

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



“Fertilización Nitrogenada: Una Estrategia para Aprovechar la Fertilidad residual por el cultivo de trigo (*Triticum aestivum L. em Thell*) en el Valle de Mexicali”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGRICOLAS

PRESENTA:

Ing. Juan José Paz Hernández

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan Francisco Ponce Medina

CO-DIRECTOR:

Dr. Jesús Santillano Cázares

Mexicali, B.C.

Diciembre de 2009.

**ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO
PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. Diciembre 2009.

Dr. Juan Francisco Ponce Medina
Director de Tesis

Dr. Jesús Santillano Cazares
Co-Director de Tesis

Dr. Manuel Cruz Villegas
Sinodal

Dr. Adolfo Pérez Márquez
Sinodal

Dr. Leonel Avendaño Reyes
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Cuando el hombre nace lo hace del vientre de su madre quien lo expulsa a este mundo para abrirse camino, crecer y aprender de la Vida...La naturaleza es sabia y tiene mucho que ofrecer al desarrollo Intelectual del hombre. Lo cierto es que el hombre sigue naciendo una y otra vez a lo largo de su vida y atravez de diferentes circunstancias que dejan huella en el.

En lo personal, esta es una de esas ocasiones en las que el hombre nace de nuevo expulsado al mundo a través del conocimiento. Conocimiento adquirido a lo largo de años de experiencia estudio y esfuerzo, en los cuales sin el apoyo de muchos no hubiera sido posible, por lo cual este logro no solo es mío sino que lo comparto con todos aquellos que de una u otra manera estuvieron involucrados y para los cuales mi sincero agradecimiento.

A la Universidad Autónoma de Baja California

Por la oportunidad que me brinda para seguir preparándome y así lograr mis proyectos y objetivos, y que muy pronto pueda regresarle los frutos de esta preparación.

Al Instituto de Ciencias Agrícolas

Por haberme dado la oportunidad de integrarme de nueva cuenta como alumno de este instituto y recordar las pasos que hace tiempo di en este centro de formador de sueños y esperanzas y que hoy culmino como una nueva realidad, gracias por seguir sembrando en mi esta ilusión como si fuera el primer día de mi clase..... gracias por apoyarme durante el transcurso de mi Maestría; por brindarme toda su infraestructura y recursos humanos, que fueron clave en mi formación profesional.

Al Dr. Juan Francisco Ponce Medina

A mi maestro y amigo que me supo conducir a buen término y que siempre tuvo una palabra de aliento, cuándo sentía que el mundo se me venía encima mi profundo agradecimiento por ayudarme a este logro personal, Gracias Maestro.

A la Dra. Raquel Muñiz Salazar

Gracias maestra por su apoyo y colaboración para poder realizar este nuevo reto de mi vida.

Al Dr. Jesús Santillano Cazares

Por su dedicación como maestro y su apoyo a la elaboración de mi tesis profesional.

Al Dr. Adolfo Pérez Márquez

Por su invaluable apoyo en los análisis estadísticos en este trabajo.

A mis Maestros

Por su dedicación al impartir sus cátedras, que llenaron todas mis expectativas de alumno, y que lograron crear una conciencia del conocimiento científico en mi junto a la necesidad de prepararse cada día más para poder enfrentarse a los nuevos retos que nos presenta la vida. Y por supuesto para orgullo propio y para ser un mejor profesional y digno egresado de este instituto del cual me siento muy orgulloso.

Al Ing. Héctor Manuel Gallego Pérez

Especial agradecimiento por su gran apoyo, confianza que siempre me ha brindado en la realización de este proyecto personal.

Al Personal del Laboratorio del Molinera Del Valle

Ing. Ramón Ayón, Juan Villicana, Ing. Alberto Mejía, y a la T, A. Rosa A. Verdugo, por su gran apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Personal de Campo

Al Ing. Javier Porras Medrano, Ing. Javier Navarro Pulido, por su gran apoyo y colaboración.

DEDICATORIAS

A mi Esposa

Patricia (Patty), por su apoyo y comprensión durante este cansado camino y que gracias a su animo y amor llevamos a buen término este proyecto de vida y que sea un pequeño ejemplo para mis hijos: de deseo, coraje y ante todo el deseo de superación y que no hay edad para seguir aprendiendo los retos que uno se propone hay que cumplirlos. Gracias a Dios y tu apoyo damos buenas cuentas.

Lo logramos Rorra.

A mis Hijos

A mis hijos Juan José, Aimeé, y Luciana, que son mi orgullo y la fuente de energía de todos mis proyectos.

A mis Padres

Ramiro e Isabel a quienes que con su ejemplo supieron forjar en mí la tenacidad del hombre que lucha responsable y dignamente para alcanzar las metas.....Mis metas; quienes también me enseñaron que ante las adversidades de la vida no hay hay imposibles cuando se tiene a Dios como guía.

Para ellos, para los cuales no tengo palabras para expresarles toda mi gratitud, solo les puedo decir los AMO.

A mis Hermanos

Guillermo (Q.P.D), Cruz, Ramiro, Elva Beatriz, Pedro, Isabel.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
1. RESUMEN	ix
2. SUMMARY	x
3. INTRODUCCIÓN	1
4. MATERIALES Y MÉTODOS	4
4.1. Descripción de la localidad del experimento	4
4.2. Diseño de tratamientos y diseño experimental.....	4
4.3. Descripción de los tratamientos y manejo agronómico	4
4.4. Variables de respuesta	5
4.5. Metodología para la colección de datos	5
4.5.1. Rendimiento de grano	5
4.5.2. Rendimiento de paja.....	6
4.5.3. Índice de cosecha.....	6
4.5.4. Altura de planta	6
4.5.5. Peso hectolítrico	6
4.5.6. Concentración de proteína en el grano	6
4.5.7. Porcentaje de panza blanca	6
4.5.8. Concentración de proteína en la harina y fuerza de gluten (W).....	7
4.6. Análisis estadísticos.....	9

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
5.1. Rendimiento de grano.....	10
5.2. Rendimiento de paja	11
5.3. Índice de cosecha	12
5.4. Altura de planta	12
5.5. Peso hectolítrico.....	12
5.6. Concentración de proteína en el grano	13
5.7. Porcentaje de panza blanca.....	15
5.8. Concentración de proteína en la harina y fuerza de gluten (W)	15
6. CONCLUSIONES	23
7. LITERATURA CITADA.....	24

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Comparación de medias de rendimientos de paja de variedades de trigo bajo dos tratamientos de fertilización residual, en el Valle de Mexicali, México.	11
Cuadro 2. Comparación de medias de concentración de proteína en grano de variedades de trigo bajo dos tratamientos de fertilización residual, en el Valle de Mexicali, México.	13

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. El alveógrafo permite determinar el comportamiento que va a tener la harina en las diferentes etapas del proceso de panificación.	8
Figura 2. Equipo Per Con Inframatic 8611 utilizado para determinar la proteína en harina.	8
Figura 3. Alveograma de la harina de trigo Yecora F-70 bajo tratamiento de fertilización residual, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.	17
Figura 4. Alveograma de la harina de trigo Yecora F-70 bajo tratamiento de fertilización residual + fertilización complementaria, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.	18
Figura 5. Alveograma de la harina de trigo Cachanilla-F00 bajo tratamiento de fertilización residual, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.	19
Figura 6. Alveograma de la harina de trigo Cachanilla-F00 bajo tratamiento de fertilización residual + fertilización complementaria, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.	20
Figura 7. Alveograma de la harina de trigo Triguenio F-2000 bajo tratamiento de fertilización residual, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.	21
Figura 8. Alveograma de la harina de trigo Triguenio F-2000 bajo tratamiento de fertilización residual + fertilización complementaria, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.	22

1. RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del nitrógeno (N) residual en el suelo después del cultivo de hortalizas, sobre variables agronómicas y reológicas del trigo y de la harina de trigo. El experimento fue realizado en terrenos de un agricultor del cooperante del ejido Mezquitil, en el Valle de Mexicali, México. Previo a la siembra, el suelo fue analizado para conocer la cantidad de N residual. Se utilizó un arreglo en parcelas divididas para probar tres líneas de trigo del grupo I como parcela grande (Yécora F-70, Cachanilla F-00 y Triguenio F-2000); las parcelas chicas fueron fertilización residual (FR) y fertilización residual + complementaria (FR+FC). Se utilizaron bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de grano, rendimiento de paja, índice de cosecha, altura de la planta, peso hectolítrico del grano, concentración de proteína en el grano y porcentaje de panza blanca. Dentro de las variables reológicas se midieron concentración de proteína en la harina y fuerza de gluten (W). Aunque el rendimiento de grano fue estadísticamente mayor para el tratamiento FR+FC, comparado con la FR ($P = 0.021$), se encontró que la adición complementaria de N no promovió una respuesta sustancial del rendimiento, reduciéndose así la eficiencia de la aplicación de N, y probablemente impactando negativamente al ambiente. En los parámetros reológicos evaluados no se encontró diferencia significativa, ya que incluso el tratamiento de FR, cumple con los requerimientos de calidad demandados por la industria para harinas del tipo I. De este estudio se concluye que, en el Valle de Mexicali, es necesario considerar la aportación de la fertilidad residual en el suelo por cultivos previos al rendimiento y calidad de trigo, sobre todo tratándose de campos bajo un sistema de rotación de hortalizas-trigo.

Palabras clave: Eficiencia de aplicación de nitrógeno, Fertilización residual, Rendimiento de grano de trigo, Calidad de harina de trigo, Rotación de cultivos, Valle de Mexicali.

2. SUMMARY

The objective of this research was to assess the effect of soil residual nitrogen (N) after a vegetable crop on agronomic and rheological variables of grain and wheat flour, respectively. The experiment was conducted on a field of a local producer from the ejido el Mezquital, in the Valle de Mexicali, Mexico. Before planting, the soil was analyzed to estimate the amount of soil residual N. It was used a split-plot design to accommodate three wheat entries (Yécora F-70, Cachanilla F-00 and Triguenio F-2000) as main plots, and residual fertility (RF) and residual fertility + complementary fertility (RF+CF), as sub-plots. It was used a completely randomized block design with four replications. The agronomic variables of interest were: Grain yield, straw yield, harvest index, plant height, weight test, protein concentration in the grain, and yellow berry. From the rheological variables of interest in the flour were protein concentration and gluten strength (W). Although the grain yield was statistically greater for RF+CF than RF ($P = 0.021$), it was found that the addition of the complementary fertilization failed to promote a substantial yield response, thus reducing the application efficiency and likely impacting the environment negatively. There were not found statistical differences for the rheological variables, since even the RF treatment yielded a quality acceptable by the industry for type I wheat. From this study, it is concluded that, in the Valle de Mexicali, is necessary to consider the input of soil residual nitrogen from previous crops to grain yield and flour quality of wheat, especially when dealing with fields under vegetable-wheat rotation systems.

Key words: Nitrogen efficiency of application, Residual fertilization, Wheat grain yield, Wheat flour quality, Crop rotations, Valle de Mexicali.

3. INTRODUCCIÓN

La producción de trigo (*Triticum* spp.) en Baja California representa el cultivo más importante en cuanto a extensión dedicada a la producción de un cultivo en el estado, con aproximadamente 100 mil hectáreas (SIAP-SAGARPA, 2009). El trigo duro (*T. turgidum* L. var. *Durum*), es utilizado para la fabricación de pastas y fideos, por lo que la demanda de países Europeos y asiáticos es importante (SAGARPA, 2006). Sin embargo, el trigo panificable o blando (*T. aestivum* L. em Thell), debido a que el cultivo nacional no cumple con los requisitos de calidad, es necesario importarlo para satisfacer los requerimientos de calidad del mercado nacional (Solís y Díaz de León, 2001).

Entre los parámetros de calidad de grano de trigo más importantes para la industria de elaboración de pan, se encuentran: Peso hectolítrico, la concentración de proteínas, (Vázquez, 2006) y porcentaje de panza blanca (Solís y Díaz de León, 2001). La panza blanca es una condición del grano de trigo que presenta un aspecto moteado debido a manchas blancuzcas, de aspecto almidonas, y que pueden llegar a ocupar hasta la mitad o toda la semilla (Solís y Díaz de León, 2001). La panza blanca se relaciona con varios factores, entre los principales es la de una falta de fertilización N adecuada en la etapa de llenado de grano (Solís y Díaz de León, 2001; Robinson et al. 1979). Mientras que los parámetros reológicos mas relevantes normalmente evaluados regionalmente en la industria harinera son: Concentración de proteínas, concentración de cenizas, estabilidad de la harina, P/G (es la relación entre la tenacidad y la extensibilidad de la harina).

Por definición la reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Las propiedades reológicas de las masas son de particular importancia por muchas razones. El amasado es una de las etapas fundamentales en el proceso de panificación. Con el incremento de la mecanización y automatización en la industria de panificados, las propiedades de la masa son importantes desde un punto de vista mecánico. El estudio de las propiedades físicas de la masa contribuye al conocimiento de la calidad del proceso de panificación (Pomeranz y Meloan, 1994).

Al hablar de la concentración de la proteína como uno de los parámetros reológicos más importantes y que aun cuando el mayor constituyente químico del grano y la harina de trigo es el almidón, la proteína es el componente directamente relacionado con las propiedades funcionales (panificación) del trigo (Khan y Bushuk, 1979; Tippler et al., 1982). La principal proteína del trigo es el gluten, que está compuesto a la vez por dos proteínas; La glutelina (que es una glutenina) y la gliadina (que es una prolamina), que es la que trasmite la propiedad característica de la harina del trigo, de adquirir la estructura de pan ‘levantado’.

El gluten posibilita la formación de una masa que pueda retener el dióxido de carbono formado durante la fermentación. La glutelina proporciona las características elásticas a la masa elaborada, mientras que el gliadinas le confiere la viscosidad, dicho de otra manera el gluten define las características visco elásticas de la masa. La fuerza panadera (W) es un parámetro reológico, de medida industrial de la calidad de trigo. Este parámetro ofrece una valoración del volumen que puede llegar a obtenerse con una masa de harina de trigo En el alveograma, está representado este valor por el área enmarcada dentro de la línea alveográfica. Hay una relación entre el contenido de proteína del grano y la fuerza panadera (a Proteína más alta, mayor W). La energía de deformación, W, representa la energía necesaria para inflar la pasta hasta que se rompe y se deriva el área bajo la curva.

Se sugiere que la producción de trigo y otros cereales con frecuencia no es eficiente en el uso del nitrógeno (N) que se emplea en la producción. Esta situación lastima no sólo la economía de los productores, sino que además afecta al ambiente mediante contaminación por escurrimientos de fertilizantes a cuerpos de agua (Ferguson et al. 2002; Lloveras et al. 2001; Ortiz-Monasterio et al. 2006). En el Valle del Yaqui, Sonora, investigaciones realizadas por el Dr. Iván Ortiz-Monasterio Rosas, jefe del programa de nutrición de trigos, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), han demostrado consistentemente que mediante el uso de tecnología de percepción remota manual para estimar las necesidades óptimas de N, es posible producir los máximos rendimientos de grano, utilizando dosis de N menores que las utilizadas tradicionalmente por los productores locales. El manejo tradicional por los productores contempla la aplicación de dosis fijas en tiempo y espacio y han demostrado ser superiores a la

dosis óptima en aproximadamente 70 kg ha⁻¹ de N, con el consecuente ahorro económico y de impacto ambiental (Ortiz-Monasterio et al. 2006).

Otra estrategia para intentar retener a los nutrientes del suelo y aprovecharlos en la producción agrícola, podría ser la de utilizar la fertilidad residual de suelos que son utilizados en rotaciones de hortalizas-trigo en regiones donde se practica la agricultura intensiva, con el uso de altos insumos para la producción. La hipótesis es que las hortalizas no utilizan todos los nutrientes que se les suministra durante su desarrollo a través de fertilizantes químicos que se aplican abundantemente en cada ciclo, y que el trigo (u otros cereales) podría beneficiarse de esa fertilidad residual. El objetivo del presente trabajo fue el de determinar si la fertilidad residual en suelos sujetos a rotaciones de hortalizas-trigos pueden contribuir a mantener el rendimiento y calidad de grano y harina de trigo, en el Valle de Mexicali, Baja California.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción de la localidad del experimento

El experimento se realizó en terrenos de un agricultor cooperante, en el ejido Mezquital, en el Valle de Mexicali, B.C. El Valle de Mexicali se localiza a una latitud norte de 32° 24' y 115° 11' de longitud oeste, a una altitud de 8.7 msnm. El clima es de tipo desértico y en verano se caracteriza por ser cálido, muy seco, con temperaturas promedio máximas y mínimas de 43 y 16 °C, respectivamente. La precipitación pluvial promedio anual es de 85 mm (Avendaño et al. 2007).

4.2. Diseño de tratamientos y diseño experimental

El diseño de tratamientos consistió en un factorial 3 × 2, variedades de trigo y fertilización, respectivamente, en un arreglo de parcelas divididas con bloques completos al azar y con cuatro repeticiones. Las parcelas grandes fueron las variedades de trigo y las parcelas chicas o subparcelas fueron los tratamientos de fertilización. Las tres variedades de trigo que se utilizaron fueron de gluten fuerte y fueron: Yécora F-70, Cachanilla F-00 y Triguenio F-2000. La siembra se hizo en surcos y con una densidad de siembra de (40 kg ha⁻¹).

4.3. Descripción de los tratamientos y manejo agronómico

Los tratamientos de fertilizante fueron dos: Fertilización residual (FR) y fertilización residual + fertilización complementaria (FR+FC). Previo a la siembra, se realizaron análisis de suelos en cada una de las 24 parcelas. Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 30 cm de tres puntos de cada parcela, se obtuvo un promedio por parcela y éstos se utilizaron para obtener un promedio general del área del experimento, donde se obtuvo un promedio de 147 kg de N ha⁻¹ y 29 kg de P₂O ha⁻¹. Estos valores se consideraron como fertilizantes residuales.

La FR consistió en la adición de ningún fertilizante N y 27 kg de P₂O ha⁻¹, durante el periodo de desarrollo del cultivo; mientras que la FR+FC consistió en la adición de 185 kg de N ha⁻¹ y de 27 kg de P₂O ha⁻¹. Así, el tratamiento de FR tuvo una fertilización de 147-56-00, N, P y K, respectivamente, mientras que el

tratamiento FR+FC tuvo una fertilización de 332-56-00, N, P y K, respectivamente. La fuente de P₂O utilizada fue ácido fosfórico y fue aplicado todo en el primer riego de auxilio, 45 días después de la siembra y primer riego de germinación. subfase Z 2.6 (Zadoks, et al, 1974 La fuente de N utilizada fue el UAN-32 y fue realizada en cinco aplicaciones, comenzando con el primer riego de auxilio y terminando con el quinto riego de planta, cuando el trigo ya se encontraba en etapa de llenado de grano. o sub fase Z 7.1 (Zadoks, et al., 1974). En total fueron aplicados seis riegos de auxilio, además del primero de germinación.

El 25 de Febrero se realizaron operaciones de control de malezas utilizando una mezcla de los productos comerciales “Axial” (2,2-ácido dimetil-propanoico 8-(2,6 dietil-4metilfenil)-1,2,4,5-tetrahidro-7-oxo-7H-pirazolo [1,2-d] [1,4,5] oxadiazepin-9-il ester (CA); “Adigor” (coadyuvante A12127R), “Amber” (Triasulfuron al 75.0%) y “Buffex” (regulador del pH y dureza del agua a base de ácidos orgánicos en 42% y sales de ácidos orgánicos policarboxílicos en 45%). No se realizó ninguna aplicación para control de plagas o enfermedades.

4.4. Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron las siguientes: Rendimiento de grano, rendimiento de paja, índice de cosecha, altura de la planta, peso hectolítrico del grano, concentración de proteína en el grano y porcentaje de panza blanca. Dentro de las variables reológicas se midieron concentración de proteína en la harina y fuerza de gluten (W).

4.5. Metodología para la colección de datos

4.5.1. Rendimiento de grano

La estimación del rendimiento de grano se realizó cosechando manualmente 2 m² dentro de cada unidad experimental, trillando y separando éste de la paja. Posteriormente, se estimó el rendimiento de paja de cada uno de los tratamientos evaluados.

4.5.2. Rendimiento de paja

Después de haber separado el rendimiento de grano para estimar el rendimiento de grano, se separó la paja, se pesó y se estimó el rendimiento de paja por hectárea.

4.5.3. Índice de cosecha

El índice de cosecha fue calculado mediante la siguiente fórmula: $IC = \text{rendimiento de grano} / \text{rendimiento de grano} + \text{rendimiento de paja}$.

4.5.4. Altura de planta

La altura de planta se determinó midiendo 10 plantas al azar por parcela al final de la etapa de madurez fisiológica (antes de iniciar la cosecha). La medición se hizo desde la base del suelo hasta la punta de la espiga.

4.5.5. Peso hectolítrico

El peso hectolítrico se calculó mediante el pesado de muestras de un volumen conocido de grano seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento. El peso hectolítrico fue expresado como kg de grano hectolitro⁻¹ (1 hectolitro = 100 litros).

4.5.6. Concentración de proteína en el grano

La concentración de proteína en el grano se realizó a través del método de análisis húmedo (nitrógeno Kjeldhal $\times 5.70$), y se expresó en porcentaje.

4.5.7. Porcentaje de panza blanca

El porcentaje de panza blanca se calculó mediante el pesado de una muestra de 250 g de grano, se separaron los granos que presentaron panza blanca, se pesaron los granos con panza blanca y la fracción fue expresada como porcentaje de la muestra original.

4.5.8. Concentración de proteína en la harina y fuerza de gluten (W)

La medición de los parámetros reológicos, es decir: concentración de proteína en la harina y la fuerza de gluten (W), se obtuvieron mediante la elaboración de alveogramas, con el uso de un alveógrafo (Figura 1). Para la determinación de la proteína en las harinas, se utilizó un equipo marca Per Con, modelo Inframatic 8611 (Figura 2).

Figura 1. El alveógrafo permite determinar el comportamiento que va a tener la harina en las diferentes etapas del proceso de panificación.



Figura 2. Equipo Per Con Inframatic 8611 utilizado para determinar la proteína en harina.



4.6. Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron mediante análisis de varianza (ANOVA's), con un nivel de significancia de $P = 0.05$. Cuando pertinente, se realizaron comparaciones de medias con la prueba Tukey, con un nivel de significancia de $P = 0.05$.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Rendimiento de grano

Se observaron diferencias significativas para los tratamientos de fertilización ($P = 0.021$) y para el factor de las variedades ($P = 0.008$). Los rendimientos por tratamientos de fertilizante fueron de 6.2 y 4.8 ton ha⁻¹ para FR+FC y FR, respectivamente (error estándar para la comparación = ± 0.278 ton ha⁻¹). Los rendimientos de las variedades fueron 5.9, 5.8 y 4.9 ton ha⁻¹, para Triguenio F-2000, Cachanilla F-00 y Yécora F-70, respectivamente; siendo Yécora la variedad menos rendidora y estadísticamente diferente (error estándar para la comparación = ± 0.254 ton ha⁻¹). La diferencia en rendimiento de grano entre los tratamientos de fertilización fue de 1.4 ton ha⁻¹ (ó 23%), a favor de FR+FC, sobre la FR.

Para trigos del Valle de Mexicali existe una recomendación sobre la dosis a utilizar para la fertilización N., dicha recomendación es que por cada tonelada de grano, aplicar 35 kg de N (INIFAP, 1999). Si la diferencia en rendimiento entre tratamientos de fertilización fue de 1.4 ton ha⁻¹, y la diferencia en la cantidad de fertilizante N utilizados fue de 185 kg ha⁻¹, esto significa que la regla no se cumplió por mucho. Es decir, la adición de alrededor de únicamente 50 kg ha⁻¹ de N hubiese sido suficiente para cosechar rendimientos similares a los obtenidos (1.4 ton ha⁻¹ de rendimiento \times 35 kg ha⁻¹ de N recomendado = 49 kg ha⁻¹ de N requerido). O, en otras palabras, se aplicaron aproximadamente 135 kg ha⁻¹ de N extras que no fueron expresados en rendimiento por el cultivo.

El costo de este fertilizante, calculado en base a urea a \$ 7,000 ton⁻¹, significó un gasto inútil de más de \$ 2,000 ha⁻¹ y una importante descarga de N al ambiente. En el tratamiento de FR la regla se cumplió casi a la perfección. Es decir, con una fertilización de 147 kg ha⁻¹ (N que ya se encontraba en el suelo ó residual), se esperaba un rendimiento de 4.2 ton ha⁻¹, mientras que se cosecharon 4.8 ton ha⁻¹. Estos resultados coinciden con diversos autores (Kanampiu et al. 1997; Ortiz-Monasterio, 2002), quienes concluyeron que la eficiencia de los fertilizantes N se reduce a medida que se incrementan las dosis, después de alcanzar un punto de máxima respuesta. Aparentemente, considerando la relativa modesta respuesta del

rendimiento al pasar del tratamiento FR a FR+FC, la dosis óptima económica se encontraba ya próxima con la sola FR.

Lloveras *et al.* (2001) reportaron que 200 kg ha⁻¹ fue la dosis con la cual, aunque no se lograron los máximos rendimientos absolutos, ya no hubo una respuesta estadística significativa ($P > 0.05$) contra rendimientos logrados por dosis mayores de N. Sin embargo, sí se evitó la pérdida de fertilizante y se redujo el riesgo de contaminar los mantos freáticos.

5.2. Rendimiento de paja

El rendimiento de paja tuvo una interacción significativa ($P = 0.010$) entre las variedades y los tratamientos de fertilización. Esto debido a que las variedades no se vieron igualmente afectadas por los tratamientos de fertilizantes. Las medias de los tratamientos para el rendimiento de paja se muestran en el Cuadro 1. Aunque en general se observó una disminución en el rendimiento de paja entre las variedades bajo el tratamiento de FR, comparados con los rendimientos bajo el tratamiento de FR+FC, la variedad Trigueno F-2000 tuvo rendimientos similares, independientemente de los tratamientos de fertilización.

Cuadro 1. Comparación de medias de rendimientos de paja de variedades de trigo bajo dos tratamientos de fertilización residual, en el Valle de Mexicali, México.

Tratamientos	Rendimiento de paja (kg/ha)	Clasificación estadística†
<u>Fertilización residual</u>		
Yécora F-70	4523	c
Cachanilla F-00	5294	b
Trigueno F-2000	5125	bc
<u>Fertilización residual + fertilización complementaria</u>		
Yécora F-70	5725	b
Cachanilla F-00	6438	a
Trigueno F-2000	5389	b

†Error estándar para comparaciones de medias de variedades entre los dos niveles de fertilizantes = 388.23

5.3. Índice de cosecha

El índice de cosecha de las variedades no mostró ningún efecto estadísticamente significativo. Es decir, ni el efecto de las variedades ($P = 0.210$), ni el de los tratamientos de fertilizante ($P = 0.168$), ni el de la interacción entre los dos factores ($P = 0.476$), influyeron en la determinación del índice de cosecha. Las medias del índice de cosecha por variedades fueron 0.48, 0.49 y 0.52 para Yécora F-70, Cachanilla F-00 y Triguenio F-2000, respectivamente (error estándar para la comparación = ± 0.0143).

Las medias de índice de cosecha por tratamientos de fertilizante fueron 0.49 y 0.51, para FR y FR+FC, respectivamente (error estándar para la comparación = ± 0.0117).

5.4. Altura de planta

La altura de planta fue influida significativamente tanto por las variedades ($P = 0.000$), como por los tratamientos de fertilizante ($P = 0.042$), pero no por la interacción entre estas ($P = 0.304$). Las medias por variedades fueron 65, 79 y 83 cm para Yécora F-70, Cachanilla F-00 y Triguenio F-2000, respectivamente (error estándar para la comparación = ± 0.8 cm). Por tratamientos de fertilizante, las medias fueron 77 y 74 cm, para FR y FR+FC, respectivamente (error estándar para la comparación = ± 1.1 cm).

5.5. Peso hectolítrico

El peso hectolítrico del grano fue estadísticamente afectado solamente por el factor de la fertilización ($P = 0.034$). Los efectos de las variedades ($P = 0.760$) y de la interacción fertilización \times variedades ($P = 0.350$), no fueron estadísticamente significativos. El tratamiento de FR+FC tuvo un peso hectolítrico de 81 kg hl⁻¹, mientras que el tratamiento de FR tuvo un peso hectolítrico de 79.8 kg hl⁻¹ (error estándar para la comparación = ± 0.47 kg hl⁻¹). Un peso hectolítrico promedio de 79.6 kg hl⁻¹ fue considerado como bueno para trigos evaluados de ciclo corto, medio y largo, en Uruguay (Vázquez, 2006). De esta manera, aún el tratamiento de FR produjo un grano con un peso hectolítrico aceptable, de acuerdo con parámetros internacionales (Vázquez, 2006).

5.6. Concentración de proteína en el grano

La concentración de proteína en el grano de trigo tuvo una interacción significativa variedades \times fertilización ($P = 0.020$). Esta interacción estuvo determinada por un incremento de 1.4 unidades porcentuales en la variedad Cachanilla F-70, al pasar de 12.2 % de proteína cruda en el tratamiento de FR, a 13.6% en el tratamiento de FR+FC. Las variedades Yécora F-70 y Trigueno F-2000 no modificaron significativamente su concentración de PC al cambiar de la FR a la FR+FC (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias de concentración de proteína en grano de variedades de trigo bajo dos tratamientos de fertilización residual, en el Valle de Mexicali, México.

Tratamientos	% Proteína en grano	Clasificación estadística
<u>Fertilización residual</u>		
Yécora F-70	11.1	b
Cachanilla F-00	12.2	b
Trigueno F-2000	11.4	b
<u>Fertilización residual + fertilización complementaria</u>		
Yécora F-70	11.3	b
Cachanilla F-00	13.6	a
Trigueno F-2000	11.2	b

†Error estándar para comparaciones de medias de variedades entre los dos niveles de fertilizantes = 0.31.

Aunque la concentración de proteína en el grano se ha documentado que se relaciona linealmente con una disponibilidad adecuada de N durante el ciclo del cultivo, especialmente durante el inicio de la fase de amacolle (Farrer et al. 2006), los resultados de este trabajo sugieren que la concentración de N en el grano, salvo la excepción de la variedad Cachanilla F-00, fue independiente de la concentración de N en el suelo. Es decir, una disponibilidad mayor de N en el tratamiento de FR+FC no se tradujo en una mayor concentración de proteína en el grano, en comparación con la FR, como era de esperarse.

Goos *et al.* (2008), sugieren que existe una relación estrecha entre la concentración de proteína en el grano y el rendimiento; y sugieren que la concentración de proteína en el grano puede utilizarse para evaluar la suficiencia de la fertilización N durante el ciclo transcurrido y puede utilizarse como guía para la fertilización N el siguiente ciclo. Los autores sugieren que un contenido de proteína en el grano menor a 11.10% sugiere que los rendimientos, probablemente fueron limitados por deficiencias de N, y que la adición de 25 a 75 kg de N ha⁻¹ a la dosis anterior incrementará ambos, el rendimiento y la concentración de proteína del grano. Para concentraciones de proteína en el grano de 11.1 a 12.0% los rendimientos pudieran ser limitados por deficiencias de N, la aplicación de 11 a 20 kg de N ha⁻¹ por encima de la dosis anterior utilizada podría o no incrementar los rendimientos; no obstante a concentraciones de 12% de proteína en grano es probable que el efecto del N no fue limitante sobre los rendimientos. Adición de cualquier cantidad de fertilizante N podrían no incrementar los rendimientos; sin embargo, sí la concentración de proteína del cereal.

Los resultados de concentración de proteína en el grano en esta investigación indican que, en el tratamiento FR+FC se clasifica en la última categoría en acuerdo a las propuestas por Goos *et al.* (2008), que corresponden a 12%. En este nivel, de acuerdo con esta clasificación (Goos *et al.* 2008), los rendimientos no fueron limitados sustancialmente por deficiencias de N, esto sugiere pertinentemente deberse por la alta dosis de N utilizada (332 kg ha⁻¹), al considerar que los rendimientos ligeramente superiores a la media regional de 6.3 ton ha⁻¹ (SEFOA, 2005). Se deduce entonces que, fertilizaciones N mayores a 332 kg ha⁻¹ no hubieran incrementado sustancialmente el rendimiento del cereal; sin embargo probablemente si afectaría positivamente la concentración de proteína en el grano, con alto riesgo de escurrimientos al ambiente. En contraste, la concentración de proteína en el grano en el tratamiento de FR (11.6%) se ubicó en la categoría intermedia propuesta por Goos *et al.* (2008), entre (11.10 a 12.00).

Los resultados obtenidos permiten inferir que los rendimientos de hecho fueron moderadamente limitados por deficiencia de N (evidenciado por los rendimientos del tratamiento FR+FC). La concentración de proteína en el grano también se clasificó ligeramente por debajo de los estándares internacionales, sin embargo, el riesgo de escurrimientos de fertilizantes podría ser reducido sustancialmente.

5.7. Porciento de panza blanca

El porcentaje de panza blanca fue influenciado únicamente por el factor tratamientos de fertilización ($P = 0.050$). Los porcentajes por tratamiento de fertilizante fueron (15 y 0%) para FR y FR+FC, respectivamente (error estándar para la comparación = $\pm 6.5\%$). De acuerdo con Robinson *et al.* (1979), el porcentaje de panza blanca se relaciona estrecha y negativamente con el contenido de proteína en el grano (Robinson *et al.* 1979). Los autores indicaron que por cada incremento en unidades porcentuales de concentración proteínica en el grano, el porcentaje de panza blanca se reduciría entre 16.4 a 18.5%. Los resultados de este trabajo coinciden en su mayoría con los hallazgos de Robinson *et al.* (1979), al observarse una tendencia positiva de la FR+FC vs. FR ($P > 0.05$) en la concentración de proteína en grano (Cuadro 2), implicando un decremento definitivo favorable de FR+FC vs. FR en el porcentaje de panza blanca.

5.8. Concentración de proteína en la harina y fuerza de gluten (W)

La concentración de proteína en la harina fue significativa solamente para los tratamientos de fertilizante ($P = 0.0005$), aunque el factor de las variedades casi resultó también estadísticamente significativo ($P = 0.0599$). La interacción no fue significativa ($P = 0.0611$). El tratamiento de FR tuvo en promedio un 11.2% de proteína, mientras que el tratamiento de FR+FC, tuvo una concentración promedio de 12.9% (error estándar para la comparación = $\pm 0.21\%$). Alveogramas de una muestra de cada uno de los tratamientos utilizados es presentado (Figuras 3,4,5,6,7 y 8). Estos porcentajes de proteína, FR, tiene una calidad aceptable por la industria panadera (una industria exigente). Estos resultados indican que la aplicación de dosis mayores de fertilizante no son ya requeridos, sin embargo, sí podrían ser nocivos para el medio ambiente.

La variable W no fue significativa para el factor de las variedades ($P = 0.2456$), ni de los tratamientos de fertilizante ($P = 0.1057$) o la interacción ($P = 0.6650$). No obstante, debido quizá a una variabilidad relativamente alta (el terreno presentaba altas concentraciones de salinidad) entre las medias de los tratamientos, es que no se detectó diferencia significativa; ya que, por ejemplo, la media de la variedad Cachanilla F-00 fue de 337 puntos de W , mientras que Yécora F-70 fue de 390 puntos de W (error estándar para la comparación = ± 20.64 puntos de W). Alveogramas de una muestra de cada uno de los tratamientos utilizados es presentado (Figuras 3,4,5,6,7 y 8). Una diferencia de 53 puntos de W , no es significativa comercialmente, ya que ambas entran dentro de las normas requeridas por la industria panadera.

Figura 3. Alveograma de la harina de trigo Yecora F-70 bajo tratamiento de fertilización residual, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.

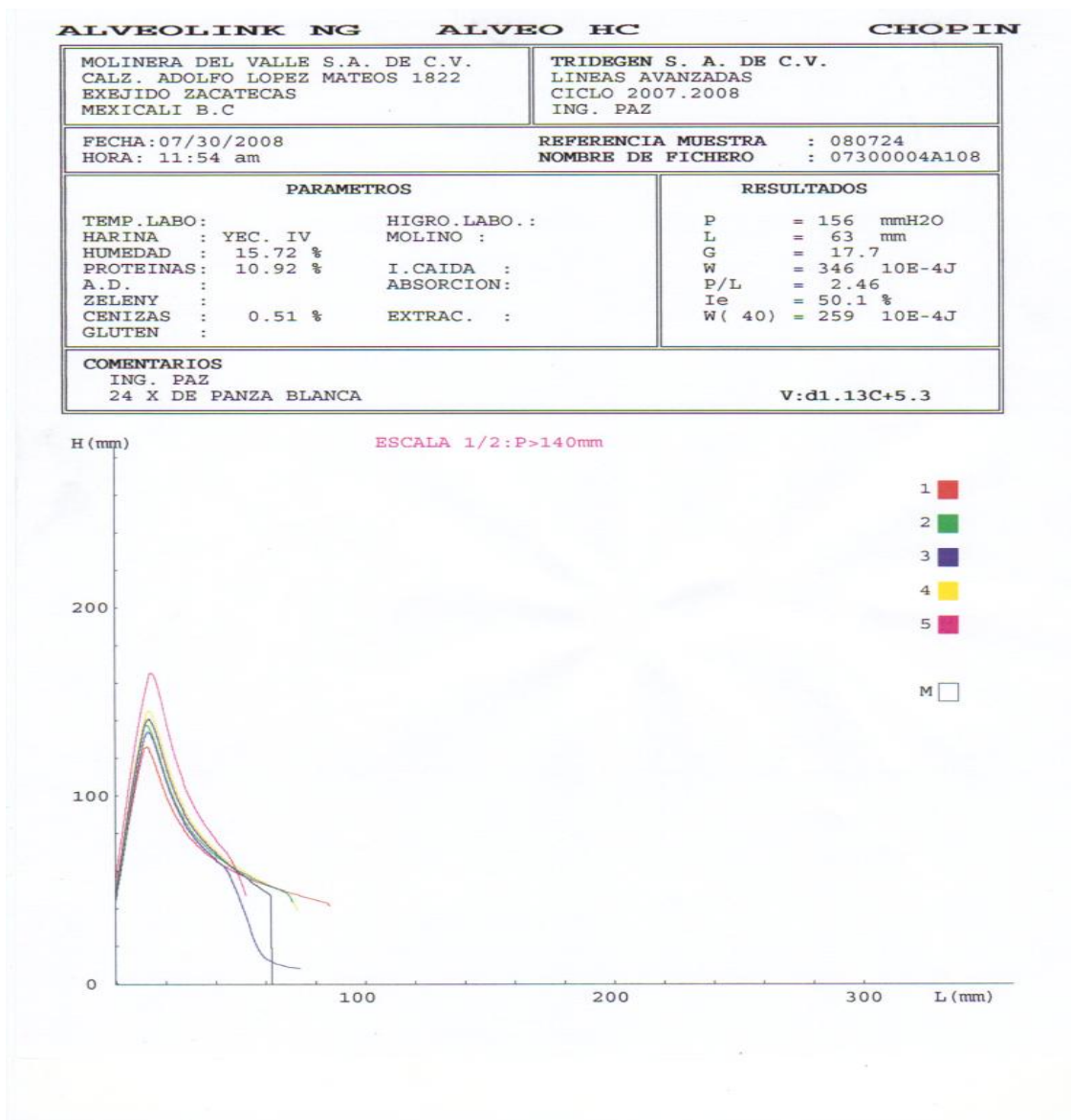


Figura 5. Alveograma de la harina de trigo Cachanilla-F00 bajo tratamiento de fertilización residual, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.

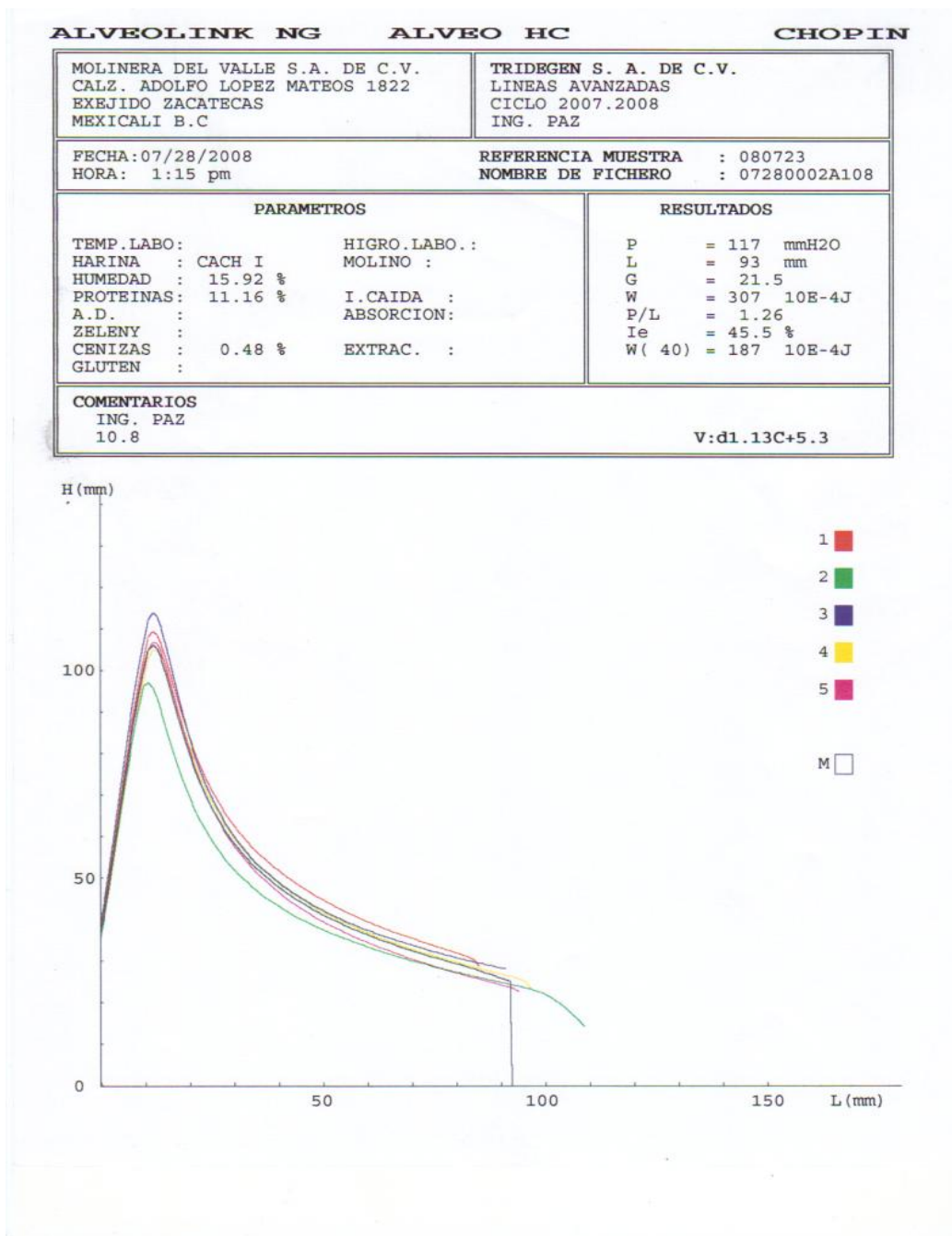


Figura 6. Alveograma de la harina de trigo Cachanilla-F00 bajo tratamiento de fertilización residual + fertilización complementaria, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.

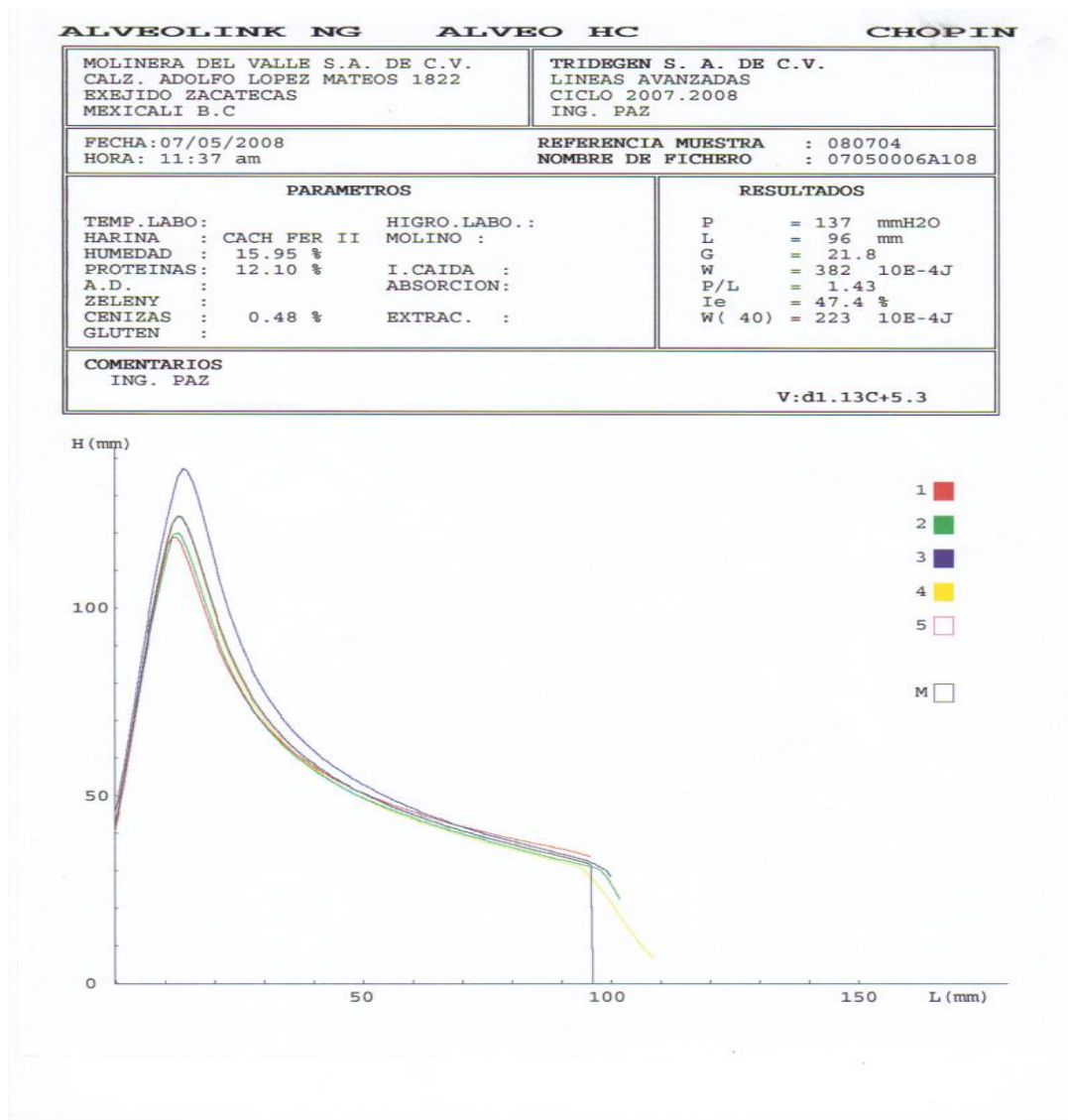


Figura 7. Alveograma de la harina de trigo Triguenio F-2000 bajo tratamiento de fertilización residual, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.

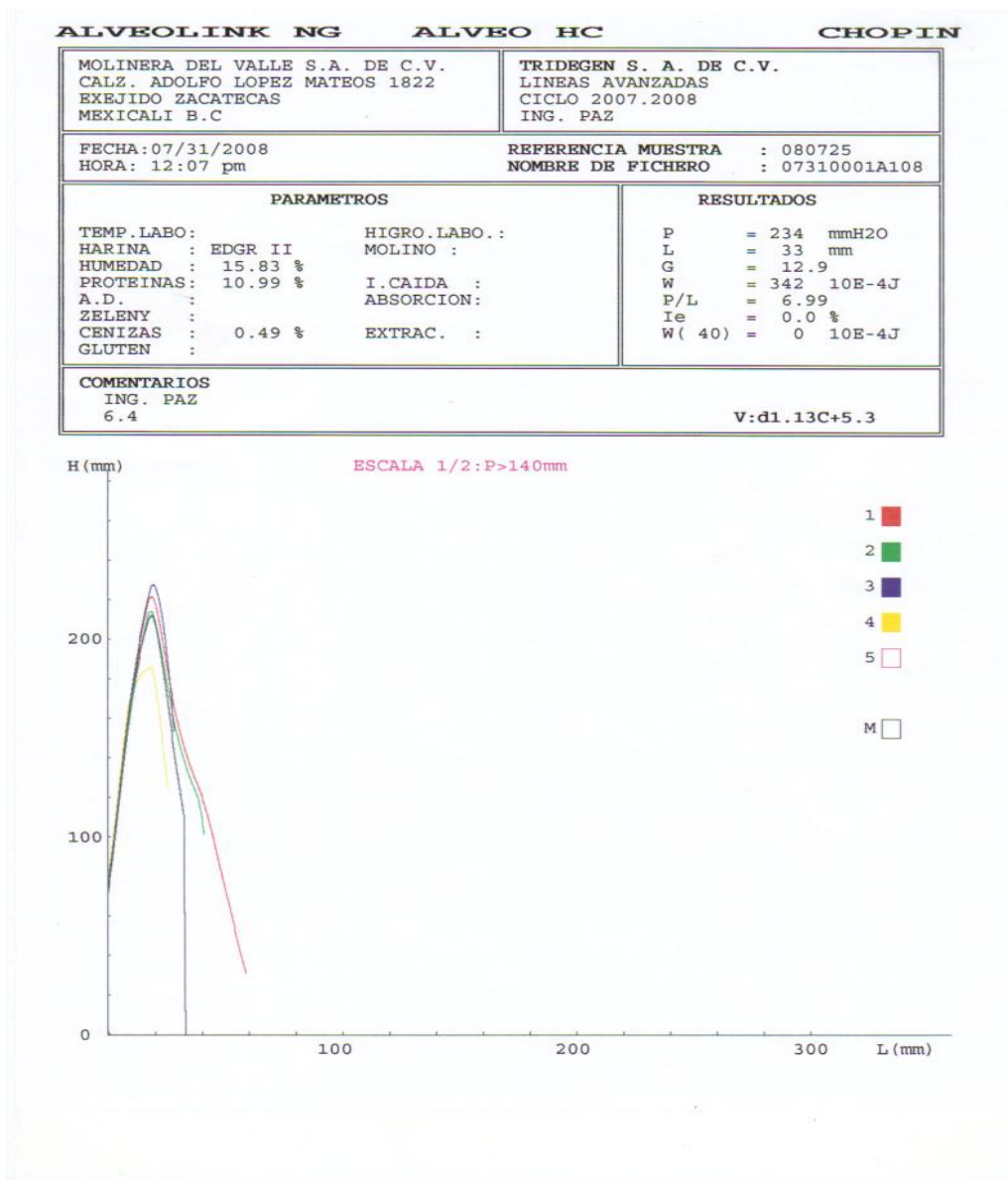
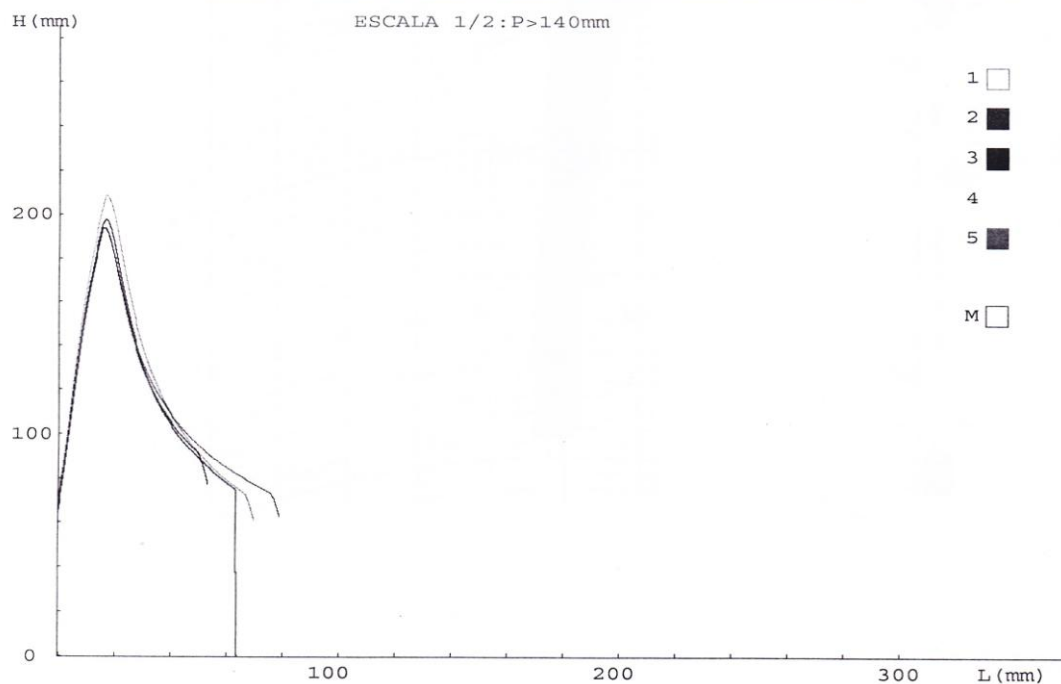


Figura 8. Alveograma de la harina de trigo Triguenio F-2000 bajo tratamiento de fertilización residual + fertilización complementaria, en experimento desarrollado en el Valle de Mexicali en el ciclo O-I, 2007-2008.

ALVEOLINK NG		ALVEO HC	CHOPIN
MOLINERA DEL VALLE S.A. DE C.V. CALZ. ADOLFO LOPEZ MATEOS 1822 EXEJIDO ZACATECAS MEXICALI B.C		TRIDEGEN S. A. DE C.V. LINEAS AVANZADAS CICLO 2007 . 2008 ING. PAZ	
FECHA: 04/07/2008 HORA: 14:32		REFERENCIA MUESTRA : 040708 NOMBRE DE FICHERO : 07040000A108	
PARAMETROS		RESULTADOS	
TEMP. LABO:	HIGRO. LABO.:	P	= 218 mmH ₂ O
HARINA : EDGR	MOLINO :	L	= 64 mm
HUMEDAD : 13.37 %	I. CAIDA :	G	= 17.8
PROTEINAS: 13.04 %	ABSORCION:	W	= 509 10E-4J
A.D. :	EXTRAC. :	P/L	= 3.43
ZELNY :		Ie	= 53.2 %
CENIZAS : 0.64 %		W(40)	= 371 10E-4J
GLUTEN :			
COMENTARIOS FERTILIZANTE		V:d1.13C+5.3	



6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de este trabajo, se concluye que la cantidad de N en campos agrícolas utilizados de manera intensiva en rotaciones hortalizas-trigo en el Valle de Mexicali, puede dar como resultado una acumulación sustancial de N en el suelo. Este N residual puede ser utilizado por el trigo y puede representar una fracción importante de la necesidad del nutriente para todo el ciclo del cultivo. Los resultados de este trabajo sugieren que incluso sin la adición de fertilizante adicional al residual, se logró obtener un producto que es tradicionalmente aceptado por el exigente mercado de la industria mecanizada del pan (tipo I).

Para aprovechar el N residual al máximo, y reducir el riesgo de contaminación por escurrimiento de fertilizantes, es indispensable conocer la cantidad de N adicional se requiere aplicar al cultivo. La información de la cantidad de N en el suelo se ha intentado conocer tradicionalmente a través de análisis de suelos; sin embargo, actualmente existen otras alternativas tecnológicas que requieren un menor esfuerzo para su medición y han demostrado ser efectivas. Entre estas tecnologías innovadoras se encuentra el uso de sensores remotos manuales para la estimación de las dosis óptimas de N para trigo y otros cereales. Este enfoque de manejo de los fertilizantes en la producción agrícola comienza a hacer realidad la aplicación del concepto de *agricultura sustentable*, el cual ha sido incipiente hasta ahora en México. Esta perspectiva puede permitir a los productores mejorar su economía al ahorrar recursos económicos por comenzar a considerar el concepto de eficiencia en el uso de los insumos en la producción; al tiempo que la sociedad se beneficiará al mejorar la calidad del medio ambiente en que vive.

7. LITERATURA CITADA

- Avendaño-Reyes L., D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, S. Saucedo-Quintero, F. Rivera-Acuña, J. Verdugo-Zárate, C. Aréchiga-Flores y P.H. Robinson. 2007. Evaluación de un sistema de enfriamiento aplicado en el período seco de ganado lechero durante el verano. *Técnica Pecuaria México*, 45(2)209-225.
- Faridi, H., Rasper V. F. 1987. *The Alveograph handbook*. AACC. St. Paul, Minnesota, USA.
- Farrer D. C., R. Weisz, Ro. Heiniger, J. P. Murphy and J. G. White. 2006. Minimizing protein variability in soft red winter wheat impact of nitrogen application timing and rate. *Agron. J.* 98:1137-1145.
- Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Schepers, J. S., Gotway, C. A., Cahoon, J. E., Peterson, T. A. 2002. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: yield and soil residual nitrate effects. *Soil Science Society of America Journal* 66: 544-55
- Frank E. Robinson, David W. Cudney and William F. Lehman. 1979. Nitrate fertilizer timing, irrigation, protein, and yellow berry in durum wheat. *Agron. J.* 71:304-308
- Goos R.J., D.G. Westfall and A.E. Ludwick. 2008. Grain protein content and N needs. Crop series, bulletin No. 055. Colorado State University Extension.
- INIFAP-Campo Experimental Valle de Mexicali. 1999. Manejo agronómico de trigo duro para exportación en el DDR 002, Río Colorado. Folleto para productores Núm. 34.
- Kanampiu, F.K., W. Raun, and G.V. Johnson. 1997. Effect of nitrogen rate on plant nitrogen loss in winter wheat varieties. *J. Plant Nutr.* 20:389-404.
- Lloveras J., A. López, J. Ferran, S. Espachs, and J. Solsona. 2001. Bread-making wheat and soil nitrate as affected by nitrogen fertilization in irrigated mediterranean conditions. *Agron. J.* 93:1183–1190.

- Ortiz-Monasterio R, J.I. 2002. Nitrogen management in irrigated spring wheat. *In* Bread Wheat. Curtis B.C., S. Rajaram, and H. Gomez Macpherson (Ed.). Disponible on-line en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4011E/y4011e00.htm#Contents>. Consultado por última vez el 28 de noviembre de 2009.
- Ortiz-Monasterio, J.I. and W. Raun. 2007. Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico, using sensor based nitrogen management. *Journal of Agricultural Science* 145: 215-222.
- SAGARPA. 2006. Exportan a Italia más de 54 mil toneladas de trigo. Boletín SAGARPA No. 223/06, de fecha 30 de agosto de 2006. Secretaría de Fomento Agropecuario de Baja California. 2005. Trigo. Disponible On-line en: <http://www.sfa.gob.mx/prodTrigo.htm>. Último acceso: 28 de noviembre de 2009.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA. 2009. Avance de siembras y cosechas. Disponible On-line: http://www.oeidrus-portal.gob.mx/repoAvance_bca/agrAvance.jsp. Último acceso: 28 de noviembre de 2009.
- Solís Moya E. y J.G. Díaz de León T. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca sobre el grano de trigo duro. *Terra Latinoamericana* Vol. 19, No. 4:375-383.
- Solís, Moya E., G. Díaz C., A. Arévalo V., J.G. Díaz de León T. y M.A. Vuelvas C. 1996. Tecnología de producción de trigo de riego en el Bajío. Desplegable para productores Núm. 1. INIFAP-Fundación Produce Guanajuato, A.C.
- Tipples, H., K and Preston R., H. 1982. Implications of the term "strength" as related to wheat and flours quality. *Baker's digest* 12:16-19.
- Vázquez D. 2006. Introducción a la Calidad: Determinantes de la calidad, parámetros y su Importancia a nivel industrial. Jornada de cultivos de invierno "Trigo: Calidad vs. Rendimiento". Serie actividades de difusión N°444. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay.
- Yeshajahu Pomeranz. Clifton E. Melona. 1994. *Food Analysis. Theory and Practice*. 3ed Edition Chapman & Hall. New York. USA.