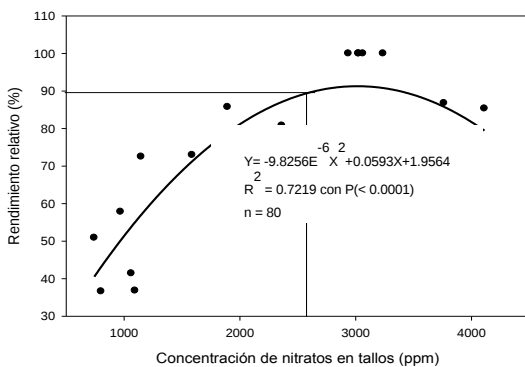


Figura 1. Concentración de nitratos en tallos de trigo en la etapa Feekes 3 en el ciclo 2011-12 en el Valle de Mexicali B. C.

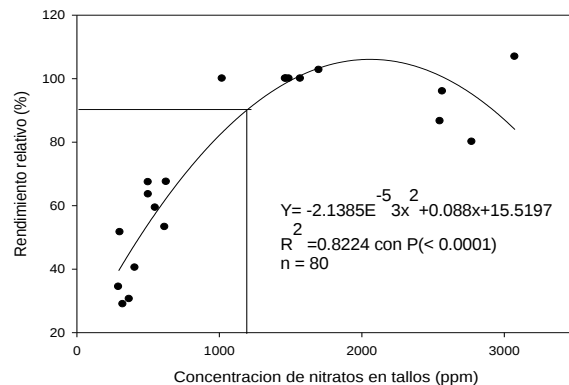


Figura 2. Concentración de nitratos en tallos de trigo en la etapa Feekes 7 en el ciclo 2011- 2012 en el Valle de Mexicali B.

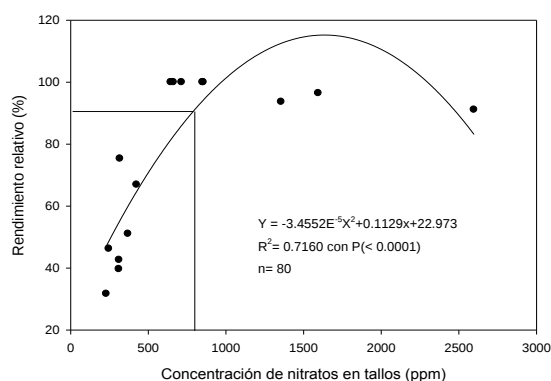


Figura 3. Concentración de nitratos en tallos de trigo en la etapa Feekes 10 en el ciclo 2011-12 en el Valle de Mexicali B. C.

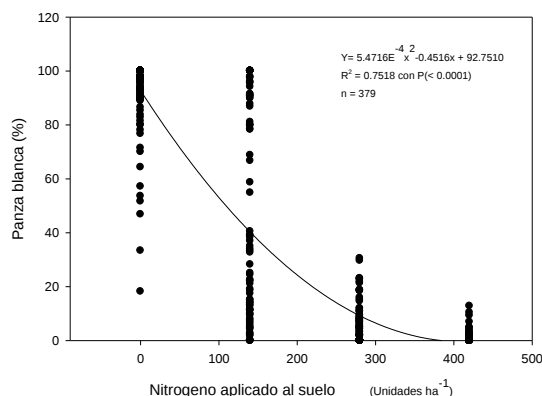


Figura 4. Panza blanca en trigo ciclo 2011-12 en el Valle de Mexicali B. C.

La figura 3 muestra, que el 90 porciento del rendimiento relativo en la etapa Feekes 10 se alcanza cuando la concentración de nitratos es de 779.77 ppm. Esto es explicado por el modelo $Y = -3.4552E^{-5} X^2 + 0.1129 X + 22.973$ con una R^2 de 0.7160. Disminuyendo en un 71 % con respecto a Feekes 3.

Las necesidades de nitratos en la planta trigo disminuye conforme va madurando, esto es evidenciado con la variación de los umbrales críticos, en amacollo 2691.99 ppm, encañe 1187.89 ppm y embuche 779.77 ppm; coincidiendo con Alberdi *et al.* 1989.

Se observa en la figura 4 que en medida que aumenta el nitrógeno aplicado al suelo, la panza blanca en el grano disminuye; esto es explicado con el modelo $Y = 5.4716E^{-4} X^2 - 0.4516 X + 92.751$ con una R^2 de 0.7518. Este modelo indica que la panza blanca se eleva a 93 % si no se aplica nitrógeno. Además para alcanzar un porcentaje menor o igual a 10% se requiere aplicar 274 unidades de nitrógeno ha^{-1} . Considerando que se aplicaron 280 unidades de nitrógeno como nivel 100 % de fertilización al suelo repartidos en 4 aplicaciones según las necesidades del cultivo y que los niveles críticos de nitratos en tallos aseguran el estado óptimo nutricional en nitrógeno de la planta de trigo se puede concluir que si se mantiene la concentración de nitratos en tallos en los niveles críticos durante la etapa 3, 7 y 10 en la escala Feekes el porcentaje de panza blanca será igual o menor al 10 %.

Conclusiones

Los umbrales críticos de concentración de nitratos para un 90 % rendimiento relativo son 2692, 1188 y 780 ppm en la etapa de Feekes 3, 7 y 10 respectivamente. Estos valores de concentración serán tomados como base en investigaciones posteriores a nivel valle de Mexicali encaminadas a encontrar su generalidad regional.

Si se mantiene la concentración de nitratos en tallos en los niveles críticos durante la etapa 3, 7 y 10 en la escala Feekes el porcentaje de panza blanca será igual o menor al 10 %.

Bibliografía

- Alberdi H., Echeverría H., Navarro C. 1989. Algunos factores que condicionan la concentración de nitratos en seudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 7:31-35.
- Castellarin J.C., Pedrol H. M., Salvagiotti F., Papa J. C., Vernice A.. 1982. Diagnóstico del estado nutricional del cultivo de trigo estableciendo una concentración crítica de nitratos. International Plant Nutrition Institute. Santa fe, Argentina.
- Cate R., B. Jr. y L.A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 658-659.
- Cortes J. J. M. y Ortiz A. A. A. 2009. Seminario sobre tecnología para la producción de trigo. Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo experimental Valle del Yaqui. Memoria técnica Núm. 1. Cd Obregón Sonora, México.
- Echeverría H. E., Navarro C. A., Andrade F. H. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci., Cambridge.* 118:157-163.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM, México. 217 p.

- González M. A., Vélez M. O. 1987. Optimización del uso del agua de riego en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Valle de Mexicali. Tesis profesional, Ingeniero Agrónomo, especialista en Fitotecnia. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León. Mexicali B, C., México. Página 59.
- INIFAP. 1994. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Paquetes/semilla.pdf>
- INIFAP. 2002. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Paquetes/trigo.pdf>.
- INIFAP. 2010. Guía para la producción de trigo en los Valles de Mexicali, B. C. y San Luis Rio Colorado, Son. Folleto para productores Núm. 57. Mexicali B. C.
- Large E. C. 1954. "Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale". Plant Pathology 3 (4): 128–129.
- Reyes R. A., Vázquez R. J. A., Sánchez A. D. 2011. Uso de micorrizas en trigo bajo Riego restringido en la región centro de Coahuila. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola. León, Guanajuato. México.
- Solís M. E. y Díaz de León T. J. G. 2001. Efectos de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. TERRA Latinoamericana, octubre-diciembre, año/vol. 19, numero 004. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Pp. 375-383.

Conclusiones generales

Se presenta a la comunidad científica un modelo de predicción del comportamiento fenológico de variedades de trigo para el Valle de Mexicali B. C. en base a la cuantificación del tiempo térmico en unidades calor. Los valores correspondientes obtenidos en las etapas fenológicas seleccionadas fueron: 343, 660, 844, 977, 1227, 1375 y 1597 unidades calor después de la siembra que corresponden a las etapas de amacollo, encañe, embuche, espigamiento, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica respectivamente.

Los umbrales críticos de concentración de nitratos para un 90 % rendimiento relativo son 2692, 1188 y 780 ppm en la etapa de amacollo, encañe y embuche. Estos valores de concentración serán tomados como base en investigaciones posteriores a nivel valle de Mexicali encaminadas a encontrar su generalidad regional.

Los modelos de regresión de producción de biomasa en función de las UCAS encontrados fueron: para biomasa total $Y = -4.8188 E^{-6} X^2 + 0.0197 X - 6.7301$, con una R^2 de 0.84; Biomasa vegetativa $Y = -7.3175 E^{-6} X^2 + 0.0184X - 5.4949$, con una R^2 de 0.68 y biomasa reproductiva $Y = -0.0076 X - 4.9127$, con una R^2 de 0.81.

Las mayores tasas de acumulación de materia seca en los órganos vegetativos ocurren desde la emergencia del cultivo hasta la etapa fenológica identificada como embuche que corresponde a 844 UCAS; a partir de este momento la tasa disminuye al igual que la concentración de nitratos en el tejido; alcanzando la máxima producción entre el rango de las 1000 a 1200 UCAS, que corresponde al espigamiento al grano lechoso. La mayor proporción de materia seca reproductiva absorbida se acumula en el grano, donde alcanza sus máximos valores en el rango cercano a la madurez fisiológica (1500 a 1597 UCAS). La intersección de estas curvas; materia seca reproductiva y vegetativa ocurre cercano a las 1400 UCAS, este punto es importante porque indica el decremento de la producción de la materia seca vegetativa y el incremento de la absorción de materia reproductiva. La importancia de este comportamiento de producción de materia seca para el manejo de la fertilización nitrogenada implica la

necesidad de un abasto suficiente de este nutriente en etapas tempranas para el crecimiento de las estructuras vegetativas de la planta de trigo. Asimismo, a partir de la etapa fenológica conocida como embuche; el abasto de nutrientes es acumulado preferencialmente en la espiga. El abasto de nutrientes en esta etapa es vital para un adecuado rendimiento de las variedades de trigo estudiadas. En el caso del nitrógeno, con 780 ppm de nitratos en el tejido se puede esperar un porcentaje de panza blanca menor al 10 %.