

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**  
**POSTGRADO DE EDAFOLOGIA**

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL GRANO EN TRIGO Y  
MAÍZ POR EFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA, LA  
SECUENCIA DE CULTIVOS Y LA ETAPA DE APLICACIÓN  
DEL NITRÓGENO**

LUIS VARGAS ROJAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

2014

La presente tesis titulada: **PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL GRANO EN TRIGO Y MAÍZ POR EFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA, LA SECUENCIA DE CULTIVOS Y LA ETAPA DE APLICACIÓN DEL NITRÓGENO**, realizada por el alumno: **Luis Vargas Rojas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. VÍCTOR FUGO VOLKE HALLER

ASESOR



DR. IR. NELE VERHULST

ASESOR



DR. GUSTAVO RAMÍREZ VALVERDE

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2014

## AGRADECIMIENTOS

A los mexicanos que con sus impuestos, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y del Colegio de Postgraduados, han financiado mi formación.

Al programa de Agricultura de conservación del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por las facilidades brindadas y el financiamiento de este proyecto de investigación.

A los integrantes de mi consejo particular, el Dr. Víctor Hugo Volke Haller, la Dra. Nele Verhulst y el Dr. Gustavo Ramírez Valverde, por su apoyo, tiempo y esfuerzo durante mi proyecto de investigación que culmina con esta tesis.

A mi familia, mi esposa Areli y mi hijo Adrik quienes siempre me han acompañado y mostrado su apoyo en cumplir mis metas.

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL GRANO EN TRIGO Y MAÍZ POR EFECTO DEL  
SISTEMA DE LABRANZA, LA SECUENCIA DE CULTIVOS Y LA ETAPA DE  
APLICACIÓN DEL NITRÓGENO

Luis Vargas Rojas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

RESUMEN

Las prácticas agrícolas basadas en agricultura de conservación (AC) se presentan como una combinación de tecnologías y principios que tienen una importante contribución para la producción sustentable. Se ha documentado que los tres principios de la AC (mínimo movimiento del suelo, retención de residuos y rotación de cultivos) influyen en la disponibilidad del N. Varios estudios reportan los efectos de estos tres factores sobre el rendimiento pero pocos han puesto atención en la calidad del grano. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las prácticas de labranza, la secuencia de cultivos en rotación y la época de aplicación del N en la producción y calidad del grano de maíz (*Zea mays* L.) y trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), en un suelo Phaeozem Háptico (Arcílico) bajo condiciones de temporal, de un experimento de largo plazo ubicado en la estación experimental del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en Texcoco, México. El ensayo tuvo un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas sub-divididas y tres repeticiones. Las parcelas principales fueron un sistema de siembra en camas permanentes y el otro en camas convencionales; las parcelas medianas consistieron en tres secuencias de cultivos, dos con la rotación maíz-trigo y trigo-maíz, y un monocultivo de trigo; las parcelas pequeñas fueron los tratamientos con tres diferentes etapas en la aplicación de N (dosis de 80 kg ha<sup>-1</sup>), en la siembra, después de la siembra, aplicación dividida en las dos etapas y un tratamiento control sin fertilizar. El desarrollo y crecimiento del cultivo evaluado con lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) mostraron un crecimiento inicial lento del maíz en los tratamientos de camas permanentes, pero a partir de la etapa reproductiva los tratamientos fertilizados de ese grupo presentaron los valores más altos de NDVI. En el trigo no existieron diferencias en las lecturas del NDVI durante el crecimiento, pero durante la senescencia todos los tratamientos de camas permanentes presentaron los valores más altos. Los factores evaluados en maíz tuvieron efecto

en el rendimiento y la eficiencia agronómica; en ambos casos, los tratamientos de camas permanentes mostraron valores mayores debido a que este sistema de labranza les permitió conservar más humedad en el periodo sequía que afectó al cultivo durante la etapa reproductiva. En el trigo el rendimiento y la eficiencia agronómica no se vieron afectados por ningún factor. En el maíz los tratamientos de camas permanentes obtuvieron los valores más altos en el peso de mil granos, extracto etéreo, almidón y luminosidad; mientras que los de camas convencionales obtuvieron los mayores en proteína, tono y dureza; los valores más bajos de proteína en camas permanentes se deben a la correlación negativa que este parámetro tiene con el rendimiento. En el trigo los tratamientos en camas permanentes con rotación presentaron los valores altos en el peso de mil granos y dureza; los camas permanentes que recibieron fertilización obtuvieron el mayor volumen de pan; en los tratamientos de camas convencionales con fertilización se encontraron los valores más altos del peso hectolítrico, el volumen de sedimentación, la proteína del grano, la proteína de la harina refinada, el número de caída, la fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad de la masa.

Palabras clave: Agricultura de conservación, camas permanentes, rotación de cultivos, etapa de aplicación del nitrógeno, NDVI, calidad de maíz, calidad de trigo.

# PRODUCTION AND GRAIN QUALITY IN WHEAT AND MAIZE BY EFFECTS OF TILLAGE, CROP SEQUENCE AND NITROGEN APPLICATION TIMING

Luis Vargas Rojas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

## ABSTRACT

The agricultural practices and methods based on conservation agriculture (AC) are presented as a combination of technologies and principles that have an important contribution to sustainable food production. It has been documented that the three principles of AC (reduced tillage, residue retention and crop rotation) affect the availability of N. The effects of these three factors have been reported in several studies however; the focus has been mainly on yield with few results reported on grain quality. The objective of this research paper was to evaluate the result of tillage practices, crop rotation and timing of N application in the crop production and the grain quality of the maize (*Zea mays* L.) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.), in a Haplic Phaeozem (Clayic) soil under rain-fed conditions in a long term experiment located at the experimental station of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) in Texcoco, Mexico. The experiment was designed as a randomized block with a split-split plot arrangement and three replications. The main plots were a seeding system with permanent beds another in conventional beds, the sub-plots were the three sequences of crops, two in rotation maize-wheat and wheat-maize and a single crop of wheat. The small plots were the treatments of three different N timing (rate of 80 kg N a ha<sup>-1</sup>), at planting, after planting, divided into the two timings, and unfertilized control treatment. Crop development evaluated with values of the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) showed a slow development of maize in permanent beds, however from the reproductive stage, the fertilized treatments of this group showed the highest results. In wheat, there were no differences in NDVI values during growth; however, during maturity, all treatments on permanent beds had the highest values. The factors assessed for maize had effects on yield and agronomic efficiency; in both cases, the treatments on permanent beds performed better because this tillage system allowed them to retain more moisture in the drought period, which affected the crop during the reproductive stage. In wheat

the yield and agronomic efficiency were not significantly affected by any factor. In maize, the permanent beds treatments obtained the highest values in 1000-kernel weight, etereous extract, starch and luminosity: whilst the conventional beds obtained the highest in protein, tone and hardness; the lowest values of protein in permanent beds are due to the negative correlation this parameter with yield. In wheat, treatments on permanent beds presented high values of 1000-kernel weight and hardness; the permanent beds with fertilization obtained the highest volume of bread; in the treatments on conventional beds with fertilization the highest values were found of test weight, sedimentation value, grain protein, refined flour protein, falling number, alveogram index and tenacity–extensibility ratio.

Key words: Conservation agriculture, permanent beds, crop rotation, nitrogen application timing, NDVI, maize quality, wheat quality

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	i
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	vi
CONTENIDO .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general .....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis general .....	2
1.4. Hipótesis específicas .....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Agricultura de Conservación.....	3
2.2. La siembra en camas permanentes .....	4
2.3. Uso eficiente de nitrógeno en agricultura de conservación.....	5
2.4. Calidad de maíz.....	10
2.5. Calidad de trigo harinero.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Descripción del área de estudio.....	14
3.2. Características del experimento .....	15
3.3. Variables evaluadas.....	17
3.3.1. Crecimiento y desarrollo de los cultivos .....	17
3.3.2. Uso eficiente de nitrógeno por los cultivos.....	18
3.3.3. Rendimiento del grano de maíz.....	18
3.3.4. Propiedades físicas del grano de maíz.....	18
3.3.5. Propiedades químicas del grano de maíz .....	19
3.3.6. Rendimiento del grano de trigo.....	21



3.3.7.	Propiedades físicas del grano de trigo.....	21
3.3.8.	Propiedades químicas del grano de trigo.....	22
3.3.9.	Propiedades reológicas del grano de trigo.....	22
3.4.	Análisis de datos.....	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1.	Crecimiento y desarrollo del maíz .....	24
4.1.1.	Índice diferencial de vegetación normalizado.....	24
4.2.	Rendimiento de grano y eficiencia agronómica en maíz.....	28
4.3.	Parámetros de calidad en el grano de maíz .....	31
4.3.1.	Parámetros físicos .....	31
4.3.2.	Parámetros químicos .....	32
4.3.3.	Análisis de componentes principales para los parámetros de calidad.....	34
4.4.	Crecimiento y desarrollo del trigo.....	35
4.4.1.	Índice diferencial de vegetación normalizado.....	35
4.5.	Rendimiento y eficiencia agronómica en trigo.....	39
4.6.	Parámetros de calidad en el grano de trigo.....	41
4.6.1.	Parámetros físicos .....	41
4.6.2.	Parámetros químicos .....	42
4.6.3.	Parámetros reológicos .....	45
4.6.4.	Análisis de componentes principales para los parámetros de calidad.....	48
5.	CONCLUSIONES.....	49
6.	LITERATURA CITADA.....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de los principios de la agricultura de conservación en el ciclo del N comparado con sistemas agrícolas de labranza convencional de acuerdo con diferentes autores.....	9
Tabla 2. Parámetros de calidad del grano de maíz obtenidos mediante análisis físicos y químicos.....	11
Tabla 3. Parámetros de calidad industrial de trigo obtenidos mediante análisis físicos, químicos y de procesamiento (reológicos).....	13
Tabla 4. Secuencia de cultivos los tratamientos de la parcela mediana .....	16
Tabla 5. Dosis y etapa de aplicación del N en los tratamientos de las parcelas pequeñas.....	16
Tabla 6. Efecto del sistema de labranza y las etapas de aplicación del N en la curva de crecimiento y desarrollo del maíz basado en las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes. ....	27
Tabla 7. Análisis de varianza para rendimiento y eficiencia agronómica (EA) en el cultivo de maíz, con dos sistemas de labranza y tres etapas de aplicación de N.....	29
Tabla 8. Efecto del sistema de labranza y las etapas de aplicación del N, en los parámetros de calidad del grano de maíz.....	33
Tabla 9. Efecto del sistema de labranza y las etapas de aplicación del N en la curva de crecimiento y desarrollo del trigo basado en las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes. ....	38
Tabla 10. Análisis de varianza para rendimiento y eficiencia agronómica (EA) del cultivo de trigo, con dos sistemas de labranza, dos secuencias de cultivos y tres etapas de aplicación de N.....	40
Tabla 11. Efecto del sistema de labranza, la secuencia de cultivos y las etapas de aplicación del N, en los parámetros de físicos y químicos de calidad del grano de trigo. ....	44
Tabla 12. Efecto del sistema de labranza, la secuencia de cultivos y las etapas de aplicación del N, en los parámetros reológicos de calidad del grano de trigo.....	47

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ciclo del N en sistemas, agrícolas, basados en agricultura de conservación (Govaerts *et al.*, 2009b; McNeill y Unkovich, 2007; Grahmann *et al.*, 2013). ..... 8
- Figura 2. Precipitación, temperatura máxima y mínima mensual durante el año 2012 en el Batán, Texcoco, México..... 15
- Figura 3. Etapas y reactivos empleados en la hidrólisis del almidón..... 20
- Figura 4. Curva de crecimiento y desarrollo del maíz con base en los valores de las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes. Sistema de labranza con secuencia de cultivos en rotación: CPr, camas permanentes; CCr, camas convencionales. Los tratamientos son los kg de N ha<sup>-1</sup> y la etapa de aplicación: 1, control 0; 2, 80 durante la siembra; 3, 80 en la etapa V4; 4, 40 durante la siembra y 40 en la etapa V4. .... 26
- Figura 5. Efecto de las prácticas de labranza con secuencia de cultivos en rotación y la etapa de aplicación del N en el rendimiento de grano (a) y la eficiencia agronómica de maíz (b). Las barras de error indican el error estándar..... 30
- Figura 6. Grafica bidimensional con los dos primeros componentes, del análisis de componentes principales, que muestra el grupo de variables de los parámetros de calidad del grano y los tratamientos para el cultivo de maíz. Con línea de trazos la variable complementaria. Las elipses indican los intervalos del 95% de confianza de cada grupo. Parámetros de calidad: L: luminosidad, PMG, peso de 1000 granos; EE, extracto etéreo. Tratamientos: CPr: camas permanentes con secuencia de cultivos en rotación; CCr: camas convencionales con secuencia de cultivos en rotación; los números representan la cantidad de N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3= 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4. .... 35
- Figura 7. Curva de crecimiento y desarrollo del trigo con base en los valores de las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes. Sistema de labranza: CP, camas permanentes; CC, camas convencionales. Secuencia de cultivos: r, rotación; m, monocultivo. Los tratamientos son los kg de N ha<sup>-1</sup> y la etapa de aplicación: 1, testigo 0; 2, 80 durante la siembra; 3, 80 en la etapa 31; 4, 40 durante la siembra y 40 en la etapa 31. .... 37
- Figura 8. Grafica de caja del rendimiento de trigo por tres etapas de aplicación de N. El rectángulo muestra el rango intercuartil (25-75%), la línea gruesa indica la mediana. Los bigotes señalan los

valores mínimo y máximo de los puntos de datos. Las letras representan el resultado de la prueba de medias de Tukey ( $p < 0.05$ )..... 41

Figura 9. Grafica bidimensional con los dos primeros componentes, del análisis de componentes principales, que muestra el grupo de variables de los parámetros de calidad del grano y los tratamientos en el cultivo de trigo. Con línea de trazos la variable complementaria. Las elipses indican los intervalos del 95% de confianza de cada grupo. Parámetros de calidad: PHE, peso hectolítrico; PMG, peso de 1000 granos; VS, volumen de sedimentación; PG, contenido de proteína en grano; PHR, contenido de proteína en harina refinada; NC, número de caída; W, fuerza de la masa; P/L, relación tenacidad/extensibilidad de la masa; TM, tiempo de desarrollo de la masa; VP, volumen del pan. Tratamientos: CPr: camas permanentes; CCr: camas convencionales; r: secuencia de cultivos en rotación; m: secuencia de cultivos en monocultivo; los números representan la cantidad de N aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3= 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4. .... 49

## INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha hecho evidente que el objetivo de la agricultura además de obtener altos rendimientos debe ser sustentable. Para mantener la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola se han comenzado a utilizar sistemas de manejo agronómico alternativos, uno de ellos es la agricultura de conservación (AC), la cual consiste en la reducción de labranza acompañada de la retención de residuos de cosecha sobre la superficie y la secuencia de cultivos en rotación (Hobbs *et al.*, 2008; Govaerts *et al.*, 2009a; Verhulst *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2014). Una variante de la AC que permite controlar el tráfico dentro del campo de cultivo es la siembra en camas, llamadas camas permanentes (Sayre y Hobbs, 2004; Limon-Ortega *et al.*, 2006).

Las prácticas de AC tienen un efecto en la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Se menciona que la distribución de nutrientes en los suelos cultivados con labranza mínima es diferente a la que existe en los suelos bajo labranza convencional (Duiker y Beegle, 2006). La colocación de residuos de cosecha en la superficie es uno de los factores que influyen en esta diferencia, ya que la descomposición más lenta de los residuos colocados puede evitar la rápida lixiviación de los nutrientes a través del perfil del suelo (Balota *et al.*, 2004).

En la actualidad los avances tecnológicos aplicados a la agricultura, combinados con muchos trabajos de investigación, han permitido desarrollar sensores remotos de mano para hacer lecturas de Índice normalizado de vegetación (NDVI; Shaver *et al.*, 2011) y demostrar que estos valores están altamente relacionados con el contenido de N en la hoja de maíz (Alchanatis *et al.*, 2005) y la de trigo harinero (Hansen y Schjoerring, 2003; Thomason *et al.*, 2011). Además, estas tecnologías están siendo empleadas para gestionar las aplicaciones de N lo que permite hacer un uso eficiente del fertilizante (Solari, *et al.*, 2008).

Un aspecto importante para que la AC y el uso eficiente de N (UEN) puedan cumplir las tres bases de la sustentabilidad (económica, ambiental y social), es mantener o mejorar la calidad de grano de trigo y maíz. Sin embargo hasta la fecha la mayoría de estudios se han centrado principalmente en la producción de grano y se ha prestado poca atención en la calidad. En el presente estudio se pretende conocer el efecto de las prácticas de la AC en el UEN y la calidad de trigo y maíz.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de las prácticas de labranza, la secuencia de cultivos y la época de aplicación del N, en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano en trigo y maíz bajo condiciones de temporal.

### **1.2. Objetivos específicos**

¿Las prácticas de mínima labranza del suelo con siembra en camas permanentes influyen en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano en trigo y maíz?

¿La secuencia de cultivos tiene efecto en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano en trigo y maíz?

¿La etapa de aplicación del N afecta el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano en trigo y maíz?

¿La interacción de las prácticas de labranza, la secuencia de cultivos y la etapa de aplicación del N tiene efecto en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano en trigo y maíz?

### **1.3. Hipótesis general**

En maíz y trigo, las prácticas de labranza, la secuencia de cultivos, la etapa de aplicación del N y la interacción de esos tres factores, tienen efecto en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano.

### **1.4. Hipótesis específicas**

En maíz y trigo, las prácticas de labranza tienen efecto en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano.

En maíz y trigo, la secuencia de cultivos influye en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano.

En maíz y trigo, etapa de aplicación del N afecta el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano.

En maíz y trigo, La interacción de las prácticas de labranza, la secuencia de cultivos y la etapa de aplicación del N tiene efecto en el crecimiento y desarrollo, el rendimiento, la eficiencia agronómica y la calidad del grano.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Agricultura de Conservación

En los últimos años el crecimiento demográfico, los precios altos e inestables y el aumento en la demanda de alimentos, además de las limitaciones ambientales (Kassam *et al.*, 2009; Dorward, 2013), están obligando al sector agrícola a utilizar prácticas de producción que tengan la premisa de cuidar los recursos naturales, pero permitiendo al agricultor obtener ganancias aceptables con niveles altos y estables de los rendimientos. La agricultura de conservación (AC) es una combinación de tecnologías y principios de producción agrícola que tienen una importante contribución para la producción sustentable (Hobbs *et al.*, 2008; Trichard *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014). Entendiendo el concepto contemporáneo de agricultura sustentable como prácticas que son viables económicamente para los agricultores, seguras para el ambiente y aceptadas por la sociedad (Runge, 2003; Wall y Smit, 2005; Shaw *et al.*, 2011; Robertson y Harwood, 2013).

El término AC fue adoptado durante el Primer Congreso Mundial sobre Agricultura de Conservación, celebrado en la ciudad de Madrid en el año 2001 (Kassam *et al.*, 2009). Las técnicas de AC se derivan de las prácticas de no labranza (en la actualidad es más común usar el término siembra directa) adoptadas en Estados Unidos como respuesta a las grandes tormentas de polvo, que afectaron las llanuras y causaron la pérdida de suelo agrícola, durante el fenómeno conocido como “Dust Bowl”, en la década de 1930 (Baveye *et al.*, 2011). Aunque, Derpsch (2008) menciona que, desde tiempo antiguos, culturas indígenas de distintas geografías han utilizado técnicas de labranza cero y reducida dentro de sus sistemas de producción agrícola.

Los sistemas de AC se basan en tres principios: 1) mínima labranza del suelo; 2) retención de niveles adecuados de residuos sobre la superficie; y 3) rotación de cultivos (Hobbs *et al.*, 2008; Govaerts *et al.*, 2009b; Verhulst *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2014). En conjunto, estas prácticas agrícolas tienen como objetivo aumentar los rendimientos mediante el apoyo, mejora y regulación de los servicios ecosistémicos, por ejemplo, reciclaje de nutrientes, conservación de suelo e infiltración de agua (Palm *et al.*, 2013).

Debido a la protección de la superficie del suelo con la retención de residuos de cosecha y la reducción de labranza, la AC puede reducir la erosión (tanto hídrica como eólica), aumentar la infiltración y hacer un eficiente uso del agua (Govaerts *et al.*, 2009a; Verhulst *et al.*, 2010b). La rotación de cultivos puede romper los ciclos biológicos de los patógenos del suelo y ayudar a moderar o mitigar posibles problemas por malezas (Govaerts *et al.*, 2006a; Limon-Ortega *et al.*, 2009), lo cual ayuda a disminuir los requerimientos de energía, al reducir la necesidad insumos para controlarlos (Altieri y Nicholls, 2000).

## **2.2. La siembra en camas permanentes**

Los sistemas basados en AC han demostrado que el suelo no necesita labranza para obtener una estructura ideal, sin embargo, algunas operaciones agrícolas como: la siembra, la fertilización, el control de plagas y la cosecha, no se pueden evitar (Tullberg, 2010). En sistemas agrícolas mecanizados, principalmente, estas operaciones propician la degradación de la estructura del suelo, lo cual afecta la productividad a largo plazo y el impacto ambiental (reducen la infiltración de agua y aumentan la escorrentía y erosión). Una forma para evitar compactaciones innecesarias, en el suelo, es el control del tráfico de maquinaria (Tullberg *et al.*, 2007).

El tráfico controlado en la agricultura, son técnicas y prácticas que rigen el uso de la maquinaria para limitar la compactación del suelo y los impactos negativos que eso conlleva. Esta práctica divide el área de cultivo y los caminos en zonas distintas y separadas permanentemente (Kingwell y Fuchsbichler, 2011). Por lo tanto, se busca que todos los implementos tengan una medida específica (o múltiplo de esta) y las ruedas están confinadas a estas líneas particulares de tráfico (Tullberg, 2010; Chamen, 2007).



Para controlar el tráfico a caminos específicos se puede hacer uso de maquinaria controlada con dispositivos GPS (sistema de posicionamiento global; Boulal y Gómez-Macpherson, 2010). Sin embargo, el sistema de siembra en camas proporciona una oportunidad para realizar esta misma actividad sin la necesidad de utilizar dichos aparatos, ya que el paso de la maquinaria se restringe al fondo de las camas de siembra (Sayre y Hobbs, 2004). En este caso, todo el equipo tiene que ser adaptado para ajustarse a la distancia entre surcos (Panettieri *et al.*, 2013).

El procedimiento para este tipo de siembra consiste en construir camas elevadas de entre 60-90 cm de ancho denominada cama angosta y sobre ella sembrar dos hileras de semilla de grano pequeño, por ejemplo trigo; cuando es granó grande, por ejemplo maíz, se siembra en una sola hilera (Sayre y Hobbs, 2004; Limon-Ortega *et al.*, 2006). En zonas con producción de temporal la opción a usar es la cama ancha (> 1 m). Para sistemas basados en AC se ha utilizado la modalidad de camas permanentes con mínima labranza y retención de residuos de cultivos sobre el surco (Limon-Ortega *et al.*, 2002; Panettieri *et al.*, 2013). En ellas el movimiento del suelo se limita a la remodelación de los surcos antes de la siembra, entre cada ciclo de cultivo solo cuando se considere necesario, siempre manteniendo la distribución uniforme de los residuos de cultivos anteriores (Govaerts *et al.*, 2005; Boulal *et al.*, 2012).

En comparación con los sistemas convencionales, los beneficios esperados en el campo incluyen el aumento en la eficiencia del uso de agua de riego, reducir la erosión del suelo, disminuir los costos de producción, aumentar el rendimiento, incrementar la cantidad de materia orgánica y mejorar las características físicas del suelo (Limon-Ortega *et al.*, 2002; Limon-Ortega *et al.*, 2006; Govaerts *et al.*, 2007a; Singh *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2012).

### **2.3. Uso eficiente de nitrógeno en agricultura de conservación**

La absorción y asimilación de N es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, debido a que es requerido en cantidades superiores, comparado con el resto de nutrientes del suelo y es el factor limitante más común en la producción de cultivos (Lobell, 2007). En los últimos años con el paradigma de la agricultura sustentable, es necesario hacer un uso más eficiente de los fertilizantes para reducir costos y el impacto ambiental, sin disminuir el rendimiento (Bruno *et al.*, 2011). Sin embargo, se siguen empleando grandes cantidades de N

como fertilizante inorgánico para lograr el incremento de la producción, pero el aumento en el rendimiento ha sido a un ritmo mucho menor que el de los fertilizantes aplicados (Sutton *et al.*, 2013). Las razones del bajo uso eficiente de N (UEN) pueden ser: 1) dosis elevadas de N en las zonas agrícolas de alto rendimiento con altas pérdidas de dicho nutriente; 2) existencia de factores limitantes para el crecimiento de plantas diferentes al N; y 3) debido a la ley de los rendimientos decrecientes el UEN en la actualidad es menor que en el pasado, cuando se utilizaba una fertilización nitrogenada inferior (Zhu y Chen, 2002; Gallais y Coque, 2005; Liu *et al.*, 2010). De acuerdo con Sutton *et al.* (2013) en México hasta 2008 el UEN de los cultivos era de 37 % con una proyección para 2020 de 44 %.

El UEN ha sido un indicador ampliamente utilizado para estudiar la respuesta de las plantas a diferentes cantidades de N disponible. Algunos autores lo definen como la productividad de materia seca por unidad de N absorbido desde el suelo (Hirose, 2011; DoVale *et al.*, 2012; Godinot *et al.*, 2014; Hao *et al.*, 2014). Aunque el UEN puede ser descrito de diferentes maneras, dependiendo del objetivo del análisis (Bandyopadhyay y Sarkar, 2005), comúnmente es calculado como la relación del rendimiento de biomasa entre el N suministrado (Hao *et al.*, 2014). Algunos parámetros evaluados para calcular el UEN en los cereales son: la eficiencia de absorción (recuperación relativa); el rendimiento fisiológico (eficiencia del uso) y la eficiencia agronómica (eficiencia de los cultivos; Bandyopadhyay y Sarkar, 2005; Eivazi y Habibi, 2013).

Las plantas superiores adquieren el N a través de su sistema radical (Hodge, 2013). La absorción del N presente en el suelo se producen principalmente en las formas de N inorgánico, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Schulten y Schnitzer, 1997; Britto y Kronzucker, 2002; Kudo y Fujiyama, 2010). Aunque recientemente, a partir del hallazgo de Nasholm *et al.* (1998), se ha demostrado que también pueden absorber N orgánico contenido en la solución del suelo (Jones *et al.*, 2005; Holst *et al.*, 2012; Inselsbacher, 2014).

Más del 90 % del N presente en el suelo se encuentra en forma inorgánica (Schulten y Schnitzer, 1997; Li *et al.*, 2013), contenido en materiales proteínicos (proteínas, péptidos y aminoácidos) y compuestos heterocíclicos nitrogenados (Schulten y Schnitzer, 1997). El N inorgánico se pone disponible, para la planta mediante la mineralización del N orgánico como

$\text{NH}_4^+$  y la posterior oxidación a  $\text{NO}_3^-$  (mediante la nitrificación) (McNeill y Unkovich, 2007; Hodge, 2013). Sin embargo, el nitrato puede perderse al convertirse en N gaseoso, a través del proceso conocido como desnitrificación; esta ocurre cuando en el suelo existen condiciones de alta disponibilidad de C orgánico y  $\text{NO}_3^-$ , asociado con una baja tasa de difusión de oxígeno y alto contenido de humedad del suelo o compactación; o en su caso, un aumento en la temperatura o pH del suelo (Sainz Rozas *et al.*, 2001; McNeill y Unkovich, 2007). Ambos procesos, la nitrificación y la desnitrificación, son controlados por bacterias presentes en el suelo (Barnard *et al.*, 2006).

El efecto de la reducción de labranza, la retención de residuos sobre la superficie y la rotación de cultivos; en las entradas, transformaciones y pérdidas del N en el sistema, aún no es clara (Oorts *et al.*, 2007; Verhulst *et al.*, 2011). La reducción de labranza afecta el funcionamiento físico, químico y biológico del suelo y por lo tanto el ciclo del N (Martens, 2001; Grahmann *et al.*, 2013); además promueve la acumulación de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo y materia orgánica en el horizonte O (Pekrun *et al.*, 2003). Burgess *et al.* (2002) mencionan que estos procesos están relacionados con la facilidad de descomposición de los residuos, lo cual depende de sus características físicas y químicas, así como de la profundidad a la cual sean colocados. Respecto a la rotación de cultivos, se menciona que tiene una marcada influencia en el uso eficiente del N (López-Bellido y López-Bellido, 2001), sobre todo cuando se emplea una leguminosa para rotar o intercalar con un cereal (Herrmann *et al.*, 2014). Este efecto beneficioso se ha atribuido a la disponibilidad de N adicional a través de la fijación biológica (Sanginga *et al.*, 2002; Yusuf *et al.*, 2009).

Se ha documentado que todos estos cambios en el ambiente, bajo sistemas basados en AC, pueden modificar los procesos de mineralización, nitrificación e inmovilización del N (Figura 1). Los resultados de la mayoría de estudios coinciden en que se reducen. Además que por consecuencia, también se afecta la desnitrificación, volatilización y lixiviación. Es en el primero de ellos, donde los estudios muestran conclusiones diferentes. Derpsch *et al.* (2014) mencionan que las diferencias pueden deberse a la falta de una metodología de investigación estandarizada y con base en las condiciones específicas del sitio. Finalmente la mayoría de estudios concluyen que se produce un aumento en la volatilización y reducción en la lixiviación del N (Tabla 1).

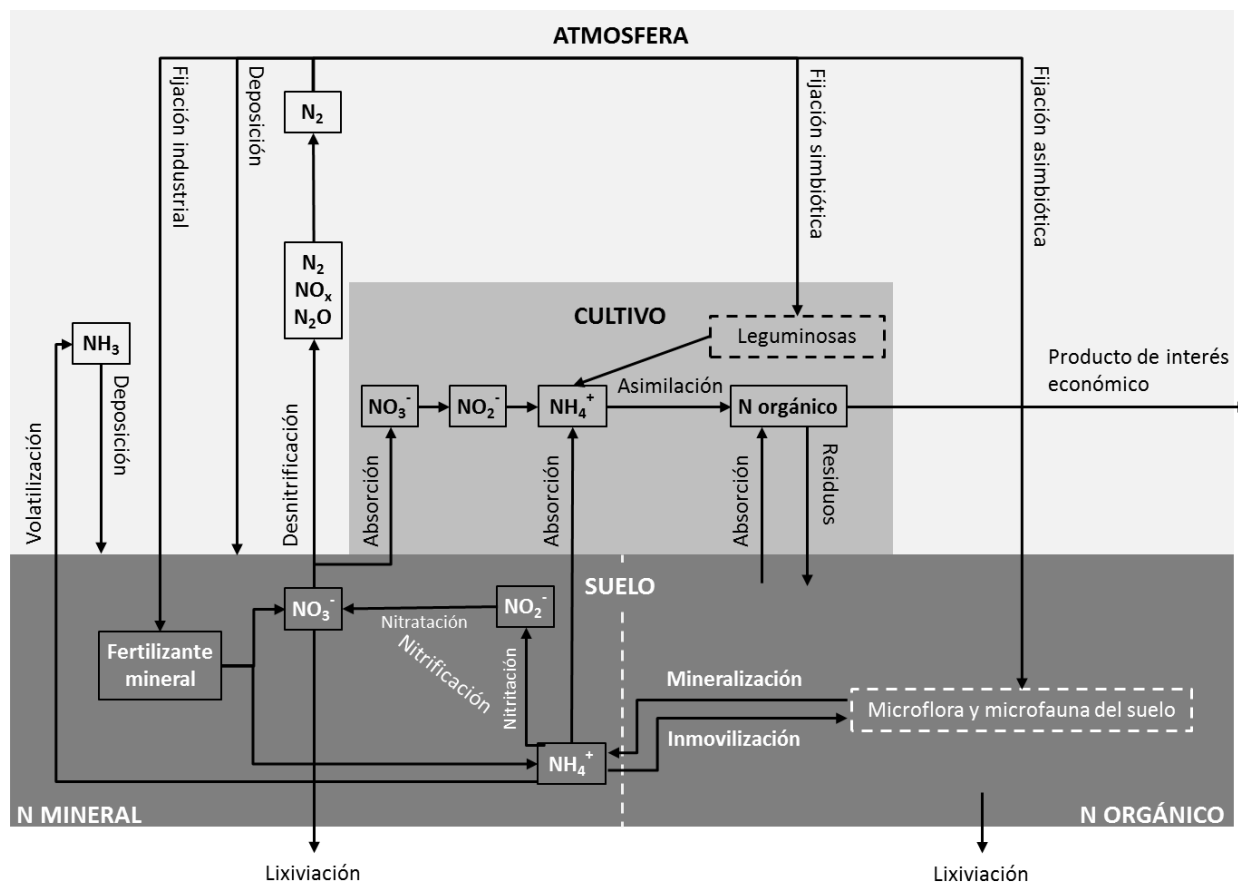


Figura 1. Ciclo del N en sistemas, agrícolas, basados en agricultura de conservación (Govaerts *et al.*, 2009b; McNeill y Unkovich, 2007; Grahmann *et al.*, 2013).

Respecto a la mineralización e inmovilización del N en sistemas agrícolas basados en AC, se menciona que la acumulación de los residuos, seguido por un mayor nivel de C a la superficie del suelo influyen en la absorción de N por la planta (Spargo *et al.*, 2008). Algunos estudios han mostrado que estos sistemas tienen un mayor potencial de para la inmovilización y menor tasa de liberación neta de este nutriente (Sainju *et al.*, 2007; Van Den Bossche *et al.*, 2009), pero tienen más cantidad de N potencialmente mineralizable (Ortega *et al.*, 2005). Por tal motivo, es probable que la inmovilización se produzca con AC cuando los residuos de la superficie tengan una relación C:N superior a 25 (Myrold, 1998; Burgess *et al.*, 2002), debido a que el contenido de N en los residuos del cultivo está correlacionada positivamente con la mineralización neta de N, mientras que la relación C:N se correlaciona negativamente con ella (Lupwayi *et al.*, 2006). Cuando esta tasa es superior, se recomienda adicionar una mayor cantidad de fertilizante nitrogenado al cultivo (Bronson *et al.*, 2001; Burgess *et al.*, 2002).

Finalmente se debe considerar que en todos los tipos de sistemas agrícolas, las malezas también propician la inmovilización de N (Lindsey *et al.*, 2013).

Tabla 1. Efecto de los principios de la agricultura de conservación en el ciclo del N comparado con sistemas agrícolas de labranza convencional de acuerdo con diferentes autores.

Proceso	Efecto <sup>†</sup>	Referencia
Mineralización	↓	Douglas <i>et al.</i> (1980a); Wilson y Hargrove (1986); Nyborg y Malhi (1989); Varco <i>et al.</i> (1993); Pandey <i>et al.</i> (2010).
	sd	Kristensen <i>et al.</i> (2003).
Nitrificación	↓	Douglas <i>et al.</i> (1980b); Groffman <i>et al.</i> (1987); Power y Peterson (1998).
	sd	Groffman (1985).
Inmovilización	↑	Douglas <i>et al.</i> (1980a); Wilson y Hargrove (1986); Carefoot <i>et al.</i> (1990); Varco <i>et al.</i> (1993); Van Den Bossche <i>et al.</i> (2009).
	sd	Verachtert <i>et al.</i> (2009).
Desnitrificación	↑	Groffman <i>et al.</i> (1987); Sainz Rozas <i>et al.</i> (2001); Mkhabela <i>et al.</i> (2008); Jian-She <i>et al.</i> (2011).
	↓	Xiao <i>et al.</i> (2007).
	sd	Groffman (1985); Harada <i>et al.</i> (2007); Liang <i>et al.</i> (2007); Pelster <i>et al.</i> (2011); Dendooven <i>et al.</i> (2012a); Dendooven <i>et al.</i> (2012b).
Volatilización	↑	McInnes <i>et al.</i> (1986); Sainz Rozas <i>et al.</i> (1997a); Li <i>et al.</i> (2005); Mkhabela <i>et al.</i> (2008); Rochette <i>et al.</i> (2009); Jian-She <i>et al.</i> (2011).
Lixiviación	↓	Power y Peterson (1998); Mkhabela <i>et al.</i> (2008); Van Den Bossche <i>et al.</i> (2009).
	sd	Groffman <i>et al.</i> (1987).

<sup>†</sup> ↑ Aumenta el proceso, ↓ disminuye el proceso, sd = sin diferencia.

La nitrificación y la lixiviación son dos procesos relacionados, debido a que en suelos bajo sistemas con AC la oxidación más lenta de N orgánico, comparada con la que ocurre en sistemas de labranza convencional, provoca menor acumulación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Por lo tanto se reducen las probabilidades de lixiviación (Power y Peterson, 1998; Mkhabela *et al.*, 2008), lo cual puede resultar en el uso más eficiente de N.

En sistemas basados en AC, la reducción de labranza y la falta de equipo adecuado para depositar el fertilizante nitrogenado enterrado en el suelo, ocasiona que a menudo sea depositado sobre la superficie y quede susceptible a la pérdida por volatilización (Rochette *et al.*, 2009). Esto ocurre principalmente cuando el producto empleado es CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (urea; Sainz Rozas *et al.*, 1997b), que bajo esas condiciones de aplicación se puede volatizar como NH<sub>3</sub> hasta un 50 % del N (Rochette *et al.*, 2009). Otro mecanismo de pérdida gaseosa de N en suelos bajo AC es mediante la desnitrificación (Sainz Rozas *et al.*, 2001), aunque es en este proceso donde existen muchas diferencias en la información (Mkhabela *et al.*, 2008).

#### **2.4. Calidad de maíz**

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es la fuente más importante de proteínas para la alimentación humana (Waliszewski *et al.*, 2004), se consume mediante diferentes productos procesados, principalmente en forma de tortillas (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011), estas son consideradas alimento básico para la población mexicana (Gutiérrez-Urbe *et al.*, 2010).

Para fabricar tortillas es necesario que en una primera etapa el grano de maíz sea tratado mediante el proceso conocido como nixtamalización, el cual implica un tratamiento termo-alcalino donde los granos se cocinan en una solución de hidróxido de calcio sobresaturada (Sefa-Dedeh *et al.*, 2004; Niño-Medina *et al.*, 2009). Con esta técnica se suaviza el pericarpio y el endospermo, lo cual permite al grano (que cocido se llama nixtamal) absorber agua para facilitar su molienda y obtener la masa adecuada para la elaboración de tortillas (Sefa-Dedeh *et al.*, 2004; Gutiérrez-Cortez *et al.*, 2010).

Las tortillas son elaboradas mediante tres diferentes procesos: el tradicional, el industrial con masa fresca y el industrial con masa de harina (Gutiérrez-Urbe *et al.*, 2010). Los procesadores de grano a nivel industrial determinan la calidad del grano de maíz por sus características físicas y composición química (Salinas *et al.*, 2010). Mientras que en el procesamiento tradicional, realizado a nivel hogar en las zonas rurales, esas características no son importantes, porque el maíz es seleccionado de acuerdo a sus gustos particulares y la nixtamalización se realiza conforme a sus preferencias y costumbres (Rangel *et al.*, 2004; Salinas *et al.*, 2010). Entre las principales características que influyen en la cocción del maíz se encuentra la dureza, la densidad del grano y el color (Martínez-Herrera y Lachance, 1979;

Mauricio *et al.*, 2004; Vázquez *et al.*, 2010; Salinas *et al.*, 2010; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011). Dentro de la calidad del grano, también se consideran su composición química para evaluar su valor nutricional. Algunas de las características que se consideran son: el contenido de proteína, almidón y extracto etéreo en el grano (Díaz *et al.*, 2009; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011). Cada uno de los parámetros se define en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de calidad del grano de maíz obtenidos mediante análisis físicos y químicos.

Parámetro	Descripción	Criterio de calidad	Referencia
PMG <sup>†</sup>	Indicador del tamaño y la densidad del grano. Los valores típicos van de 240 g a 390 g. Valores altos indican granos de más tamaño.	Los granos grandes contienen mayor proporción de endospermo, por lo tanto mayor rendimiento de harina.	Martinez-Herrera y Lachance (1979); Mauricio <i>et al.</i> (2004); Jiménez-Juárez <i>et al.</i> (2012).
Dureza <sup>†</sup>	Está relacionada con el tiempo de nixtamalización que requiere el grano de maíz.	Mayor dureza significa más tiempo de cocción para conseguir nixtamal de características adecuadas.	Salinas <i>et al.</i> (2010)
Color <sup>†</sup>	La escala CIELab ha sido utilizada por varios autores en la medición del color de maíz. Generalmente se reporta la luminosidad (L), el ángulo del tono y la saturación del color (croma).	No se considera una propiedad importante para uso alimentario, pero influye en la preferencia del consumidor.	Mauricio <i>et al.</i> (2004); Salinas <i>et al.</i> (2012); Salinas <i>et al.</i> (2013)
Proteína <sup>¶</sup>	En México el maíz es la principal fuente de energía y proteínas de la población.	Normalmente la cantidad de proteína en el grano de maíz es el 10 % de su peso.	Waliszewski <i>et al.</i> (2004); Lozano-Alejo <i>et al.</i> (2007); Vivek <i>et al.</i> (2008).
EE <sup>¶</sup>	Los lípidos son algunos de los principales componentes nutricionales del maíz. Además, es una fuente importante en la producción de aceite vegetal para consumo humano y en la fabricación de biodiesel.	Normalmente la cantidad de grasa cruda en el grano de maíz es el 4 % de su peso.	Oakes <i>et al.</i> (2011); Preciado-Ortiz <i>et al.</i> (2013).

Almidón <sup>¶</sup>	Fuente importante de energía en la dieta humana. Representa el 80% del mercado de almidón para la producción de alimentos en todo el mundo.	Normalmente la cantidad de almidón en el grano de maíz es el 73 % de su peso.	Jobling (2004); He <i>et al.</i> (2014); Singh <i>et al.</i> (2014); Wang <i>et al.</i> (2014).
----------------------	---	---	---

† Análisis físico: PMG, peso de mil granos.

¶ Análisis químico: EE extracto etéreo o grasa cruda.

## 2.5. Calidad de trigo harinero

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el trigo duro (*Triticum durum*) son las especies del género *Triticum* más cultivadas en el mundo. La primera representa aproximadamente el 90 % del total (Peña *et al.*, 2002). El uso que se le da al grano de cada especie es diferente. El trigo duro se utiliza para hacer pastas, mientras que el trigo blando se utiliza en la elaboración de pan, tortillas, galletas y repostería (Peña, 2007; Devita *et al.*, 2007; Carter *et al.*, 2012).

La calidad del trigo harinero depende del uso que se le pretende dar. En el caso de harina para la industria panadera, los determinantes más importantes son, la textura del endospermo (dureza), el contenido de proteína y la fuerza del gluten (Pasha *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2012). La calidad del trigo se ve afectada por causas ambientales (Rharrabti *et al.*, 2003), factores genéticos, el manejo poscosecha y las prácticas de manejo agronómico (Rao *et al.*, 1993; Borghi *et al.*, 1997; Rharrabti *et al.*, 2003; Garrido-Lestache *et al.*, 2004). Se ha documentado que las prácticas agronómicas como la densidad de siembra (Geleta *et al.*, 2002), además la tasa y época de aplicación del fertilizante nitrogenado, pueden influir en las características de calidad del trigo (Rao *et al.*, 1993; Otteson *et al.*, 2008).

Högy y Fangmeier (2008) definen la calidad del trigo como: grano que tiene las características idóneas para los procesos y productos destinados. Los criterios de calidad industrial de trigo se establecen con base en el análisis de parámetros físicos, químicos y reológicos o de procesamiento (Peña *et al.*, 2002; Dencic *et al.*, 2007; Rasheed *et al.*, 2013). El análisis físico incluye: el peso hectolítrico, la dureza y el peso de mil granos. El análisis químico contiene pruebas como: el volumen de sedimentación, además del contenido de proteína en grano y en harina refinada. Finalmente, el análisis reológico de la masa es realizado con pruebas que incluyen: el número de caída, las propiedades visco-elásticas de masa y las propiedades de



desarrollo de la masa (Greffeuille *et al.*, 2007; Pasha *et al.*, 2010). Cada uno de los parámetros se define en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de calidad industrial de trigo obtenidos mediante análisis físicos, químicos y de procesamiento (reológicos).

Parámetro	Descripción	Criterio de calidad	Referencia
PHE <sup>†</sup>	Estimación de la densidad aparente. Indica la condición relativa de los granos. PHE bajo puede deberse a daños por insectos, defoliación, estrés por calor o cosecha tardía.	Un PHE alto se correlaciona con un mayor rendimiento de harina.	Milus (1994); Troccoli y di Fonzo (1999); Donelson <i>et al.</i> (2002).
Dureza <sup>†</sup>	Principal parámetro de clasificación de trigo (muy duro, duro, semi duro, semi suave y suave) para el comercio mundial.	En general, los trigos duros se prefieren para la producción de pan y los blandos para galletas.	Morris (2002); Pasha <i>et al.</i> (2010).
PMG <sup>†</sup>	Es una media de la masa del grano utilizada como prueba para conocer el potencial de extracción de harina.	El trigo con mayor PMG tiene un mayor potencial de extracción de harina.	Ramya <i>et al.</i> (2010); Cui <i>et al.</i> (2011).
VS <sup>¶</sup>	Se utiliza para caracterizar la harina de trigo con el fin de estimar las cualidades de procesamiento y producto final.	La harina de trigo con mayor VS tiene mayor calidad de cocción.	Morris <i>et al.</i> (2007); Zhao <i>et al.</i> (2012).
PG y PHR <sup>¶</sup>	Las proteínas del gluten de trigo (glutenina y gliadina) forman una masa cohesionada capaz de retener el CO <sub>2</sub> liberado durante la fermentación, lo cual produce un producto horneado con estructura liviana, porosa y desmenuzable.	Un alto contenido de proteína se asocia con mayor volumen y conservación de la calidad del pan.	Shewry y Halford (2002); Ortiz <i>et al.</i> (2008); Fernando <i>et al.</i> (2012); Fernando <i>et al.</i> (2014).
NC <sup>§</sup>	Mide la viscosidad. Se asocia negativamente con la actividad de la enzima $\alpha$ -amilasa. El exceso de actividad de alfa-amilasa deteriora la calidad del grano y ocurre debido a la germinación del grano antes de la cosecha.	Cuanto mayor es la actividad de la enzima $\alpha$ -amilasa, menor es el índice de caída.	Major <i>et al.</i> (2001); Neethirajan <i>et al.</i> (2007); Singh <i>et al.</i> (2010); Gooding <i>et al.</i> (2012).
PVEM <sup>§</sup>	Se determinan con un alveógrafo. Indica la calidad de gluten (proteína	En México el trigo harinero se clasifica en	Gómez <i>et al.</i> (2011); Martínez

	hidratada). La masa se somete a una extensión biaxial y se obtiene los valores de fuerza (W) y relación tenacidad/extensibilidad (P/L).	grupos: 1, gluten fuerte y extensible ( $W > 300$ y $P/L < 1$ ); 2, gluten medio fuerte y extensible ( $W \geq 200 \leq 300$ y $P/L < 1$ ); 3, gluten débil y extensible ( $W < 200$ y $P/L < 1$ ); y 4, gluten tenaz poco extensible ( $W \geq 60 \leq 140$ y $P/L > 1.2$ ).	Cruz <i>et al.</i> (2012)
PDM <sup>§</sup>	Se puede medir utilizando un mixógrafo, el cual registra la resistencia de la masa a la mezcla continua (torque) y el tiempo que está tarda en desarrollar.	Permite determinar el tiempo de mezclado y la cantidad de agua necesaria para la cocción del pan.	Dobraszczyk y Schofield (2002); Sahin y Sumnu (2006); Zheng <i>et al.</i> (2010)
AP <sup>§</sup>	Una de las formas comunes de evaluar la calidad panadera es mediante el volumen de pan.	Existe una relación lineal entre la cantidad de proteínas y el volumen del pan.	Roels <i>et al.</i> (1993)

† Análisis físico: PHE, peso hectolítrico; PMG, peso de mil granos; NC, número de caída.

¶ Análisis químico: VS, volumen de sedimentación; PG, contenido de proteína en grano; PHR, contenido de proteína en harina refinada.

§ Análisis reológico: PVEM, propiedades visco-elásticas de la masa; PDM, propiedades de desarrollo de la masa; AP, análisis de panificación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Descripción del área de estudio

La evaluación se realizó en un ensayo localizado en el Campo Experimental del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que se ubica en el Batán, Texcoco, México (19.318° N, 98.508° W, altitud 2240 m). En este sitio se tiene una temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación promedio de 584.6 mm por año (periodo de 1981 a 2010), de la cual 520 mm caen entre los meses de mayo y octubre (Verhulst *et al.*, 2008). Durante el año 2012 la precipitación fue de 500 mm y la temperatura media de 15.3 °C (Figura 2).

La duración del periodo agrícola en la estación experimental del CIMMYT, en el Batán, tiene un promedio de 152 días (Govaerts *et al.*, 2006a). La clasificación del suelo, de acuerdo

con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, es Phaeozem Háplico (Arcílico) (IUSS Working Group WRB, 2007), mientras que para el sistema taxonómico de suelos (Soil Taxonomy System) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), es un fino, mezclado, térmico Cumulic Haplustoll (Govaerts *et al.*, 2005; Soil Survey Staff, 2010).

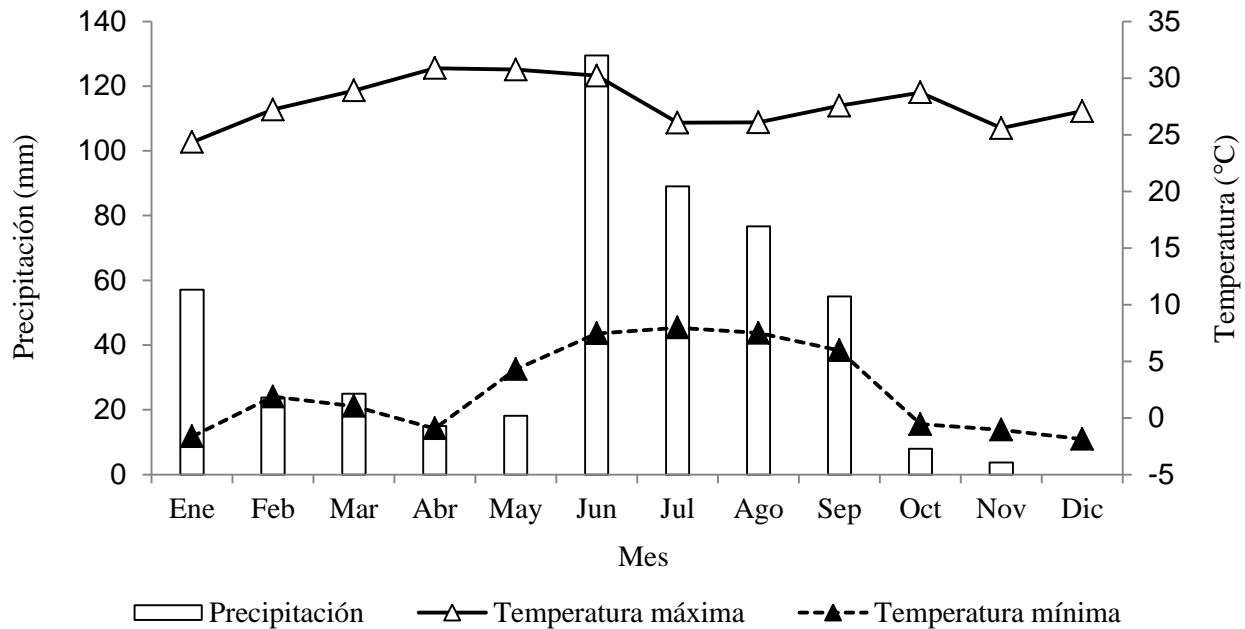


Figura 2. Precipitación, temperatura máxima y mínima mensual durante el año 2012 en el Batán, Texcoco, México.

### 3.2. Características del experimento

Se tuvieron dos cultivos, maíz y trigo harinero; sembrados en un ensayo para el desarrollo de componentes de tecnología, bajo condiciones de temporal, establecido desde el verano de 2006. El experimento consiste en un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas sub-divididas y tres repeticiones. En las parcelas principales se tuvieron dos sistemas para la preparación del suelo, uno mediante labranza mínima en camas de siembra permanentes con retención de residuos del cultivo anterior sobre la superficie (CP); el otro fue convencional en camas de siembra temporales con la incorporación de los residuos (CC). Las parcelas medianas consistieron en tres secuencias de cultivos; dos en rotación, una con maíz y la otra con trigo; la tercera fue el trigo en monocultivo; las cuales se explican en la Tabla 4. Las parcelas pequeñas fueron los tratamientos de tres diferentes etapas en la aplicación de una dosis de 80 kg de N ha<sup>-1</sup> y un testigo, en el segundo se aplicó todo el N en la siembra, en el tercero la aplicación de N se

realizó después de la siembra y en el cuarto el N se dividió en las dos etapas; la etapa de aplicación después de la siembra para cada cultivo se explica en la Tabla 5. La unidad experimental consistió en cuatro camas de 75 cm de ancho por 6 m de largo (18 m<sup>2</sup>).

Tabla 4. Secuencia de cultivos los tratamientos de la parcela mediana.

Parcela principal	Trigo		Maíz
	Rotación	Monocultivo	Rotación
CP <sup>†</sup>	Trigo-maíz	Trigo-trigo	Maíz-trigo
CC <sup>¶</sup>	Trigo-maíz	Trigo-trigo	Maíz-trigo

<sup>†</sup> Camas permanentes.

<sup>¶</sup> Camas convencionales.

Tabla 5. Dosis y etapa de aplicación del N en los tratamientos de las parcelas pequeñas.

Número de tratamiento	Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> ) en trigo		Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> ) en maíz	
	Siembra	Eta 31 <sup>†</sup>	Siembra	Eta V4 <sup>¶</sup>
1	0	0	0	0
2	80	0	80	0
3	0	80	0	80
4	40	40	40	40

<sup>†</sup> Etapa 31 (aparición del primer nudo) de la escala propuesta por Zadoks *et al.* (1974).

<sup>¶</sup> etapa V4 (aparición de la cuarta hoja) de acuerdo con Hanway *et al.* (1997).

La fuente de N fue urea [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] que en las aplicaciones realizadas durante la siembra, se colocó en banda enterrada a 5 cm de la línea de cultivo; pero en las aplicaciones que correspondieron a la etapa 31 (aparición del primer nudo) del trigo y V4 (aparición de la cuarta hoja) del maíz, el fertilizante se depositó en banda, sobre la superficie del fondo de la cama de siembra.

En todo el experimento, se retuvieron los residuos de cosecha del ciclo anterior. En la parcela con CC se incorporaron mediante las actividades de labranza, las cuales consistieron en una labor con arado de cincel a 30 cm de profundidad, dos pasos con rastra de discos a 20 cm, una nivelación y la formación de camas. Mientras que en la de CP los residuos se mantuvieron sobre la superficie del suelo. La siembra se realizó el 25 de mayo del 2012; el maíz con una

densidad de 60 000 plantas ha<sup>-1</sup> en una hilera por cama, para lo cual se utilizó un híbrido experimental no liberado del CIMMYT, identificado con el código (CML457/CML459)//IML6; mientras que la densidad de siembra del trigo fue de 110 kg ha<sup>-1</sup> en dos hileras por cama, la semilla utilizada fue una línea experimental no liberada de CIMMYT, cuyo identificador es: WBLL1\*TUKURU\*2/4/CROC\_1/AESQUARROSA(205)//BORL95/3/2\*MILANCMSS06Y00627T-099TOPM-099Y-099ZTM-099Y-099M-15WGY-OB. Un día después de la siembra se aplicó un riego, mediante aspersión por 3 h, para favorecer la emergencia, ya que debido al retraso de las lluvias no había humedad en el suelo.

### **3.3. Variables evaluadas**

#### **3.3.1. Crecimiento y desarrollo de los cultivos**

##### **Índice diferencial de vegetación normalizado**

El crecimiento y desarrollo de los cultivos se evaluó tomando lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), para lo cual se utilizó un sensor óptico de mano GreenSeeker™ (NTech Industries, Inc., EUA). El sensor tiene iluminación autónoma tanto en el rojo (RED; 650 ± 10 nm), que es la radiación absorbida por la planta, como en el infrarrojo (NIR; 770 ± 15 nm), radiación infrarroja reflejada por la superficie vegetal. Mide la reflectancia del dosel en la región de rojo y del infrarrojo cercano, estas fracciones se utilizan dentro del sensor para calcular el NDVI mediante la siguiente ecuación (Govaerts *et al.*, 2006b; Govaerts *et al.*, 2007b; Verhulst *et al.*, 2008; Mkhabela *et al.*, 2011; Verhulst *et al.*, 2011):  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ .

El NDVI no tiene unidades, sus valores van de -1 a 1. Mkhabela *et al.* (2005) mencionan que la vegetación verde y sana, generalmente tiene los valores positivos más altos, mientras que las superficies sin vegetación por lo general tienen valores bajos, cercanos a cero o incluso negativos. Por lo tanto, el NDVI mide el verdor y el vigor de la vegetación.

Las lecturas se tomaron dos veces cada semana, aunque en algunos casos, debido a la lluvia, solo se realizó una vez. La primera lectura se realizó a los 34 días después de la siembra (DDS) en ambos cultivos. En el maíz la última lectura se tomó a los 146 DDS y en el trigo a los 122 DDS. Para obtener la lectura de NDVI se recorrió una de las dos camas centrales de cada

unidad experimental manteniendo la velocidad del desplazamiento constante y con el dispositivo colocado de manera perpendicular a 0.8 m por encima del follaje, esto con la finalidad de que la luz infrarroja cubriera 0.6 m a lo de ancho de la cama de siembra. Con el avance del crecimiento del cultivo, la altura para la colocación del dispositivo respecto al suelo aumentó pero se mantuvo la misma distancia de 0.8 m respecto al dosel.

### **3.3.2. Uso eficiente de nitrógeno por los cultivos**

El UEN se calculó usando las diferencias de rendimiento entre el tratamiento fertilizado con N y la parcela sin fertilizar. La eficiencia agronómica (EA) se usó como uno de los parámetros para medir el UEN. Este valor se entiende como los kg de aumento en el rendimiento de grano por cada kg de N aplicado (He *et al.*, 2009). La EA se obtuvo con los datos de rendimiento del grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en el tratamiento con aplicación de N (Y) y del que no tuvo fertilización ( $Y_0$ ), además de la dosis de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (N). Para lo cual se utilizó la siguiente ecuación (Bandyopadhyay y Sarkar, 2005; Liu *et al.*, 2010; He *et al.*, 2009; Duan *et al.*, 2014):  
$$EA = (Y - Y_0) N^{-1}.$$

### **3.3.3. Rendimiento del grano de maíz**

Para obtener el rendimiento de maíz se cosecharon a mano las mazorcas en las dos camas centrales de la unidad experimental ( $1.5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ ). Posteriormente, fueron desgranadas, se obtuvo el peso fresco del grano y se determinó su contenido de humedad. El valor del rendimiento se expresó con 12 % de  $\text{H}_2\text{O}$ .

### **3.3.4. Propiedades físicas del grano de maíz**

#### **Color**

El color del grano se determinó con el espectrofotómetro HunterLab MiniScan® XE Plus (Hunter Associates Laboratory, Inc.), este aparato reportó las mediciones en la escala CIELab. El espacio tridimensional CIELab está definido por las coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , donde:  $L^*$  es una medida de luminosidad desde opaca (0) a transparente (100),  $a^*$  denota el valor entre el rojo (+) o el verde (-) y  $b^*$  el valor entre amarillo (+) o azul (-; Gil-Muñoz *et al.*, 1997; Gonnet, 2001; Pérez-Magariño y González-Sanjosé, 2003). Con los dos últimos parámetros, de

acuerdo a las fórmulas propuestas por Wrolstad y Smith (2010), se calcularon el ángulo del tono [ $\tan^{-1}(b^* a^{*-1})$ ] y el croma o saturación del color [ $((a^*)^2 + (b^*)^2)^{0.5}$ ].

### **Peso de 1000 granos**

De cada muestra se tomaron 100 granos enteros seleccionados al azar, a los cuales se les midió el peso (g) con una balanza Sartorius BL 610 (Data Weighing Systems, Inc., EUA). Las mediciones fueron triplicadas para obtener el promedio, después el resultado se multiplica por 10 para obtener el valor final.

### **Índice de flotación**

Para obtener esta medida se tomaron de manera aleatoria 100 granos enteros los cuales se sumergieron en una solución de nitrato de sodio (41 g en 100 ml de agua) con densidad de 1.25 g ml<sup>-1</sup> a 23 °C, se agitaron y después de 1 minuto se contó el número de granos que ascendieron a la superficie. La clasificación de la dureza se basó en una escala propuesta por Salinas *et al.* (1992) que con cinco rangos, de acuerdo a valor del índice de flotación, menciona que el grano puede ser: muy duro (entre 0 y 12%), duro (del 13 al 37%), dureza intermedia (del 38 al 62%), suave (del 63 al 87%) y muy suave (más de 87%).

### **3.3.5. Propiedades químicas del grano de maíz**

#### **Extracto etéreo**

La extracción de lípidos se realizó de acuerdo al método 30-25 de la AACC (2000), para lo cual se utilizó la harina obtenida de la molienda de 25 semillas de cada muestra.

#### **Almidón total**

Para calcular el porcentaje de almidón total se utilizó el ensayo modificado del kit almidón total Megazyme Internacional Ireland Ltd. (Bray, Irlanda), el cual se basa en los métodos 76-13 de la AACC (2000) y 996.11 de la AOAC (2005).

En la Figura 3 se muestran las etapas y los reactivos utilizados en la hidrólisis del almidón. En la primera etapa se realizó el desengrasado de la harina, que se obtuvo de la molienda de 25 semillas, durante seis horas en un extractor tipo Soxhlet con 300 ml de hexano.

Se tomaron 20 mg de la muestra obtenida y se humedeció con 40  $\mu$ l de etanol acuoso al 80 % y después de cinco minutos se mezcló en el vortex; enseguida se agregaron 600  $\mu$ l de  $\alpha$ -amilasa en solución tampón MOPS (50  $\mu$ M, pH 7.0) a cada tubo. En la segunda etapa, las muestras se incubaron en baño de agua hirviendo durante seis minutos y se agitaron dos veces en este lapso de tiempo, para evitar la formación de grumos y obtener una solución uniforme; después de la hidrólisis las muestras se incubaron con una solución amortiguadora de acetato de sodio (800  $\mu$ l, 200 mM, pH 4.5) y 20  $\mu$ l de amiloglucosidasa a 50 °C durante 30 minutos; finalmente, las muestras fueron centrifugadas para sedimentar las partículas no disueltas. Las moléculas libres de D-glucosa se cuantificaron colorimétricamente.

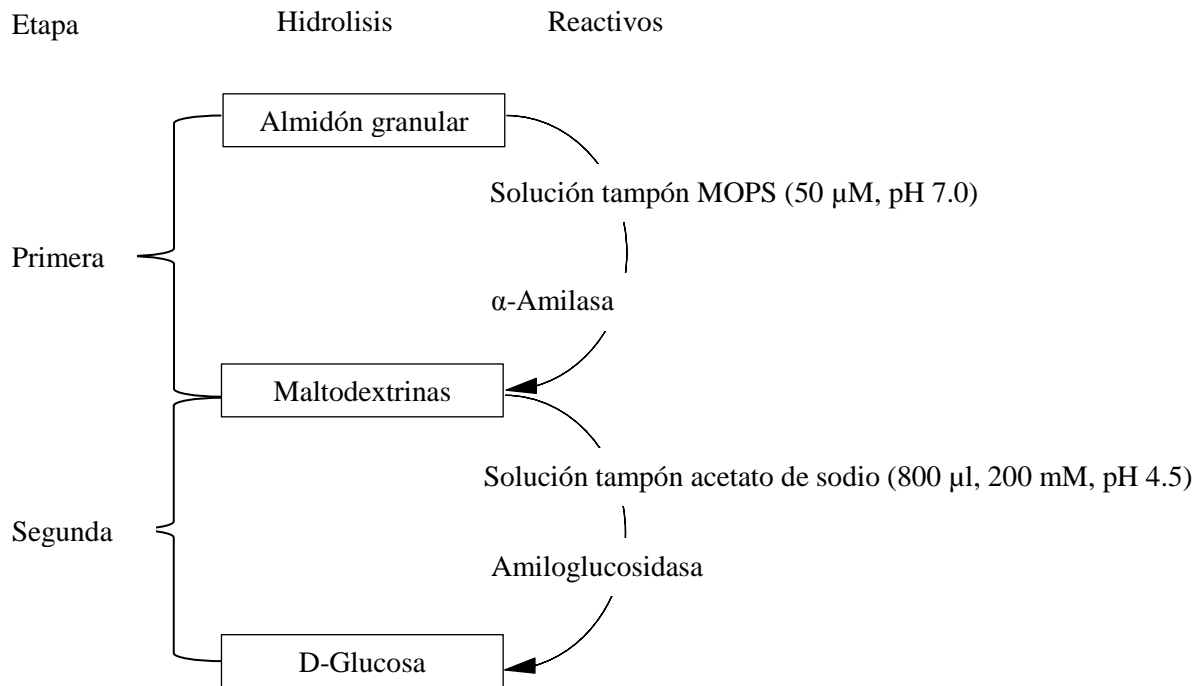


Figura 3. Etapas y reactivos empleados en la hidrólisis del almidón.

### Proteína

El contenido de proteína en el grano se determinó con un Auto Analizador Technicon II usando el método industrial 334-74 W/B (Technicon Industrial Systems, 1977), el cual está basado en un método colorimétrico que permite determinar el porcentaje de N molecular (N<sub>2</sub>). La cantidad de proteína se estimó multiplicando el porcentaje de N obtenido por 6.25, factor de conversión para maíz (Merrill y Watt, 1973).



### **3.3.6. Rendimiento del grano de trigo**

El rendimiento del grano de trigo se obtuvo de acuerdo a la metodología propuesta por Hobbs y Sayre (2001). Con una cosechadora combinada se recogió el grano en las dos camas centrales de la unidad experimental (1.5 m × 6 m), se midió el peso fresco del grano y se determinó su contenido de humedad. El valor del rendimiento se expresó con 12 % de H<sub>2</sub>O.

### **3.3.7. Propiedades físicas del grano de trigo**

#### **Peso hectolítrico**

El peso hectolítrico se determinó usando un dispositivo con embudo (Donelson *et al.*, 2002) mediante el método 55-10 de la AACC (2000), con el equipo Seedburo Filling Hopper (Seedburo Equipment Co. EUA). En el embudo se colocó una muestra de granos suficiente que permitía, una vez liberada, desbordarse del vaso de 500 ml, el exceso de grano se niveló pasando una tabla de madera con movimientos en forma de zigzag.

#### **Peso de 1000 granos**

El peso de 1000 granos se determinó utilizando el equipo SeedCount Image Analyzer (CE Elantech, Inc. EUA).

#### **Dureza**

Para obtener la dureza del grano se utilizó el método del índice de tamaño de partícula (PSI, Particle Size Index Test) siguiendo el método 55-30 de la AACC (2000), el cual consiste en cernir una muestra de harina integral que se obtiene al moler grano de trigo en un molino de impacto con una malla de 1.0 mm de apertura. El valor del PSI se calcula al medir el peso de la harina que pasa por la malla No. 75 entre el peso total de la muestra de harina y el resultado se expresa en porcentaje.

#### **Molienda**

Para la molienda el grano, las muestras se acondicionaron al 16 % de humedad con agua destilada y se mantuvieron a 22 °C durante 24 horas siguiendo el método 26-95 de la AACC (2000); después se molieron en el equipo Quadrumat® Senior (CW Brabender Instruments

Company, Duisburg, Alemania), de acuerdo con el método 26-21A de la AACC (2000) y utilizando una muestra de 800 g del grano previamente acondicionado.

### **3.3.8. Propiedades químicas del grano de trigo**

#### **Proteína en grano y harina refinada**

El contenido de proteína en grano entero se estimó por espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés) de acuerdo con el método 39-10 de la AACC (2000). Para lo cual se utilizó el equipo NIRSystems 6500<sup>TM</sup> (FOSS, Dinamarca) que mide la intensidad de la absorción de luz en el infrarrojo cercano de una muestra para longitudes de onda entre 780 y 2500 nm (Jouquet *et al.*, 2014).

La proteína en harina refinada se obtuvo haciendo uso del equipo Perten DA NIR Analyzer 7200 (Perten Instruments, Suecia).

#### **Volumen de sedimentación**

El volumen de sedimentación se calculó siguiendo metodología descrita por Peña *et al.* (1990).

### **3.3.9. Propiedades reológicas del grano de trigo**

#### **Número de caída**

El número de caída (falling number) se obtuvo utilizando el viscosímetro Falling Number 1500 (Perten Instruments, Suecia), el cual evalúa indirectamente los niveles de actividad de la enzima  $\alpha$ -amilasa (Singh *et al.*, 2010; Gooding *et al.*, 2012). Se utilizó el método 56-81B de la AACC (2000), que consiste en determinar el tiempo (s) necesario para que un embolo caiga a la a través de un tubo que contiene una suspensión caliente (7 g de harina refinada y 25 ml de agua destilada) en la que se encuentra el almidón gelatinizado.

#### **Propiedades visco-elásticas de masa**

Las características de fuerza de la harina (W), tenacidad de la masa (P) y extensibilidad (L; Poblaciones *et al.*, 2009; de la Horra *et al.*, 2012), se determinaron en el alveógrafo Chopin

(Tripette & Renaud, Francia) con una muestra de 60 g de harina refinada, siguiendo el método 54-30A de la AACC (2000), Con los datos obtenidos se calculó la relación tenacidad de la masa/extensibilidad (P/L).

### **Propiedades de desarrollo de la masa**

El tiempo de desarrollo de la masa y el torque (la resistencia de la masa a la mezcla continua) se determinaron en una muestra de 35 g de harina refinada, de acuerdo con el método 54-40A de la AACC (2000) usando el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EUA).

### **Calidad panadera**

El análisis de calidad panadera se realizó mediante el procedimiento de masa directa en 100 g de harina refinada siguiendo el método 10-09 de la AACC (2000). El volumen de pan se determinó (VP, mL) por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica* sp.).

### **3.4. Análisis de datos**

El análisis de datos se realizó por separado para los cultivos de maíz y trigo. El maíz fue tratado como un diseño en parcelas divididas, en donde los factores fueron los sistemas de labranza para la parcela grande y los tratamientos de etapa de aplicación de N dentro de los bloques. El trigo se analizó como un diseño en parcelas sub-divididas, en donde la parcela principal fue el sistema de labranza, la sub-parcelas fueron las secuencias de cultivos y los tratamientos de etapa de aplicación de N dentro de los bloques.

Para todas las medidas se utilizó el procedimiento MIXED del software SAS (SAS Institute Inc, 2008). Se usó la opción DDFM=SATTERTH dentro de la instrucción MODEL para forzar el procedimiento Satterthwaite, con el fin de obtener los grados de libertad correctos (Keselman *et al.*, 1999; Gil, 2001). La comparación de medias se realizó mediante la orden LSMEANS con ajuste a Tukey ( $p < 0.05$ ).

En el análisis de lecturas del NDVI, la variación temporal dentro de una misma unidad experimental se definió con la instrucción REPEATED (Correa, 2004). Con el fin de evitar que la interacción entre tratamientos y tiempo fuera significativa, lo cual es indicio de que las

diferencias entre los tratamientos no se mantienen a lo largo del tiempo (Correa, 2004), estos se compararon en periodos específicos. Así, la curva de crecimiento y desarrollo de los dos cultivos, con base en los valores de las lecturas NDVI tomadas en diferentes días después de la siembra (DDS), se dividió en tres periodos (Verhulst *et al.*, 2011): I, aumento creciente (34-66 DDS en maíz y 34-62 DDS en trigo) ; II, valor relativamente constante (69-94 DDS en maíz y 66-90 DDS en trigo) ; III, valores decrecientes (97-146 DDS en maíz y 97-122 DDS en trigo). Para modelar la estructura de covarianzas en cada periodo se compararon, usando las pruebas de bondad de ajuste, las opciones: UN, no estructurada; AR(1), autoregresiva de primer orden; ANTE(1), ante-dependencia; ARMA(1,1), autoregresiva de promedios móviles de orden 1,1; CS, simetría compuesta; TOEP, toeplitz; y VC, componentes de varianza. Se utilizó la opción con menor valor en los criterios de log verisimilitud restringida, de información de Akaike y de información bayesiano de Schwarz (SAS Institute Inc, 2008). En el cultivo de maíz para el periodo I se utilizó la estructura ARMA(1,1) y la ANTE(1) para los periodos II y III. En trigo se usó la TOEP, ANTE(1) y ARMA(1,1) para los periodos I, II y III, respectivamente.

El análisis de componentes principales se realizó para los parámetros de calidad con FactoMineR (Husson *et al.*, 2014), un paquete del software R (R Core Team, 2014) dedicado a el análisis de datos multivariados. Los métodos implementados en el paquete tienen como objetivo principal resumir y simplificar los datos, mediante la reducción de las dimensiones del conjunto de variables (Le *et al.*, 2008; Husson *et al.*, 2011). Para la interpretación del análisis se construyó una gráfica bidimensional. En cada grupo de tratamientos de labranza y secuencia de cultivos se dibujaron elipses que indican los intervalos del 95% de confianza (Beh, 2012).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Crecimiento y desarrollo del maíz**

#### **4.1.1. Índice diferencial de vegetación normalizado**

En todos los tratamientos el crecimiento durante el periodo I es progresivo (Figura 4). En el periodo II se puede observar la transición entre aumento y disminución de los valores, aunque no se distingue claramente un periodo de estabilidad. En el periodo III los valores continúan disminuyendo, pero se observan valores más altos para los tratamientos en camas permanentes

comparados con los de camas convencionales. Se ha demostrado que el NDVI está altamente relacionado con el contenido de N en la hoja de maíz y tiene una alta relación con la dosis de N aplicada (Lewis *et al.*, 1998; Alchanatis *et al.*, 2005; Shaver *et al.*, 2011). Verhulst *et al.* (2011) y Gitelson *et al.* (2014), tomando lecturas de NDVI en el cultivo de maíz, han dibujado la curva con características similares a las de la Figura 4, en donde se presenta el crecimiento inicial de forma gradual hasta alcanzar los valores máximos de NDVI, posteriormente una disminución ligera seguida de una disminución paulatina.

Durante el periodo I, los valores del NDVI más altos correspondieron a los tratamientos de camas convencionales y a los de camas permanentes que recibieron aplicación de N durante la etapa V4 (aparición de la cuarta hoja), todos ellos no presentaron diferencias significativas entre sí (Tabla 6); esto coincide con los resultados de Liu y Wiatrak (2012), que midieron el NDVI en maíz de temporal durante la etapa R1 (estigmas visibles; 60 DDS) y no encontraron diferencias significativas entre los sistemas de labranza convencional y el de siembra directa que recibieron N en la etapa V6 (aparición de la sexta hoja). El tratamiento de camas permanentes sin fertilizante tuvo valores de NDVI significativamente más bajos que los otros tratamientos, con excepción del tratamiento en camas permanentes que recibió aplicación de N en la siembra (Tabla 6). El tratamiento de camas permanentes con aplicación de N en la siembra obtuvo valores menores que el de camas convencionales con aplicación de N en la etapa V4 (Tabla 6).

En el periodo II, todos los valores del NDVI más altos correspondieron a los tratamientos en camas permanentes con aplicación de N y estos tuvieron diferencias significativas con los cuatro tratamientos de camas convencionales (Tabla 6). El valor de NDVI del testigo en camas permanentes no difiere significativamente de los tratamientos en camas convencionales (Tabla 6). Los resultados pueden ser un indicador de que el N inicialmente inmovilizado en los tratamientos con camas permanentes, puede estar disponible para los cultivos durante las etapas posteriores del cultivo sin haberse perdido del sistema (Spargo *et al.*, 2008). Franzluebbers *et al.* (1994) encontraron que existía 31 % más de N mineralizable en suelos con labranza mínima en comparación con los de convencional. Además, en un experimento en suelos negros de China, Liu *et al.* (2005) reportaron que el uso de fertilizantes químicos junto con la retención de residuos sobre la superficie dio como resultado un aumento sustancial de N en las capas superiores del suelo.

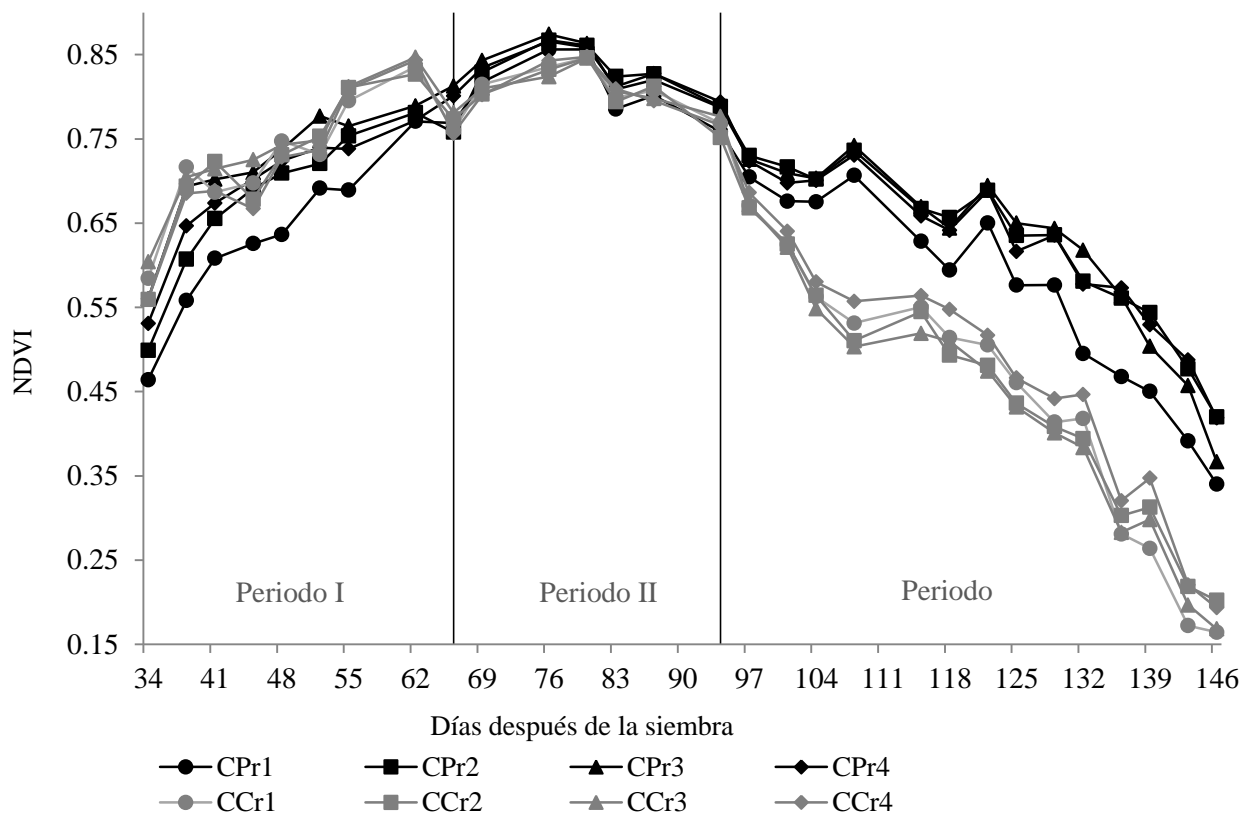


Figura 4. Curva de crecimiento y desarrollo del maíz con base en los valores de las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes. Sistema de labranza con secuencia de cultivos en rotación: CPr, camas permanentes; CCr, camas convencionales. Los tratamientos son los kg de N ha<sup>-1</sup> y la etapa de aplicación: 1, control 0; 2, 80 durante la siembra; 3, 80 en la etapa V4; 4, 40 durante la siembra y 40 en la etapa V4.

En el periodo III, los tratamientos en camas permanentes con aplicación de N continuaron con valores de NDVI más altos y diferencias significativas con el resto de los tratamientos (Tabla 6). En este periodo, el NDVI del tratamiento en camas permanentes sin fertilizar obtuvo un valor mayor y diferencias significativas con los de labranza en camas convencionales (Tabla 6). La disminución de los valores de NDVI en ambos tratamientos coincide con la disminución de lluvia ocurrida en los últimos días de agosto, en ese mes la precipitación acumulada fue de 76.7 mm para reducirse a 55 mm en septiembre y 8 mm en octubre. En agosto la última lluvia de consideración (13.7 mm) ocurrió a los 88 DDS cuando el cultivo se encontraba en etapa R3 (grano lechoso). Se ha comprobado en suelos con prácticas de agricultura de conservación la humedad del suelo se conserva y existe más agua disponible para los cultivos; ya que pueden aumentar la infiltración, reducir la escorrentía y la evaporación de agua en comparación con las

prácticas de labranza convencional (Fabrizzi *et al.*, 2005; Govaerts *et al.*, 2009b; Verhulst *et al.*, 2010a). En zonas de producción de temporal, se ha observado que bajo las prácticas de labranza reducida se almacenan entre 20-30 mm de agua adicional (Dalal *et al.*, 2013). Además la absorción del N por la planta también se ve afectada por la cantidad de agua en el suelo y la distribución de la precipitación (Asseng *et al.*, 2001).

Tabla 6. Efecto del sistema de labranza y las etapas de aplicación del N en la curva de crecimiento y desarrollo del maíz basado en las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes.

Tratamientos <sup>†</sup>	Periodo I	Periodo II	Periodo III
Labranza (Lab) × N			
CPr1	0.646 c <sup>¶</sup>	0.813 b	0.567 b
CPr2	0.686 bc	0.833 a	0.625 a
CPr3	0.728 ab	0.833 a	0.621 a
CPr4	0.703 ab	0.832 a	0.620 ab
CCr1	0.728 ab	0.812 b	0.438 c
CCr2	0.728 ab	0.807 b	0.440 c
CCr3	0.742 a	0.810 b	0.429 c
CCr4	0.719 ab	0.811 b	0.466 c
Análisis de varianza			
Lab	***	***	***
N	**	*	*
Lab × N	*	**	*

<sup>†</sup> CPr: camas permanentes con secuencia de cultivos en rotación; CCr: camas convencionales con secuencia de cultivos en rotación; los números representan la cantidad de N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3 = 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

<sup>¶</sup> Para cada periodo se muestra el promedio del NDVI y los tratamientos con las letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

\* Significativo a p≤0.05.

\*\* Significativo a p≤0.01.

\*\*\* Significativo a p≤0.001.

## 4.2. Rendimiento de grano y eficiencia agronómica en maíz

El sistema de labranza, la etapa de aplicación del N y la interacción entre estos dos factores (Tabla 7) tuvieron efecto en el rendimiento. Los valores más altos correspondieron a los tratamientos en camas permanentes con rotación que tuvieron aplicación de N en una sola etapa; el que recibió el fertilizante en la etapa V4 obtuvo un rendimiento de 5.74 Mg ha<sup>-1</sup> y 5.44 Mg ha<sup>-1</sup> el que fue fertilizado en la siembra; las diferencias entre ellos no fueron significativas, pero si con el resto de los tratamientos (Figura 5a). Menelik *et al.* (1994), en sistemas de labranza reducida, han observado diferencias en el rendimiento por aplicaciones de N en presiembra y fraccionadas. Algunos autores han mencionado que en sistemas de labranza mínima, las aplicaciones de N en maíz varias semanas después de la siembra resultan en el uso más eficiente del fertilizante (Fox *et al.*, 1986; Al-Kaisi y Licht, 2004), debido a que hay menos probabilidad de pérdidas por lixiviación o desnitrificación porque la planta absorbe un mayor porcentaje de este (Vetsch y Randall, 2004). Sin embargo, Reeves *et al.* (1993) mencionan que las aplicaciones fraccionadas de N no mejoran el rendimiento del grano, debido a necesidades de N en las últimas etapas se cubren con el que se libera mediante la mineralización de los residuos.

En las camas permanentes, el rendimiento de los tratamientos con aplicación de N fraccionada (4.73 Mg ha<sup>-1</sup>) y el control con 0 N (4.12 Mg ha<sup>-1</sup>) no tuvieron diferencias significativas, pero ambos fueron superiores a los tratamientos con labranza en camas convencionales (Figura 5a). Si bien algunas investigaciones han obtenido resultados de rendimiento menores con labranza mínima comparados con los de labranza convencional (Kells *et al.*, 1980; Videnović *et al.*, 1986), otros estudios reportan un aumento en el rendimiento de maíz en sistemas de labranza mínima comparados con labranza convencional (Menelik *et al.*, 1994). Viswakumar *et al.* (2008) encontraron respuestas diferentes durante tres años. Por su parte, Al-Kaisi y Kwaw-Mensah (2007) indican que la dosis de N y la variabilidad estacional tienen más influencia en el N absorbido por la planta que el sistema de labranza. Pero en el caso de este experimento es más probable que las diferencias sean debido a la sequía presentada a partir de la etapa R3 del cultivo, ya que en estas fechas los valores de NDVI comienzan a disminuir de manera considerable (Figura 4). Se ha documentado que en suelos con prácticas de agricultura de conservación la humedad del suelo se mantiene y existe más agua disponible para los cultivos, ya que pueden aumentar la infiltración, reducir la escorrentía y la evaporación de



agua, en comparación con las prácticas de labranza convencional (Fabrizzi *et al.*, 2005; Govaerts *et al.*, 2009b; Verhulst *et al.*, 2010a). Khaledian *et al.* (2011) reportaron un aumento en el uso eficiente del agua y menor pérdida de N con labranza mínima y retención de residuos en zonas de temporal durante años con escasas de lluvia. El valor más alto de rendimiento en camas convencionales fue de 2.46 Mg ha<sup>-1</sup> y correspondió al tratamiento testigo con 0 N, el más bajo (1.69 Mg ha<sup>-1</sup>) perteneció al tratamiento con aplicación de N fraccionada (Figura 5a).

La EA fue afectada por el sistema de labranza, la etapa de aplicación del N y la interacción entre estos dos factores (Tabla 7). Las camas permanentes tuvieron mayor EA que las camas convencionales. Los tratamientos de camas convencionales no mostraron diferencias significativas entre ellos (Figura 5b), además se observan valores negativos debido a que los tratamientos que recibieron N tuvieron menor rendimiento que el tratamiento sin fertilizar (Figura 5b); como se ha mencionado antes, es muy probable que estos resultados tengan que ver con la sequía, que pudo haber limitado el suministro de asimilados durante el llenado del grano (Prasad *et al.*, 2008).

Tabla 7. Análisis de varianza para rendimiento y eficiencia agronómica (EA) en el cultivo de maíz, con dos sistemas de labranza y tres etapas de aplicación de N.

Fuente de variación	Rendimiento de grano (Mg ha <sup>-1</sup> )	EA <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> )
Labranza (Lab)	***	***
N	***	**
Lab × N	***	*

<sup>†</sup> EA: eficiencia agronómica.

\* Significativo a p≤0.05.

\*\* Significativo a p≤0.01.

\*\*\* Significativo a p≤0.001.

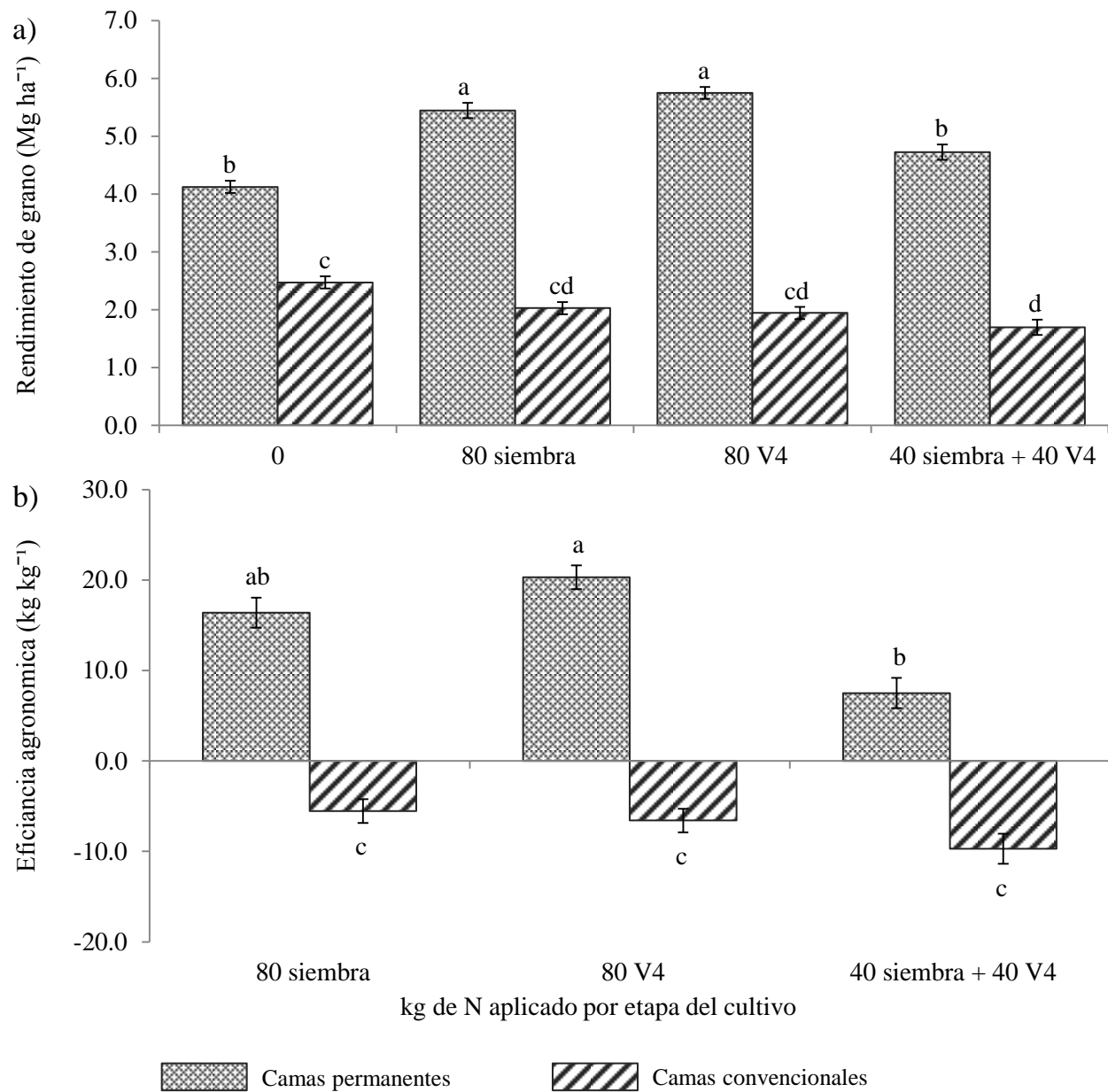


Figura 5. Efecto de las prácticas de labranza con secuencia de cultivos en rotación y la etapa de aplicación del N en el rendimiento de grano (a) y la eficiencia agronómica de maíz (b). Las barras de error indican el error estándar.

En los tratamientos de camas permanentes, los valores mayores de EA correspondieron a los que recibieron aplicación de N en una sola etapa, etapa V4 (20.3 kg kg<sup>-1</sup>) y siembra (16.4 kg kg<sup>-1</sup>). Ambos resultados no son significativamente diferentes entre ellos; en este mismo grupo, el tratamiento con aplicación de N fraccionada tuvo una EA de 7.5 kg kg<sup>-1</sup>, valor que no fue significativamente diferente del tratamiento que tuvo todo el N en la siembra, pero si del que

recibió la aplicación en la etapa V4 (Figura 5b). De acuerdo a lo reportado por algunos autores (Bock y Kissel, 1988; Sainz Rozas *et al.*, 1997a, 1997b; Rochette *et al.*, 2009), los tratamientos con mayor EA deberían ser los que recibieron el N en la siembra, ya que en este experimento la aplicación de N en la etapa V4 fue superficial. Se menciona que con prácticas de labranza mínima y retención de residuos existe mayor inmovilización con aplicaciones superficiales de N sobre todo cuando la fuente es urea (Sainz Rozas *et al.*, 1997b) y aumentan las pérdidas por volatilización (Bock y Kissel, 1988; Rochette *et al.*, 2009). Sainz Rozas *et al.* (1997b) usando urea con dosis de 70 kg N ha<sup>-1</sup>, encontraron que un porcentaje menor de N se pierde cuando se aplica durante la siembra a diferencia del aplicado en la etapa V8 (aparición de la octava hoja). Así mismo, otros investigadores (Fox *et al.*, 1986; Fox y Piekielek, 1993) encontraron que en cero labranza la inyección de urea en el suelo produce significativamente mayor eficiencia en el uso de N que la obtenida con aplicaciones superficiales de urea.

### **4.3. Parámetros de calidad en el grano de maíz**

#### **4.3.1. Parámetros físicos**

En la variable peso de mil granos (PMG), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en camas permanentes y los de camas convencionales, el primer grupo tuvo los valores más altos (Tabla 8). Salinas *et al.* (2013) mencionan que para el proceso de nixtamalización son más favorables las variedades de mayor peso.

Respecto a la dureza, no existieron diferencias significativas entre camas permanentes y convencionales (Tabla 8). Pero tomando como base la clasificación propuesta por Salinas *et al.* (1992), el grano obtenido de los tratamientos en camas permanentes con aplicación de N se clasifica como duro. Además, de acuerdo con Salinas *et al.* (2013), son granos aptos para la industria (dureza máxima de 40 %), el resto son de dureza intermedia (Tabla 8).

En las variables de color, el análisis muestra que en luminosidad (L\*) existieron diferencias significativas por N, pero la prueba de medias indica que todos los tratamientos fueron iguales (Tabla 8). En cuanto al tono de color se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento de camas permanentes sin fertilizar y los de camas convencionales que recibieron N en la etapa V4 (Tabla 8). En la saturación de color (croma) las diferencias entre los

tratamientos no fueron significativas (Tabla 8). Las variaciones de color se presentan principalmente entre diferentes poblaciones de maíz (Lozano-Alejo *et al.* 2007; Salinas *et al.* 2012; Salinas *et al.*, 2013).

#### **4.3.2. Parámetros químicos**

Los tratamientos en camas convencionales obtuvieron los valores más altos de proteína. Dentro de este grupo, los que recibieron N son significativamente diferentes que los tratamientos en camas permanentes (Tabla 8). Entre el testigo de camas convencionales y el tratamiento en camas permanentes con una sola aplicación de N en la etapa V4 no existieron diferencias significativas (Tabla 8). En los tratamientos de camas permanentes la diferencia entre los tratamientos que recibieron aplicación de N en la etapa V4 no es significativa, el mismo resultado se observó entre los tratamientos que recibieron N en la siembra (Tabla 8). El tratamiento sin N en camas permanentes tuvo diferencias significativas con todos (Tabla 8).

La cantidad de extracto etéreo (EE) obtenida en el grano no tuvo diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 8). Mientras que los valores más altos en almidón fueron obtenidos por los tratamientos en camas permanentes que recibieron N en la siembra, su testigo y el de camas convencionales que recibió todo el N en la siembra. Las diferencias entre ellos no resultaron significativas (Tabla 8). Con excepción del tratamiento el de camas permanentes que recibió en N en dos etapas, estos tratamientos con los valores de almidón más altos fueron diferentes significativamente del resto (Tabla 8).

Los estudios de la respuesta del sistema de labranza en maíz se han centrado principalmente en la producción y el UEN, pero no se encontraron reportes que muestren el efecto en la calidad del grano. Existen algunas investigaciones que reportan el resultado de la gestión de N en los parámetros químicos de calidad, siendo el contenido de proteína el más estudiado (Miao *et al.*, 2006), en ellos se indica que se incrementa con el aumento de la dosis de N (Zhang *et al.*, 1993; Oikeh *et al.*, 1998; Miao *et al.*, 2006) . Miao *et al.* (2006) mencionan que esta respuesta puede variar dependiendo del genotipo, el ambiente, el tipo de fertilizante, además de la época y método de aplicación. Akhtar *et al.* (2011) midieron la proteína, el EE y el almidón en maíz sembrado con tres disposiciones geométricas distintas y diferentes niveles de NPK, concluyeron que el método de siembra no tuvo efecto en los parámetros de calidad, pero a

medida que la dosis del fertilizante se incrementaba, el EE fue menor y el almidón y proteína aumentaron.

Tabla 8. Efecto del sistema de labranza y las etapas de aplicación del N, en los parámetros de calidad del grano de maíz.

Trt <sup>†</sup>	Parámetros físicos						Parámetros químicos		
	PMG <sup>¶</sup> (kg)	Dureza		Color			Proteína		Almidón
		(%)	CD <sup>§</sup>	L <sup>p</sup> (%)	Tono (h°)	Croma	(%)	EE <sup>×</sup> (%)	(%)
Labranza (Lab) × N									
CPr1	290.2 a <sup>††</sup>	50.0 a	I	72.8 a	83.8 b	23.2 a	8.0 f	4.5 a	70.9 a
CPr2	290.1 a	36.3 a	D	71.2 a	83.1 ab	23.1 a	9.9 e	4.3 a	70.8 a
CPr3	290.1 a	31.7 a	D	71.1 a	82.9 ab	22.0 a	10.9 cd	4.0 a	67.1 b
CPr4	310.4 a	31.0 a	D	71.1 a	83.0 ab	22.8 a	10.3 de	4.4 a	68.7 ab
CCr1	200.1 b	53.3 a	I	71.7 a	82.7 ab	22.0 a	11.7 bc	4.1 a	67.1 b
CCr2	200.6 b	47.3 a	I	70.8 a	82.7 ab	22.6 a	12.3 ab	4.2 a	70.5 a
CCr3	190.8 b	52.0 a	I	71.0 a	82.4 a	24.1 a	12.4 ab	3.8 a	66.6 b
CCr4	200.1 b	47.0 a	I	70.3 a	82.2 a	22.5 a	12.6 a	4.1 a	66.1 b
Análisis de varianza									
Lab	*	ns		ns	**	ns	**	ns	**
N	ns <sup>¶¶</sup>	ns		*	ns	ns	***	ns	**
Lab × N	ns	ns		ns	ns	*	***	ns	ns

<sup>†</sup> Trt, tratamientos: CPr, camas permanentes con secuencia de cultivos en rotación; CCr, camas convencionales secuencia de cultivos en rotación; los números representan la cantidad de N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3 = 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

<sup>¶</sup> PCG: peso de 1000 granos.

<sup>§</sup> CD, Clasificación de dureza: I, dureza intermedia; D, grano duro.

<sup>p</sup> L: Luminosidad.

<sup>×</sup> EE: extracto etéreo.

<sup>††</sup> Para cada parámetro, los tratamientos con las letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

<sup>¶¶</sup> ns: no significativo.

\* Significativo a p ≤ 0.05.

\*\* Significativo a p ≤ 0.01.

\*\*\* Significativo a p ≤ 0.001.

### 4.3.3. Análisis de componentes principales para los parámetros de calidad

El porcentaje de variabilidad explicada por los dos primeros componentes principales fue del 78.97 %. Los parámetros con menor varianza fueron croma, L, almidón y EE (Figura 6). Se observa que la proteína tiene correlación negativa con el almidón y el EE; esto es similar a lo obtenido por Zhang *et al.* (1993) y Miao *et al.* (2006) quienes encontraron que el aumento en la concentración de proteína da como resultado la disminución de lípidos y almidón. El rendimiento se correlaciona positivamente con el PMG y de manera negativa con la dureza; Oikeh *et al.* (1998) mencionan que el aumento de la dosis de N, propicia el aumento del rendimiento y el peso del grano.

En la gráfica bidimensional (Figura 6) se pueden diferenciar los dos grupos de tratamientos: 1) Los de camas permanentes con mayor rendimiento, PMG, EE, almidón y luminosidad; pero menor proteína y tono de color; dentro de este grupo, los tratamientos que recibieron aplicación de N también obtuvieron menor dureza y croma, el tratamiento control sin fertilizar obtuvo valores más altos en estos dos parámetros y en almidón, EE y L. 2) Los de camas convencionales con valores altos en proteína, tono y dureza, pero bajos en rendimiento, PMG, EE y almidón. Los valores más altos en proteína de los tratamientos de camas convencionales en relación a los obtenidos en camas permanentes, se explican con lo observado desde hace muchos años, donde el rendimiento de grano se correlaciona negativamente con la concentración de proteína (Dudley *et al.*, 1977).

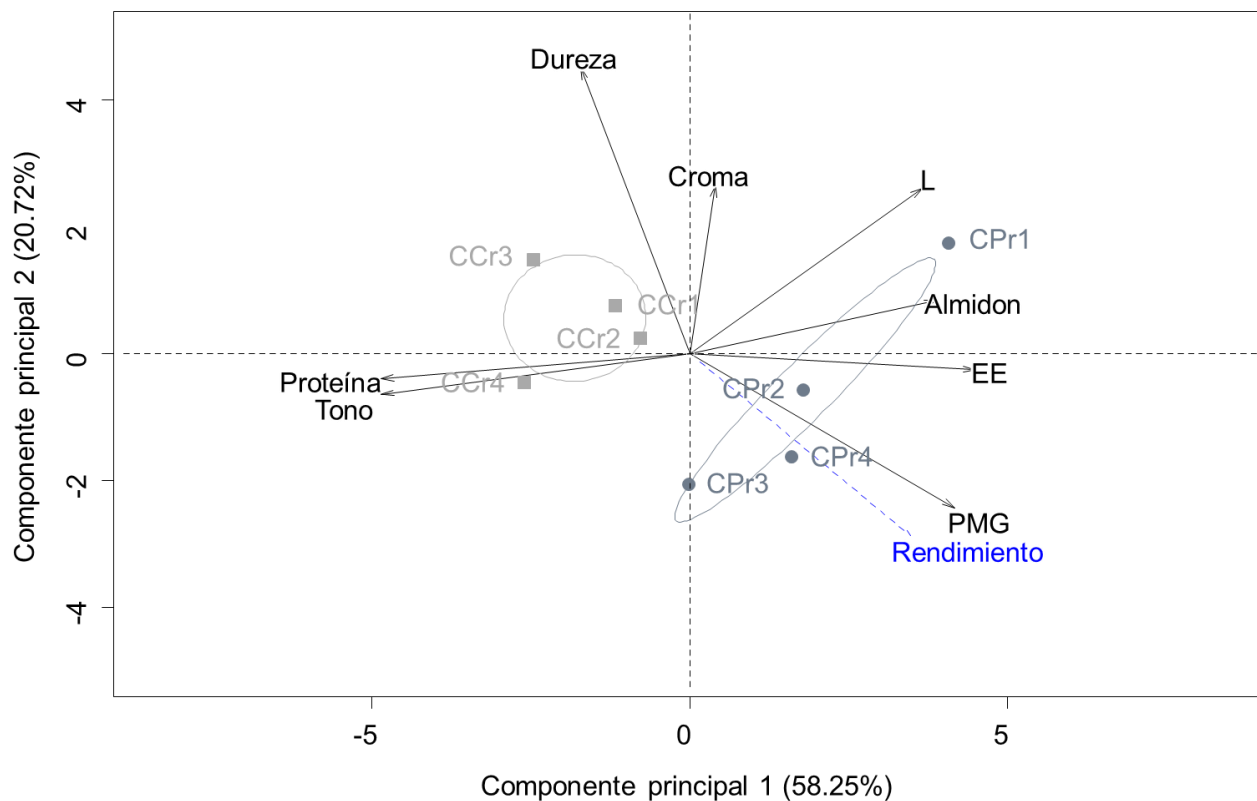


Figura 6. Gráfica bidimensional con los dos primeros componentes, del análisis de componentes principales, que muestra el grupo de variables de los parámetros de calidad del grano y los tratamientos para el cultivo de maíz. Con línea de trazos la variable complementaria. Las elipses indican los intervalos del 95% de confianza de cada grupo. Parámetros de calidad: L: luminosidad, PMG, peso de 1000 granos; EE, extracto etéreo. Tratamientos: CPr: camas permanentes con secuencia de cultivos en rotación; CCr: camas convencionales con secuencia de cultivos en rotación; los números representan la cantidad de N aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3 = 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

#### 4.4. Crecimiento y desarrollo del trigo

##### 4.4.1. Índice diferencial de vegetación normalizado

En los tratamientos de camas convencionales se observan pocas diferencias del NDVI entre los periodos I y II, mientras que en los de camas permanentes el crecimiento en el periodo I es progresivo y se estabiliza a partir del periodo II (Figura 7). Respecto al crecimiento inicial lento del trigo en camas permanentes, se ha observado que en sistemas con labranza reducida la temperatura del suelo en las etapas iniciales es menor que en los de labranza convencional y tiene un impacto negativo en el desarrollo inicial del trigo (Fabrizzi *et al.*, 2005). Además, también es conocido que en sistemas con mínimo movimiento de suelo y retención de residuos existe mayor potencial para la inmovilización del N en comparación con los sistemas de labranza

convencional (Schomberg *et al.*, 1994; Sainju *et al.*, 2007; Van Den Bossche *et al.*, 2009). Para los tratamientos de ambos sistemas a partir de los 90 DDS (periodo III) se puede notar una disminución drástica de los valores del NDVI.

El NDVI se ha relacionado algunas variables del cultivo de trigo como la biomasa área foliar, la concentración de N y clorofila en la hoja (Hansen y Schjoerring, 2003; Thomason *et al.*, 2011). Tomado lecturas a partir de los 15 DDS, tanto en trigo de temporal como de riego, se han dibujado las curvas de crecimiento del trigo en donde se presenta el aumento creciente hasta alcanzar los valores máximos de NDVI, posteriormente una disminución ligera seguida de una reducción paulatina (Verhulst *et al.*, 2010a; Verhulst *et al.*, 2011). En mediciones de NDVI realizadas en trigo, Moriondo *et al.* (2007) describen que es en la anthesis cuando se alcanzan los valores máximos y a partir de esa etapa comienzan a disminuir.

En el periodo I, los tratamientos en camas convencionales tuvieron los valores de NDVI más altos, pero no fueron significativamente diferentes a los de camas permanentes con rotación y aplicación de N en la etapa 31 (Tabla 9). Howard *et al.* (2002) encontraron que el N aplicado en entre las etapas 31 y 39 de la escala propuesta por Zadoks *et al.* (1974) se traduce en mayores rendimientos que las aplicaciones en etapas anteriores o posteriores. La aseveración anterior se reafirma con lo reportado por López-Bellido *et al.* (2012) quienes mencionan que no hubo efecto significativo sobre el rendimiento en tratamientos de siembra directa con aplicación de N en la etapa 21 de la escala propuesta por Zadoks *et al.* (1974). Las diferencias de todos los tratamientos que recibieron N en camas permanentes con rotación y el de camas convencionales con rotación que recibió aplicación de N fraccionada no fueron significativas (Tabla 9). El NDVI de los tratamientos en camas permanentes y monocultivo no tuvieron diferencias significativas con el del tratamiento en camas permanentes con rotación que no recibió N (Tabla 9).

Durante el periodo II los tratamientos en camas permanentes con rotación que tuvieron aplicación de N obtuvieron los valores más altos de NDVI, sin embargo no tuvieron diferencias significativas con los de camas permanentes y convencionales que recibieron N (Tabla 9). El valor más bajo lo tuvo el tratamiento de camas permanentes con rotación que no tuvo fertilización, este fue significativamente diferente del resto de los tratamientos, excepto del



control de camas permanentes en monocultivo y del testigo en camas convencionales con rotación (Tabla 9).

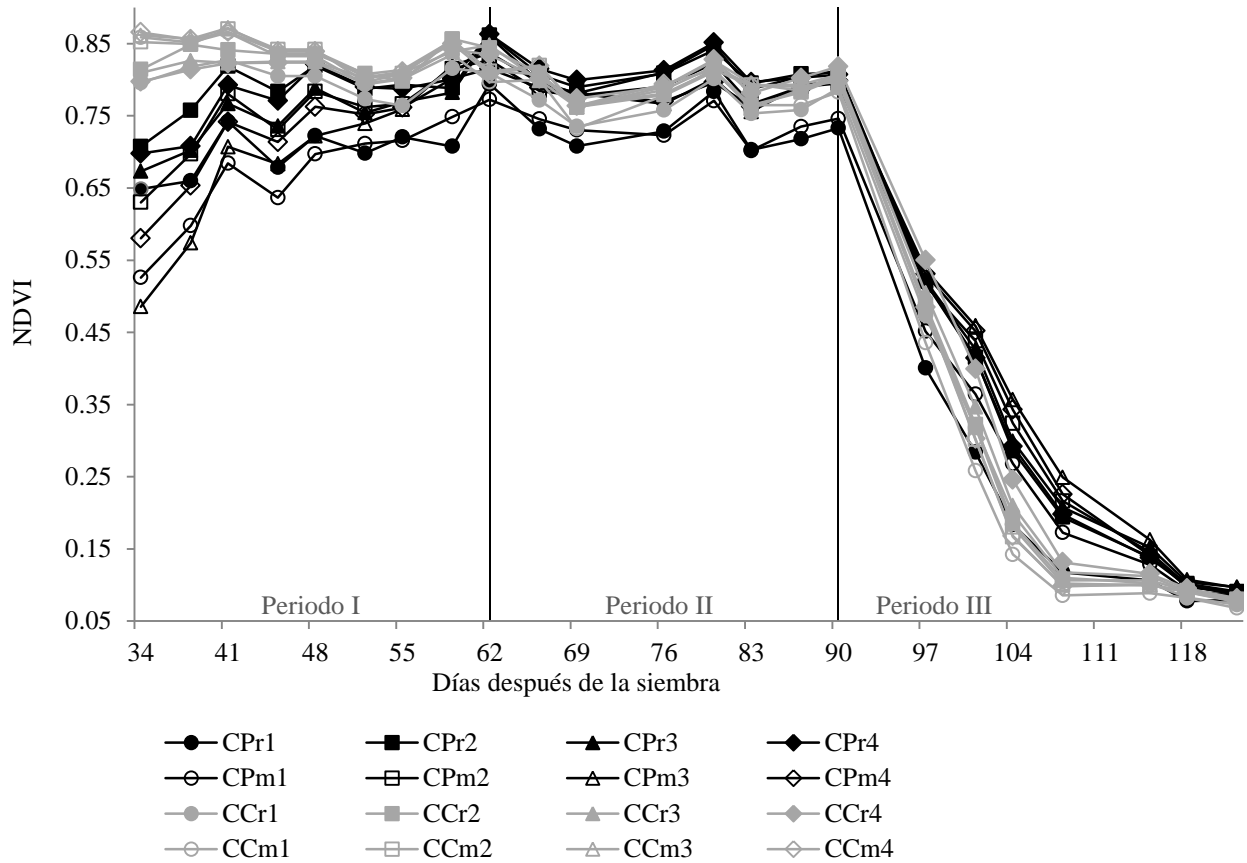


Figura 7. Curva de crecimiento y desarrollo del trigo con base en los valores de las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes. Sistema de labranza: CP, camas permanentes; CC, camas convencionales. Secuencia de cultivos: r, rotación; m, monocultivo. Los tratamientos son los kg de N ha<sup>-1</sup> y la etapa de aplicación: 1, testigo 0; 2, 80 durante la siembra; 3, 80 en la etapa 31; 4, 40 durante la siembra y 40 en la etapa 31.

Tabla 9. Efecto del sistema de labranza y las etapas de aplicación del N en la curva de crecimiento y desarrollo del trigo basado en las lecturas del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), dividido en tres periodos: I, aumento creciente; II, valor relativamente constante; III, valores decrecientes.

Tratamientos <sup>†</sup>	Periodo I	Periodo II	Periodo III
Labranza (Lab) × Secuencia (Sec) × N			
CPr1	0.708 fg <sup>¶</sup>	0.729 d	0.179 ef
CPr2	0.791 abc	0.809 a	0.250 abcd
CPr3	0.759 bcdf	0.806 ab	0.258 abc
CPr4	0.781 abcd	0.812 a	0.250 abcd
CPm1	0.677 g	0.736 cd	0.223 abcdef
CPm2	0.755 cef	0.790 ab	0.261 ab
CPm3	0.703 fg	0.785 ab	0.281 a
CPm4	0.731 defg	0.784 ab	0.269 ab
CCr1	0.802 abc	0.767 bcd	0.194 def
CCr2	0.831 a	0.788 ab	0.197 cdef
CCr3	0.823 a	0.787 ab	0.209 bcdef
CCr4	0.817 ab	0.799 ab	0.231 abcde
CCm1	0.830 a	0.776 abc	0.166 f
CCm2	0.837 a	0.797 ab	0.188 def
CCm3	0.840 a	0.796 ab	0.194 def
CCm4	0.838 a	0.796 ab	0.189 def
Análisis de varianza			
Lab	***	ns	***
Sec	*	ns	ns
Lab × Sec	***	*	***
N	***	***	***
Lab × N	**	***	*
Sec × N	ns <sup>§</sup>	ns	ns
Lab × Sec × N	ns	ns	ns

<sup>†</sup> CPr, camas permanentes; CCr: camas convencionales; r: secuencia de cultivos en rotación; m: secuencia de cultivos en monocultivo; los números representan la cantidad de N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3 = 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

<sup>¶</sup> Para cada periodo se muestra el promedio del NDVI y los tratamientos con las letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

<sup>§</sup> ns: no significativo.

\* Significativo a  $p \leq 0.05$ .

\*\* Significativo a  $p \leq 0.01$ .

\*\*\* Significativo a  $p \leq 0.001$ .

En el periodo III, los tratamientos de camas permanentes con aplicación de N tuvieron los valores de NDVI más altos, pero no existieron diferencias significativas por la secuencia de cultivos en camas permanentes (Tabla 9). Los tratamientos en camas convencionales y los de camas permanentes con rotación que recibieron N en la siembra no tuvieron valores con diferencias significativas (Tabla 9). Estos resultados coinciden con lo reportado por Golik *et al.* (2005), quienes en un experimento en la Pampa Ondulada Argentina no encontraron diferencias significativas en acumulación de N en trigo a la madurez entre labranza mínima y convencional. Lamb *et al.* (1985) midieron la disponibilidad de  $\text{NO}_3^-$  en las etapas finales del cultivo y no encontró diferencias significativas entre siembra directa con rastrojo y labranza convencional.

#### **4.5. Rendimiento y eficiencia agronómica en trigo**

El análisis de varianza muestra que el rendimiento no se vio afectado por el sistema de labranza ni por la secuencia de cultivos, pero si existe efecto altamente significativo por la etapa de aplicación del N ( $P < 0.001$ ). Las interacciones de los tres factores tampoco fueron significativas (Tabla 10). La EA no fue afectada por el sistema de labranza, la secuencia de cultivos, la etapa de aplicación de N, ni por la interacción de los tres factores (Tabla 10). Se han realizado varios estudios en relación el efecto de las prácticas de agricultura de conservación (AC) en la dinámica del N y el UEN en el cultivo de trigo (Oorts *et al.*, 2007; Thomsen y Christensen, 2007; Rieger *et al.*, 2008; Giacomini *et al.*, 2010), en ellos se reporta que las prácticas de AC no tienen influencia en la absorción de N y el rendimiento del cultivo. Rieger *et al.* (2008) mencionan que en regiones de clima fresco y húmedo con retención de residuos, los tratamientos en labranza mínima y convencional tuvieron rendimientos similares de la biomasa y el grano de trigo. Oorts *et al.* (2007), al medir la mineralización y lixiviación de N, llegaron a la conclusión de que estas fueron similares en labranza mínima y convencional. Mientras que Giacomini *et al.* (2010) encontraron más influencias en la absorción de N en trigo por el cultivo de rotación que por el tipo de labranza.

Pero también existen estudios en los que se demuestra que los sistemas de AC pueden requerir mayores tasas de aplicación de N que los sistemas de labranza convencional para lograr

los mismos rendimientos (McConkey *et al.*, 2002). En un estudio reciente, Brennan *et al.* (2014) encontraron que el sistema de labranza convencional tuvo rendimiento de grano significativamente mayor solo en un año y en los otros dos la diferencia por los sistemas de labranza no fue significativa. Este mismo autor indica que la variación en las respuestas de rendimiento sugiere que el efecto por el sistema de labranza en el rendimiento depende del tipo de suelo y las condiciones climáticas. Analizando datos de 20 años Ruisi *et al.* (2014) no encontraron diferencias significativas de rendimiento entre AC y labranza convencional, pero mencionan que la AC no garantiza un rendimiento superior cuando se presentó estrés hídrico alto, mientras que la labranza convencional obtuvo mayor rendimiento cuando la disponibilidad de agua era adecuada.

Tabla 10. Análisis de varianza para rendimiento y eficiencia agronómica (EA) del cultivo de trigo, con dos sistemas de labranza, dos secuencias de cultivos y tres etapas de aplicación de N.

Fuente de variación	Rendimiento de grano (Mg ha <sup>-1</sup> )	EA <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> )
Labranza (Lab)	ns <sup>¶</sup>	ns
Secuencia (Sec)	ns	ns
Lab × Sec	ns	ns
N	***	ns
Lab × N	ns	ns
Sec × N	ns	ns
Lab × Sec × N	ns	ns

<sup>†</sup> EA: eficiencia agronómica.

<sup>¶</sup> ns: no significativo.

\*\*\* Significativo a  $p \leq 0.001$ .

El efecto por el factor N mostró que el rendimiento no tuvo diferencias significativas en los tratamientos que recibieron alguna aplicación de fertilizante, pero todos estos son superiores a los tratamientos sin fertilizar (Figura 8). Las parcelas con aplicación de 80 kg de N en la siembra tuvieron rendimientos de 4.78 Mg ha<sup>-1</sup> a 6.09 Mg ha<sup>-1</sup>, en las que recibieron los 80 kg de N en la etapa V4 fueron de 4.76 Mg ha<sup>-1</sup> a 6.27 Mg ha<sup>-1</sup>, en las parcelas con la fertilización fraccionada se obtuvieron rendimientos de 5.2 Mg ha<sup>-1</sup> a 6.4 Mg ha<sup>-1</sup> y en las parcelas testigo los rendimientos fueron de 3.7 Mg ha<sup>-1</sup> a 5.64 Mg ha<sup>-1</sup>.

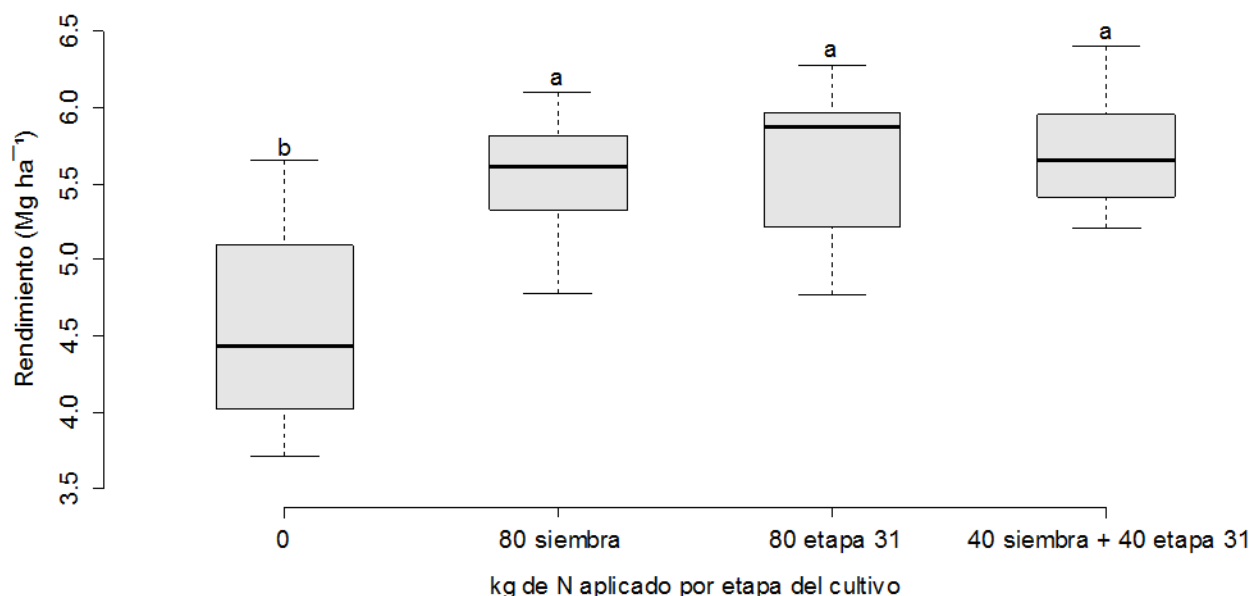


Figura 8. Grafica de caja del rendimiento de trigo por tres etapas de aplicación de N. El rectángulo muestra el rango intercuartil (25-75%), la línea gruesa indica la mediana. Los bigotes señalan los valores mínimo y máximo de los puntos de datos. Las letras representan el resultado de la prueba de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## 4.6. Parámetros de calidad en el grano de trigo

### 4.6.1. Parámetros físicos

En el peso hectolítrico (PHE), el valor más alto ( $80.3 \text{ kg hl}^{-1}$ ) fue el obtenido por el tratamiento sin fertilizar en camas permanentes y rotación; este valor no difiere significativamente del resto de tratamientos en camas convencionales y dos tratamientos de camas permanentes en monocultivo, el control sin fertilizar y el que recibió fertilización fraccionada (Tabla 11). Los tratamientos de camas permanentes en monocultivo no fueron significativamente diferentes de los de camas convencionales con excepción del control en rotación y de dos tratamientos en camas permanentes con rotación, el de aplicación de N fraccionada y el control (Tabla 11). Dentro de los tratamientos en camas permanentes con rotación, los valores más altos correspondieron al tratamiento control y al que recibió aplicación de N fraccionada (Tabla 11). En mediciones realizadas durante tres años Devita *et al.* (2007) encontraron diferencias significativas entre labranza cero y labranza convencional solo en un año, en el cual el PHE fue mayor en los tratamientos de labranza convencional.

El valor más alto de dureza fue de 44 % y correspondió al tratamiento en camas permanentes con rotación y aplicación de N fraccionada. Sin embargo, este valor no fue significativamente diferente de los valores obtenidos por los otros tres tratamientos de su grupo, ni de los de camas permanentes con monocultivo y aplicación de N (Tabla 11). Todos los tratamientos que recibieron N en camas convencionales, no difieren significativamente de los dos que no recibieron N en camas permanentes (Tabla 11). Los ocho tratamientos de camas convencionales no difieren significativamente de todos los de camas permanentes en monocultivo (Tabla 11).

En el peso de mil granos (PMG), el valor superior obtenido fue de 53.2 g y perteneció al tratamiento control de camas permanentes con rotación. Este valor tuvo diferencias significativas con todos los tratamientos (Tabla 11). El valor más bajo (49.5 g) lo obtuvo el tratamiento en camas convencionales con rotación que recibió el N en la atapa 31; este tuvo diferencias significativas con todos los tratamientos en camas permanentes y rotación, el control de camas convencionales en monocultivo sin fertilizar y los de camas permanentes en monocultivo sin fertilizar y con una sola aplicación de N en la siembra (Tabla 11). Rieger *et al.* (2008) reportaron que el PMG se vio afectado por el sistema de labranza y encontró valores más bajos en tratamientos con siembra directa. Mientras que López-Bellido *et al.* (2001) no encontraron diferencias por efecto del sistema de labranza ni por la rotación.

#### **4.6.2. Parámetros químicos**

Los valores más altos del volumen de sedimentación (VS) se obtuvieron en los tratamientos de camas permanentes; en este grupo no existieron diferencias significativas entre los que recibieron N en monocultivo y rotación, pero sí son diferentes a los de camas permanentes (Tabla 11). Los tratamientos de camas permanentes en monocultivo no fueron significativamente diferentes con los de rotación que recibieron N (Tabla 11). Los tratamientos en camas permanentes con rotación no tuvieron diferencias significativas (Tabla 11). Autores como Sabo *et al.* (2006) y recientemente Peigné *et al.* (2014) no encontraron diferencias significativas por efecto del sistema de labranza en el VS.

Los valores más altos de proteína en grano (PG) se obtuvieron en los tratamientos de camas convencionales con aplicación de N, y las diferencias entre ellos no son significativas

pero si con el resto de tratamientos (Tabla 11). Entre los tratamientos control de camas convencionales y los de camas permanentes que recibieron N no existieron diferencias significativas (Tabla 11). El valor más bajo de PG se obtuvo en el tratamiento control de camas permanentes con rotación, el cual tuvo diferencias significativas con todos (Tabla 11). Al igual que en PG, los valores más altos de proteína en harina refinada (PHR) se obtuvieron en los tratamientos de camas convencionales y aplicación de N, sus valores fueron significativamente más altos de los obtenidos por el resto (Tabla 11). Los tratamientos control de camas convencionales tuvieron diferencias significativas con los que recibieron N en camas permanentes (Tabla 11). En este parámetro, valor más bajo de PHR también se obtuvo en el tratamiento control de camas permanentes con rotación, el cual tuvo diferencias significativas con todos (Tabla 11).

El contenido de proteína es el parámetro de calidad más reportado en diferentes estudios, sin embargo los resultados se presentan con una considerable variación de conclusiones en cuanto el efecto por el sistema de labranza y también diferencias por año. Al respecto, Peigné *et al.* (2014) mencionan que el contenido de proteína es el resultado de interacciones complejas entre N, disponibilidad de agua y temperatura, los cuales dificultan la investigación. Como ejemplo, se tiene los resultados que presentaron Ditsch y Grove (1991), quienes mencionan que la concentración de N en grano no fue afectada por el sistema de labranza. Mientras que Rieger *et al.* (2008) encontraron que cuando se siembra el trigo después de maíz, el sistema de labranza no tiene influencia en la concentración de proteína en el grano. En un estudio reciente, Woźniak y Gos (2014) mencionan que el contenido de proteína en el grano dependían sólo de la fertilización con N y no del tipo de labranza. Entre los grupos de estudios que reportan diferencias significativas, se encuentra el realizado por López-Bellido *et al.* (1998), quienes encontraron efecto significativo por el sistema de labranza en uno de los tres años analizados. Peigné *et al.* (2014) analizaron datos de tres sitios tomados en diferentes años y concluyeron que la variabilidad en la concentración de proteína fue mayor entre sitios y años que entre los tratamientos de labranza. Ruisi *et al.* (2014) encontraron que el contenido de proteína fue ligeramente superior con labranza convencional que con AC.

Tabla 11. Efecto del sistema de labranza, la secuencia de cultivos y las etapas de aplicación del N, en los parámetros de físicos y químicos de calidad del grano de trigo.

Trt <sup>†</sup>	Parámetros físicos <sup>‡</sup>			Parámetros químicos <sup>§</sup>		
	PHE (kg hl <sup>-1</sup> )	Dureza (%)	PMG (g)	VS (ml)	PG (%)	PHR (%)
Labranza (Lab) × Secuencia (Sec) × N						
CPr1	78.1 bc <sup>b</sup>	42 ac	53.2 a	13.3 f	9.4 e	7.7 d
CPr2	76.6 ce	42 ac	51.2 b	14.5 ef	11.3 cd	9.2 c
CPr3	76.0 de	43 ab	51.0 b	14.8 ef	11.6 cd	9.7 bc
CPr4	77.2 bde	44 a	51.3 b	13.8 ef	11.1 cd	9.3 c
CPm1	78.8 ab	40 bcd	50.9 b	15.5 e	11.1 d	9.0 c
CPm2	77.7 bde	41 abd	51.0 b	16.0 de	11.2 cd	9.6 bc
CPm3	77.8 bcd	41 abd	50.8 bc	16.0 de	11.5 cd	9.7 bc
CPm4	78.2 abc	41 abd	50.5 bc	15.8 de	12.1 bc	10.2 b
CCr1	80.3 a	38 d	50.5 bc	17.8 cd	11.2 cd	9.5 bc
CCr2	78.6 abc	39 cd	49.8 bc	20.3 a	12.9 ab	11.3 a
CCr3	79.3 ab	40 bcd	49.5 c	19.5 abc	12.7 ab	11.2 a
CCr4	78.4 abc	40 cd	49.9 bc	20.8 a	13.1 a	11.0 a
CCm1	79.2 ab	39 d	51.1 b	18.2 bc	11.5 cd	9.8 bc
CCm2	78.5 abc	40 cd	50.1 bc	20.7 a	13.1 a	11.3 a
CCm3	78.3 abc	40 cd	50.0 bc	20.2 ab	13.1 ab	11.0 a
CCm4	78.9 ab	40 cd	49.9 bc	20.7 a	13.3 a	11.1 a
Análisis de varianza						
Lab	*	*	*	**	***	**
Sec	ns <sup>x</sup>	ns	ns	**	***	**
Lab × Sec	*	ns	*	*	ns	*
N	***	**	***	***	***	***
Sec × N	ns	ns	ns	**	ns	*
Sec × N	ns	ns	*	ns	**	**
Lab × Sec × N	ns	ns	**	ns	**	ns

<sup>†</sup> Trt, tratamientos: CPr, camas permanentes; CCr, camas convencionales; r, secuencia de cultivos en rotación; m, secuencia de cultivos en monocultivo; los números representan la cantidad de N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3 = 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

<sup>‡</sup> Parámetros físicos: PHE, peso hectolítrico; PMG, peso de mil granos.



§ Parámetros químicos: VS, volumen de sedimentación; PG, contenido de proteína en grano; PHR, contenido de proteína en harina refinada; NC, número de caída.

ᵖ Para cada parámetro, los tratamientos con las letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

× ns: no significativo.

\* Significativo a  $p \leq 0.05$ .

\*\* Significativo a  $p \leq 0.01$ .

\*\*\* Significativo a  $p \leq 0.001$ .

### 4.6.3. Parámetros reológicos

Los valores de número de caída (NC) más altos fueron obtenidos por los tratamientos de camas convencionales, no existieron diferencias significativas entre ellos (Tabla 12). Los tratamientos en camas permanentes con rotación y aplicación de N en la siembra, además del de monocultivo con una sola aplicación de N en la etapa 33, no tuvieron diferencias significativas con los de camas convencionales (Tabla 12). En camas permanentes no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de N (Tabla 12).

Respecto a las propiedades visco-elásticas de la masa, los valores más altos de fuerza (W) corresponden a los tratamientos de camas convencionales y existieron diferencias significativas entre ellos (Tabla 12). En camas permanentes existieron diferencias significativas entre el tratamiento en monocultivo con una sola aplicación de N en la etapa 31 y el de rotación que recibió todo el N en la siembra (Tabla 12). Con excepción de la explicada anteriormente, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos con camas permanentes (Tabla 12). Con los resultados de relación tenacidad/extensibilidad (P/L) no se presentaron diferencias significativas entre todos los tratamientos (Tabla 12).

Respecto a las propiedades de desarrollo de la masa, en el valor de tiempo de desarrollo de la masa (TM) las únicas diferencias significativas que se presentaron fueron entre el control de camas permanentes con rotación y los siguientes tratamientos: camas convencionales en rotación con aplicación de N en la siembra, camas permanentes en monocultivo con aplicación de N dividida y camas permanentes en rotación con una sola aplicación de N en la (Tabla 12). Algo similar sucedió con el valor de torque, las diferencias significativas fueron entre el control de camas permanentes con rotación y los tratamientos: camas permanentes en monocultivo con

aplicación de N en la siembra y el de rotación que recibió todo el N en esa misma etapa (Tabla 12).

En la variable volumen de pan (VP), los valores más altos fueron obtenidos por los tratamientos en camas permanentes con monocultivo que recibieron aplicación de N en la etapa 33 y el de camas convencionales en monocultivo que tuvo una sola aplicación de N en la siembra. Estos difieren significativamente de los tratamientos control de camas convencionales y el de camas permanentes con rotación (Tabla 12).

Pocos estudios que analizan el efecto de labranza en la calidad panadera del trigo reportan parámetros reológicos; la mayoría de los que existen se limitan a las propiedades viscoelásticas de masa y discuten la forma en que estas propiedades se correlacionan con rendimiento y el N, relaciones que han sido estudiadas ampliamente en investigaciones exclusivas de calidad panadera del trigo harinero. López-Bellido *et al.* (1998) en un estudio de tres años con labranza reducida y convencional, encontraron que la W y la extensibilidad (L) se vieron afectados por la rotación con leguminosa y la interacción año  $\times$  labranza fueron significativas para W, L y la P/L. López-Bellido *et al.* (2001) encontraron diferencias de un año a otro en las propiedades viscoelásticas de la masa y los tratamientos en labranza convencional registraron valores significativamente más altos para W, tenacidad (P) y L que bajo labranza reducida. Woźniak y Gos (2014) midieron el gluten de trigo y concluyeron que solo era influenciado por la fertilización con N y no por el sistema de labranza. Mientras que Peigné *et al.* (2014), midiendo el mismo parámetro con datos de 20 años en tres sitios distintos y dos sistemas de labranza (convencional y reducida), no encontraron diferencias por labranza, pero si entre sitios; en el mismo estudio, reportan que el número de caída fue menor con labranza reducida que bajo convencional.

Tabla 12. Efecto del sistema de labranza, la secuencia de cultivos y las etapas de aplicación del N, en los parámetros reológicos de calidad del grano de trigo.

Trt <sup>†</sup>	NC <sup>¶</sup> (s)	PVE <sup>§</sup>		PDM <sup>p</sup>		
		W (10 <sup>-4</sup> J)	P/L	TM (min)	Torque (%Tq min <sup>-1</sup> )	VP (ml)
Labranza (Lab) × Secuencia (Sec) × N						
CPr1	339 bc <sup>x</sup>	211 d	0.92 a	3.8 a	140 a	827 c
CPr2	370 ac	220 d	0.65 a	3.0 b	116 b	923 ab
CPr3	289 c	235 cd	1.00 a	3.4 ab	129 ab	922 ab
CPr4	366 ac	225 cd	0.86 a	3.2 ab	120 ab	903 abc
CPm1	302 c	265 cd	0.73 a	3.3 ab	122 ab	908 abc
CPm2	334 bc	256 cd	0.67 a	3.2 ab	117 b	908 ac
CPm3	355 ac	301 bc	0.66 a	3.2 ab	120 ab	957 a
CPm4	300 c	269 cd	0.83 a	2.9 b	111 b	938 a
CCr1	480 a	352 ab	0.83 a	3.3 ab	125 ab	820 c
CCr2	488 a	363 ab	0.87 a	3.3 ab	128 ab	885 abc
CCr3	488 a	371 ab	1.05 a	3.1 b	126 ab	875 abc
CCr4	490 a	373 ab	1.01 a	3.1 b	124 ab	895 abc
CCm1	497 a	360 ab	1.04 a	3.4 ab	131 ab	830 bc
CCm2	447 ab	371 ab	1.00 a	3.2 ab	124 ab	928 a
CCm3	480 a	393 a	1.33 a	3.2 ab	125 ab	902 abc
CCm4	449 ab	388 a	1.20 a	3.3 ab	127 ab	912 abc
Análisis de varianza						
Lab	*	**	ns	ns	ns	ns
Sec	ns <sup>††</sup>	*	ns	ns	ns	*
Lab × Sec	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N	ns	ns	ns	*	*	***
Lab × N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sec × N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Lab × Sec × N	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>†</sup> Trt, tratamientos: CPr, camas permanentes; CCr, camas convencionales; r, secuencia de cultivos en rotación; m, secuencia de cultivos en monocultivo; los números representan la cantidad de N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3 = 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

<sup>¶</sup> NC: número de caída.

<sup>§</sup> PVE, Propiedades visco-elásticas de la masa: W, fuerza de la masa; P/L, relación tenacidad/extensibilidad.

<sup>p</sup> PDM, propiedades de desarrollo de la masa: TM, tiempo de desarrollo de la masa.

VP: volumen del pan.

<sup>x</sup> Para cada parámetro, los tratamientos con las letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

<sup>††</sup> ns: no significativo.

\* Significativo a  $p \leq 0.05$ .

\*\* Significativo a  $p \leq 0.01$ .

\*\*\* Significativo a  $p \leq 0.001$ .

#### 4.6.4. Análisis de componentes principales para los parámetros de calidad

Los dos primeros componentes explican el 80.94 % de la variabilidad. En la gráfica bidimensional se observa que el parámetro con menor varianza fue el de P/L (Figura 9). La PG y PHR tuvieron una fuerte correlación y ambas a su vez se correlacionan de manera negativa con el PMG; este resultado coincide con lo reportado por Matsuo y Dexter (1980) quienes encontraron que el aumento en el contenido de proteína dio como resultado una tendencia a menor rendimiento de la molienda, además se sabe que el trigo con mayor PMG tiene un mayor potencial de extracción de harina (Ramya *et al.*, 2010; Cui *et al.*, 2011). El VS y la W también estuvieron correlacionados; Zhao *et al.* (2012) encontraron que el VS se correlaciona significativamente con el índice de gluten, además se sabe que la W es uno de los valores que indican la calidad del gluten (Gómez *et al.*, 2011; Martínez Cruz *et al.*, 2012). Los parámetros NC, P/L y PHE estuvieron correlacionados positivamente y los tres de manera negativa con la dureza del grano; Campbell *et al.* (1987) encontraron que el NC está correlacionado con la resistencia de la masa, mientras que Salmanowicz *et al.* (2012) reportaron que la dureza se correlaciona de manera negativa con el volumen de sedimentación. El torque tiene una fuerte correlación negativa con el VP.

Los tratamientos en camas permanentes con rotación de cultivos tuvieron valores altos en PMG y dureza (Figura 9). Los tratamientos en camas permanentes con monocultivo también alcanzaron valores altos en PMG y dureza pero estos son menores que los de camas permanentes con rotación y aplicación de N. Los tratamientos en camas permanentes que recibieron fertilización tuvieron valores altos en VP. En los tratamientos de camas convencionales con fertilización se obtuvieron valores altos en PHE, VS, PG, PHR, NC, W, P/L y bajos en dureza,

PMG y VP. El resultado de PG, PHR y VP es más bajo en tratamientos de camas convencionales sin fertilizar comparado con las que recibieron fertilizante.

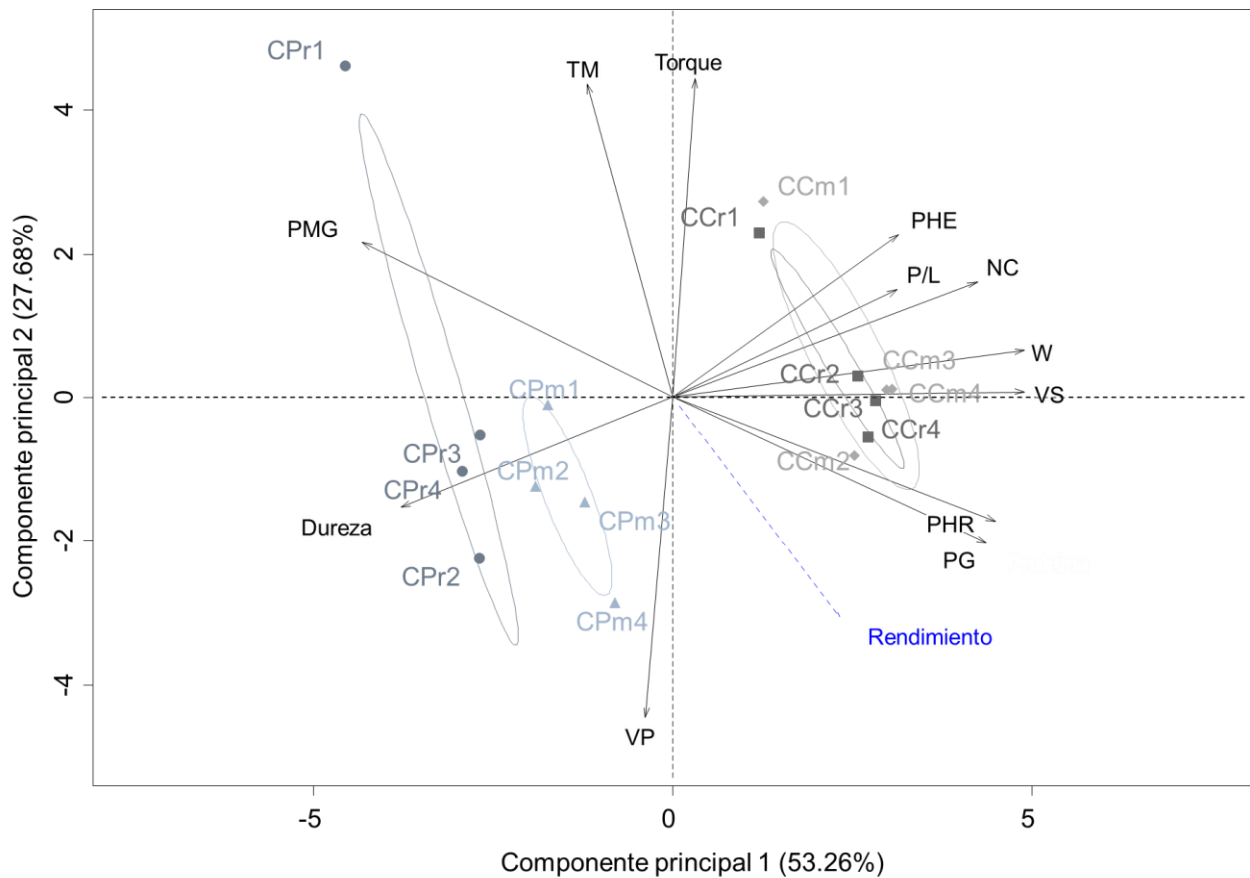


Figura 9. Grafica bidimensional con los dos primeros componentes, del análisis de componentes principales, que muestra el grupo de variables de los parámetros de calidad del grano y los tratamientos en el cultivo de trigo. Con línea de trazos la variable complementaria. Las elipses indican los intervalos del 95% de confianza de cada grupo. Parámetros de calidad: PHE, peso hectolítrico; PMG, peso de 1000 granos; VS, volumen de sedimentación; PG, contenido de proteína en grano; PHR, contenido de proteína en harina refinada; NC, número de caída; W, fuerza de la masa; P/L, relación tenacidad/extensibilidad de la masa; TM, tiempo de desarrollo de la masa; VP, volumen del pan. Tratamientos: CPr: camas permanentes; CCr: camas convencionales: r: secuencia de cultivos en rotación; m: secuencia de cultivos en monocultivo; los números representan la cantidad de N aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por cada etapa: 1 = 0, 2 = 80 en la siembra; 3= 80 en la etapa V4, y 4 = 40 en la siembra y 40 en la etapa V4.

## CONCLUSIONES

El crecimiento y desarrollo del cultivo, evaluado mediante las lecturas del NDVI; se vio afectado por las prácticas de labranza, la secuencia de cultivos y la época de aplicación del N. En maíz el desarrollo inicial no presentó diferencias significativas entre los tratamientos de camas

permanentes y los de convencionales; pero a partir de la etapa reproductiva los tratamientos fertilizados en camas permanentes presentaron los valores más altos del NDVI. En el trigo durante las etapas iniciales de crecimiento los valores del NDVI más altos correspondieron a todos los tratamientos de camas convencionales y a los de camas permanentes con rotación que recibieron N en la siembra; en las siguientes etapas el crecimiento lento del trigo que tenían algunos tratamientos en camas permanentes se compensó y todos los tratamientos que recibieron N ya no presentaron diferencias; durante la madurez del cultivo los tratamientos de camas permanentes tuvieron los valores de NDVI más altos.

En maíz, los tratamientos de camas permanentes tuvieron los valores más altos de rendimiento y eficiencia agronómica del maíz; la retención de residuos y la época de aplicación del N tuvieron influencia en esos resultados, pero el factor más determinante fue el sistema de labranza y permitió a los tratamientos de camas permanentes conservar más humedad en el periodo sequía, que afectó al cultivo durante la etapa reproductiva. La aplicación de N en una sola etapa permitió obtener los mayores rendimientos y eficiencia agronómica al cultivo de maíz sembrado en camas permanentes. En trigo el rendimiento y la eficiencia agronómica no se vieron afectados por ningún factor.

En los parámetros de calidad del maíz, se observó que la proteína se correlaciona negativamente con el almidón y el extracto etéreo, el rendimiento tuvo una correlación positiva con el peso de mil granos y negativa con la dureza; los tratamientos de camas permanentes obtuvieron los valores más altos en peso de mil granos, extracto etéreo, almidón y luminosidad; mientras que los de camas convencionales obtuvieron valores mayores en proteína, tono y dureza; los valores más bajos de proteína en camas permanentes se deben a la correlación negativa que este parámetro tiene con el rendimiento. En los parámetros de calidad del trigo se observó que la proteína del grano y de la harina refinada se correlacionaron negativamente con el peso de mil granos; el volumen de sedimentación se correlacionó con la fuerza de la masa; tuvieron correlación positiva el número de caída, la relación tenacidad/extensibilidad de la masa y el peso hectolítrico; estos tres parámetros se correlacionaron negativamente con la dureza; los tratamientos en camas permanentes con rotación de cultivos presentaron los valores altos en peso de mil granos y dureza; los de camas permanentes que recibieron fertilización obtuvieron el mayor volumen de pan; en los tratamientos de camas convencionales con fertilización se

encontraron los valores más altos del peso hectolítrico, el volumen de sedimentación, la proteína en grano y harina, el número de caída, la fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad de la masa.

Se recomienda que para el cultivo de trigo harinero, sembrado en sistemas de agricultura de conservación, se planteen otras estrategias de aplicación del N que le permitan tener la misma calidad que los trigos cultivados con labranza convencional. Así mismo, es necesario analizar datos de varios años para asegurar que los resultados obtenidos en esta tesis se deben a los factores estudiados y no a respuestas por el clima.

### LITERATURA CITADA

- AACC. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. AACC, St. Paul, MN, USA.
- Akhtar, N., A. Rehman, M.F. Saleem, M.E. Safdar, and S. Hussain. 2011. Grain quality, nutrient use efficiency, and bioeconomics of maize under different sowing methods and npk levels. *Chil. J. Agric. Res.* 71(4): 586–593.
- Alchanatis, V., Z. Schmilovitch, and M. Meron. 2005. In-Field Assessment of Single Leaf Nitrogen Status by Spectral Reflectance Measurements. *Precis. Agric.* 6(1): 25–39.
- Al-Kaisi, M. and M.A. Licht. 2004. Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. *Agron. J.* 96(1164–1171): 1164–1171.
- Al-Kaisi, M. and D. Kwaw-Mensah. 2007. Effect of tillage and nitrogen rate on corn yield and nitrogen and phosphorus uptake in a corn-soybean rotation. *Agron. J.* 99(6): 1548–1558.
- Altieri, M. and C.I. Nicholls. 2000. *Teoría y Práctica Para una Agricultura Sustentable*. Primera. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México D.F., México.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis of the AOAC International* (William Horwitz and GW Latimer, Eds.). 18th ed. AC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Asseng, S., N.C. Turner, and B.A. Keating. 2001. Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. *Plant Soil* 233(1): 127–143.
- Balota, E.L., A. Colozzi Filho, D.S. Andrade, and R.P. Dick. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Res.* 77(2): 137–145.
- Bandyopadhyay, K.K. and M.C. Sarkar. 2005. Nitrogen use efficiency, 15N balance, and nitrogen losses in flooded rice in an Inceptisol. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36(11-12): 1661–1679.

- Barnard, R., X. Le Roux, B.A. Hungate, E.E. Cleland, J.C. Blankinship, L. Barthes, and P.W. Leadley. 2006. Several components of global change alter nitrifying and denitrifying activities in an annual grassland. *Funct. Ecol.* 20(4): 557–564.
- Baveye, P.C., D. Rangel, A.R. Jacobson, M. Laba, C. Darnault, W. Otten, R. Radulovich, and F.A.O. Camargo. 2011. From dust bowl to dust bowl: Soils are still very much a frontier of science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 2037–2048.
- Beh, E.J. 2012. Exploratory multivariate analysis by example using R. *J. Appl. Stat.* 39(6): 1381–1382.
- Bock, B.R. and D.E. Kissel. 1988. Ammonia volatilization from urea fertilizers. NFDC/TVA Muscle Shoals, AL.
- Borghini, B., M. Corbellini, C. Minoia, M. Palumbo, N. Di Fonzo, and M. Perenzin. 1997. Effects of Mediterranean climate on wheat bread-making quality. *Eur. J. Agron.* 6(3-4): 145–154.
- Van Den Bossche, A., S. De Bolle, S. De Neve, and G. Hofman. 2009. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. *Soil Tillage Res.* 103(2): 316–324.
- Boulal, H. and H. Gómez-Macpherson. 2010. Dynamics of soil organic carbon in an innovative irrigated permanent bed system on sloping land in southern Spain. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139(1–2): 284–292.
- Boulal, H., H. Gómez-Macpherson, and F.J. Villalobos. 2012. Permanent bed planting in irrigated Mediterranean conditions: Short-term effects on soil quality, crop yield and water use efficiency. *F. Crop. Res.* 130(0): 120–127.
- Brennan, J., R. Hackett, T. McCabe, J. Grant, R.A. Fortune, and P.D. Forristal. 2014. The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. *Eur. J. Agron.* 54: 61–69.
- Britto, D.T. and H.J. Kronzucker. 2002. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: A critical review. *J. Plant Physiol.* 159(6): 567–584.
- Bronson, K.F., A.B. Onken, J.W. Keeling, J.D. Booker, and H.A. Torbert. 2001. Nitrogen response in cotton as affected by tillage system and irrigation level. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1153–1163.
- Bruno, I.P., M.J. Unkovich, R.P. Bortolotto, O.O.S. Bacchi, D. Dourado-Neto, and K. Reichardt. 2011. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. *F. Crop. Res.* 124(3): 369–377.
- Burgess, M.S., G.R. Mehuys, and C.A. Madramootoo. 2002. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1350–1358.
- Campbell, W.P., C.W. Wrigley, P.J. Cressey, and C.R. Slack. 1987. Statistical correlations between quality attributes and grain-protein composition for 71 hexaploid wheats used as breeding parents. *Cereal Chem* 64: 293–299.



- Carefoot, J.M., C.W. Lindwall, and M. Nyborg. 1990. Differential fertilizer n immobilization in two tillage systems influences grain n concentration. *Can. J. Soil Sci.* 70(2): 215–225.
- Carter, A.H., K. Garland-Campbell, C.F. Morris, and K.K. Kidwell. 2012. Chromosomes 3B and 4D are associated with several milling and baking quality traits in a soft white spring wheat (*Triticum aestivum* L.) population. *Theor. Appl. Genet.* 124(6): 1079–1096.
- Chamen, T. 2007. Controlled-traffic Farming as a Complementary Practice to No-tillage. p. 236–256. *In* Baker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R., Chamen, W.C.T., Reicosky, D.C., Ribeiro, F., Justice, S.E., Hobbs, P.R. (eds.), *No-tillage Seeding in Conservation Agriculture*. Second Edi. FAO and CAB International, Roma.
- Correa, G.L. 2004. Análisis de medidas repetidas. Universidad Nacional de Colombia.
- Cui, F., A. Ding, J. Li, C. Zhao, X. Li, D. Feng, X. Wang, L. Wang, J. Gao, and H. Wang. 2011. Wheat kernel dimensions: How do they contribute to kernel weight at an individual QTL level? *J. Genet.* 90(3): 409–425.
- Dalal, R.C., W.M. Strong, J.E. Cooper, and A.J. King. 2013. Relationship between water use and nitrogen use efficiency discerned by <sup>13</sup>C discrimination and <sup>15</sup>N isotope ratio in bread wheat grown under no-till. *Soil Tillage Res.* 128: 110–118.
- Dencic, S., B. Kobiljski, N. Mladenov, N. Hristov, and M. Pavlovic. 2007. Long-term breeding for bread making quality in wheat. p. 495–501. *In* Buck, H.T., Nisi, J.E., Salomón, N. (eds.), *Wheat Production in Stressed Environments SE - 60*. Developments in Plant Breeding. Springer Netherlands.
- Dendooven, L., L. Patiño-Zúñiga, N. Verhulst, M. Luna-Guido, R. Marsch, and B. Govaerts. 2012a. Global warming potential of agricultural systems with contrasting tillage and residue management in the central highlands of Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 152: 50–58.
- Dendooven, L., V.F. Gutiérrez-Oliva, L. Patiño-Zúñiga, D.A. Ramírez-Villanueva, N. Verhulst, M. Luna-Guido, R. Marsch, J. Montes-Molina, F.A. Gutiérrez-Miceli, S. Vásquez-Murrieta, and B. Govaerts. 2012b. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. *Sci. Total Environ.* 431: 237–44.
- Derpsch, R. 2008. No-tillage and conservation agriculture: A progress report. p. 6–21. *In* Goddard, T., Zoebisch, M., Gan, Y., Ellis, W., Watson, A., Sombatpanit, S. (eds.), *No-Till Farming Systems*. Special Publication No. 3. World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok.
- Derpsch, R., A.J. Franzluebbers, S.W. Duiker, D.C. Reicosky, K. Koeller, T. Friedrich, W.G. Sturny, J.C.M. Sá, and K. Weiss. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil Tillage Res.* 137(0): 16–22.
- Devita, P., E. Dipaolo, G. Fecondo, N. Difonzo, and M. Pisante. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Tillage Res.* 92(1-2): 69–78.

- Díaz, C.G.T., Á.F.A. Sabando, M.S. Zambrano, and M.G.H. Vásquez. 2009. Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de Los Ríos. *Cienc. y Tecnol.* 3: 15–23.
- Ditsch, D.C. and J.H. Grove. 1991. Influence of tillage on plant populations, disease incidence, and grain yield of two soft red winter wheat cultivars. *J. Prod. Agric.* 4(3): 360–365.
- Dobraszczyk, B.J. and J.D. Schofield. 2002. Rapid assessment and prediction of wheat and gluten baking quality with the 2-g direct drive mixograph using multivariate statistical analysis. *Cereal Chem. J.* 79(5): 607–612.
- Donelson, J.R., C.S. Gaines, L.C. Andrews, and P.F. Finney. 2002. Prediction of test weight from a small volume specific gravity measurement. *Cereal Chem. J.* 79(2): 227–229.
- Dorward, A. 2013. Agricultural labour productivity, food prices and sustainable development impacts and indicators. *Food Policy* 39(0): 40–50.
- Douglas, C.L., R.R. Allmaras, P.E. Rasmussen, R.E. Ramig, and N.C. Roager. 1980. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the pacific northwest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 833–837.
- DoVale, J., R. DeLima, and R. Fritsche-Neto. 2012. Breeding for nitrogen use efficiency. p. 53–65. *In* Fritsche-Neto, R., Borém, A. (eds.), *Plant Breeding for Abiotic Stress Tolerance SE - 4*. Springer Berlin Heidelberg.
- Duan, Y., M. Xu, S. Gao, X. Yang, S. Huang, H. Liu, and B. Wang. 2014. Nitrogen use efficiency in a wheat–corn cropping system from 15 years of manure and fertilizer applications. *F. Crop. Res.* 157: 47–56.
- Dudley, J.W., R.J. Lambert, and I.A. de la Roche. 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. *Crop Sci.* 17(1): 111–117.
- Duiker, S.W. and D.B. Beegle. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil Tillage Res.* 88(1–2): 30–41.
- Eivazi, A. and F. Habibi. 2013. Evaluation of nitrogen use efficiency in corn (*Zea mayz* L.) varieties. *World Appl. Sci. J.* 21(1): 63–68.
- Fabrizzi, K.P., F.O. García, J.L. Costa, and L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 81(1): 57–69.
- Fernando, N., J. Panozzo, M. Tausz, R. Norton, G. Fitzgerald, and S. Seneweera. 2012. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentration affects mineral nutrient and protein concentration of wheat grain. *Food Chem.* 133(4): 1307–1311.
- Fernando, N., J. Panozzo, M. Tausz, R.M. Norton, N. Neumann, G.J. Fitzgerald, and S. Seneweera. 2014. Elevated CO<sub>2</sub> alters grain quality of two bread wheat cultivars grown under different environmental conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 185: 24–33.

- Fox, R.H., J.M. Kern, and W.P. Piekielek. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yields and nitrogen uptakes. *Agron. J.* 78(4): 741–746.
- Fox, R.H. and W.P. Piekielek. 1993. Management and urease inhibitor effects on nitrogen use efficiency in no-till corn. *J. Prod. Agric.* 6(2): 195–200.
- Franzluebbers, A.J., F.M. Hons, and D.A. Zuberer. 1994. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management-systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58(6): 1639–1645.
- Gallais, A. and M. Coque. 2005. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: A synthesis. *Maydica* 50: 531–547.
- Garrido-Lestache, E., R.J. López-Bellido, and L. López-Bellido. 2004. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *F. Crop. Res.* 85(2-3): 213–236.
- Geleta, B., M. Atak, P.S. Baenziger, L.A. Nelson, D.D. Baltenesperger, K.M. Eskridge, M.J. Shipman, and D.R. Shelton. 2002. Seeding rate and genotype effect on agronomic performance and end-use quality of winter wheat. *Crop Sci.* 42: 827–832.
- Giacomini, S.J., J.M. Machet, H. Boizard, and S. Recous. 2010. Dynamics and recovery of fertilizer 15N in soil and winter wheat crop under minimum versus conventional tillage. *Soil Tillage Res.* 108(1-2): 51–58.
- Gil, J.L. 2001. Comparación de los procedimientos GLM y MIXED del SAS® para analizar diseños de parcelas divididas con bloques al azar. *Zootec. Trop.* 19(1): 43–58.
- Gil-Muñoz, R., E. Gómez-Plaza, A. Martínez, and J.M. López-Roca. 1997. Evolution of the CIELAB and other spectrophotometric parameters during wine fermentation. Influence of some pre and postfermentative factors. *Food Res. Int.* 30(9): 699–705.
- Gitelson, A.A., Y. Peng, and K.F. Huemmrich. 2014. Relationship between fraction of radiation absorbed by photosynthesizing maize and soybean canopies and NDVI from remotely sensed data taken at close range and from MODIS 250m resolution data. *Remote Sens. Environ.* 147: 108–120.
- Godinot, O., M. Carof, F. Vertès, and P. Leterme. 2014. SyNE: An improved indicator to assess nitrogen efficiency of farming systems. *Agric. Syst.*
- Golik, S.I., H.O. Chidichimo, and S.J. Sarandón. 2005. Biomass production, nitrogen accumulation and yield in wheat under two tillage systems and nitrogen supply in the Argentine Rolling Pampa. *World J. Agric. Sci.* 1(1): 36.
- Gómez, A., C. Ferrero, A. Calvelo, M.C. Añón, and M.C. Puppo. 2011. Effect of mixing time on structural and rheological properties of wheat flour dough for breadmaking. *Int. J. Food Prop.* 14(3): 583–598.
- Gonnet, J.-F. 2001. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanin revisited—3. A further description using CIELAB differences and assessment of matched colours using the CMC model. *Food Chem.* 75(4): 473–485.

- Gooding, M.J., R.K. Uppal, M. Addisu, K.D. Harris, C. Uauy, J.R. Simmonds, and A.J. Murdoch. 2012. Reduced height alleles (Rht) and Hagberg falling number of wheat. *J. Cereal Sci.* 55(3): 305–311.
- Govaerts, B., K.D. Sayre, and J. Deckers. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? *F. Crop. Res.* 94(1): 33–42.
- Govaerts, B., M. Mezzalama, K.D. Sayre, J. Crossa, J.M. Nicol, and J. Deckers. 2006a. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. *Appl. Soil Ecol.* 32(3): 305–315.
- Govaerts, B., K.D. Sayre, J.M. Ceballos-Ramirez, M.L. Luna-Guido, A. Limon-Ortega, J. Deckers, and L. Dendooven. 2006b. Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: Effects on soil C and N dynamics. *Plant Soil* 280(1-2): 143–155.
- Govaerts, B., K.D. Sayre, K. Lichter, L. Dendooven, and J. Deckers. 2007a. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291(1-2): 39–54.
- Govaerts, B., N. Verhulst, K.D. Sayre, P. De Corte, B. Goudeseune, K. Lichter, J. Crossa, J. Deckers, and L. Dendooven. 2007b. Evaluating spatial within plot crop variability for different management practices with an optical sensor? *Plant Soil* 299(1-2): 29–42.
- Govaerts, B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete, K.D. Sayre, J. Dixon, and L. Dendooven. 2009a. Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* 28(3): 97–122.
- Govaerts, B., K.D. Sayre, B. Goudeseune, P. De Corte, K. Lichter, L. Dendooven, and J. Deckers. 2009b. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil Tillage Res.* 103(2): 222–230.
- Grahmann, K., N. Verhulst, A. Buerkert, I. Ortiz-Monasterio, and B. Govaerts. 2013. Nitrogen use efficiency and optimization of nitrogen fertilization in conservation agriculture. *CAB Rev.* 8(053): 1–19.
- Greffeuille, V., J. Abecassis, N. Barouh, P. Villeneuve, F. Mabile, C. Bar L'Helgouac'h, and V. Lullien-Pellerin. 2007. Analysis of the milling reduction of bread wheat farina: Physical and biochemical characterisation. *J. Cereal Sci.* 45(1): 97–105.
- Groffman, P.M. 1985. Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(2): 329–334.
- Groffman, P., P. Hendrix, and D.A. Crossley Jr. 1987. Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. *Plant Soil* 97(3): 315–332.
- Gutiérrez-Cortez, E., I. Rojas-Molina, A. Rojas, J.L. Arjona, M.A. Cornejo-Villegas, Y. Zepeda-Benítez, R. Velázquez-Hernández, C. Ibarra-Alvarado, and M.E. Rodríguez-García. 2010. Microstructural changes in the maize kernel pericarp during cooking stage in nixtamalization process. *J. Cereal Sci.* 51(1): 81–88.

- Gutiérrez-Urbe, J.A., C. Rojas-García, S. García-Lara, and S.O. Serna-Saldivar. 2010. Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize kernels processed into masa for tortillas. *J. Cereal Sci.* 52(3): 410–416.
- Hansen, P.M. and J.K. Schjoerring. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sens. Environ.* 86(4): 542–553.
- Hanway, J., S. Ritchie, and G. O. Benson. 1997. How a corn plant develops: Special report No. 48. Ames, IA.
- Hao, B., Q. Xue, B.W. Bean, W.L. Rooney, and J.D. Becker. 2014. Biomass production, water and nitrogen use efficiency in photoperiod-sensitive sorghum in the Texas High Plains. *Biomass and Bioenergy* 62: 108–116.
- Harada, H., H. Kobayashi, and H. Shindo. 2007. Reduction in greenhouse gas emissions by no-tilling rice cultivation in Hachirogata polder, northern Japan: Life-cycle inventory analysis. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53(5): 668–677.
- He, P., S. Li, J. Jin, H. Wang, C. Li, Y. Wang, and R. Cui. 2009. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat-maize rotations in North-Central China. *Agron. J.* 101: 1489–1496.
- He, S., Y. Qin, E. Walid, L. Li, J. Cui, and Y. Ma. 2014. Effect of ball-milling on the physicochemical properties of maize starch. *Biotechnol. Reports.*
- Herrmann, L., J.L. Chotte, M. Thuita, and D. Lesueur. 2014. Effects of cropping systems, maize residues application and N fertilization on promiscuous soybean yields and diversity of native rhizobia in Central Kenya. *Pedobiologia (Jena).*
- Hirose, T. 2011. Nitrogen use efficiency revisited. *Oecologia* 166(4): 863–867.
- Hobbs, P.R. and K.D. Sayre. 2001. Managing experimental breeding trials. p. 48–58. *In* Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I., McNab, A. (eds.), *Application of physiology in wheat breeding*. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Hobbs, P.R., K. Sayre, and R. Gupta. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philos. Trans. Biol. Sci.* 363(1491): 543–555.
- Hodge, A. 2013. Plant uptake. *In* Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.
- Högy, P. and A. Fangmeier. 2008. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on grain quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 48(3): 580–591.
- Holst, J., R. Brackin, N. Robinson, P. Lakshmanan, and S. Schmidt. 2012. Soluble inorganic and organic nitrogen in two Australian soils under sugarcane cultivation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 155: 16–26.

- Howard, D.D., M.A. Newman, M.E. Essington, and W.M. Percell. 2002. Nitrogen fertilization of conservation-tilled wheat. II. Timing of application of two nitrogen sources. *J. Plant Nutr.* 25(6): 1329–1339.
- Husson, F., S. Le, and J. Pagès. 2011. *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Husson, F., J. Josse, S. Le, and J. Mazet. 2014. *FactoMineR: Multivariate exploratory data analysis and data mining with R. In R package version 1.26.*
- Inselsbacher, E. 2014. Recovery of individual soil nitrogen forms after sieving and extraction. *Soil Biol. Biochem.* 71: 76–86.
- IUSS Working Group WRB. 2007. *World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103.* FAO, Roma.
- Jian-She, Z., Z. Fu-Ping, Y. Jin-Hua, W. Jin-Ping, C. Ming-Li, C.-F. Li, and C.-G. Cao. 2011. Emissions of N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub>, and nitrogen leaching from direct seeded rice under different tillage practices in central China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140(1-2): 164–173.
- Jiménez-Juárez, J., G. Arámbula-Villa, E. de la Cruz-Lázaro, and M. Aparicio-Trapala. 2012. Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Univ. y Cienc.* 28(2): 145–152.
- Jobling, S. 2004. Improving starch for food and industrial applications. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7(2): 210–8.
- Jones, D.L., J.R. Healey, V.B. Willett, J.F. Farrar, and A. Hodge. 2005. Dissolved organic nitrogen uptake by plants—an important N uptake pathway? *Soil Biol. Biochem.* 37(3): 413–423.
- Jouquet, P., Y. Capowiez, N. Bottinelli, and S. Traoré. 2014. Potential of Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) for identifying termite species. *Eur. J. Soil Biol.* 60(0): 49–52.
- Kassam, A., T. Friedrich, F. Shaxson, and J. Pretty. 2009. The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7(4): 292–320.
- Kells, J.J., R.L. Blevins, C.E. Rieck, and W.M. Muir. 1980. Effect of pH, nitrogen, and tillage on weed control and corn (*Zea mays*) yield. *Weed Sci.* 28(6): 719–722.
- Keselman, H.J., J. Algina, R.K. Kowalchuk, and R.D. Wolfinger. 1999. The analysis of repeated measurements: A comparison of mixed-model satterthwaite f tests and a nonpooled adjusted degrees of freedom multivariate test. *Commun. Stat. - Theory Methods* 28(12): 2967–2999.
- Khaledian, M.R., J.C. Mailhol, P. Ruelle, I. Mubarak, and F. Maraux. 2011. Nitrogen balance and irrigation water productivity for corn, sorghum and durum wheat under direct seeding into mulch when compared with conventional tillage in the southeastern France. *Irrig. Sci.* 29(5): 413–422.
- Kingwell, R. and A. Fuchsbichler. 2011. The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal. *Agric. Syst.* 104(7): 513–521.

- Kristensen, H., K. Deboz, and G. McCarty. 2003. Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Soil Biol. Biochem.* 35(7): 979–986.
- Kudo, N. and H. Fujiyama. 2010. Responses of halophyte *salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. *Pedosphere* 20(3): 311–317.
- De la Horra, A.E., M.L. Seghezo, E. Molfese, P.D. Ribotta, and A.E. León. 2012. Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia* 29(2): 1–10.
- Lamb, J.A., G.A. Peterson, and C.R. Fenster. 1985. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation as affected by tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(6): 1441–1446.
- Le, S., J. Josse, and F. Husson. 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *J. Stat. Softw.* 25(1): 1–18.
- Lewis, J.E., J. Rowland, and A. Nadeau. 1998. Estimating maize production in Kenya using NDVI: Some statistical considerations. *Int. J. Remote Sens.* 19(13): 2609–2617.
- Li, C., S. Frohling, and K. Butterbach-Bahl. 2005. Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Clim. Change* 72(3): 321–338.
- Li, S.-X., Z.-H. Wang, and B.A. Stewart. 2013. Chapter five – Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. p. 205–397. *In* *Advances in Agronomy*.
- Liang, W., Y. Shi, H. Zhang, J. Yue, and G.-H. Huang. 2007. Greenhouse gas emissions from northeast china rice fields in fallow season. *Pedosphere* 17(5): 630–638.
- Limon-Ortega, A., K.D. Sayre, R.A. Drijber, and C.A. Francis. 2002. Soil attributes in a furrow-irrigated bed planting system in northwest Mexico. *Soil Tillage Res.* 63(3–4): 123–132.
- Limon-Ortega, A., B. Govaerts, J. Deckers, and K.D. Sayre. 2006. Soil aggregate and microbial biomass in a permanent bed wheat–maize planting system after 12 years. *F. Crop. Res.* 97(2–3): 302–309.
- Limon-Ortega, A., B. Govaerts, and K.D. Sayre. 2009. Crop rotation, wheat straw management, and chicken manure effects on soil quality. *Agron. J.* 101(3): 1–7.
- Lindsay, J.I., S. Osei-Yeboah, and F.A. Gumbs. 1983. Effect of different tillage methods on maize growth on a tropical inceptisol with impeded drainage. *Soil Tillage Res.* 3(2): 185–196.
- Lindsey, L.E., K. Steinke, D.D. Warncke, and W.J. Everman. 2013. Nitrogen release from weed residue. *Weed Sci.* 61(2): 334–340.
- Liu, X., J. Liu, B. Xing, S.J. Herbert, K. Meng, X. Han, and X. Zhang. 2005. Effects of long-term continuous cropping, tillage, and fertilization on soil organic carbon and nitrogen of black soils in China. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36(9–10): 1229–1239.

- Liu, J., H. Liu, S. Huang, X. Yang, B. Wang, X. Li, and Y. Ma. 2010. Nitrogen efficiency in long-term wheat–maize cropping systems under diverse field sites in China. *F. Crop. Res.* 118(2): 145–151.
- Liu, K. and P. Wiatrak. 2012. Corn production response to tillage and nitrogen application in dry-land environment. *Soil Tillage Res.* 124: 138–143.
- Lobell, D.B. 2007. The cost of uncertainty for nitrogen fertilizer management: A sensitivity analysis. *F. Crop. Res.* 100(2-3): 210–217.
- López-Bellido, L., M. Fuentes, J.E. Castillo, and F.J. López-Garrido. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *F. Crop. Res.* 57(3): 265–276.
- López-Bellido, R.J. and L. López-Bellido. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *F. Crop. Res.* 71(1): 31–46.
- López-Bellido, L., R.J. López-Bellido, J.E. Castillo, and F.J. López-Bellido. 2001. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *F. Crop. Res.* 72(3): 197–210.
- López-Bellido, L., V. Muñoz-Romero, J. Benítez-Vega, P. Fernández-García, R. Redondo, and R.J. López-Bellido. 2012. Wheat response to nitrogen splitting applied to a Vertisols in different tillage systems and cropping rotations under typical Mediterranean climatic conditions. *Eur. J. Agron.* 43: 24–32.
- Lozano-Alejo, N., G.V. Carrillo, K. Pixley, and N. Palacios-Rojas. 2007. Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8(3): 385–389.
- Lupwayi, N.Z., G.W. Clayton, J.T. O'Donovan, K.N. Harker, T.K. Turkington, and Y.K. Soon. 2006. Nitrogen release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 86(1): 11–19.
- Major, B.J., P.S. Kettlewell, and R.K. Scott. 2001. Mechanisms leading to excess alpha -amylase activity in wheat (*Triticum aestivum*, L) grain in the U.K. *J. Cereal Sci.* 33(3): 313–329.
- Martens, D.A. 2001. Nitrogen cycling under different soil management systems. *Adv. Agron.* 70: 143–192.
- Martínez Cruz, E., H.E. Espitia Rangel, Eduardo Villaseñor Mir, and R.J. Peña. 2012. Contribución de los loci Glu-B1, Glu-D1 y Glu-B3 a la calidad de la masa del trigo harinero. *Rev. Fitotec. Mex.* Abril-Juni: 135–142.
- Martinez-Herrera, M.L. and P.A. Lachance. 1979. Corn (*Zea mays*) kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. *J. Food Sci.* 44(2): 377–380.
- Matsuo, R.R. and J.E. Dexter. 1980. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Can. J. Plant Sci.* 60(1): 49–53.



- Mauricio, R.A.S., J. de D.C. Figueroa, S. Taba, M. de la L.V. Reyes, F.S. Rincón, and A.G. Mendoza. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* julio-sept: 213–222.
- McConkey, B.G., D. Curtin, C.A. Campbell, S.A. Brandt, and F. Selles. 2002. The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. *Can. J. Soil Sci.* 82(4): 489–498.
- McInnes, K.J., R.B. Ferguson, D.E. Kissel, and E.T. Kanemasu. 1986. Ammonia Loss from Applications of Urea-Ammonium Nitrate Solution to Straw Residue I. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(4): 969–974.
- McNeill, A. and M. Unkovich. 2007. The nitrogen cycle in terrestrial ecosystems. p. 37–64. *In* Marschner, P., Rengel, Z. (eds.), *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Soil Biology.* Springer Berlin Heidelberg.
- Menelik, G., R.B. Reneau, and D.C. Martens. 1994. Corn yield and nitrogen uptake as influenced by tillage and applied nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17(6): 911–931.
- Merrill, A.L. and B.K. Watt. 1973. Energy value of foods: basis and derivation. *Agriculture Handbook No. 74.* . US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Miao, Y., D.J. Mulla, P.C. Robert, and J.A. Hernandez. 2006. Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection. *Agron. J.* 98(1): 129–140.
- Milus, E.A. 1994. Effect of foliar fungicides on disease control, yield and test weight of soft red winter wheat. *Crop Prot.* 13(4): 291–295.
- Mkhabela, M.S., M.S. Mkhabela, and N.N. Mashinini. 2005. Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. *Agric. For. Meteorol.* 129(1-2): 1–9.
- Mkhabela, M.S., A. Madani, R. Gordon, D. Burton, D. Cudmore, A. Elmi, and W. Hart. 2008. Gaseous and leaching nitrogen losses from no-tillage and conventional tillage systems following surface application of cattle manure. *Soil Tillage Res.* 98(2): 187–199.
- Mkhabela, M.S., P. Bullock, S. Raj, S. Wang, and Y. Yang. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agric. For. Meteorol.* 151(3): 385–393.
- Moriondo, M., F. Maselli, and M. Bindi. 2007. A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. *Eur. J. Agron.* 26(3): 266–274.
- Morris, C. 2002. Puroindolines: The molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Mol. Biol.* 48(5-6): 633–647.
- Morris, C.F., B. Paszczynska, A.D. Bettge, and G.E. King. 2007. A critical examination of the sodium dodecyl sulfate (SDS) sedimentation test for wheat meals. *J. Sci. Food Agric.* 87(4): 607–615.

- Myrold, D.D. 1998. Microbial nitrogen transformations. p. 259–294. *In* Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G., Zuberer, D.A. (eds.), *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Nasholm, T., A. Ekblad, A. Nordin, R. Giesler, M. Hogberg, and P. Hogberg. 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature* 392(6679): 914–916.
- Neethirajan, S., D.S. Jayas, and N.D.G. White. 2007. Detection of sprouted wheat kernels using soft X-ray image analysis. *J. Food Eng.* 81(3): 509–513.
- Niño-Medina, G., E. Carvajal-Millán, J. Lizardi, A. Rascon-Chu, J.A. Marquez-Escalante, A. Gardea, A.L. Martinez-Lopez, and V. Guerrero. 2009. Maize processing waste water arabinoxylans: Gelling capability and cross-linking content. *Food Chem.* 115(4): 1286–1290.
- Nyborg, M. and S.S. Malhi. 1989. Effect of zero and conventional tillage on barley yield and nitrate nitrogen content, moisture and temperature of soil in north-central Alberta. *Soil Tillage Res.* 15(1-2): 1–9.
- Oakes, J., D. Brackenridge, R. Colletti, M. Daley, D.J. Hawkins, H. Xiong, J. Mai, S.E. Screen, D. Val, K. Lardizabal, K. Gruys, and J. Deikman. 2011. Expression of fungal diacylglycerol acyltransferase2 genes to increase kernel oil in maize. *Plant Physiol.* 155(3): 1146–1157.
- Oikeh, S.O., J.G. Kling, and A.E. Okoruwa. 1998. Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the west african moist savanna. *Crop Sci.* 38(4): 1056–1161.
- Oorts, K., F. Laurent, B. Mary, P. Thiebeau, J. Labreuche, and B. Nicolardot. 2007. Experimental and simulated soil mineral N dynamics for long-term tillage systems in northern France. *Soil Tillage Res.* 94(2): 441–456.
- Ortega, R.A., D.G. Westfall, and G.A. Peterson. 2005. Climatic gradient, cropping system, and crop residue impacts on carbon and nitrogen mineralization in no-till soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36(19-20): 2875–2887.
- Ortiz, R., H.-J. Braun, J. Crossa, J. Crouch, G. Davenport, J. Dixon, S. Dreisigacker, E. Duveiller, Z. He, J. Huerta, A. Joshi, M. Kishii, P. Kosina, Y. Manes, M. Mezzalama, A. Morgounov, J. Murakami, J. Nicol, G. Ortiz Ferrara, J.I. Ortiz-Monasterio, T. Payne, R.J. Peña, M. Reynolds, K. Sayre, R. Sharma, R. Singh, J. Wang, M. Warburton, H. Wu, and M. Iwanaga. 2008. Wheat genetic resources enhancement by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). *Genet. Resour. Crop Evol.* 55(7): 1095–1140.
- Otteson, B.N., M. Mergoum, and J.K. Ransom. 2008. Seeding rate and nitrogen management on milling and baking quality of hard red spring wheat genotypes. *Crop Sci.* 48: 749–755.
- Palm, C., H. Blanco-Canqui, F. DeClerck, L. Gatere, and P. Grace. 2013. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agric. Ecosyst. Environ.* (0).
- Pandey, C.B., S.K. Chaudhari, J.C. Dagar, G.B. Singh, and R.K. Singh. 2010. Soil N mineralization and microbial biomass carbon affected by different tillage levels in a hot humid tropic. *Soil Tillage Res.* 110(1): 33–41.

- Panettieri, M., I. Carmona, S. Melero, E. Madejón, and H. Gómez-Macpherson. 2013. Effect of permanent bed planting combined with controlled traffic on soil chemical and biochemical properties in irrigated semi-arid Mediterranean conditions. *CATENA* 107(0): 103–109.
- Pasha, I., F.M. Anjum, and C.F. Morris. 2010. Grain hardness: A major determinant of wheat quality. *Food Sci. Technol. Int.* 16(6): 511–522.
- Peigné, J., M. Messmer, A. Aveline, A. Berner, P. Mäder, M. Carcea, V. Narducci, M.-F. Samson, I. Thomsen, F. Celette, and C. David. 2014. Wheat yield and quality as influenced by reduced tillage in organic farming. *Org. Agric.* 4(1): 1–13.
- Pekrun, C., H. Kaul, and W. Claupein. 2003. Soil tillage for sustainable nutrient management. p. 83–113. *In* El Titi, A. (ed.), *Soil Tillage in Agrosystems*. CRC Press, Boca Raton.
- Pelster, D.E., F. Larouche, P. Rochette, M.H. Chantigny, S. Allaire, and D.A. Angers. 2011. Nitrogen fertilization but not soil tillage affects nitrous oxide emissions from a clay loam soil under a maize–soybean rotation. *Soil Tillage Res.* 115–116: 16–26.
- Peña, R.J., A. Amaya, S. Rajaram, and A. Mujeeb-Kazi. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cereal Sci.* 12(2): 105–112.
- Peña, R.J., R. Trethowan, W.H. Pfeiffer, and M. Van Ginkel. 2002. Quality (end-use) improvement in wheat. *J. Crop Prod.* 5(1-2): 1–37.
- Peña, R.J. 2007. Current and future trends of wheat quality needs. p. 411–424. *In* Buck, H.T., Nisi, J.E., Salomón, N. (eds.), *Wheat Production in Stressed Environments SE - 51. Developments in Plant Breeding*. Springer Netherlands.
- Pérez-Magariño, S. and M.L. González-Sanjosé. 2003. Application of absorbance values used in wineries for estimating CIELAB parameters in red wines. *Food Chem.* 81(2): 301–306.
- Poblaciones, M.J., L. López-Bellido, and R.J. López-Bellido. 2009. Field estimation of technological bread-making quality in wheat. *F. Crop. Res.* 112(2–3): 253–259.
- Power, J. and G. Peterson. 1998. Nitrogen transformations, utilization, and conservation as affected by fallow tillage method. *Soil Tillage Res.* 49(1-2): 37–47.
- Prasad, P.V. V, S.A. Staggenborg, and L.R. Ristic. 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. p. 301–355. *In* Reddy, V., Saseendran, S.A., Yu Qiang, Z. (eds.), *Advances in agricultural systems modeling series 1*. ASA, CSCA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Preciado-Ortiz, R.E., S. García-Lara, S. Ortiz-Islas, A. Ortega-Corona, and S.O. Serna-Saldivar. 2013. Response of recurrent selection on yield, kernel oil content and fatty acid composition of subtropical maize populations. *F. Crop. Res.* 142: 27–35.
- R Core Team. 2014. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- Ramya, P., A. Chaubal, K. Kulkarni, L. Gupta, N. Kadoo, H.S. Dhaliwal, P. Chhuneja, M. Lagu, and V. Gupt. 2010. QTL mapping of 1000-kernel weight, kernel length, and kernel width in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Appl. Genet.* 51(4): 421–429.
- Rangel, M.E., O.A. Muñoz, C.G. Vázquez, S.J. Cuevas, C.J. Merino, and C.S. Miranda. 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia enero-febr:* 53–61.
- Rao, A.C.S., J.L. Smith, V.K. Jandhyala, R.I. Papendick, and J.F. Parr. 1993. Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. *Agron. J.* 85(5): 1023–1028.
- Rasheed, A., T. Mahmood, A. Gul-Kazi, and A. Mujeeb-Kazi. 2013. An overview of omics for wheat grain quality improvement. p. 307–344. *In* Hakeem, K.R., Ahmad, P., Ozturk, M. (eds.), *Crop Improvement SE - 10*. Springer US.
- Reeves, D.W., C.W. Wood, and J.T. Touchton. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agron. J.* 85(1): 98–106.
- Rharrabti, Y., L. García del Moral, D. Villegas, and C. Royo. 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments. *F. Crop. Res.* 80(2): 141–146.
- Rieger, S., W. Richner, B. Streit, E. Frossard, and M. Liedgens. 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilisation. *Eur. J. Agron.* 28(3): 405–411.
- Robertson, G.P. and R.R. Harwood. 2013. Agriculture, sustainable. p. 111–118. *In* Levin, S. (ed.), *A B T - Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)*. Academic Press, Waltham.
- Rochette, P., D.A. Angers, M.H. Chantigny, J.D. MacDonald, N. Bissonnette, and N. Bertrand. 2009. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. *Soil Tillage Res.* 103(2): 310–315.
- Roels, S.P., G. Cleemput, X. Vandewalle, M. NYS, and J.A. Delcur. 1993. Bread volume potential of variable-quality flours with constant protein level as determined by factors governing mixing time and absorption levels. *Cereal Chem.* 70(3): 318–323.
- Ruisi, P., D. Giambalvo, S. Saia, G. Di Miceli, A.S. Frenda, A. Plaia, and G. Amato. 2014. Conservation tillage in a semiarid Mediterranean environment: Results of 20 years of research. *Ital. J. Agron.* 9(1): 1–7.
- Runge, C. 2003. On the development of nations and sustainable agriculture. *Round Table* 92(371): 533–540.
- Sabo, M., D. Jug, and Ž. Ugarčić-Hardi. 2006. Effect of reduced tillage on wheat quality traits. *Acta Aliment.* 35(3): 269–279.
- Sahin, S. and S. Sumnu. 2006. Rheological properties of foods. p. 39–105. *In* *Physical Properties of Foods SE - 2*. Food Science Text Series. Springer New York.

- Sainju, U.M., A. Lenssen, T. Caesar-Thonthat, and J. Waddell. 2007. Dryland plant biomass and soil carbon and nitrogen fractions on transient land as influenced by tillage and crop rotation. *Soil Tillage Res.* 93(2): 452–461.
- Sainz Rozas, H.R., H. Echeverría, G. Studdert, and F. Andrade. 1997a. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Cienc. del suelo* 15: 12–16.
- Sainz Rozas, H.R., H. Echeverría, G. Studdert, and F. Andrade. 1997b. Efecto del inhibidor de la ureasa (nBTPT) y del momento de fertilización sobre las transformaciones del nitrógeno en el suelo bajo siembra directa de maíz. *Cienc. del suelo* (15): 6–11.
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, and L.I. Picone. 2001. Denitrification in maize under no-tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1314–1323.
- Salinas, M.Y., F. Bustos, and J.H. Gomez. 1992. Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Arch. Latinoam. Nutr.* 42(1): 59–63.
- Salinas, Y.M., O.N. Gómez, J.E.M. Cervantes, M.M. Sierra, A.C. Palafox, E.M. Betanzos, and B.E. Coutiño. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* 1(4): 509–523.
- Salinas, M.Y., C.F.J. Cruz, O.S.A. Díaz, and G.F. Castillo. 2012. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1): 33 – 41.
- Salinas, M.Y., C.F. Aragón, M.C. Ybarra, V.J. Aguilar, L.B. Altunar, and M.E. Sosa. 2013. Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1): 23 – 31.
- Salmanowicz, B.P., T. Adamski, M. Surma, Z. Kaczmarek, K. Karolina, A. Kuczyńska, Z. Banaszak, B. Lugowska, M. Majcher, and W. Obuchowski. 2012. The relationship between grain hardness, dough mixing parameters and bread-making quality in winter wheat. *Int. J. Mol. Sci.* 13(4): 4186–201.
- Sanginga, N., J. Okogun, B. Vanlauwe, and K. Dashiell. 2002. The contribution of nitrogen by promiscuous soybeans to maize based cropping the moist savanna of Nigeria. *Plant Soil* 241(2): 223–231.
- SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Sayre, K. and P. Hobbs. 2004. The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. p. 337–355. *In Sustainable Agriculture and the International Rice-Wheat System. Books in Soils, Plants, and the Environment.* CRC Press.
- Schomberg, H.H., J.L. Steiner, and P.W. Linger. 1994. Decomposition and Nitrogen Dynamics of Crop Residues: Residue Quality and Water Effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 372–381.
- Schulten, H.-R. and M. Schnitzer. 1997. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biol. Fertil. Soils* 26(1): 1–15.

- Sefa-Dedeh, S., B. Cornelius, E. Sakyi-Dawson, and E.O. Afoakwa. 2004. Effect of nixtamalization on the chemical and functional properties of maize. *Food Chem.* 86(3): 317–324.
- Shaver, T.M., R. Khosla, and D.G. Westfall. 2011. Evaluation of two crop canopy sensors for nitrogen variability determination in irrigated maize. *Precis. Agric.* 12(6): 892–904.
- Shaw, L., M. Lubell, and C. Ohmart. 2011. The evolution of local partnerships for sustainable agriculture. *Soc. Nat. Resour.* 24(10): 1078–1095.
- Shewry, P.R. and N.G. Halford. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *J. Exp. Bot.* 53(370): 947–958.
- Singh, C.B., D.S. Jayas, J. Paliwal, and N.D.G. White. 2010a. Detection of midge-damaged wheat kernels using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging. *Biosyst. Eng.* 105(3): 380–387.
- Singh, V.K., B.S. Dwivedi, A.K. Shukla, and R.P. Mishra. 2010b. Permanent raised bed planting of the pigeonpea–wheat system on a Typic Ustochrept: Effects on soil fertility, yield, and water and nutrient use efficiencies. *F. Crop. Res.* 116(1–2): 127–139.
- Singh, N., A. Kaur, and K. Shevkani. 2014. Maize: grain structure, composition, milling, and starch characteristics. p. 65–76. *In* Chaudhary, D.P., Kumar, S., Langyan, S. (eds.), *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses SE - 5*. Springer India.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy* (USDA-Natural Resources Conservation Service, Ed.). 11th ed. Washington, DC.
- Solari, F., J. Shanahan, R. Ferguson, J. Schepers, and A. Gitelson. 2008. Active Sensor Reflectance Measurements of Corn Nitrogen Status and Yield Potential. *Agron. J.* 100(3): 571–579.
- Spargo, J., M. Alley, R. Follett, and J. Wallace. 2008. Soil nitrogen conservation with continuous no-till management. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 82(3): 283–297.
- Sutton, M.A., A. Bleeker, C.M. Howard, M. Bekunda, B. Grizzetti, W. de Vries, H.J.M. van Grinsven, Y.P. Abrol, T.K. Adhya, G. Billen, E.A. Davidson, A. Datta, R. Diaz, J.W. Erisman, X.J. Liu, O. Oenema, C. Palm, N. Raghuram, S. Reis, R.W. Scholz, T. Sims, H. Westhoek, and F.S. Zhang. 2013. *Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution*.
- Technicon Industrial Systems. 1977. *Industrial Method No. 334-74 W/B. Individual/Simultaneous determination of N and/or P in Bd acid digests*. Tarryton, NY.
- Thomason, W.E., S.B. Phillips, P.H. Davis, J.G. Warren, M.M. Alley, and M.S. Reiter. 2011. Variable nitrogen rate determination from plant spectral reflectance in soft red winter wheat. *Precis. Agric.* 12(5): 666–681.
- Thomsen, I.K. and B.T. Christensen. 2007. Fertilizer 15N recovery in cereal crops and soil under shallow tillage. *Soil Tillage Res.* 97(1): 117–121.

- Trichard, A., A. Alignier, B. Chauvel, and S. Petit. 2013. Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 179(0): 179–186.
- Trocchi, A. and N. di Fonzo. 1999. Relationship between kernel size features and test weight in *Triticum durum*. *Cereal Chem. J.* 76(1): 45–49.
- Tullberg, J.N., D.F. Yule, and D. McGarry. 2007. Controlled traffic farming—From research to adoption in Australia. *Soil Tillage Res.* 97(2): 272–281.
- Tullberg, J. 2010. Tillage, traffic and sustainability—A challenge for ISTRO. *Soil Tillage Res.* 111(1): 26–32.
- Varco, J.J., W.W. Frye, M.S. Smith, and C.T. MacKown. 1993. Tillage effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57(3): 750–756.
- Vázquez, C.M.G., C.J.P. Pérez, C.J.M. Hernández, D.M. de la L. Marrufo, and R.E. Martínez. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(spe4): 49–56.
- Vázquez, D., A.G. Berger, M. Cuniberti, C. Bainotti, M.Z. de Miranda, P.L. Scheeren, C. Jobet, J. Zúñiga, G. Cabrera, R. Verges, and R.J. Peña. 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *J. Cereal Sci.* 56(2): 196–203.
- Vázquez-Carrillo, G., S. García-Lara, Y. Salinas-Moreno, D. Bergvinson, and N. Palacios-Rojas. 2011. Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the Highlands of Mexico. *Plant Foods Hum. Nutr.* 66(2): 203–208.
- Verachtert, E., B. Govaerts, K. Lichter, K.D. Sayre, J.M. Ceballos-Ramirez, M.L. Luna-Guido, J. Deckers, and L. Dendooven. 2009. Short term changes in dynamics of C and N in soil when crops are cultivated on permanent raised beds. *Plant Soil* 320(1-2): 281–293.
- Verhulst, N., B. Govaerts, K.D. Sayre, J. Deckers, I.M. François, and L. Dendooven. 2008. Using NDVI and soil quality analysis to assess influence of agronomic management on within-plot spatial variability and factors limiting production. *Plant Soil* 317(1-2): 41–59.
- Verhulst, N., B. Govaerts, E. Verachtert, M. Mezzalama, P.C. Wall, A. Chocobar, J. Deckers, and K.D. Sayre. 2010a. Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems ? p. 137–208. *In* Lal, R., Stewart, B.A. (eds.), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Verhulst, N., A. Carrillo-García, C. Moeller, R. Trethowan, K.D. Sayre, and B. Govaerts. 2010b. Conservation agriculture for wheat-based cropping systems under gravity irrigation: increasing resilience through improved soil quality. *Plant Soil* 340(1-2): 467–479.
- Verhulst, N., B. Govaerts, V. Nelissen, K.D. Sayre, J. Crossa, D. Raes, and J. Deckers. 2011. The effect of tillage, crop rotation and residue management on maize and wheat growth and development evaluated with an optical sensor. *F. Crop. Res.* 120(1): 58–67.

- Vetsch, J.A. and G.W. Randall. 2004. Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage. *Agron. J.* 96(2): 502–509.
- Videnović, Ž., G. Vasić, and F. Kolčar. 1986. Effect of fertilizers and soil tillage on corn yield under dry farming and irrigated conditions. *Soil Tillage Res.* 8: 113–118.
- Viswakumar, A., R.W. Mullen, A. Sundermeier, and C.E. Dygert. 2008. Tillage and nitrogen application methodology impacts on corn grain yield. *J. Plant Nutr.* 31(11): 1963–1974.
- Vivek, B.S., A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afryie, and A.O. Diallo. 2008. Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. CIMMYT, México, D.F.
- Waliszewski, K., Y. Estrada, and V. Pardi. 2004. Sensory properties changes of fortified nixtamalized corn flour with lysine and tryptophan during storage. *Plant Foods Hum. Nutr.* 59(2): 51–54.
- Wall, E. and B. Smit. 2005. Climate change adaptation in light of sustainable agriculture. *J. Sustain. Agric.* 27(1): 113–123.
- Wang, S., J. Wang, J. Yu, and S. Wang. 2014. A comparative study of annealing of waxy, normal and high-amylose maize starches: The role of amylose molecules. *Food Chem.* 164: 332–338.
- Wilson, D.O. and W.L. Hargrove. 1986. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(5): 1251–1254.
- Woźniak, A. and M. Gos. 2014. Yield and quality of spring wheat and soil properties as affected by tillage system. *Plant, Soil Environ.* 60(4): 141–145.
- Wrolstad, R. and D. Smith. 2010. Color analysis. p. 573–586. *In* Nielsen, S.S. (ed.), *Food Analysis SE - 32. Food Science Texts Series.* Springer US.
- Xiao, X.P., F.L. Wu, F.Q. Huang, Y. Li, G.F. Sun, Q. Hu, Y.Y. He, F. Chen, and G.L. Yang. 2007. Greenhouse air emission under different pattern of rice-straw returned to field in double rice area. *Res. Agric. Mod.* 28(5): 629–632.
- Yusuf, A.A., R.C. Abaidoo, E.N.O. Iwuafor, O.O. Olufajo, and N. Sanginga. 2009. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129(1-3): 325–331.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14(6): 415–421.
- Zhang, F., A.F. Mackenzie, and D.L. Smith. 1993. Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. *J. Plant Nutr.* 16(7): 1317–1337.
- Zhang, X., L. Ma, F.S. Gilliam, Q. Wang, and C. Li. 2012. Effects of raised-bed planting for enhanced summer maize yield on rhizosphere soil microbial functional groups and enzyme activity in Henan Province, China. *F. Crop. Res.* 130(0): 28–37.



- Zhang, H.-L., R. Lal, X. Zhao, J.-F. Xue, and F. Chen. 2014. Opportunities and challenges of soil carbon sequestration by conservation agriculture in China. p. 1–36. *In Advances in Agronomy*, Vol 124. Elsevier Inc.
- Zhao, D., L. Wang, and Y. Lei. 2012. Correlation among SDS sedimentation value, swelling index of glutenin and solvent retention capacity of spring wheat. *Not. Sci. Biol.* 4(2): 132–135.
- Zheng, S., P. Byrne, S. Haley, X. Shan, and S. Reid. 2010. Glutenin allelic variation and 1AL.1RS effects on dough mixing properties of wheat grown in irrigated and rainfed environments. *Euphytica* 176(3): 357–369.