



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

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

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS**

## **EFFECTO DE LABRANZA, MANEJO DE RASTROJO Y FERTILIZACION DE NITROGENO SOBRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE TRIGO**

VICTORINO OSORIO HERNANDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

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

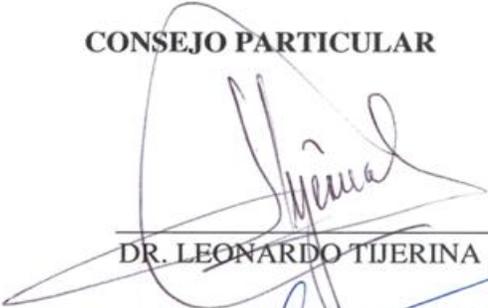
2011

La presente tesis titulada: **EFECTO DE LABRANZA, MANEJO DE RASTROJO Y FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO SOBRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE TRIGO**, realizada por el alumno: Victorino Osorio Hernández, 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  
HIDROCIENCIAS**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



DR. LEONARDO TIJERINA CHÁVEZ

DIRECTOR DE TESIS:



DR. BRAM GOVAERTS

ASESOR:



MC. NELE VERHULST

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2010.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Bram Govaerts por abrirme la puerta a este viaje, por su paciencia, además de su preocupación por la formación de sus estudiantes en el quehacer científico.

Al Dr. Leonardo Tijerina Chávez por su visión crítica del trabajo, orientación y por brindarme sus conocimientos académicos.

A la MC. Nele Verhulst por compartirme su conocimiento científico, paciencia e interés por enseñar, las críticas, comentarios y sugerencias fueron fundamentales.

Agradezco a M. Ruiz Cano, J. Gutiérrez Angulo, J. Sánchez López, Á. Zermeño, C. Rascón, B. Martínez Ortiz, J. Mendoza, N. Moreno por la asistencia técnica, por compartir sus ideas, apoyo y amistad.

A Rosalba, Andrés y a la Familia Hernández en Texcoco gracias. En Sonora Jessy, Jazmín y Gaby gracias.

A mis padres Agustín Osorio y Guadalupe Hernández por darme los fundamentos de la vida. A mis hermanos Germán, Claudina, Rosaura, Isabel, Eduardo, Patricia, Eulogia, Betty y a toda la Familia Osorio por acompañarme en todo momento, Dios los bendiga.

A la gente del Colegio de Postgraduados y al equipo de Agricultura de Conservación CIMMYT-México por su ayuda y atención.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a todos los mexicanos que contribuyen para financiar este tipo de proyectos.

Gracias a Dios por estos años tan maravillosos y por los que vendrán.

## **EFFECTO DE LABRANZA, MANEJO DE RASTROJO Y FERTILIZACION DE NITROGENO SOBRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE TRIGO**

**Victorino Osorio Hernández, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2011**

Se estudió la influencia que ejercen los residuos, el efecto de los diferentes tipos de labranza y la fertilización, sobre el contenido de humedad, desarrollo y rendimiento de trigo. Se incluyen resultados de dos ensayos, localizados en la parte noroeste de México, en el Centro Experimental Norman E. Borlaug en un suelo Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic)), bajo en materia orgánica (<1%), en condiciones semi-áridas. Se comparan prácticas agronómicas que difieren en tipo de labranza (camas permanentes y camas convencionales), manejo de rastrojo (dejar, empacar o quemar), dosis de fertilización de N bajo diferentes regímenes de riego y con rotación maíz-trigo. Se midieron el contenido de humedad en el perfil (0-60 cm) antes y después de cada riego, el desarrollo del cultivo dos veces por semana (NDVI) y el rendimiento de grano. En el primer ensayo (iniciado en 1991), se observa un menor contenido de humedad en el perfil del suelo en camas convencionales residuo incorporado y camas permanentes residuo quemado comparado con camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos. Cuando no se retienen residuos la disponibilidad de agua en el suelo disminuye afectando el crecimiento del cultivo de trigo. El NDVI disminuyó y el rendimiento fue afectado cuando se siembra en camas permanentes residuo quemado y camas convencionales residuo incorporado, comparado con las camas permanentes reteniendo residuos. El segundo ensayo (iniciado en 2006) tiene dos ambientes: uno con riego completo el otro con riego reducido. En el ambiente de escasez de agua: riego reducido (un riego de presembrado y uno de auxilio) se observa mayor contenido de humedad en el perfil de camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos, comparado a camas convencionales incorporan residuos. Los valores de NDVI son más altos durante la formación de grano sembrado en camas permanentes comparado a camas convencionales. Bajo riego completo, el NDVI es más alto en camas permanentes durante la formación de grano que en camas convencionales. La retención de humedad en el suelo es mayor cuando se siembra en camas permanentes reteniendo residuos que en camas convencionales incorporando residuos. El rendimiento es mayor o igual en camas permanentes reteniendo residuos que en camas convencionales, la diferencia es que en camas permanentes se reducen costos de producción permitiendo mayor rentabilidad.

**Palabras claves:** Agricultura de Conservación, cama permanente, manejo de residuos.

## **EFFECT OF FARMING, HANDLING OF STRUBBLE AND NITROGEN FERTILIZATION ON THE HUMIDITY CONTENT AND DEVELOPMENT OF THE WHEAT CULTURE**

**Victorino Osorio Hernández, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2011**

To study the influence of different tillage and fertilization treatments as well as retaining straw, on soil moisture content and wheat yield and development. Results of experiments conducted in semi-arid conditions, in North-eastern Mexico at the Norman E. Borlaug Experimental Centre are included. The soil type is Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic)) and is low in organic material (<1%). Different types of agronomic practices relating to differences in tillage (On both conventional and permanent beds), straw management (keep, pack in bales or burn), and N fertilization dosage under different irrigated systems with maize-wheat crop rotations. Humidity content was measured in the soil profile (0-60cm) before and after each irrigation. Crop development was measured two times a week (NDVI). Grain yield was also measured. In the first experiment (commenced in 1991), it was observed that there is reduced soil moisture content in the soil profile for conventional beds with incorporated residue and permanent beds with burnt residue in comparison to permanent beds with (partially) retained straw. When straw is not retained, soil water availability is reduced affecting wheat growth. It was observed that the NDVI value was reduced and yield was affected when sowing in permanent beds with burnt residue/straw and conventional beds with incorporated residue/straw in comparison to permanent beds with retained residues. The second experiment (initiated in 2006) has two environments: One with full irrigation and another with reduced irrigation. In environments in which water shortages are common: Reduced irrigation (with one irrigation treatment occurring prior to sowing and a second irrigation treatment). It is observed that there is a higher moisture content in the soil profiles derived from permanent beds which have (partially) retained straw, in comparison to conventional beds which have incorporated residues/straw. NDVI values are higher during the formation of grain sown in permanent beds compared to conventional beds. Under complete irrigation systems, NDVI values are higher in permanent beds than in conventional beds. The humidity content in the soil is higher when crops are sown in permanent beds with retained residues than in conventional beds with incorporated residues. Yield is found to be equal to or higher in permanent beds which have retained residues than in conventional beds that incorporate residues, the difference being that permanent beds allow for the reduction of production costs, allowing higher returns.

**Key words:** Conservation Agriculture, permanent beds, straw management.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.- Objetivos.	<b>3</b>
1.1 Objetivo general	<b>3</b>
1.1.1 Objetivos específicos	<b>3</b>
1.2 Hipótesis	<b>4</b>
1.3.2 Hipótesis específicos	<b>4</b>
<b>II.- REVISION DE LITERATURA</b>	<b>5</b>
2.1 Agricultura de Conservación	<b>5</b>
2.2 Agricultura de Conservación bajo condiciones de riego	<b>7</b>
2.3 Factores que afectan el desarrollo del cultivo	<b>9</b>
2.4 Efecto de la sequia en cultivos bajo Agricultura de Conservación	<b>10</b>
2.5 Características físicas del suelo en el área de estudios	<b>12</b>
2.6 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)	<b>13</b>
<b>III.- MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>15</b>
3.1 Caracterización del sitio experimental.	<b>15</b>
3.2 El ensayo de sustentabilidad a largo plazo	<b>15</b>

3.3 El ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía	20
3.4 Parámetros de medición del suelo	25
3.4.1 Contenido de humedad del suelo	25
3.4.2 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	26
3.4.3 Rendimiento de trigo	27
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>28</b>
4.1 Ensayo para evaluar la sustentabilidad a largo plazo	28
4.1.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	28
4.1.2 Contenido de humedad del suelo	33
4.2 Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía	38
4.2.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	38
4.2.2 Contenido de humedad del suelo	43
4.3. Ensayo para evaluar la sustentabilidad a largo plazo	47
4.3.1 Rendimiento del grano.	47
4.4. El ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía.	49
4.4.1 Rendimiento del grano	49

<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
5.1 Ensayo de sustentabilidad a largo plazo	<b>51</b>
5.2 Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia	<b>51</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA</b>	<b>53</b>
<b>VII. ANEXO I</b>	<b>64</b>
<b>VIII. ANEXO II</b>	<b>80</b>

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Mapa de ensayo de sustentabilidad a largo plazo	19
Figura 2. Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia	24
Figura 3. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo sin fertilización de N.	32
Figura 4. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo de cultivo de trigo con fertilización de 150 kg N ha <sup>-1</sup>	32
Figura 5. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo de cultivo de trigo con fertilización de 300 kg N ha <sup>-1</sup>	33
Figura 6. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el contenido de humedad de suelo en el perfil de 0-60 cm, a lo largo del ciclo de cultivo de trigo con 0 N.	36
Figura 7a-7b. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el contenido de humedad de suelo en el perfil de 0-60 cm, a lo largo del ciclo de cultivo de trigo con fertilización de (a) 150 kg de kg N ha <sup>-1</sup> (b) 300 kg de kg N ha <sup>-1</sup>	37
Figura 8. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo sin fertilización de N.	41

- Figura 9. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo con aplicación dividida de 114 kg N ha<sup>-1</sup> 41
- Figura 10. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo con aplicación dividida de 228 kg N ha<sup>-1</sup>. 42
- Figura 11. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de rastrojo sobre el contenido de humedad de suelo en el perfil de 0-60 cm, a lo largo del ciclo de cultivo de trigo con 0 N de fertilización 45
- Figura 12. El efecto del manejo de labranza y residuos sobre el contenido de humedad en el perfil (0-60 cm) en el ciclo de cultivo de trigo con aplicación dividida de (a) 114 kg N ha<sup>-1</sup> y (b) 228 kg N ha<sup>-1</sup>. 46
- Figura. 13. Rendimiento de grano de trigo (kg ha<sup>-1</sup> 12 % H<sub>2</sub>O) con diferentes manejos de residuos y labranza con aplicación basal en banda de 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg N ha<sup>-1</sup> y 300 kg N ha<sup>-1</sup> durante todo el ciclo. Las barras del error representan la desviación estándar 48
- Figura. 14. Rendimiento de grano de trigo (kg ha<sup>-1</sup> 12 % H<sub>2</sub>O) con diferentes manejos de residuos y labranza con aplicación basal de 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg N ha<sup>-1</sup> y 300 kg N ha<sup>-1</sup> durante todo el ciclo. Las barras del error representan la desviación estándar. 50

## I.- INTRODUCCIÓN

Actualmente el hombre está obligado a producir una mayor cantidad de alimentos y se ha esforzado para lograrlo; deteriorando rápidamente los recursos naturales y el medio ambiente. Principalmente la producción agrícola intensiva con prácticas tradicionales incurre en efectos negativos para el medio ambiente. Estos se reflejan en el grave deterioro de los suelos, elevados costos de producción y sus consecuencias influyen en el cambio climático, siendo el sector agrícola donde más impactan estos cambios. La productividad y fertilidad del suelo se está degradando abarcando más áreas agrícolas de México. La principal causa de la degradación de las tierras es la labranza, porque ocasiona una rápida desintegración de la materia orgánica y reduce la fertilidad disminuyendo la productividad del suelo (Govaerts *et al.*, 2009a). Para mantener viva la agricultura, se necesita un sistema de producción sustentable con un buen manejo de los recursos agua y suelo ya que en los últimos años se ha incrementado la desertificación de los suelos a causa de la erosión y se agudiza la escasez del agua. México es uno de los países más afectados por la escasez de agua y cuenta con una superficie bajo riego de 6.46 millones de hectáreas (Sánchez, 2009).

Por lo anterior, es necesario establecer cambios en las diferentes prácticas agrícolas para promover una producción más sustentable y rentable con el fin de reducir costos de producción e incrementar así la productividad y rentabilidad del cultivo. Una alternativa para promover la producción del campo sustentable y rentable es la Agricultura de Conservación. A diferencia de la agricultura tradicional, disminuye el daño en el medio ambiente, reduce costos de producción, mejora la fertilidad del suelo, reduce la erosión y aumenta el uso eficiente del agua de riego (Sayre, 2004)

El sistema de Agricultura de Conservación comprende tres principios básicos: la retención de niveles adecuados de residuos del cultivo anterior, movimiento mínimo del suelo y la rotación diversificada de cultivos económicamente viables (FAO,2004).Adoptando estas prácticas, los agricultores pueden ahorrar dinero, combustible, conservar ó mejorar los suelos y eficientar el uso de agua de riego.

La adopción de esta tecnología ha ocurrido principalmente con productores de gran escala y en zonas de agricultura de temporal. Sin embargo es necesario desarrollar la tecnología de la Agricultura de Conservación para condiciones de riego por gravedad. La utilización del sistema de riego por gravedad en el cultivo de trigo con Agricultura de Conservación y retención de residuos en la superficie del suelo es muy raro en muchos países (Sayre y Hobbs, 2004).En Sonora, se encuentra aproximadamente 11% de la superficie bajo riego de todo México (FAO, 2000). En la región del Valle de Yaqui, localizado al sur del estado de Sonora, se siembra aproximadamente 255,000 hectáreas bajo riego usando principalmente el sistemas de riego por gravedad (siendo las fuentes de aprovechamiento de agua 80% de escurrimiento superficial y 20% de pozos profundos) (INIFAP, 2001). En los últimos 25 años, más del 95% de los agricultores de la región han cambiado el uso del sistema de riego por inundación en plano a la siembra en camas (Aquino, 1998).Los agricultores necesitan nuevas tecnologías de producción que incluyan menos laboreo, reducción de los costos de producción, manejo más sustentable del suelo y el uso continuo del sistema de riego por gravedad. En respuesta a estas necesidades, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo inicio un experimento a largo plazo en 1992 donde se evalúan prácticas comunes del agricultor contra sistemas de Agricultura de Conservación bajo riego y en 2006 se estableció un ensayo para la evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia. El objetivo de este trabajo es estudiar los diferentes sistemas de producción con diferentes prácticas de labranza, manejo de residuos, niveles y momentos de aplicación de N bajo condiciones de riego normal y reducido.

## **1.- OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general**

Estudiar los diferentes sistemas de producción con diferentes prácticas de labranza, manejo de residuos, niveles y momentos de aplicación de fertilización nitrogenada en condiciones de riego normal y reducido.

#### **1.1.1 Objetivos Específicos**

##### **1.1.2 Ensayo de Sustentabilidad a Largo**

- Evaluar el efecto de labranza y manejo de residuos sobre el contenido de humedad en el suelo.
- Evaluar el efecto de labranza y manejo de residuos sobre el desarrollo del cultivo.
- Evaluar el efecto de N aplicado en diferentes dosis y momentos de aplicación sobre el desarrollo y el rendimiento del trigo con diferentes prácticas de labranza y manejo de residuos.

##### **1.1.3 Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia**

- Evaluar el efecto de labranza y manejo de residuos sobre el contenido de humedad en el suelo.
- Evaluar el efecto de labranza y manejo de residuos sobre el desarrollo del cultivo.
- Evaluar el efecto de N aplicado en diferentes dosis y momentos de aplicación sobre el desarrollo y el rendimiento del trigo con diferentes prácticas de labranza y manejo de residuos.
- Comparar diferentes prácticas de labranza sobre el desarrollo del cultivo en condiciones de riego normal y riego reducido (condiciones de estrés).

## **1.2 Hipótesis**

### **1.2.1. Ensayo de Sustentabilidad a Largo**

- La labranza convencional en comparación a camas permanentes con retención de residuos de cosecha reducen la evapotranspiración y favorecen la disponibilidad de agua para el cultivo.
- El desarrollo del cultivo en el sistema de camas permanentes será más lento al inicio del ciclo que las camas convencionales.
- El rendimiento del cultivo es mejor en el sistema de camas permanentes comparado a camas convencionales.

### **1.2.2. Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía**

- La labranza convencional en comparación a camas permanentes con retención de residuos de cosecha reducen la evapotranspiración y favorecen la disponibilidad de agua para el cultivo.
- El desarrollo del cultivo en el sistema de camas permanentes será más lento al inicio del ciclo que las camas convencionales.
- El rendimiento del cultivo es mejor en el sistema de camas permanentes comparado a camas convencionales.
- En condiciones de riego reducido y riego normal las camas permanentes con residuos retenidos tienen desarrollo más estable en comparación con las camas convencionales.

## II.- REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Agricultura de Conservación

La Agricultura de Conservación es un sistema integrado y global que comprende principios, como la retención de residuos del cultivo anterior, movimiento mínimo del suelo y la práctica cada vez más adoptada de rotación de cultivos económicamente viables (CIMMYT, 2006). El objetivo de la Agricultura de Conservación es asegurar una ganancia estable al productor logrando un rendimiento alto combinado con un impacto mínimo al medio ambiente (FAO, 2008).

**La agricultura convencional** se basa en la labranza del suelo con la utilización del arado como la operación principal, esta práctica en el largo plazo reduce la disponibilidad de materia orgánica del suelo (FAO, 2008).

**En la labranza mínima** normalmente no se usa el arado para la preparación del terreno, pero si se prepara la cama de siembra (Howard y Gómez, 2001).

**Labranza cero** consiste en dejar por lo menos una cubierta del 30% de residuos de la cosecha sobre el suelo, la siembra se realiza en forma directa sobre los residuos del cultivo anterior y solo se mueve una pequeña franja donde se deposita la semilla y el fertilizante. Se ha comprobado que este sistema puede ayudar a reducir la erosión hídrica y eólica en un 50%, tomando como referencia la erosión producida en un suelo descubierto, como es el caso de la labranza tradicional (Figueroa y Morales, 1992).

La Agricultura de Conservación ofrece varios beneficios económicos, agronómicos y ecológicos, en comparación con labranza convencional (MMA, 2008). Entre los beneficios económicos tenemos, reducción en el uso de

maquinaria agrícola: ahorro de combustible y menos trabajo (Brown, 1985). Los beneficios ecológicos; reduce la erosión de suelo, disminuye la quema del rastrojo, el uso de combustible, menos emisiones de contaminantes y menor compactación del suelo. Los beneficios agronómicos, principalmente se dan en el mejoramiento de las características del suelo: aumenta el nivel de materia orgánica, mayor concentración de nitrógeno mineralizable y carbono (Dalal, 1989), mayor estabilidad de agregados (Limón-Ortega *et al.*, 2006), mejora la infiltración (Hawkins *et al.*, 2007), y la mayor disponibilidad de agua en el suelo (Govaerts *et al.*, 2007b).

Algunos estudios reportan que Agricultura de Conservación mejora la estructura, distribución y estabilidad de los poros del suelo (Kay and Vanden Bygaart, 2002).

Se ha demostrado que los residuos de trigo, cebada, avena, centeno y sorgo que se dejan sobre el suelo, actúan como supresores de malezas, especialmente de las anuales de hoja ancha (Barnes y Putamna, 1983; Liebl y Worsham, 1983).

Existen otras características importantes que se han reportado como resultado del manejo de residuos, como la formación de macroagregados, disminución de la Densidad aparente ( $D_a$ ) y resistencia a la penetración (Hill y Cruse, 1985). Además Gómez *et al* 2001, destacan la importancia de los residuos sobre la superficie del suelo al reducir el impacto de la lluvia y el aire además, de disminuir la temperatura, la evaporación y encostramiento, impidiendo escurrimientos superficiales, incrementando la estabilidad de agregados, manteniendo las propiedades originales del suelo (Peña *et al.*, 1994).

Las principales limitaciones para la adopción de la tecnología de Agricultura de Conservación en la zona noreste de México es la baja difusión de la tecnología entre los productores, necesidades de maquinaria especializada, la dificultad en el control de malezas porque depende del empleo de herbicidas y la quema de los residuos del cultivo (Sayre *et al.*, 2006).

## 2.2 Agricultura de Conservación bajo condiciones de riego

En la actualidad es necesario tener una agricultura con bajo costo de producción y mayor eficiencia en el uso del agua, esto es necesario para tener una buena rentabilidad de los cultivos. Debido a la creciente escasez del agua es necesario un nuevo planteamiento de los sistemas agrícolas que mejoren el manejo del agua (FAO, 2003). Actualmente son pocos los estudios que comparan el efecto de los sistemas de labranza, manejo de residuos y la rotación de cultivos bajo el sistema de riego por gravedad sobre el balance de agua en el suelo y la eficiencia del uso de agua de riego. Se ha encontrado que el uso de residuos de cosecha permite reducir la erosión hídrica y eólica del suelo (Tiscareño *et al.*, 1999, Arreola, 2000), incrementa paulatinamente el contenido de materia orgánica (Grageda, 1999) permitiendo un mejor aprovechamiento del agua de riego.

Limón-Ortega *et al.*, (2006) reporta mayor incremento en la estabilidad de los agregados del suelo y biomasa microbiana en camas permanentes con retención de residuos comparado con las camas con labranza convencional con residuos incorporados de trigo en suelos tipo Vertisol en México.

En España, demostraron que la cantidad de agua de riego infiltrada fue significativamente más alta en la Agricultura de Conservación en comparación con labranza convencional (Moreno *et al.*, 1997). Hulugalle y Entwistle (1997) realizaron estudios al este de Australia en un Vertisol regado y encontraron que el porcentaje de sodio intercambiable, índice de dispersión y la compactación del suelo era muy bajo en camas permanentes que en labranza convencional donde se sembró continuamente algodón (*Gossypium hirsutum* L.). Sin embargo Hulugalle *et al.*, (2004) reporta que la estructura del suelo fue mejor en camas convencionales con siembra continua de algodón que en camas permanentes con rotación de algodón-trigo. Por otra parte, Hulugalle *et al.*, (2010) reporta que en camas permanentes con rotación algodón-trigo se tiene un mejor almacenamiento

de agua, buen drenaje y un mejor aprovechamiento de nutrientes que en camas convencionales. Sayre y Hobbs (2004) reportan que en camas permanentes hay ahorro de agua de un 25% hasta 35% para trigo en Turquía y Kazakstán comparado con camas convencionales.

Agricultores de Haryana, en India comprobaron que en las parcelas con cero labranza, el trigo aprovecha la humedad residual del suelo en los arrozales y el agua cubre el suelo más rápido, ahorrando agua y combustible para el bombeo en condiciones de riego. Los agricultores que aplicaron cero labranza ahorraron 340 metros cúbicos de agua de riego por hectárea por ciclo, invirtieron 6.4 horas menos por hectárea en el riego, aplicaron 13% menos agua y sus rendimientos aumentaron (CIMMYT, 2008).

En México, el CIMMYT sigue trabajando para que más productores de pequeña y mediana escala especialmente en las zonas de riego adopten el sistema de Agricultura de Conservación. Esto es importante porque el país tiene una superficie bajo riego de 6.46 millones de hectáreas, y representa el 50% del valor total de la producción agrícola (Sánchez, 2009). Además, el sistema de riego que más se ha utilizado tradicionalmente es riego por gravedad en su modalidad de surcos y melgas, el cual se practica en 5.2 millones de hectáreas (Vuelas *et al.*, 2006).

En Sonora se encuentra aproximadamente 11% de la superficie bajo riego de todo México (FAO, 2000). Desde hace 25 años, más del 95% de los agricultores de la región han cambiado del uso de la tecnología convencional de riego por inundación en plano a la tecnología de siembra en camas (Aquino, 1998). El sistema de siembra en camas es una alternativa para enfrentar el efecto de la escasez del agua, ya que reduce el escurrimiento del agua reteniéndola para su mejor infiltración en el suelo, haciendo así un uso más eficiente del agua de riego y de la lluvia (Limón-Ortega *et al.*, 2004).

La resistencia de muchos productores a practicar la Agricultura de Conservación obedece a la creencia de que los residuos del cultivo anterior impiden un buen manejo del agua de riego (Arreola *et al.*, 2006). Sin embargo, los surcos entre las camas permiten el buen manejo del agua de riego y también del drenaje, la entrada de maquinaria para la escarda mecánica o manual ya que las ruedas de las maquinarias no van sobre las camas sino en los surcos, aplicación de fertilizantes y la cosecha (Sayre, 2000).

Por ello en el Valle del Yaqui se inicio en 1992 un ensayo que compara las practicas comunes del agricultor, basado en labranza extensiva donde se forman nuevas camas en cada inicio de ciclo, contra el sistema de camas permanentes donde las camas se mantienen durante varios años para los cultivos sucesivos de trigo o la rotación que sea; estas solo son reformadas superficialmente si es necesario antes de la siembra del siguiente cultivo (Sayre y Moreno, 1997).

### **2.3. Factores que afectan el desarrollo del cultivo**

El desarrollo del trigo se ve afectado principalmente por factores ambientales y por las prácticas culturales influyendo en la tasa de formación y número de primordios florales de la espiga (Ma y Smith, 1992). La temperatura afecta la tasa de desarrollo de la planta a través de sus distintas fases y la producción de hojas, tallos y otros componentes. Todos los procesos fisiológicos de la planta ocurren más rápidamente a medida que la temperatura aumenta entre una temperatura base y una temperatura óptima (FAO, 2001). Milthorpe (1959) demostró que la temperatura afecta los procesos de crecimiento como expansión foliar, tasa de asimilación neta, tasa de aparición de hojas y tasa de crecimiento relativo. También se reporta que las temperaturas altas en trigo, aumentan la expansión foliar y acortan el tiempo de llegada de la etapa de floración (Castañeda *et al.*,

2004). El crecimiento del cultivo también está determinado por la cantidad de radiación solar que puede interceptar y usar durante su ciclo. Para obtener rendimientos altos las hojas deberán crecer y cubrir la superficie del suelo tan pronto como sea posible después de la siembra. Las cubiertas foliares pobres son la principal limitación del rendimiento, sobre todo en zonas cálidas (Ageeb, 1994; Olugbemi, 1994). Una cubierta foliar pobre puede deberse a distintas causas: sembrar sobre suelos demasiados secos, preparación pobre del suelo, mala calidad de la semilla (viabilidad) e inapropiadas técnicas de siembra. Se ha encontrado que en Agricultura de Conservación donde se dejan los residuos de cosecha, se tiene un buen vigor y esto asegura la rentabilidad del mismo (Rebetzke *et al.*, 2004). En 1992 a 1995 se realizó un estudio donde se encontró que la altura de la planta y longitud de raíz es mayor cuando se utiliza labranza convencional, en comparación en Agricultura de Conservación; sin embargo los efectos de los sistemas de labranza puede variar en un amplio rango de suelos y las condiciones climáticas (Moreno, 1997). Otros autores (Álvarez, 2009; Ben-Hammouda *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 1997) indican que el rendimiento del trigo es poco o nada afectado por el sistema de labranza.

#### **2.4. Efecto de la sequia en cultivos bajo Agricultura de Conservación**

Actualmente el clima, se caracteriza por periodos de lluvias con distribución estacional e irregular seguidos por periodos prolongados de sequias con temperaturas elevadas dando lugar a altas tasas de evapotranspiración. Por ello es de vital importancia la conservación de los recursos hídricos que provienen de las precipitaciones, especialmente para los sistemas agrícolas de temporal donde el periodo de lluvias condiciona la supervivencia y producción del cultivo, sobre todo depende en gran medida de la capacidad del suelo para retener la mayor

cantidad de agua posible en el perfil y ponerla a disposición de la planta (Berengena, 1997).

Por otra parte, haciendo un análisis de la cantidad y distribución de la lluvia en las grandes regiones que por mucho tiempo han surtido de alimentos a la humanidad, se concluye que estas tienden a la desertificación, lo que ha provocado que los cultivos tengan que producir en condiciones de estrés hídrico (Byerlee y Moya, 1993).

El estrés hídrico del cultivo se da cuando la planta no puede extraer la cantidad suficiente de agua en el suelo a través de sus raíces a la misma velocidad con la que se pierde en la evapotranspiración de las hojas (Benites y Castellanos, 2003).

Otros autores (Lewis *et al.*, 1974) indican que el estrés afecta el crecimiento de las plantas, su metabolismo y finalmente decremento del rendimiento del cultivo. Cuando ocurren eventos simultáneos de altas temperaturas y estrés hídrico en la fase de llenado de grano, puede provocar reducciones significativas en el rendimiento (Kobata *et al.*, 1992).

Es evidente que la labranza excesiva para preparar el terreno, la poca profundidad de los suelos para acumular mayor cantidad de agua, aunado a la falta de lluvias entre otros factores son los que propician condiciones de sequía en la planta que es un problema que enfrentan todos los cultivos (Limón-Ortega *et al.*, 2004). También la eficiencia en el uso del agua de los cultivos es afectada por diversas prácticas de manejo tales como la rotación, el sistema de labranza, el riego, la fertilización, las variedades, la fecha de siembra y otras prácticas (Loomis y Amthor, 1996).

Nuevos estudios han encontrado que en labranza convencional con residuos es menor el contenido de humedad en el suelo, comparado al de labranza cero con retención de residuos (Govaerts *et al.*, 2009b). La humedad disponible para las

plantas es mayor y el estrés hídrico es menor bajo labranza cero que bajo los métodos de labranza convencional (Shaxson y Barber, 2005). La retención de humedad en el suelo está influida por la distribución del espacio poroso afectando la disponibilidad de agua, nutrientes y la aireación del suelo (Lal, 1994). En este sentido, es importante destacar el sistema de Agricultura Conservación ya que busca en su conjunto, el mantenimiento de la estructura natural del suelo, la disminución de la erosión hídrica, el aumento de la materia orgánica y el descenso de las emisiones de Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), en definitiva mejora la disponibilidad neta del agua para las plantas (Gil, 2004; Muriel *et al.*, 2005).

## **2.5. Características físicas del suelo del área de estudio**

Las propiedades físicas del suelo tienen influencia directa en el balance de agua, aire y temperatura (Tebrügge *et al.*, 1997), también determinan la dinámica del espacio poroso y su heterogeneidad. Los suelos en el valle del Yaqui se caracterizan por ser suelos jóvenes, ya que se han formado de materiales depositados por procesos de erosión en climas cálidos semiáridos y se le conoce como Vertisol, los cuales tienen 30% o más de arcilla, (Limón-Ortega *et al.*, 2005); estos suelos se caracterizan por ser difíciles de trabajar con equipo mecánico debido a que cuando están secos se ponen muy duros, mientras que cuando están húmedos son muy pegajosos (Schachtschabele *et al.*, 1998).

En general, los Vertisoles tienen un color oscuro y carecen de horizontes definidos; las arcillas que dominan son las esmectitas, las cuales tienen una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que hace que estos suelos tengan una alta fertilidad natural (Coulombe *et al.*, 1996; Soil Survey Staff, 1999). Su alto contenido de montmorillonita le permite tener una alta capacidad de contracción. Por ello en la época de sequía los suelos se contraen y aparecen grietas

profundas. Las grietas se forman a consecuencia de la contracción del suelo por que sufre un cambio de volumen (Flowers y Lal, 1999). Mitchell y van Genuchten, (1992) encontrón, que normalmente la zona en que se forman las grietas es entre surcos. Así que para la mayoría de las grietas grandes en cultivos en hileras se encuentran entre los surcos, mientras grietas menores se forman perpendiculares a las grandes, sin cruzar las plantas (Fox, 1964).

## **2.6. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

Las hojas de las plantas tienen la capacidad de reflejar, absorber y transmitir la radiación. Por ello todos los organismos fotosintéticos contienen pigmentos que son capaces de absorber la radiación visible requerida para las reacciones fotoquímicas y fotosintéticas. Las plantas absorben la energía en la región visible del espectro electromagnético  $\lambda=340$  nm (azul) y a  $\lambda=600$ nm (rojo) (Avery and Berlin, 1992). En contraste, la reflectancia es la relación de la energía que incide sobre un objeto y la que es reflejada. La reflectancia en las plantas se presenta en la región del rojo visible ( $\lambda = 550-700$  nm) y el infrarrojo cercano ( $\lambda= 700-1300$  nm) (Kumar y Silva, 1973). Las plantas tienen una reflectancia baja en el espectro del azul y rojo debido a la absorción en la clorofila, con una reflectancia ligeramente más alta en el espectro del verde. La radiación del infrarrojo cercano es reflejada fuertemente en la superficie de la planta y la cantidad de esta reflectancia es determinada por las propiedades de los tejidos, pared celular y la interacción cloroplasto-protoplasma (Kumar and Silva, 1973). El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)) se basa en la diferencia entre la máxima radiación absorbida (en el espectro rojo visible –VIS–), que interactúa con los pigmentos de la clorofila, y la máxima radiación reflejada (en el infrarrojo cercano NIR) que está relacionada con la estructura celular de las hojas, considerando la reflectancia de la vegetación verde en la VIS es de 20% y en el NIR de 60% (Garty

*et al.*, 2001). Es importante señalar que el NDVI puede adquirir valores de (-1) a (+1), correspondiendo un valor de cero cuando no existe vegetación y 1 cuando la cobertura de vegetación es máxima. Algunas coberturas, como agua, pueden dar valores negativos en el cálculo del NDVI, debido a que su reflectancia en la banda roja es mayor que en la NIR (Huete *et al.*, 1999).

Debido a que este indicador ha tenido éxito en la predicción de la actividad fotosintética de las plantas, como indicador de la biomasa y verdor (Boone *et al.*, 2000, Chen and Brutsaert, 1998). También ha sido sugerido en trabajos para la predicción de rendimiento y estimación del volumen de producción (Thiruvengadachari y Sakthivadivel, 1999; Soria, 1999).

El valor de NDVI puede variar en función del uso de suelo, la estación fenológica, la situación hídrica y el ambiente climático de la zona.

En la Universidad estatal de Oklahoma se diseñó un sensor óptico portátil que evalúa la reflectancia de la hoja de la planta, el cual ha sido probado desde hace varios años en el centro experimental de CIMMYT- México, como una herramienta para conocer el desarrollo del cultivo de una parcela, la cual se relaciona con cambios químicos, físicos del suelo y en el agroecosistema (Govaerts *et al.*, 2005).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Caracterización del sitio experimental

Los ensayos se encuentran establecidos en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), localizado a 8 km al sur de Ciudad Obregón, Estado de Sonora, México (lat. 27.29° N, long.109.55° W, a 38 msnm). El tipo de suelo en el CENEB es una arcilla arenosa común, Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic)), bajo en materia orgánica (<1%) y ligeramente alcalino (pH 7.7). La temperatura anual promedio es de 24.7 °C (1981–2000) y el promedio anual de lluvia es 384 mm. La evapotranspiración excede la precipitación en todo el año con un total de 2233.8 mm, la temporada de lluvias es de Junio hasta Agosto (1971-2000) (<http://www.cna.gob.mx>).

#### 3.2. Ensayo de sustentabilidad a largo plazo

El experimento a largo plazo se inicio en 1992. Una descripción detallada del manejo de la parcela la reportó Limón-Ortega et al (2000). El trigo y maíz son de riego con rotación anual: trigo como cultivo de invierno sembrado a finales de Noviembre y cosechado a principios de Mayo, seguido por maíz como cultivo de verano sembrado en Junio y cosechado en Octubre. Ambos cultivos se sembraron en camas de 0.75 m con trigo en dos hileras sembrados a 22 cm de separación y maíz en una hilera al centro de la cama; cada subparcela tenía 8 camas de 6.0 m de ancho y 13 m de largo. En el ciclo de invierno 2009/2010 se sembró la variedad de trigo Samayoa C2004, una variedad de trigo duro (*Triticum durum* L.) que se caracteriza por su resistencia a la roya de la hoja (*Puccinia recondita*), enfermedad que prevalece en el noroeste de México (INIFAP, 2005). La densidad de siembra es de 130 kg/ha. La fecha de siembra fue el 9 de diciembre de 2009 (19 días

después del riego de presiembra). La fecha del 50% de emergencia fue día 18 de diciembre (8 días después de la siembra), la fecha de inicio de floración fue el 17 de febrero de 2010 (78 días después de la siembra).

Los tratamientos se aplicaron mediante un diseño bloque completamente al azar de parcelas divididas, con tres repeticiones, donde las parcelas principales incluyen combinaciones de labranza y manejo de residuos, y la parcela chica tratamientos de fertilización de nitrógeno (N).

Se probaron cinco tratamientos con diferentes manejos de rastrojo y labranza, diferenciados en camas convencionales con labranza y camas permanentes sin labranza con cuatro manejos de residuos de cosecha anterior, combinados con siete niveles de fertilización resultando en un diseño factorial de 5 x 7.

Los 5 tratamientos de labranza-rastrojo fueron los siguientes: donde: CC significa (cama de labranza convencional) y CP (cama permanente):

- 1. CC-residuo incorporado.** Labranza convencional, con camas que se forman después de cada cultivo. Los residuos de trigo y maíz son incorporados con el arado.
- 2. CP-residuo quemado.** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Los residuos de ambos cultivos trigo y maíz son quemados.
- 3. CP-residuo removido.** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Se remueven todos los residuos de maíz y se remueven solo los residuos de trigo cortados por la trilladora.
- 4. CP-residuo parcialmente removido.** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea

necesario. Los residuos de maíz son removidos para empacarse y la paja de trigo se deja en la superficie del suelo.

**5. CP-residuo retenido.** Cero labranza con una continúa reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Los residuos de maíz y trigo se dejan en la superficie del suelo.

El manejo del N comprende siete diferentes tratamientos de dosis y tiempo de aplicación. El N es aplicado como urea al fondo del surco e incorporado a través del riego. Cada año el trigo y el maíz reciben  $45 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  y se colocan en banda en el surco e incorporadas por la labranza cuando se reforman las camas.

Los tratamientos de N son:

1.  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$
2.  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  basal en banda en el surco y  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  en banda en el surco en la etapa de primer nudo.
3.  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  basal en banda en el surco.
4.  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  basal en banda en el surco y  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  en banda en el surco en la etapa de primer nudo.
5.  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  basal en banda en el surco.
6.  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  en banda en el surco en la etapa de primer nudo.
7.  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  en banda en el surco en la etapa de primer nudo.

La fuente de abastecimiento de agua para el riego (hidrantes) se encuentra al lado sur del ensayo, el sistema de riego empleado fue riego por gravedad utilizando tubería en multicompuertas.

En el ciclo agrícola 2009-2010 se aplicó 1 riego de presembrado y 4 riegos de auxilio. **El riego de presembrado** se aplicó el 20 de noviembre de 2009, el **primer riego** de auxilio fue el 21 de enero de 2010 (45 días después de la siembra, etapa: amacollamiento de 2 a 3 hijuelos), **el segundo riego** de auxilio se aplicó el 19 de febrero de 2010 (29 días después del primer riego de auxilio, etapa: pleno encañe de 2 a 3 nudos), **el tercer riego** de auxilio el 10 de marzo de 2010 (20 días después del segundo riego, etapa: Espigamiento-Floración) y el **cuarto riego** de auxilio el 26 de marzo de 2010 (17 días después del tercer riego de auxilio, la etapa de grano Lechoso-Masoso). En las camas se aplicó en la preemergencia (10-12-09) un herbicida sistémico no selectivo (Faena Fuerte®: Glifosato). Para el control del pulgón de la hoja (*Schizaphis graminum* Rond) se hizo una aplicación (Perfekthion®, ingrediente activo: Dimetoato; 750 cm<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>).

Figura 1. Presenta un mapa del ensayo de sustentabilidad a largo plazo con las ubicaciones de los tratamientos particulares.

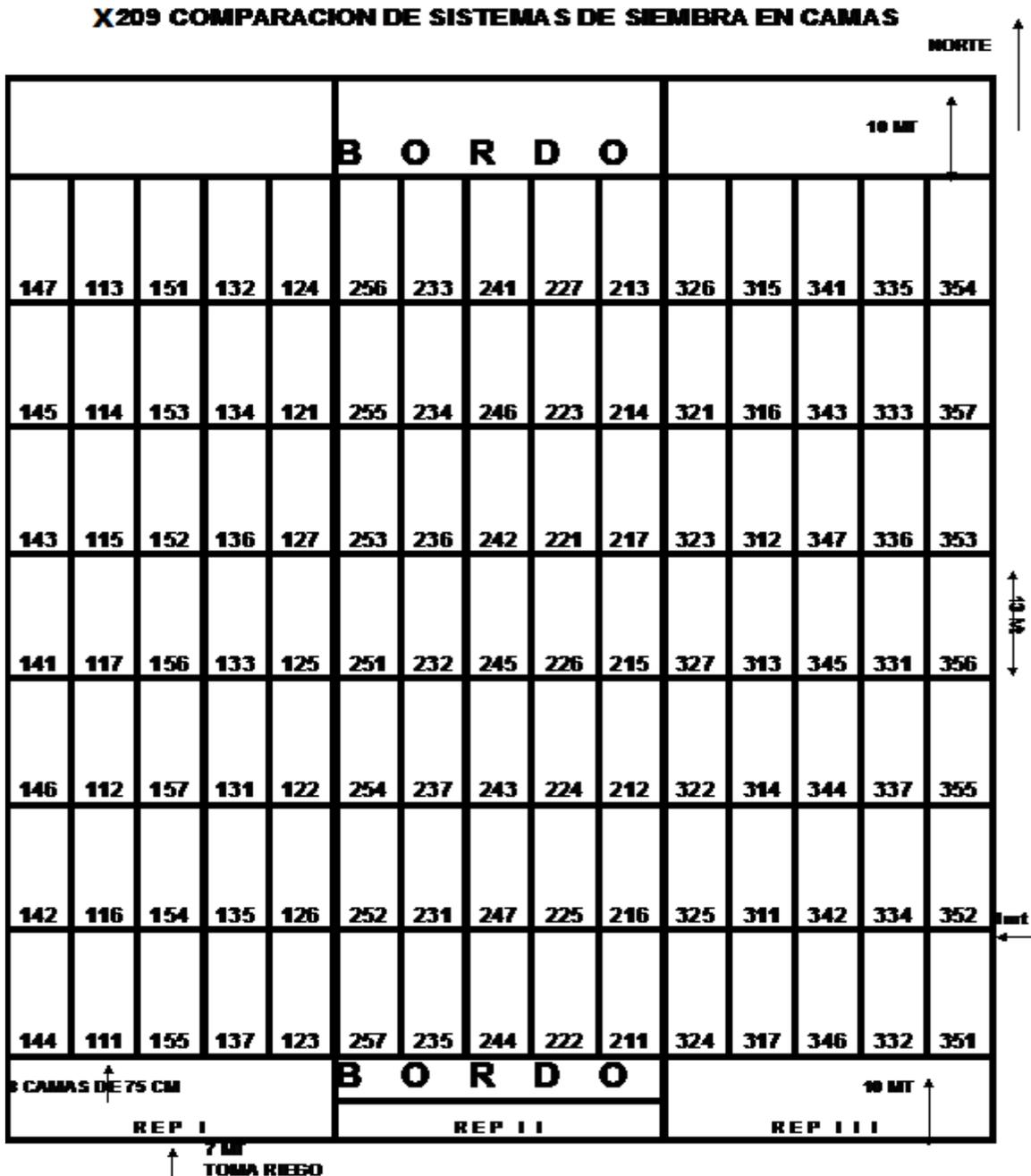


Figura 1. Mapa de ensayo de sustentabilidad a largo plazo. Los números de los tratamientos (XYZ) se componen de la repetición (X, 1-3), de la forma de labranza y el manejo de paja (Y, 1-5, números como en el texto) y del tratamiento de fertilización (Z, 1-7, números como en el texto).

### 3.3 Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia

Este ensayo se inició en 2006 con el objetivo principal de crear ambientes más resistentes a condiciones de sequia y adaptarse al cambio climático. Este ensayo investiga los efectos de la labranza y el manejo de residuos; sometido a dos ambientes de riego, con diferentes tratamientos de N. El trigo y el maíz se manejan en rotación anual: el trigo como cultivo de invierno sembrado en las últimas semanas de Noviembre hasta principios de Diciembre y cosechado en Mayo, seguido de maíz como cultivo de verano. El ancho de la cama fue 0.80 m largo y el trigo se sembró en camas a doble hilera separadas a 26 cm; cada subparcela tenía 8 camas de 6.5 m de ancho y 15.5 m de largo. En el ciclo de invierno 2009-2010 la fecha de siembra fue el 4 de diciembre de 2009. La fecha del 50% de emergencia fue el día 13 de diciembre (9 días después de la siembra). La densidad de siembra fue de 130 kg N ha<sup>-1</sup>.

El ensayo se ha manejado con dos repeticiones de cada tratamiento en un diseño de bloques al azar con arreglo de tratamientos de parcelas subdivididas. Las parcelas grandes consisten en dos ambientes de riego; (1) riego normal (1 riego de presembrado y 4 de auxilio), (2) riego reducido (1 riego de presembrado y 1 riego de auxilio). Las parcelas chicas: camas con labranza convencional y el otro con camas permanentes con diferentes manejos de residuo.

El arreglo de las parcelas divididas es el siguiente:

- 1. CC- residuo retenido-normal:** Labranza convencional, con camas que se forman después de cada cultivo. Los residuos de trigo y maíz son incorporados con el arado. Recibe 1 riego de presembrado y 4 de auxilio.
- 2. CC- residuo retenido-reducido:** Labranza convencional, con camas que se forman después de cada cultivo. Los residuos de trigo y maíz son incorporados con el arado. Recibe 1 riego de presembrado y 1 de auxilio.

3. **CP- residuo retenido-reducido:** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Los residuos de maíz y trigo se dejan en la superficie del suelo. Recibe 1 riego de presiembra y 1 de auxilio.
4. **CP- residuo removido-reducido:** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Los residuos de maíz son removidos para empacarse y la paja de trigo se deja en la superficie del suelo. Recibe 1 riego de presiembra y 1 de auxilio.
5. **CP- residuo removido-normal:** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Los residuos de maíz son removidos para empacarse y la paja de trigo se deja en la superficie del suelo. Recibe 1 riego de presiembra y 4 de auxilio.
6. **CP- residuo retenido-normal:** Cero labranza con una continua reutilización de las camas existentes, que son reformadas tanto como sea necesario. Los residuos de maíz y trigo se dejan en la superficie del suelo. Recibe 1 riego de presiembra y 4 de auxilio.

El Nitrógeno comprende los tratamientos de las sub-parcelas que se aplico durante el invierno manejado con siete tratamientos de fertilizante. Se utilizo Urea como fuente de N, aplicado en banda al fondo del surco e incorporado a través del riego. Cada año el trigo y el maíz reciben  $45 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  y se colocan en banda en el surco e incorporadas por la labranza cuando se reformen las camas.

Los tratamientos son:

1.  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$
2.  $76 \text{ kg N ha}^{-1}$  aplicados antes de la formación de las camas y  $38 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el estado de 1er nudo. (Total  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$ )

3. 57 kg N ha<sup>-1</sup>aplicados antes de la formación de las camas y 57 kg N ha<sup>-1</sup>en el estado de 1er nudo. (Total 114 kg N ha<sup>-1</sup>)
4. 38 kg N ha<sup>-1</sup>aplicados antes de la formación de las camas y 76 kg N ha<sup>-1</sup>en el estado de 1er nudo. (Total 114 kg N ha<sup>-1</sup>)
5. 152 kg N ha<sup>-1</sup>aplicados antes de la formación de las camas y 76 kg N ha<sup>-1</sup>en el estado de 1er nudo. (Total 228 kg N ha<sup>-1</sup>)
6. 114 kg N ha<sup>-1</sup>aplicados antes de la formación de las camas y 114 kg N ha<sup>-1</sup>en el estado de 1er nudo. (Total 228 kg N ha<sup>-1</sup>)
7. 76 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados antes de la formación de las camas y 152 kg N ha<sup>-1</sup>en el estado de 1er nudo. (Total 228 kg N ha<sup>-1</sup>)

El sistema de riego empleado fue la de riego por gravedad utilizando tubería multicompuertas.

Se aplicaron en todo el ciclo del trigo 1 riego de presembrado y 4 riegos de auxilio en el ambiente con riego normal. El **riego de presembrado** se aplicó el 17 de noviembre de 2009, para tratamientos con riego normal el **primer riego** de auxilio fue 15 de enero 2010 (43 días después de la siembra, etapa: amacollamiento de 2 a 3 hijuelos), **el segundo riego** de auxilio para tratamientos de riego normal se aplicó el 16 de febrero de 2010 (31 días después del primer riego de auxilio, etapa: pleno encañe de 2 a 3 nudos), **el tercer riego** de auxilio el 9 de marzo de 2010 (21 días después del segundo riego, etapa: floración) y el **cuarto riego** de auxilio 24 de marzo de 2010 (109 días después de la siembra, en la etapa de grano lechoso masoso). En tratamientos con **riego reducido**, se aplicó el riego de presembrado en la misma fecha que en riego normal. El único **riego de auxilio** en este ambiente se aplicó 10 de febrero de 2010 (67 días después de la siembra, etapa: Salida de la espiga),

Para el control de malezas en las camas se aplicó un herbicida sistémico no selectivo (Faena Fuerte ®: Glifosato) aplicándose 3 L ha<sup>-1</sup> en la preemergencia (05-12-09) del cultivo. También se hizo una aplicación (Perfekthion ®, ingrediente activo: Dimetoato; 750 cm<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> para el control del pulgón de la hoja (*Schizaphis graminum* Rond).

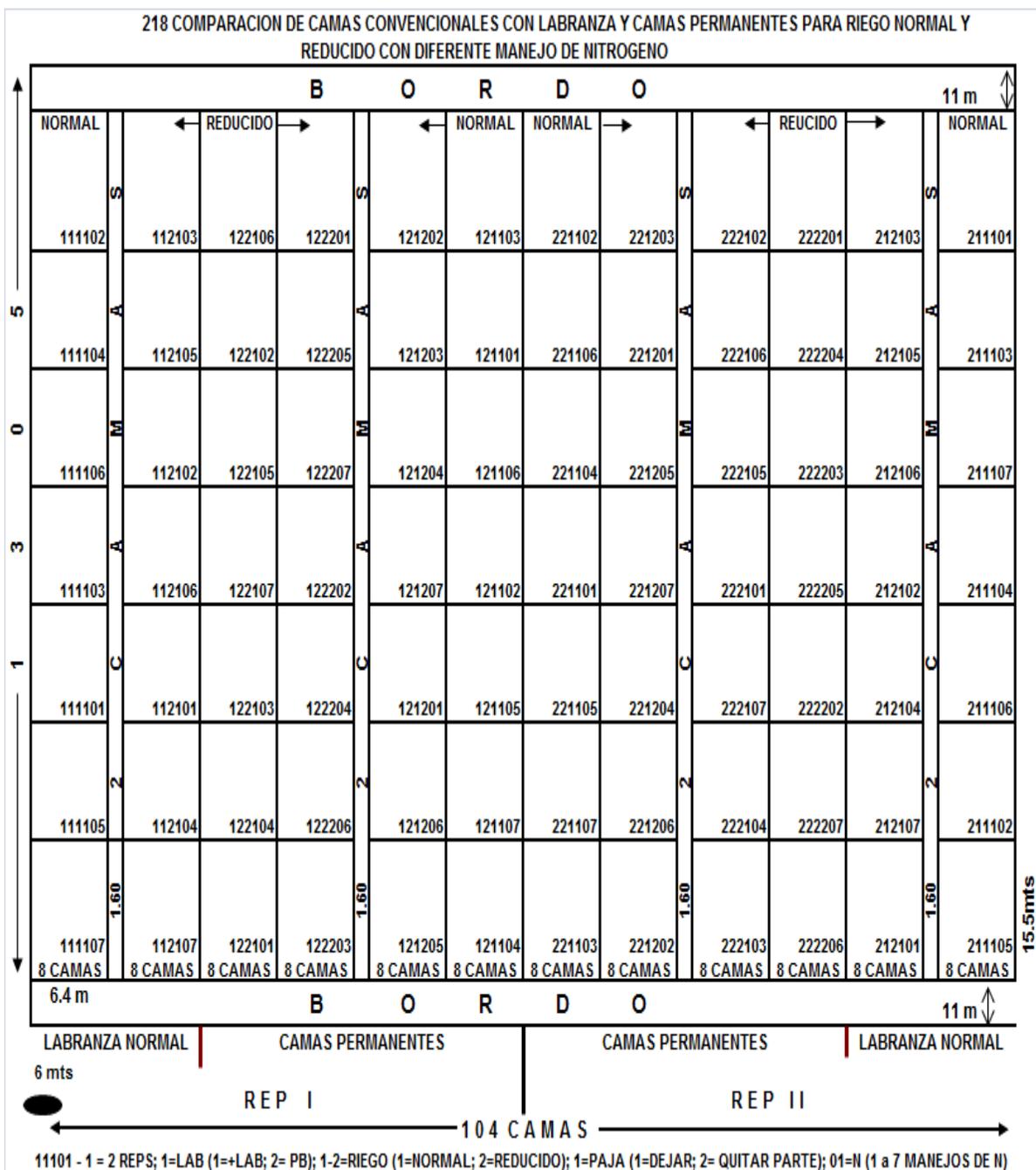


Figura 2. Mapa del ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía. Los números de los tratamientos (1er, 2do, 3ero, 4to y 6to) se componen de la repetición (1ro: 1= Rep 1; 2 = Rep 2), la forma de labranza (2do: 1= CTB; 2=PB), el riego (3ero: 1= normal; 2= reducido), el manejo de residuos (4to: 1= retener todo; 2=quitar parte) y el manejo de N (6to: números 1-7 diferentes niveles de fertilización nitrogenada)

### 3.4 Parámetros de medición

#### 3.4.1 Contenido de humedad del suelo.

En el **ensayo de sustentabilidad a largo plazo** el contenido de humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico un día antes y después cada riego, y una vez más entre riegos en parcelas divididas con una aplicación basal de 0 y aplicación dividida de 300 kg de N ha<sup>-1</sup> y cada semana en parcelas divididas con una aplicación basal de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> (como fuese posible).

Dos muestras de cada profundidad (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, 45-60 cm) fueron tomadas por parcela dividida y fueron mezcladas por profundidad para obtener una muestra compuesta. Después de ser pesada; y registrado el peso; las muestras fueron introducidas en un horno de secado por 48 horas a 105°C y pesadas nuevamente para registrar el peso seco.

La siguiente ecuación fue usada para obtener la humedad gravimétrica contenida por muestra (White, 2006).

---

Donde:

$P_{SH}$ = Peso del suelo húmedo

$P_{SS}$ = Peso suelo seco.

El contenido de humedad volumétrica fue determinado multiplicando el contenido de humedad gravimétrica por la respectiva densidad aparente (1.5 gr cm<sup>3</sup>) (White, 2005)

**El ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía del suelo** el muestreo fue tomado un día antes y después de cada riego y una vez más entre riegos en parcelas con riego normal y reducido con una aplicación de 0 N y aplicación dividida de 228 kg de N ha<sup>-1</sup> y cada semana en parcelas divididas con una aplicación de 144 kg N ha<sup>-1</sup>. La metodología que se siguió para el muestreo y el cálculo de contenido de humedad volumétrico fue la misma que en el ensayo de sustentabilidad a largo plazo.

### **3.4.2 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).**

Para estimar el desarrollo del cultivo se utilizó el GreenSeeker™ Unidad de Sensor Óptico Portable (NTech Industries, Inc.). Este sensor mide la radiación activa en la banda del rojo e infrarroja cercana. El sensor usa una técnica patentada para medir la reflectancia del cultivo y para calcular el NDVI; además tiene una iluminación propia en la banda roja (650 ± 10 nm) y la banda del infrarrojo cercano (Near Infrared, NIR, 770 ± 15 nm). El dispositivo mide la fracción de la radiación emitida por la superficie que regresa al sensor (reflectancia). Estas fracciones se usan dentro del sensor para elaborar el NDVI según la siguiente ecuación:

---

Donde:

$F_{NIR}$  = Fracción de infrarrojo emitida y regresada por la superficie registrada.

$F_{RED}$  = Fracción de la banda roja emitida y regresada por la superficie registrada.

El intervalo de valores en NDVI, varía entre (-1) y el (+1). De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, corresponden a zonas de suelo desnudo. La unidad registra una superficie de 0.6 x 0.01 m cuando esta

posicionado a una distancia de aproximadamente de 0.6 a 1.0 m encima de la superficie del cultivo. El sensor está diseñado para ser manejado manualmente (“hand-held”) y toma muestras a una velocidad muy alta (aproximadamente 1000 mediciones por segundo). Las salidas del sensor del NDVI están a una tasa de 10 lecturas por segundo. En cada muestreo se tomó una medición en las parcelas chicas sobre las 2 camas centrales (4a y 5a cama). El sensor se pasó sobre el cultivo a una altura de aproximadamente 0.8 m sobre la superficie del cultivo y orientado a fin de que a los 0.6 m la anchura estuviera perpendicular al surco y centrado sobre el surco. Con el estado avanzado de crecimiento del cultivo, la altura de la posición del sensor fue incrementando proporcionalmente. Las velocidades de recorrido fueron de 1 m/s aproximadamente, resultando en lecturas de NDVI promediadas en las distancias de  $< 0.10$  m. El NDVI fue medido en ambos ensayos 2 veces por semana, excepto durante la semana después de cada riego, durante el ciclo 2009-2010 empezaron las mediciones a 12 días después de la siembra.

### **3.4.3 Rendimiento de trigo**

En los dos ensayos (Y209 y Y218) se evaluaron 3 niveles de N: 0, 150, y 300 Kg ha<sup>-1</sup> para ensayo Y209 y 0, 144 y 228 Kg ha<sup>-1</sup> en Y218. La cosecha se realizó solo en las dos camas centrales de cada parcela chica utilizando una trilladora. Se determinó el peso seco del grano y el área de cosecha y se convirtió a peso de grano por hectárea a 12% de H<sub>2</sub>O. El análisis estadístico se realizó como parcelas divididas (split-plot) para Y209 y el Y218 en dos ambientes (riego normal y reducido) con SAS PROC MIXED (SAS Institute, 1994). Se distinguen tres factores: el bloque, el tratamiento de labranza-residuo y el nivel de fertilización nitrogenada. Los efectos significativos de los tres factores se determinaron mediante análisis de varianza asumiendo los efectos aleatorios del bloque y las diferencias entre los sistemas de paja de la siembra directa se basa en las diferencias de los mínimos cuadrados.

## IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Ensayo para evaluar la sustentabilidad a largo plazo.

#### 4.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Los valores promedios de NDVI que se presenta en el cuadro de anexos (5A a 7A), fueron graficados contra el tiempo durante el ciclo 2009-2010 (Figs. 3, 4 y 5). En general, el NDVI aumenta gradualmente en todos los tratamientos en el comienzo de la temporada de crecimiento (Período I), llegando a un período de estabilidad (Periodo II) y esto disminuye lentamente hacia el final del la temporada de crecimiento cuando los granos comienza su estado masoso (maduración) (Período III). La disminución de los valores de NDVI para el trigo comenzó desde el día 89 después de la siembra.

Sin fertilización de N en el periodo inicial (día 12-23), el NDVI fue significativamente más bajo en CC-residuo incorporado y CP-residuo quemado comparado a CP-sin quema ( $P < 0.05$ , Figura 3). Después de la etapa de crecimiento (Periodo I) hasta el estado de maduración el NDVI fue significativamente más bajo en CP-residuo quemado que en los otros tratamientos sin quemar ( $P < 0.05$ ; Figura 3); esto puede considerarse como un indicador de la menor disponibilidad de N. Verhulst *et al.* (2009b) reportaron que los valores de NDVI mas altos se obtuvieron al inicio de la temporada para CC-residuo incorporado comparado con CP-permanentes bajo diferentes manejos de residuo. Sin embargo, Raimbault y Vyn (1991, 1993) reportaron que en labranza cero el crecimiento de las plantas se vuelve más lento en comparación a los sistemas de labranza convencional. El crecimiento lento del cultivo (del día 12 hasta 30; Figura 3) con labranza convencional se debe a que el suelo fue labrado para controlar la primera emergencia de maleza además que cuando un suelo se voltea se

incrementan las pérdidas de materia orgánica debido a que se acelera su descomposición.

En la etapa de madurez el NDVI es más alto en camas permanentes con retención de residuos comparados con camas permanentes donde se queman los residuos. Los resultados (Figura 3) obtenidos al final del ciclo de cultivo son similares a los de Verhulst *et al.* (2009) donde se encontró que los valores de NDVI en camas convencionales residuo incorporado empezaron a decrecer más rápidamente que los de CP-residuo parcialmente removido después de alcanzar su máximo desarrollo. En labranza cero con manejos de residuos sin quema, los valores de NDVI son más altos que aquellos donde se quema residuos; se ha observado que con la quema los residuos los valores de NDVI son muy bajos durante todo el ciclo y esto indica que la quema de residuos no beneficia el crecimiento ni desarrollo del cultivo reflejándose finalmente en un bajo rendimiento de grano como lo indican Limón-Ortega *et al.* (2000) y la eficiencia de uso del N. En general los valores de NDVI son bajos para todos los tratamientos debido a que no se les aplicó fertilización de N.

Con  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el periodo de crecimiento (día 12 a 32; figura 4), el NDVI en CC-residuo incorporado fue significativamente más bajo que en las camas permanentes y el NDVI en CP-residuo retenido fue significativamente más alto que en los tratamientos con residuo incorporado y parcialmente removido ( $P < 0.05$ , Figura 4). Del día 27 a 62, el crecimiento fue más lento en CC-residuo incorporado y CP-residuo retenido que en otros tratamientos resultando en valores de NDVI más bajos que CP-residuo quemado y CC-residuo removido ( $P < 0.05$ ). Además, CC-residuo incorporado tuvo valores de NDVI más bajos que CP-residuo parcialmente removido ( $P < 0.05$ ; Figura 4). Del día 65 a 98, hay poca diferencia entre los tratamientos: solo en CP-residuo quemado el NDVI fue más bajo que en CP-residuo parcialmente removido ( $P < 0.05$ ). Posteriormente los valores de NDVI empiezan a disminuir hasta el final del ciclo (estado masoso). En este periodo final

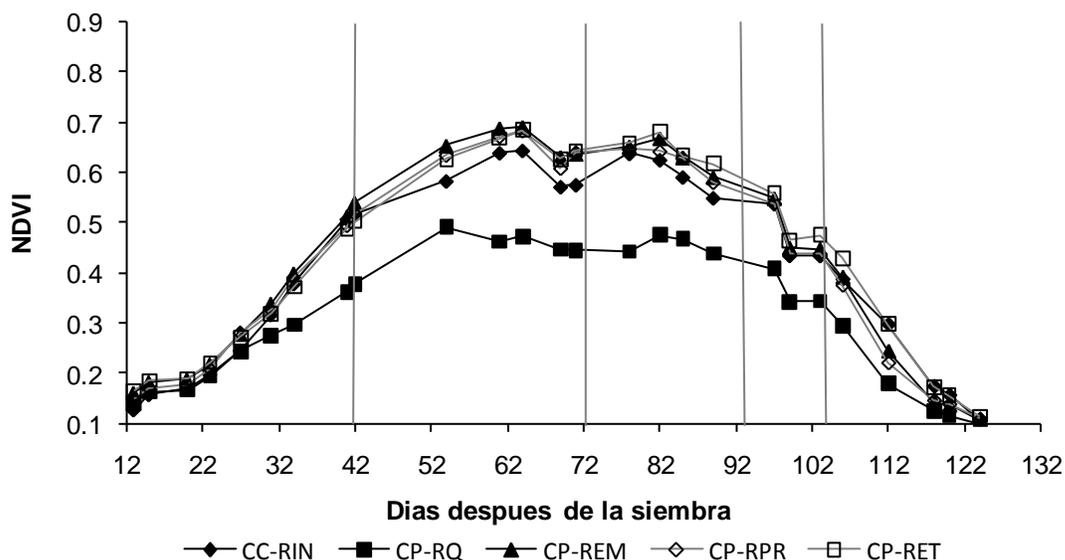
(día 100 a 127) el NDVI fue significativamente más alto en CC-residuo incorporado y CP-residuo retenido que en CP-residuo quemado y que en CP-residuo removido ( $P < 0.05$ ).

También con  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Figura 4) en el periodo inicial, el NDVI en CC-residuo incorporado fue significativamente más bajo que en los otros tratamientos ( $P < 0.05$ , Figura 5). Igual que con  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ , del día 27 a 62, el crecimiento fue más lento en CC-residuo incorporado y CP-residuo retenido que en otros tratamientos, resultando en valores de NDVI más bajos que CP-residuo quemado y residuo removido ( $P < 0.05$ ). A partir del día 65 a 98, el NDVI fue más bajo en CP-residuo quemado que en CP-residuo removido o retenido ( $P < 0.05$ ). En el periodo final (etapa masoso; Figura 4), el NDVI fue más alto en CP-residuo retenido y CC-residuo incorporado y comparado con CP-residuo quemado que fue el más bajo ( $P < 0.05$ ; Figura 4).

Se encontró que con  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  el crecimiento del cultivo es lento con CC-residuo incorporado al inicio del ciclo (Del día 12 hasta 35) comparado con camas permanentes. Kienle (2008) en este mismo ensayo ha reportado valores de NDVI en CC-residuo incorporado son significativamente mayores que en CP-residuo quemado y CP-residuo removido ( $P < 0.05$ ). Los resultados obtenidos por Verhulst *et al.* (2009b) son diferentes al principio del ciclo de cultivo (10 a 54 días después de la siembra), reportan que los valores de NDVI para CC-residuo incorporado son los más altos comparados con camas permanentes con cualquier manejo de residuos. Sin embargo los resultados son similares al final ciclo de cultivo (110 a 124 días después de la siembra) con valores de NDVI menores en CP-residuo quemado comparados con camas permanentes con cualquier manejo de residuos. Limón-Ortega *et al.* (2000b) reportaron que la práctica de la incorporación de residuos de cosecha puede inducir a la disminución de eficiencia del uso del N. El crecimiento lento del cultivo (Del día 12 hasta 35) con labranza convencional se debe a que el suelo fue

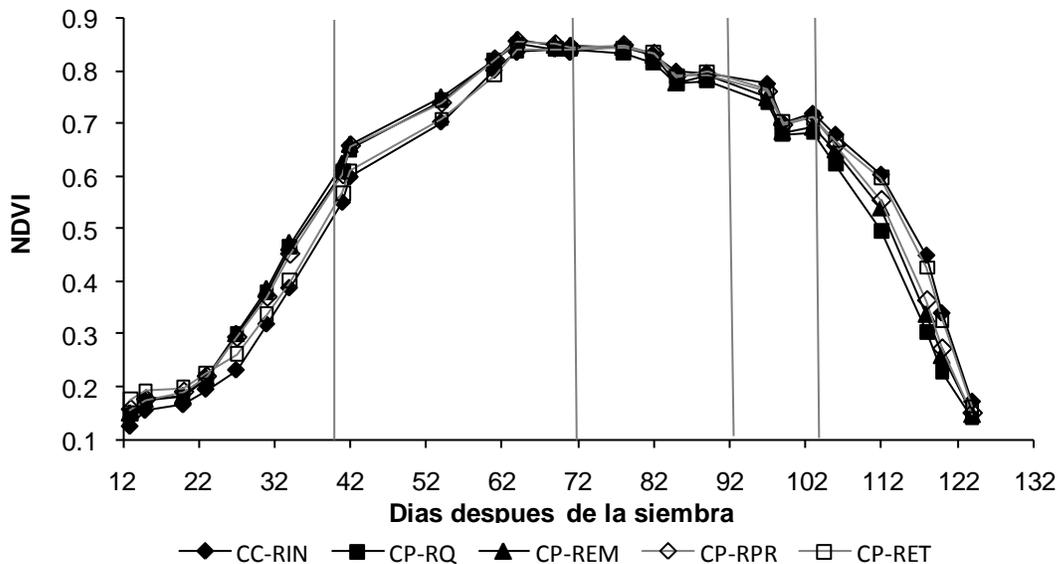
labrado para controlar la primera emergencia de maleza además esto afecta la disponibilidad de humedad en el suelo. Giraldez (1997) sostiene que cuando un suelo se voltea se incrementa notablemente las pérdidas de materia orgánica pues se acelera su descomposición; también Lamb *et al.* (1985) encontraron mayor temperatura, menor tasa de acumulación de nitratos en el perfil del suelo; por ende esto condiciona el buen aprovechamiento el crecimiento y desarrollo del cultivo. Hatfield *et al.* (2001) sostienen que la labranza mueve la humedad del suelo a la superficie, esto hace que la humedad se pierda más rápido.

En CP-residuo quemado el crecimiento y desarrollo del cultivo es lento observándose una senescencia más temprana comparado con los tratamientos donde no se quemaron (Figura 3). Prove *et al.* (1986) sostienen que la quema de los residuos de cosecha afecta no solo al medio ambiente sino al cultivo mismo, recalcando el efecto positivo de la no quema en la conservación de los suelos, en el control de malezas (Núñez y Spaan, 2007) en la estabilidad de los agregados del suelo (Braunack y Ainslie, 2001) y en la disminución de la temperatura del suelo. En el experimento a largo plazo se ha observado que la quema de residuos no es una práctica sustentable en camas permanentes.



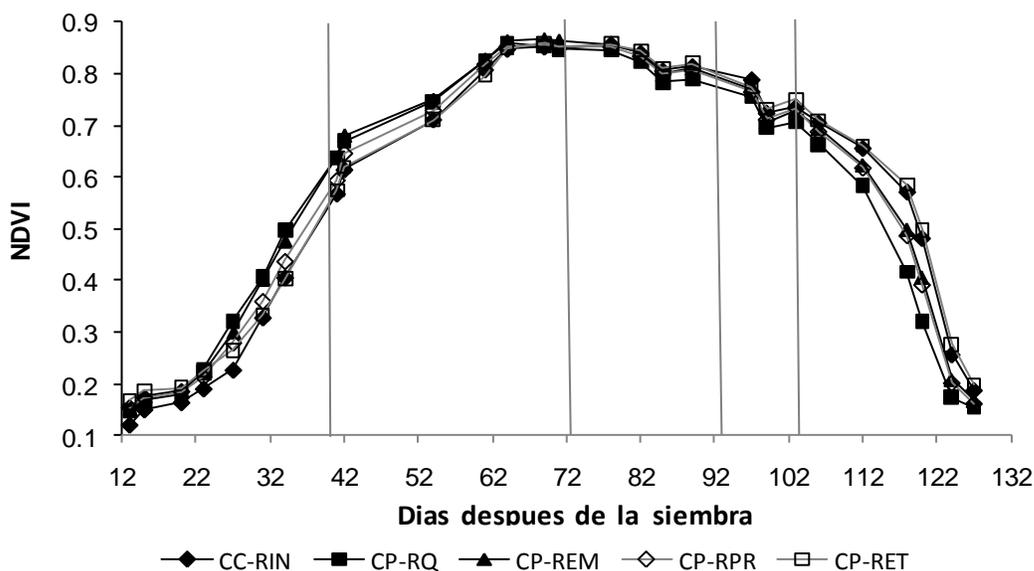
CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, RQ=rastrojo quemado, REM= rastrojo removido, RPR=rastrojo parcialmente removido, RET=rastrojo retenido. Líneas verticales= riegos de auxilio

**Figura 3. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo sin fertilización de N.**



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, RQ=rastrojo quemado, REM=rastrojo removido, RPR=rastrojo parcialmente removido, RET=rastrojo retenido. Líneas verticales= riegos de auxilio.

**Figura 4. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo de cultivo de trigo con fertilización de 150 kg N ha<sup>-1</sup>.**



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, RQ=rastrojo quemado, REM=rastrojo removido, RPR=rastrojo parcialmente removido, RET=rastrojo retenido. Líneas verticales=riegos de auxilio.

**Figura 5. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo de cultivo de trigo con fertilización de 300 kg N ha<sup>-1</sup>.**

#### 4.1.2. Contenido de humedad del suelo.

Los resultados de contenido de humedad en el perfil 0-60 cm durante todo el ciclo de trigo se muestran en los cuadros del anexo (Cuadro 2A - 4B) y su grafica en las Figuras 6 y 7. Cuando no se aplicó fertilizante de N, el contenido de humedad es más bajo en CC-residuo incorporado que en los tratamientos con camas permanentes desde el riego de presembrado hasta el primer riego de auxilio (día -20 a 43; Figura 6;  $P < 0.05$ ). En el periodo final del ciclo (108 a 136 días después de la siembra) en CP-residuo parcialmente removido es más bajo que en los demás tratamientos ( $P < 0.05$ ) como lo muestra la figura 6.

Papendic *et al.* (1973) reportaron que el movimiento de la superficie del suelo con la labranza incrementa la evaporación del agua comparado con aquellos sin labranza. Hatfield *et al.* (2001) sostienen que la labranza mueve la humedad

del suelo a la superficie, esto hace que la humedad se pierda más rápido. Blevins *et al.* (1971) afirman que labranza convencional es un sistema de producción no sustentable ya que afecta la estructura del suelo y su capacidad de retención de líquido, además los recursos biológicos y físicos del sistema son afectados. Es muy claro que la labranza mueve la humedad a la superficie del suelo, induciendo que la humedad se pierda más rápido esto se observó en las Figuras 7 y 7b después del riego de presiembra. La labranza que se realizó para controlar la maleza en las camas convencionales afectó la disponibilidad de agua en el perfil del suelo (Figura 6 y 7) además afectó la estructura del suelo y su capacidad de retención de humedad, afectando los recursos biológicos y físicos.

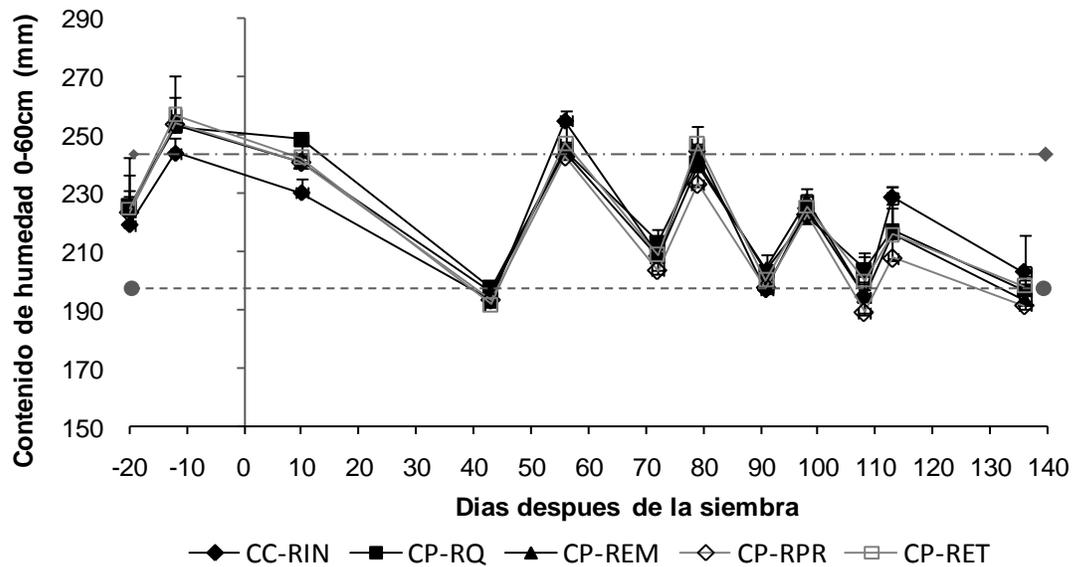
Con  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  a partir del primer riego de auxilio hasta el tercer riego de auxilio (día 56 a 98), el contenido de humedad es significativamente más bajo en CP-residuo parcialmente removido comparado con los otros tratamientos de labranza-rastrojo (Figura 7a;  $P < 0.05$ ). Desde la etapa lechoso-masoso no presento diferencias significativas entre tratamientos camas permanentes y camas convencionales.

Con  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  desde el riego de presiembra hasta el primer riego de auxilio (día -20 a 43; Figura 7b), el contenido de humedad es significativamente más alto en CP-residuo retenido comparado con los otros tratamientos y significativamente más bajo en CC-residuo incorporado y CP-residuo quemado comparado con los tratamientos de CP-retenido y removido ( $P < 0.05$ ; Figura 7b). Desde el día 56 a 98, el contenido de humedad es significativamente más alto en CP-residuo retenido comparado con CP-residuo quemado y CP-residuo parcialmente retenido ( $P < 0.05$ ; Figura 7b). En el periodo final no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Mientras en camas convencionales las prácticas de laboreo y la exposición del suelo desnudo desequilibran el sistema de producción, en Agricultura de Conservación la retención de residuos de cosecha sobre el suelo y la siembra directa tienden a

estabilizarlo. Gicheru *et al.* (1994) demostraron que la cubierta de residuos de cosecha anterior resulto en mas humedad durante dos ciclos del cultivo. Esto significa que con una cobertura permanente de residuos de cosecha en el suelo acompañado con el movimiento mínimo se mantiene por más tiempo la humedad en el suelo, se reduce la evaporación y además se mejora el contenido de materia orgánica, favoreciendo la actividad biológica. Al mejorarse la estructura del suelo la distribución del espacio poroso es mejor, permitiendo mayor humedad como lo reporta Lal (1994) además los poros interconectados minimizan el potencial de anegamiento.

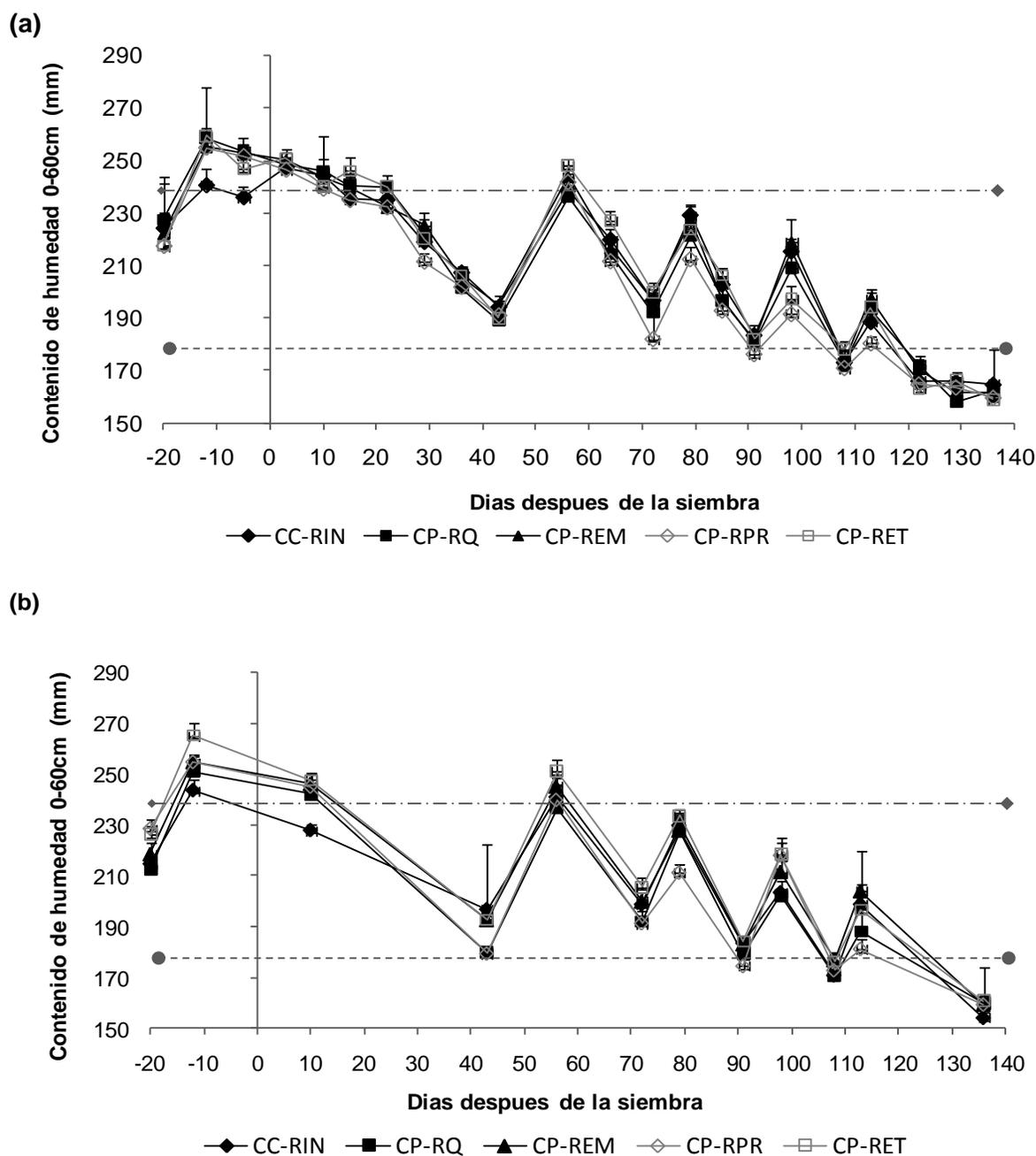
Se ha observado que con la práctica de la quema de residuos el contenido de humedad es menor que cuando se deja residuos sobre el suelo debido a que con los residuos de cosecha se retienen más humedad. Además al no tener materia orgánica (una mayor cantidad de materia orgánica significa que puede retener más agua) se reduce la retención de húmeda. Esto fue afirmado por Benites y Castellano (2003) ya que la materia orgánica facilita la infiltración y almacenamiento además produce coloides que tienen la capacidad de retener el agua. Strudley *et al.* (2008) sostienen que una mejor estructura de los agregados del suelo bajo sistemas sin labranza está asociada a la conectividad de los macroporos, lo cual influye en la infiltración y conductividad hidráulica. Además, Nielsen *et al.* (2005) reportan que al haber una mayor infiltración en suelos bajo labranza cero, aunado a una menor velocidad de evapotranspiración de suelos cubiertos por rastrojo bajo estos manejos, se logra un mayor contenido de humedad y también a una mayor eficiencia en el uso de agua. Por ello es importante que los poros estén bien interconectados para que mejore la infiltración, disminuya así el escurrimiento para un mejor desarrollo del cultivo. Tamames (2001) sostiene que en Agricultura de Conservación entre menos se le disturbe el suelo tendrá una mejor estructura, ayudando al crecimiento de las

plantas, esta estructura ayuda a retener la humedad, mejora la infiltración y estimula el crecimiento de la fauna en el suelo (Lombrices).



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, RQ= rastrojo quemado, REM= rastrojo removido, RPR= rastrojo parcialmente removido y RET= rastrojo retenido. Capacidad de Campo. ●----- Punto de Marchitez Permanente ●-----

**Figura 6. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el contenido de humedad de suelo en el perfil de 0-60 cm, a lo largo del ciclo de cultivo de trigo con 0 N.**



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrajo incorporado, RQ= rastrajo quemado, REM= rastrajo removido, RPR= rastrajo parcialmente removido y RET= rastrajo retenido. Capacidad de Campo. ◆----- Punto de Marchitez Permanente ●-----

**Figura 7. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el contenido de humedad de suelo en el perfil de 0-60 cm, a lo largo del ciclo de cultivo de trigo con fertilización de (a) 150 kg de N ha<sup>-1</sup> y (b) 300 kg de N ha<sup>-1</sup>.**

## 4.2 El ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía.

### 4.2.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

En el periodo inicial (Figura 8; del 12 a 19 días después de la siembra), el NDVI bajo riego normal es significativamente más alto en CP-residuo retenido que en CP-residuo removido sin fertilización de N y también con aplicación dividida de  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $P < 0.05$ ; Figuras 8-10). En el mismo periodo con riego reducido, solo hay diferencias significativas cuando se aplica fertilización de N con valores de NDVI significativamente más bajos en CP-residuo removido que en los otros dos tratamientos ( $P < 0.05$ ; Figura 8-10). Sin fertilización de N, del día 59 a 101, CP-residuo retenido tiene valores de NDVI significativamente más altos que en los tratamientos de CC-residuo incorporado y CP-residuo removido con riego normal ( $P < 0.05$ ; Figura 8). Con riego reducido y sin manejo de fertilización de N, después de la etapa de crecimiento hasta comienzos del estado masoso (del día 59 a 101; Figura 8) la CP-residuo retenido tiene valores de NDVI significativamente más bajos que en los tratamientos de CC-residuo incorporado y CP-residuo removido ( $P < 0.05$ ; Figura 8). En el periodo final (día 103 a 121), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos bajo ningún ambiente de riego.

Con  $114$  o  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$ , del día 24 a 55, el trigo crece más lento en las camas permanentes que en las camas convencionales manejado con riegos normales ( $P < 0.05$ ; Figuras 9-10). Sin embargo, mas tarde en el ciclo de cultivo, se compensó la diferencia. Del día 59 a 101, no hay diferencias significativas entre los tratamientos de labranza-rastrojo. Con riego reducido para el periodo final, los valores de NDVI son más altos en CP-residuo retenido que en CC-residuo incorporado, aunque la diferencia solo es marginalmente significativa ( $P = 0.080$  con  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $P = 0.054$  con  $228 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El NDVI es más elevado durante la formación de grano (día 60 a 103) para CP-con retención de todos los residuos

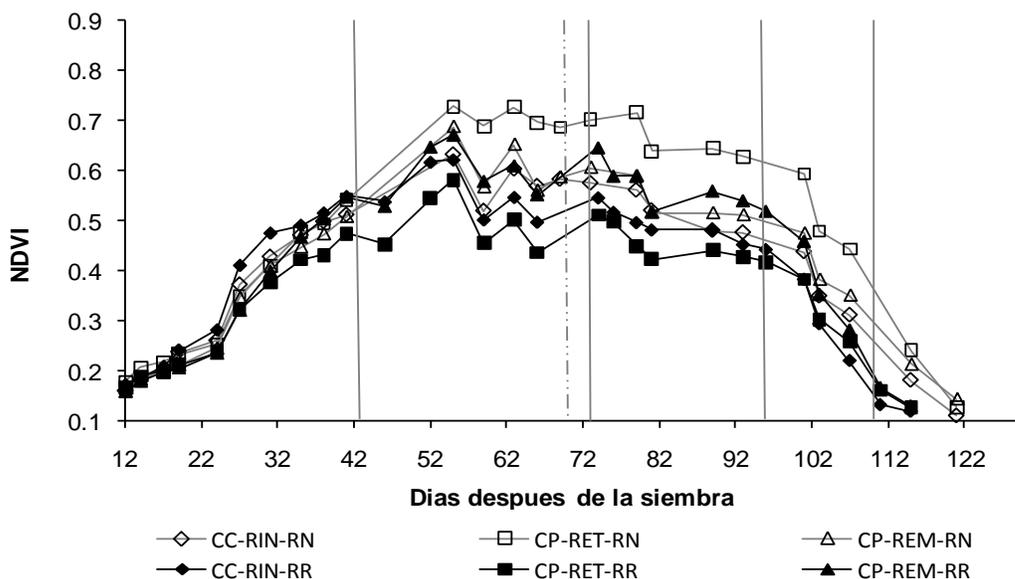
(riego reducido) y parte de los residuos probablemente refleja la disponibilidad del agua para la planta.

Los resultados de NDVI (Figuras 9 y 10) durante el ciclo del trigo bajo dos ambientes de riego; con riego normal y riego reducido con diferentes manejos de residuo y labranza, con niveles diferentes de N ( $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) los valores más altos de NDVI se da cuando las camas son permanentes y se retiene el residuo. Estudios realizados sobre la influencia de la preparación del suelo para la siembra, muestran que la labranza facilitó la movilización de nutrientes para el desarrollo inicial del cultivo. Pero más tarde en el ciclo de cultivo empieza una disminución rápida del NDVI que implica un tiempo menor de acumulación de biomasa, como lo indican Verhulst *et al.* (2009b). Estos resultados obtenidos coinciden con Govaerts *et al.* (2009b), Riley (1998), Raimbault y Vyn (1991), Vyn y Raimbault (1993), donde compararon el efecto que tiene la labranza en el desarrollo del cultivo, resultando en un desarrollo más rápido para camas con labranza convencional comparado con labranza cero; esto es debido a que la labranza moviliza los nutrientes. Pero Tamames (2001) compara el efecto de la labranza convencional, donde el uso del agua es muy poco eficiente, debido a que los escurrimientos y las pérdidas por evaporación ocasionan que se gaste más agua haciendo necesario aplicar un riego más para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Chan *et al.* (1987, 1989), Lockwood *et al.* (2000), encuentran varias explicaciones posibles para un retraso en el crecimiento temprano con rastrojo de trigo, menos movimiento del suelo y la siembra directa pueden restringir el crecimiento de la raíz.

Al someter al cultivo a un estado de sequía los valores de NDVI son más altos en camas permanentes (Figuras 9-10). Esto significa que la implementación de Agricultura de Conservación con camas permanentes y retención continua de los residuos resulta en un sistema más resistente a condiciones de sequía que el sistema convencional que incluye labranza. Además que la Agricultura de

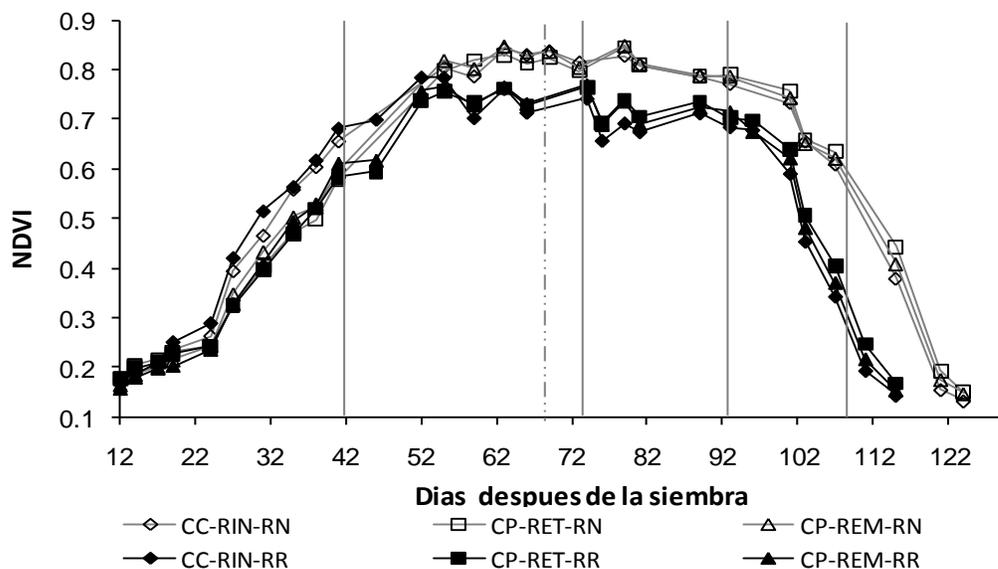
Conservación representa un sistema de producción sustentable para el agricultor. Diversos trabajos realizados por McMaster *et al.* (2002) encontraron emergencia de las plántulas más rápidas y mayor uniformidad en la labranza cero con residuos de cosecha que en labranza convencional en seis años de estudio, debido a los niveles de agua más favorables del suelo en la zona de siembra con labranza cero.

También se puede pensar que el estrés sea un factor que afecte en la etapa inicial del crecimiento en camas convencionales, ya que el contenido de humedad del suelo en la labranza cero con residuos retenido demostró ser superior o igual. Lewis *et al.* (1974) indican que el estrés afecta el crecimiento de las plantas, su metabolismo y finalmente decremento del rendimiento del cultivo. También Kobata *et al.* (1992) reportaron que cuando ocurren eventos simultáneos de altas temperaturas y estrés hídrico en la fase de llenado de grano, puede provocar reducciones significativas en el rendimiento. Entonces como la planta se vio afectada por el estrés los valores NDVI fueron menores en camas convencionales con riego reducido durante todo el ciclo y por lo tanto la planta no pudo extraer la cantidad suficiente de agua en el suelo a través de sus raíces a la misma velocidad con la que se perdió en la evapotranspiración de las hojas, coincidiendo así con lo que reportó Benites y Castellanos (2003). De acuerdo a lo observado en CP-residuo retenido asociado con el movimiento mínimo del suelo (siembra directa) junto con la rotación de cultivos representa la mejor alternativa para los agricultores que buscan asegurar al máximo la utilización del agua de riego y de la lluvia, permitiendo así una máxima conservación de la humedad dentro del perfil del suelo. Es por ello que el sistema de Agricultura de Conservación reduce los riesgos de pérdidas de cosechas por sequías prologadas o la reducción de la producción por estrés hídrico.



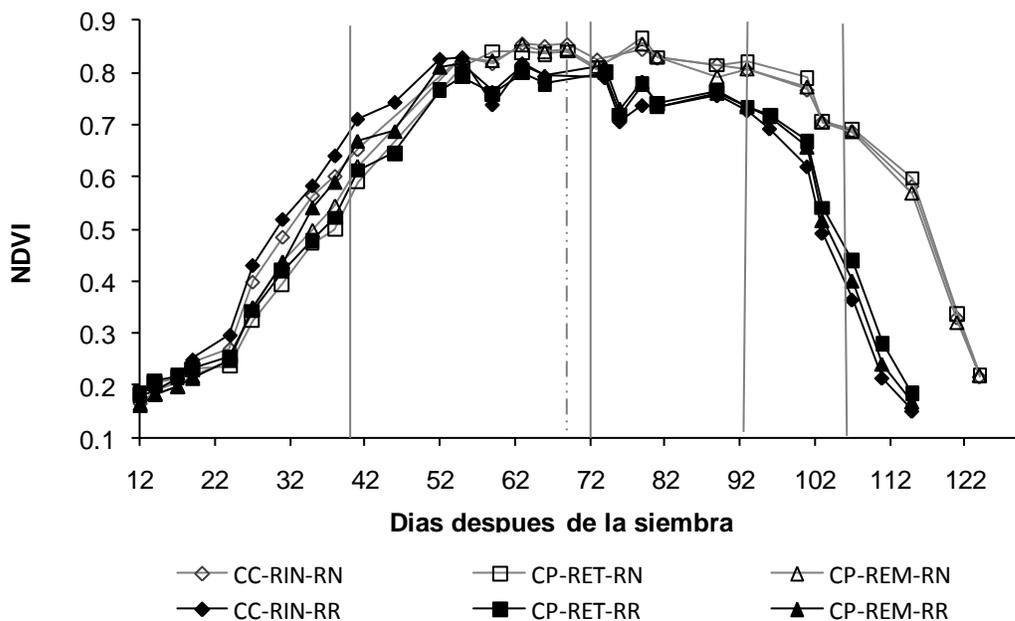
CC= Camas convencionales, CP= Camas permanentes, RIN= Residuo incorporado, RET= Residuos retenidos, REM= Parte de los residuos removidos, RN= Riego normal y RR= riego reducido. Líneas verticales riegos de auxilio (línea normal para RN; línea de puntos para RR).

**Figura 8. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo sin fertilización de N.**



CC= Camas convencionales, CP= Camas permanentes, RIN= Residuo incorporado, RET= Residuos retenidos, REM= Parte de los residuos removidos, RN= Riego normal y RR= riego reducido. Líneas verticales riegos de auxilio (línea normal para RN; línea de puntos para RR).

**Figura 9. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo con aplicación dividida de 114 kg N ha<sup>-1</sup>**



CC= Camas convencionales, CP= Camas permanentes, RIN= Residuo incorporado, RET= Residuos retenidos, REM= Parte de los residuos removidos, RN= Riego normal y RR= riego reducido. Líneas verticales riegos de auxilio (línea normal para RN; línea de puntos para RR).

**Figura 10. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre el NDVI durante el ciclo del cultivo de trigo con aplicación dividida de  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$ .**

#### 4.2.2 Contenido de humedad del suelo.

Los resultados de contenido de humedad en el perfil 0-60 cm se muestran en las Figuras 11-12. Con riego normal, no se encontraron diferencias entre los tratamientos de labranza-rastrojo cuando no se aplicó fertilización de N en toda la temporada (Figura 11). Con aplicación dividida de 114 o 228 kg N ha<sup>-1</sup>, el contenido de humedad es significativamente más alto en CP-residuo retenido que en CC-residuo incorporado desde el riego de presembrado hasta antes del primer riego de auxilio (día -18 a 41; Figura 12; P<0.05). El resto de la temporada (día 49-130), el contenido de humedad es significativamente más alto en CP-residuo retenido que en CP-residuo removido y CC-residuo incorporado con aplicación dividida de 114 kg N ha<sup>-1</sup> (P<0.05; Figura 12a). Los datos muestran la misma tendencia del día 49 a 130, con aplicación dividida de 114 kg N ha<sup>-1</sup>, aunque las diferencias solo son marginalmente significativas (P<0.01; Figura 12b). Con riego reducido, el contenido de humedad solo muestra diferencias significativas en el periodo más seco del ciclo, antes del riego de auxilio (día 41 a 67).

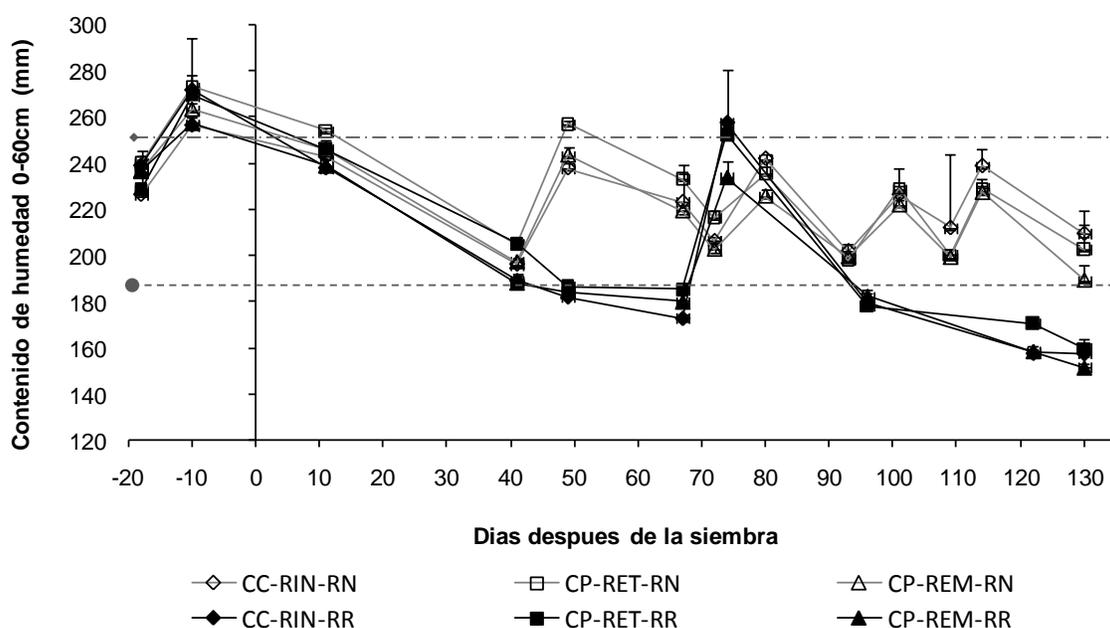
Para los tres niveles de fertilización de N, el contenido de humedad es más alta en CP-residuo retenido que en CC-residuo incorporado (P<0.05; Figura 12a-12b). Esta diferencia es aun más marcada en el período de tiempo transcurrido entre el riego de presembrado y el riego de auxilio. En consecuencia cuando el suelo no tiene suministro de agua (intervalos de riego muy largos) el requerimiento hídrico del cultivo va en aumento, y se puede notar en la figura 12a y 12b el efecto que produce el tipo de labranza sobre el suelo. De este modo se pone a prueba la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo durante la estación más húmeda (Durante riegos y lluvias). Es indudable que las diferencias observadas entre los tratamientos, se debe a la influencia ejercida por el rastrojo existente sobre la superficie del suelo; lo cual se traduce al final en una mejor infiltración, manifestada con un mayor contenido de humedad del suelo (Figura 11 y 12).

A este respecto Derpsch (1993) indica que la cobertura del suelo influye sobre la infiltración de agua y sobre la erosión hídrica, consecuentemente la cobertura facilita la captación del agua y controla la erosión. Gicheru *et al.* (1994) coinciden que la cubierta de residuos de cosecha resulta en más humedad. Lal (1994) en un ensayo encontró que al mejorarse la estructura del suelo la distribución del espacio poroso es mejor induciendo a retener mayor humedad, además los poros interconectados minimizan el potencial de anegamiento.

Limón-Ortega *et al.* (2006) reportaron que las camas permanentes con retención de los residuos tienen mayor estabilidad de agregados comparado con camas convencionales, además Hawkins *et al.* (2007) concuerdan que hay una mejor infiltración del agua. Por otra parte Uribe y Rouanet compararon en 2002 la humedad de suelo en 3 diferentes sistemas de la branza y manejo de residuos; labranza convencional, labranza cero con retención de residuos y cero labranza con quema de residuos. En este estudio encontraron que en camas con labranza cero y retención de residuos los niveles de humedad en la zona superficial, hasta los 40 cm de profundidad fueron altos en relación con la técnica de labranza convencional, justo en zonas donde se encuentra una gran proporción del sistema radicular del cultivo. Esto coincide con lo que reportan Govaerts *et al.* (2009b) donde observaron el efecto positivo que tiene la cobertura del suelo por los residuos del cultivo anterior sobre el contenido de humedad del suelo, se vuelve más claro en situaciones de sequía.

Además Marelli (1996) indica que una buena cobertura de rastrojo sobre el suelo (60-70% de rastrojo) la infiltración es mayor. También Betancourt (2004) sostiene que en labranza convencional la capa superficial del suelo es removido continuamente en cada ciclo de cultivo, con esto el suelo queda expuesto al efecto directo del viento y de la lluvia; además Hatfield *et al.* (2001) sostienen que la labranza mueve la humedad del suelo a la superficie, induciendo que la humedad se pierda más rápido. Hulugalle y Entwistle (1997a); Hulugalle *et al.* (1997b)

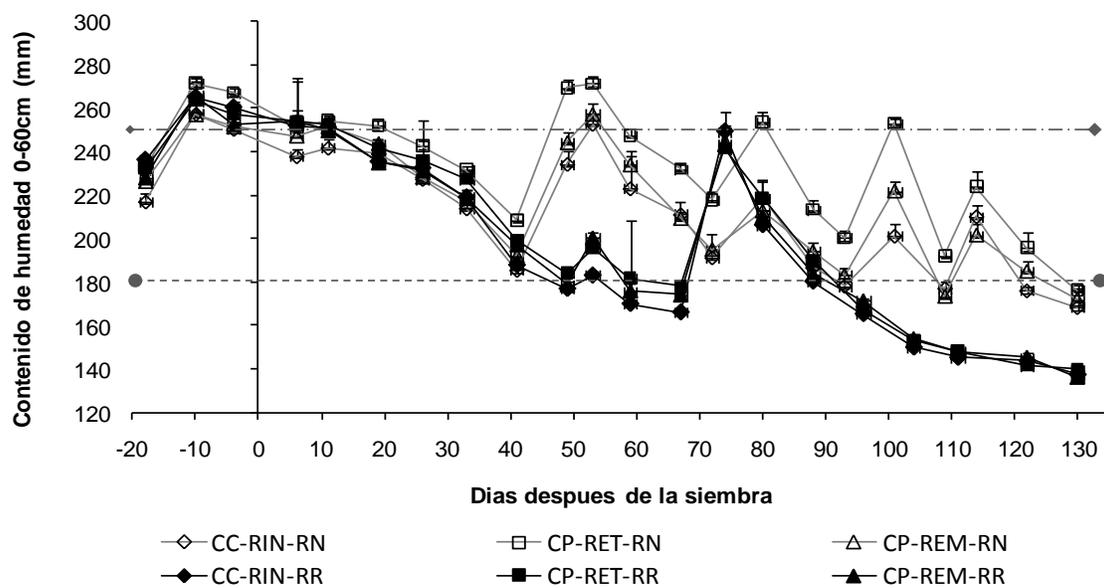
reportaron que las rotaciones algodón trigo y labranza mínima con siembra continua de algodón que en las rotaciones de trigo y la labranza mínima mejoraron significativamente el uso de agua y el nivel de extracción de agua, haciendo un uso eficiente de agua. Es por ello la Agricultura de Conservación es sustentable cuando existen limitaciones de suministro de agua (escasez de agua) ya que se logra mejorar la capacidad de retención de humedad de suelo y asegura el desarrollo de las plantas en el resto del ciclo.



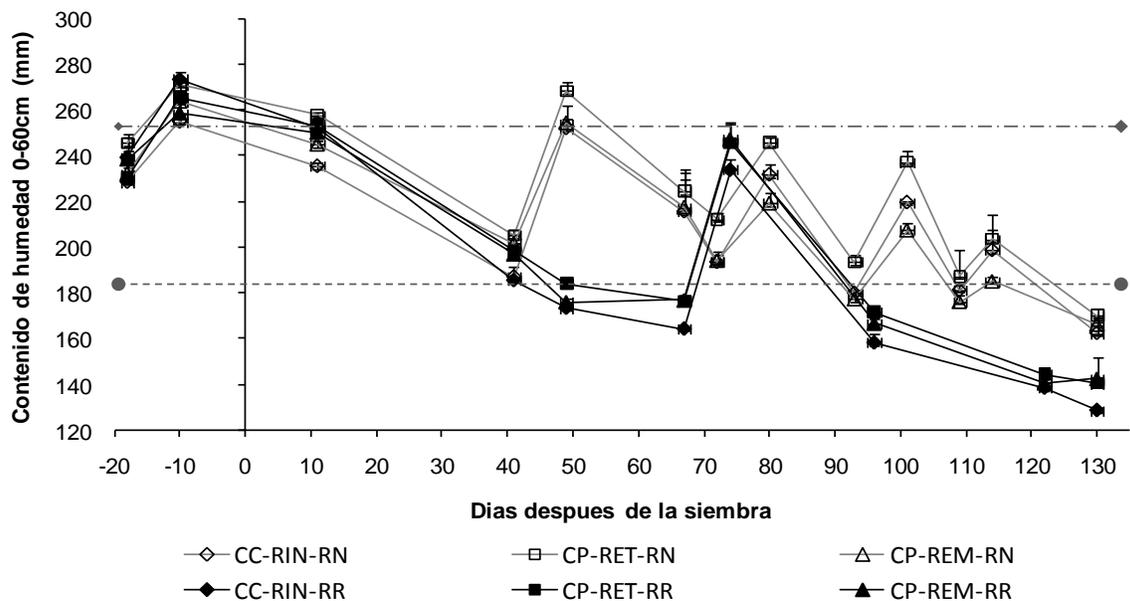
CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, REM=rastrojo removido, RPR=rastrojo parcialmente removido, RET=rastrojo retenido. RN=riego normal, RR=riego reducido. Capacidad de Campo. ●----- Punto de Marchitez Permanente ●-----

**Figura 11. Efecto de los sistemas de labranza y manejo de rastrojo sobre el contenido de humedad de suelo en el perfil de 0-60 cm, a lo largo del ciclo de cultivo de trigo con 0 N de fertilización.**

(a)



(b)



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrajo incorporado, REM=rastrajo removido, RPR=rastrajo parcialmente removido, RET=rastrajo retenido. RN=riego normal, RR=riego reducido. Capacidad de Campo. ●----- Punto de Marchitez Permanente ●-----

**Figura 12. El efecto del manejo de labranza y residuos sobre el contenido de humedad en el perfil (0-60 cm) en el ciclo de cultivo de trigo con aplicación dividida de (a) 114 kg N ha<sup>-1</sup> y (b) 228 kg N ha<sup>-1</sup>.**

### 4.3. Ensayo para evaluar la sustentabilidad a largo plazo.

#### 4.3.1 Rendimiento del grano.

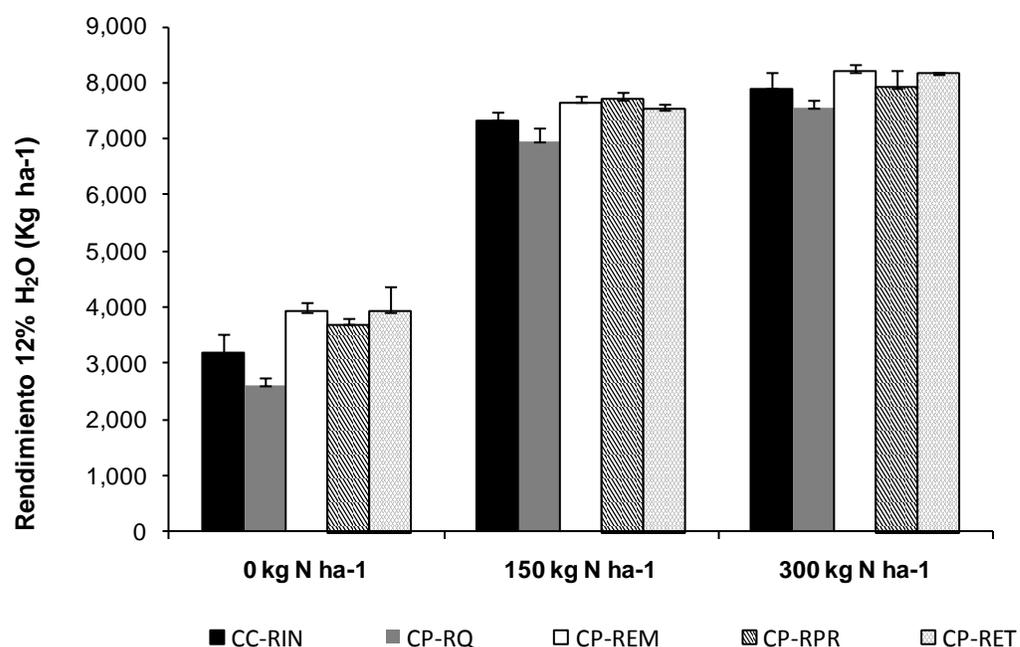
El rendimiento de trigo muestra el efecto (Figura 13) que producen los tratamientos de labranza-rastrajo, pero particular de los diferentes niveles de N con los que fueron manejados.

El rendimiento es más bajo en CP-residuo quemado que en los otros tratamientos de labranza-rastrajo ( $P < 0.05$ ; Figura 13). Esto se debe a que la quema de residuos no es compatible con la tecnología de camas permanentes. Se ha observado que al eliminar de los residuos de las cosechas induce a una disminución de la materia orgánica del suelo comparado a las camas con retención de residuos. Además, Zeleke *et al.* (2004) encontró que, mediante la incorporación de grandes cantidades de residuos de cosecha al suelo, mas la aplicación de fertilizantes inorgánicos, disminuye la densidad aparente en el suelo. Manna *et al.* (2003) indican que al disminuir las reservas orgánicas del suelo trae como consecuencia a corto plazo, una reducción del rendimiento potencial de los cultivos, baja actividad biológica y encostramiento. Por lo anterior, uno de los más grandes problemas que enfrentan los agricultores al laborear el suelo es la pérdida continua de materia orgánica. Sayre *et al.* (2006) sostienen que si se deja en el terreno al menos 30-40% de los residuos, son suficientes para proporcionar una buena cobertura sobre del terreno beneficiando la calidad del suelo y reflejándose a un corto plazo en el rendimiento.

Las camas permanentes con retención continua de residuos cuando se le da un buen manejo del N ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) muestra mejores rendimientos comparado con CC-residuo incorporado ( $P < 0.05$ ). El rendimiento promedio de grano de trigo manejado a  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  es significativamente más bajo ( $3.46 \text{ t ha}^{-1}$ ) comparado con  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $300 \text{ kg N}$

ha<sup>-1</sup> (P<0.05; Figura 13). Cuando es manejado con 300 kg N ha<sup>-1</sup> el rendimiento promedio es significativamente más alto (7.8 t ha<sup>-1</sup>) comparado con 0 kg N ha<sup>-1</sup> (P<0.05; Figura 13).

Cuando la aplicación de N va de 150 a 300 kg N ha<sup>-1</sup>, únicamente hay una diferencia de rendimiento de 500 kg ha<sup>-1</sup>(Figura 13). En el experimento a largo plazo definitivamente no se considera rentable hacer la aplicación basal de 300 kg N ha<sup>-1</sup> debido a que la retención de los residuos de los cultivos sobre la superficie junto con las camas permanentes son un factor esencial para mejorar los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo que son de suma importancia para asegurar la sustentabilidad de la producción a largo plazo.



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, RQ=rastrojo quemado, REM=rastrojo removido, RPR=rastrojo parcialmente removido, RET=rastrojo retenido. RN=riego normal, RR=riego reducido

**Figura. 13. Rendimiento de grano de trigo (kg ha<sup>-1</sup> 12 % H<sub>2</sub>O) con diferentes manejos de residuos y labranza con aplicación basal en banda de 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg N ha<sup>-1</sup> y 300 kg N ha<sup>-1</sup> durante todo el ciclo. Las barras del error representan la desviación estándar.**

#### **4.4. El ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía.**

##### **4.4.1 Rendimiento del grano.**

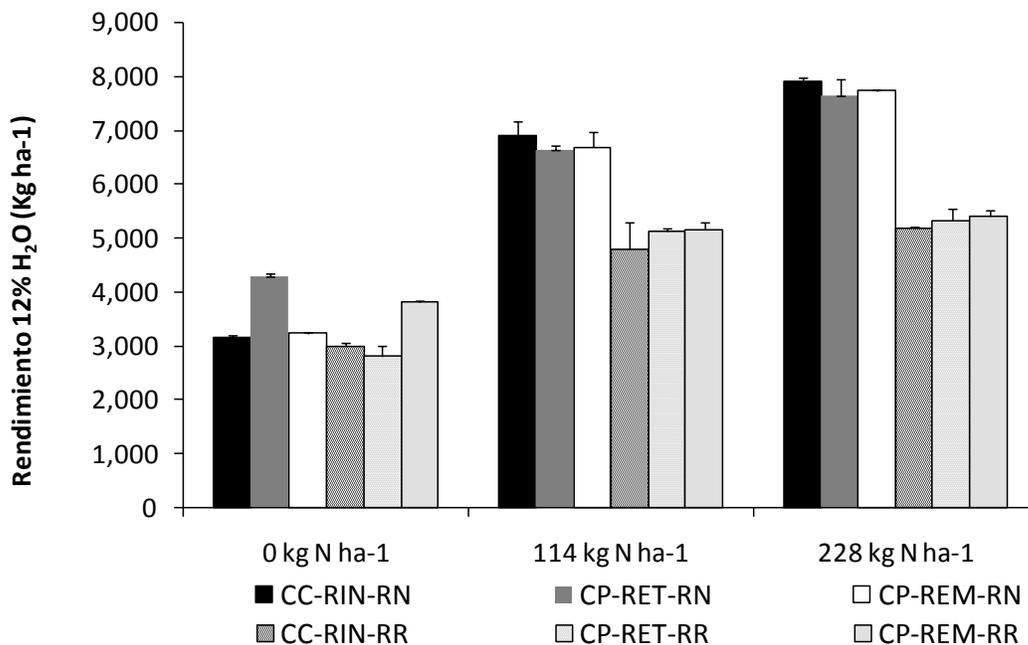
El rendimiento presenta claras diferencias entre los ambientes de riego (riego normal y reducido; Figura 14). En condiciones de riego normal (sin estrés), no presenta diferencias significativas entre los tratamientos labranza-rastrojo; sin embargo se tienen diferencias entre los niveles de N ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; Figura 14).

El rendimiento de trigo manejado con  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  es significativamente más bajo ( $3.5 \text{ Ton ha}^{-1}$ ) comparado con  $114$  y  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $P < 0.05$ ; Figura 14). Cuando es manejado con  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$  es significativamente más alto ( $7.7 \text{ t ha}^{-1}$ ) comparado con  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Los rendimientos en CP-residuo retenido son los más estables entre los niveles de N ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) comparado con camas convencionales.

Bajo condiciones de estrés, se observa que cuando el cultivo de trigo es manejado bajo el sistema de CP-RET y sin fertilización nitrogenada, los rendimientos tienden a bajar en comparación con CC-RIN y CP-REM. Esta situación desaparece al realizarse la fertilización nitrogenada ( $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; Figura 14) con rendimientos igual o mayores que los obtenidos bajo CC-RIN.

Es muy evidente el efecto que se presenta al someter un cultivo a estrés hídrico (riego reducido) esto se refleja claramente en el rendimiento de grano, resultando afectado desde el desarrollo del cultivo. Además, la producción de biomasa es menor en condiciones de riego limitado que con riego normal. Otro factor que limitó al rendimiento fue el contenido de humedad del suelo, siendo los tratamientos de CP- con residuos donde se mejoró la humedad induciendo que se retenga por más tiempo el agua, permitiendo la disponibilidad de los nutrientes

tienden a ser más necesario en condiciones limitadas de riego. También los valores de NDVI son más bajos cuando el cultivo es sometido a estrés. Por ello algunos autores como Flowers *et al.* (2003) y Moges *et al.* (2004) indican que el NDVI está altamente correlacionado con el rendimiento de grano y absorción de N en trigo.



CC=camas convencionales, CP=camas permanentes, RIN=rastrojo incorporado, REM=rastrojo removido, RPR=rastrojo parcialmente removido, RET=rastrojo retenido. RN=riego normal, RR=riego reducido

**Figura. 14. Rendimiento de grano de trigo ( $\text{kg ha}^{-1}$  12 %  $\text{H}_2\text{O}$ ) con diferentes manejos de residuos y labranza con aplicación basal de  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$  durante todo el ciclo. Las barras del error representan la desviación estándar.**

## V.- CONCLUSIONES

### 5.1 Ensayo de sustentabilidad a largo plazo

La influencia que tiene la retención de residuos se refleja en el contenido de humedad: CP con retención de residuos (todos o parte de los residuos) tiene mayor contenido de humedad comparado a CC donde se incorporan los residuos. En CP-residuo quemado se observa menor contenido de humedad en el perfil del suelo comparado a camas permanentes con retención de residuos y el desarrollo del cultivo es severamente afectado, disminuyendo el rendimiento de grano. Con aplicación de 150 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>, el crecimiento del cultivo es más lento al inicio del ciclo en CC-residuo incorporado y CP-residuo quemado en comparación a camas permanentes reteniendo los residuos, pero más tarde en el periodo estable, el crecimiento es más lento en CC-residuo incorporado y CP-reteniendo residuos comparado CP-residuos parcialmente removido. En el periodo final, no hay diferencias entre los tratamientos. El rendimiento en camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos es más estable comparado a camas convencionales residuos incorporados. Además cuando la aplicación de nitrógeno va de 150 a 300 kg N ha<sup>-1</sup> únicamente hay un incremento de rendimiento de 500 kg ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto no es rentable hacer la aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup>.

### 5.2 Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia

Bajo un escenario de escasez de agua con fertilización de 114 y 228 kg N ha<sup>-1</sup> en camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos se observó un mayor contenido de humedad en el perfil del suelo, comparado a camas convencionales donde se incorporaron los residuos. La disponibilidad de agua en el perfil del suelo se refleja en un mayor crecimiento del trigo; el NDVI es más elevado durante la formación de grano en camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos que en camas convencionales donde los residuos son incorporados.

Bajo riego normal y sin fertilizar, las camas permanentes con retención de residuos permitieron un mejor desarrollo del cultivo comparado a las camas convencionales. La humedad en el perfil del suelo es mejor cuando se retienen residuos sobre la superficie que cuando se incorporan al suelo. Con 114 y 228 kg N ha<sup>-1</sup> en camas permanentes reteniendo residuos el crecimiento inicial es más lento, comparado a camas convencionales; sin embargo, mas tarde en el ciclo del cultivo, se compensó la diferencia para camas permanentes. Los rendimientos de trigo con Agricultura de Conservación se resumen en rendimientos mayores o iguales comparados con labranza convencional. La Agricultura de Conservación funcionara si se retienen (parte de) los residuos permitiendo reducir los riesgos de producción por efecto de la sequia haciéndolo un sistema sustentable. Por ello es necesario contar con más información acerca del impacto positivo que genera la retención de residuos de cosecha y de la labranza.

## VI.-LITERATURA CITADA

- Aquino, P., 1998. The adoption of bed planting of wheat in de Yaqui Valley, Sonora, Mexico. Wheat Special Report.17a, CIMMYT, México D.F.
- Álvarez, R. Y H.S. Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and tillage research. 2645: pp.15.
- Arreola, T., J.M. 2000. Représentation spatialisée de leffet du semis direct sur paillis des résidus, sur la protection dessols et le rendement de maïs pluvial dans l etat de Jalisco, Mexique. These de doctorat. Université de Bourgogne, France. 204 p.
- Arreola, T., J.M, M. Hernández M., R. García S, J.L. Fregoso T. 2006.Consideraciones tecnológicas básicas del riego superficial en la producción de granos bajo labranza de conservación en Guanajuato. Consejo y Tecnología del Estado de Guanajuato Gaceta Informativa Núm. 15 p. 23-31.
- Ageeb, O.A.A. 1994. Agronomic aspects of wheat production in Sudan. In D.A. Saunders & G.P. Hettel, eds. Wheat in heat-stressed environments: irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, p. 67-74. Mexico, D.F., CIMMYT. 402 pp.
- Avery, T. E. and Berlin, G.L. 1992. Fundamentals of Remote Sensing and Air photo Interpretation. Ed. Upper Saddle River, Prentice-Hall, Inc.
- Barnes, J. And Putnam, A. 1983. Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. J. Chem. Ecol. 9:1045-1057.
- Benites, J. y A. Castellanos. 2003. Mejorando la humedad del suelo con agricultura de conservación. Viale delle Terme di Caracalla, Roma, Italia. LEISA revista de agroecología.19:5-6. (26-agosto-2010) <http://www.fao.org/landandwater>.
- Ben-Hammouda, M., K. M'Hedhbi, L. Abidi, A. Rajeh, H. Chourabi, J. El- Faleh, C. Dichiará. 2008. Conservation Agriculture Based on Direct Sowing. In: The future of drylands. Lee C. Y T. Schaaf .Editorial Springer.647-657 pp.

- Braunack, M. and H. Ainslie. 2001. Trash blanket and soil physical properties: Mackay experience. En: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 23, Mackay, Australia, pp.154-160.
- Brown, M.J. 1985. Effect of Grain Straw and Furrow Irrigation Stream Size on Soil Erosion and Infiltration. Journal of Soil and Water Conservation. 40: 389-391.
- Byerlee, D. And Moya, P., 1993. Impacts of international wheat breeding research in the developing world. CIMMYT, México D.F., México
- Boone, R. B., K. A. Galvin, et al. 2000. Generalizing El Nino effects upon Maasai livestock using hierarchical clusters of vegetation patterns. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 66(6): 737-744.
- Blevins, R.L., Thomas, G.W., and Cornelius, P.L. 1977. Influence of No-Tillage and Nitrogen-Fertilization on Certain Soil Properties After 5 Years of Continuous Corn. Agronomy Journal. 69:383-386.
- Castañeda, C., C. López, J. Molina, B. Colina, A. Livera. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. Revista fitotecnia mexicana. 27: 167-175
- CIMMYT, 2006. CIMMYT anual report 2005-2006. CIMMYT, México D.F., pp. 28.
- CIMMYT, 2007. La labranza cero gana adeptos entre los productores de trigo de invierno en Turquía. CIMMYT Boletín. No. 4.  
<http://www.cimmyt.org/spanish/wps/news/2007/aug/Turkey.htm> (8 de agosto 2010)
- CIMMYT. 2008. Agricultores de la India y Pakistán cosechan los beneficios de la cero labranza. CIMMYT E-Boletín. No. 5. <http://www.cimmyt.org/spanish/wps/news/2008/jan/indiapakistan.htm> (5 de Julio 2010)
- Coulombe, C. E., L. P. Wilding, and J. B. Dixon. 1996. Overview of Vertisols: characteristics and impacts on society. Adv. Agronomy. 57: 289-375.

- Chan, K.Y., Mead, J.A., Roberts, W.P., 1987. Poor early growth of wheat under direct drilling. *Aust. J. Agric. Res.* 38, 791–800.
- Chan, K.Y., Mead, J.A., Roberts, W.P., Wong, P.T.W., 1989. The effect of soil compaction and fumigation on poor early growth of wheat under direct drilling. *Aust. J. Agric. Res.* 42, 221–228.
- Dalal, R.C. 1989. Long-Term Effects of No-Tillage, Crop Residue, and Nitrogen Application on Properties of a Vertisol. *Soil Science Society of America Journal.* 53: 1511-1515.
- Derpsch, R., 1993. La rotación de cultivos y su importancia en la siembra Directa; Trabajo presentado en el II Congreso Nacional de Siembra Directa en Córdoba-Argentina. 35 p.
- Ekboir, J. 2002. CIMMYT 2000-2001 World Wheat Overview and Outlook: Developing No-Till Packages for Small-Scale Farmers. México, DF: CIMMYT.
- FAO, 2000. AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura FAO. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/méxico/indexesp.stm> (5 julio 2010).
- FAO (2003). Los Aspectos Económicos de la Agricultura de Conservación, 2003. Boletín FAO.
- FAO (2004). Agricultura de Conservación, Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de las Plantas. Viale del Corso Venezia, 100 Roma, Italia. Boletín FAO. <http://www.fao.org/landandwater.html> (20 agosto 2010)
- FAO. 2008. ¿Qué es la agricultura de conservación? <http://www.fao.org/ag/ca/es/1a.html> (12 Mayo 2010)
- Fox, W.E., 1964. Cracking characteristics and field capacity in a swelling soil. *Soil Science*, pp. 98, 413.

- Figuroa B. Y Morales F.J. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. CREZAS. CP. SLP México. pp. 272.
- Flowers, M. & Lal, R., 1999. Axle load and tillage effects on the shrinkage characteristics of a Mollic Ochraqualf in northwest Ohio. *Soil and Tillage Research*, 50, 251 - 258.
- Flowers M., Weisz R and Heiniger R. 2003. Quantitative approaches for using color infrared photography for assessing in season nitrogen status in winter wheat. *Argron. J.* 95, 1189-1200.
- Garty, J., Tamir, O., Hassid, I., Eshel, A., Cohen, Y., Karnieli, A., Orlovsky, I. 2001. Photosynthesis, Chlorophyll Integrity, and Spectral Reflectance in Lichens Exposed to Air Pollution. *Journal of Environmental Quality*. 30:884-893.
- Gicheru, P.T. 1994. Effects of Residue Mulch and Tillage on Soil-Moisture Conservation. *SoilTechnology*7, 209-220.
- Giraldez, C. J. V. 1997. Efectos de los diferentes sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, pp. 53-72. Eds. L García Torres y P González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos.
- Govaerts, B., K. D. Sayre, B. Goudeseune, P. De Corte, K. Lichter, L. Dendooven, J. Deckers. 2009a. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil & Tillage Research*. 103: 222–230
- Govaerts, B., N. Verhulst, E. Verachtert, F. Kienle, A. Limon-Ortega, J. Mendoza, J. Deckers, D. Raes, K. D. Sayre. 2009b. La importancia del manejo de los residuos del cultivo para mantener la calidad del suelo en sistemas de cultivo con cero labranza; Una comparación entre ensayos a largo plazo en sistemas de cultivo de trigo de temporal y de riego. Presentado en el Primer Foro Regional sobre la quema de Esquilmos, Ciudad Obregón, Sonora, México, Mayo 27.

- Govaerts, B., Sayre, K.D., Ceballos-Ramírez, J.M., Luna-Guido, M.L., Limón-Ortega, A., Deckers, J., Dendooven, L., 2006. Conventionally tilled and permanent raised bedswith different crop residue management: effects on soil C and N dynamics. *Plant Soil* 280, 143–155.
- Govaerts, B., Sayre, K. and Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting. *Field Crops Research*.
- Gomez, J. A., Giraldez, J.V. and Fereres, E. 2001. Análisis of infiltration and runoff in an olive orchard under no-till. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 65: 291-299.
- Grageda C. O. A. 1999. La fertilización nitrogenada en EL Bajío guanajuatense como fuente potencial de contaminantes ambiental. Tesis de Doctorado en Biotecnología y Bioingeniería. CINVESTAV-IPN. México, D.F. 145 p.
- Hawkins, G. L., D. Sullivan y C. Truman. 2007. Water Savings Through Conservation Tillage. <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubs/PDF/C916.pdf> (16 de junio 2010).
- Hatfield, J.L., Sauer, T.S., Prueger, J.H., 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiencies: a review. *Agronomy Journal*. 93, 271–280.
- Hill, R.L. and Cruse, R. M. 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1270-1273.
- Howard, M. Y Gomez H. 2001. Trigo regado. FAO. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s00.htm>(20 septiembre 2010).
- Hulugalle, N.R., Lobry de Bruyn L.A., Entwistle, P.C., 1997a. Residual effects of tillage and crop rotation on soil properties, soil invertebrate numbers and nutrient uptake in an irrigated Vertisol sown to cotton. *Applied Soil Ecology*. 7, 11–30.
- Hulugalle, N.R. y P.C. Entwistle.1997b. Soil properties and crop growth in an irrigated Vertisol after nine years of minimum tillage. *Soil & Tillage Research*. 42: 15–32.

- Hulugalle N.R., Nehl D.B. and Weaver TB (2004a) Soil properties, and cotton growth, yield and fibre quality in three cotton-based cropping systems. *Soil Till Res* 75:131–141
- Hulugalle N.R., Weaver T.B., Finlay L.A. (2010). Soil water storage and drainage under cotton-based cropping systems in a furrow-irrigated Vertisol. *Agr Water Manage* 97:1703–1710
- INIFAP. 2001. Guía técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental Valle del Yaqui. Comité editorial CEVY. Pp. 282
- INIFAP, 2005. Innovaciones tecnológicas 2005. Para mejorar la competitividad y sostenibilidad de las cadenas agroalimentarias y agroindustriales. Folleto técnico.
- Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Reginato and P.J. Pinter. 1981. Canopy temperatures as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17: 1133-1138.
- Jackson, R.D., P.J. Pinter, R.J. Reginato and S.B. Idso. 1986. Detection and evaluation of plant stress for crop management decisions. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing* GE-24: 99-106.
- Kay, B. D. And Angers D. A. 2000. Soil structure. pp A-229 A-276. (ed.) Sumner, M. E. In: *Handbook of soil science*. EEUU.
- Kienle, F., 2008. Consecuencias de la agricultura de conservación en la eficiencia del uso de agua bajo condiciones de riego. Tesis de Maestría en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 29-32 pp.
- Kobata, T., J. Palta and N. Turner. 1992. Rate of Development of Postanthesis Water Deficits and Grain Filling of Spring Wheat. *Crop Science*. 32: 1238-1242.
- Kumar, R. and L. Silva. 1973. Light ray tracing through a leaf cross- section. *Appl. Optics* 12: 2950-2954.
- Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No. 21.

- Lamb, J. A., Peterson, G. A. and Fensterl, R., 1985. Fallow nitrate accumulation in a wheat fallow rotation as affected by tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: pp. 1441-46G
- Lewis, R.B., E.A. Hiler and W.R. Jordan. 1974. Susceptibility of grain (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)Sorghum to water deficit at three growth stages. *Agronomy Journal*.66: 589–591.
- Limón-Ortega, A., Sayre, K. D., Francis, C. A., 2000a. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in Northwest Mexico. *Agronomy Journal*. 92, 303–308.
- Limón-Ortega, A, Villaseñor, H.E, Espitia, E.R., Sayre, K.D., 2004. Siembra de Trigo en camas: una opción tecnológica para ambientes de temporal. Folleto Técnico No. 20. Noviembre 2004. pp.13.
- Limón-Ortega, A. Et al., 2005. Soil aggregate and microbial biomass in a permanent bed wheat–maize planting system after 12 years. *Field Crops Reasearch*, 97, 302 -309.
- Limón-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. *Field Crops Reasearch*. 97: 302 - 309.
- Liebl, R. And Worsham, A. 1983. Inhibition of morningglory and certain other weed species by phytotoxic components of wheat straw. *J Chem. Ecol.* 9:1027-1043.
- Loomis, R. S. and J. S. Amthor 1996. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. *Crop Sci.* 39:1584-1596.
- Lockwood, P. V., Macleod, D. A., Cass, A., Regar, A.F.C., 2000. Suppression of wheat early growth in standing stubble. *Sci. Soils* 5, 10–21.
- Ma B. L. and D.L Smith (1992). Apical development of spring barley under field conditions in Notheastern North America. *Crop Sci.* 32: 144-149.
- Manna, M. C., P. K. Ghosh y C. L. Acharya. 2003. Sustainable crop production through management of soil organic carbon in semiarid and tropical India. *J. Sustainable Agric.* 21: 87-116.

- Marelli, H. J. 1996. La labranza conservacionista. Argentina. Informe para extensión N° 32 INTA. 7 p-
- McMaster, G.S., Palic, D.B., Dunn, G.H., 2002. Soil management alters seedling emergence and subsequent autumn growth and yield in dryland winter wheat-fallow systems in the Central Great Plains on a clay loam soil. *Soil Till. Res.* 65, 193–206
- McIntosh, M.S., 1983. Analysis of combined experiments. *Agronomy J.* 75, 153–155.
- MMA.2008. Agricultura de conservación.  
[http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/desertificacion/inventario\\_tecnologias\\_lucha\\_contra\\_desertificacion/pdf/69\\_Agriculturadeconservacion.pdf](http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/desertificacion/inventario_tecnologias_lucha_contra_desertificacion/pdf/69_Agriculturadeconservacion.pdf) (24 mayo 2010).
- Milthorpe F. L. 1959. Studies on the expansion of the leaf surface. 1. The influence of temperature. *Journal of Experimental Botany.* 10: 233-249.
- Mitchell, A.R. & van Genuchten, M.T., 1992. Shrinkage of bare and cultivated soil. *Soil Science Society of America Journal*, (56), 1036 - 1042.
- Moreno, F., F. Pelegrín, J. E. Fernández and J. M. Murillo. 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil & Tillage Research.* 41: 25-42.
- Moges S., M., Raun W., R., Mullen R., W., Freeman K., W., Johnson G., V. and Solie J., B. 2004. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. *J. Plant Nutr.* 27, 1431-1441.
- Nielsen, D.C., Unger, P., Miller, P.R., 2005. Efficient water use in dryland cropping systems in the Great Plains. *Agronomy Journal.* 97, 364–372.
- Núñez, O. and E. Spaans. 2007. Evaluation of green-cane harvesting and crop management with a trash-blanket. En: *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, 26, Durban, Australia, pp. 131-142.

- Papendic, R.I., Lindstro, M.J., and Cochran, V.L. 1973. Soil Mulch Effects on Seedbed Temperature and Water During Fallow in Eastern Washington. *Soil Science Society of American Journals*. 37:307-314.
- Peña L., Carrasco P., Sandoval M. y Figueroa M. 1994. Labranza de Conservación del suelo en terrenos de lomaje de la cuenca del Bío-Bío. *Agrociencia*, 10 –1: 27. Prove, G. B.; P. N. Truong and D. S. Evans. 1986. Strategies for controlling caneland erosion in the wet tropical coast of Queensland. En: *Proc. Aust. Sug. Soc. Cane Technol.*, 8, Townsville, Australia, pp. 77-84.
- Raimbault, B. A. y Vyn, T. J. 1991. Crop-rotation and tillage effect on corn growth and soil structural stability. *Agronomy Journal*. 83, 979-985.
- Rawson, H.M. and H.G. Macpherson.2000. *Trigo regado: Manejo del cultivo*.Rome: FAO.
- Rebetzke, G.J., T.L. Bortwright, C.S. Moore, R.A. Richards and A.G. Condon. 2004. Genotypic variation in specific leaf area for genetic improvement of early vigour in wheat. *Fidel Crops Res*.88:179-189.
- Sayre, K.D and Hobbs, P.R., 2004. The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. In R. Lal, P. Hobbs, N. Up hoff and D.O. Hansen. (eds). *Sustainable Agriculture and the Rice-Wheat System*. Chapter 20: 337-355. Ohio State University. Columbus, Ohio, USA. Chapter 20: 337-355.
- Sayre, K.D., 2004. Raised bed cultivation. In R. Lal (ed). *Encyclopedia of soil science*.Marcel Decker, New York, US.
- Sayre, K.D., Govaerts, B., Limón-Ortega, A., Martínez., A., y Cruz, M., 2006. Adopción de sistemas de siembra de trigo en camas permanentes y riego en el noreste de México después de 14 años. *Memoria del 1er.Foro de Producción y Comercialización de Trigo en Guanajuato*. Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental Bajío, Celaya, Gto., México. pp. 111-118. (Memoria Científico).

- Sánchez, M., 2009. Los Sistemas de Irrigación en México. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. (2-junio-2010) [http://red-tematica.conacyt.blogspot.com/2009\\_06\\_01\\_archive.html](http://red-tematica.conacyt.blogspot.com/2009_06_01_archive.html).
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. US Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, USA.
- Soria, R. J. 1999. Determinación de sitios de ocurrencia y estimación de rendimientos de maíz (*Zea mays*L.) A través de Sensores remotos. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp. 45-50
- Shaxson, F. y Barber, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO 79.
- Schachtschabel, P. Et al., 1998. Lehrbuch der Bodenkunde<sup>14</sup> ed., Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Strudley, M.W., Green, T.R., Ascough II, J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. Soil and Tillage Research. pp. 99, 4–48.
- Tamames, R., 2001. Agricultura de Conservación 2001: Un enfoque global, Madrid (España), Instituto de Cuestiones Agrarias y Medioambientales.
- Tebrügge, F., Borin, M., Mazzonecini, M., Basch, G. 1997. Effects of tillage systems on physical, chemical and biological soil characteristics. pp. 41-74 (ed.) Borin, M., Sartori, L., Giupponi, C., Manzonecini, M., During, R., Basch. In: Effects of tillage systems on herbicide dissipation an experimental approach at field scale. Comission of the European Communities. Unipress.
- Tiscareño L., M., A. D. Baez, G., V. Velazquez M., N. Potter K., J.Stone, M. Tapia V. and R. Claveran A. 1999. Agriculture research for wastersherd restoration in central Mexico. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 54.

- Thiruvengadachari, S and R. Sakthivadivel. 1999. Satellite remote sensing for assessment of irrigation system performance: A case study in India. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- Uribe, H. Y J. L. Rouanet. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. Agricultura técnica. 0365-2807
- Verhulst, N. B. Govaerts, F. Kienle, L. Tijerina-Chavez, J. Deckers, D. Raes, K. D. Sayre. 2009. The effect of tillage, crop residue management and nitrogen fertilization on wheat crop performance in an irrigated bed planting system in northwestern of Mexico. Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 18th Triennial Conference, Izmir, Turkey, June 15-19. ISBN: 978-975F-483-823-7
- Vuelvas, M.A, Medina, T. Martinez, J. y Arreola, J.M., 2006. Métodos de riego en Trigo. Memoria del 1er. Foro de Producción y Comercialización de Trigo en Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental Bajío, Celaya, Gto., México. pp. 111-118.
- Vyn, T. J., Raimbault, B. A. 1993. Long term effect of 5 tillage systems on corn response and soil-structure. Agronomy Journal. 96, 502-509.
- White, P.J., 1984. Effects of crop residue incorporation on soil properties and growth of subsequent crops. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 24, 219–235.
- White, R.E., 2005. Principles and Practice of Soil Science: The Soil As a Natural Resource 4<sup>o</sup> ed., Blackwell Publishing. Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No. 21.
- Zeleeke, T. B., M. C. J. Grevers, B. C. Si, A. R. Mermut y S. Beyene. 2004. Effect of residue incorporation on physical properties of the surface soil in the South Central Rift Valley of Ethiopia. Soil Tillage Res. 77: 35-4

## ANEXO I

### 1A: Abreviaciones

Agricultura de Conservación	AC
Días Después de la Siembra	DDS
Camas Convencionales Residuo incorporado	CC-RIN
Camas Permanentes Residuo Quemado	CP-RQ
Camas Permanentes Residuo Removido	CP-REM
Camas Permanentes Residuo Parcialmente Removido	CP-RPR
Camas Permanentes Residuo Retenido	CP-RET
Camas Convencionales Residuo incorporado-Riego Normal	CC-RIN-RN
Camas Permanentes Residuo Retenido- Riego Normal	CP-RET-RN
Camas Permanentes Residuo Removido- Riego Normal	CP-REM-RN
Camas Convencionales Residuo incorporado-Riego Reducido	CC-RIN-RR
Camas Permanentes Residuo Retenido- Riego Reducido	CP-RET-RR
Camas Permanentes Residuo Removido- Riego Reducido	CP-REM-RR
Labranza-Residuos	LAB-RES
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	NDVI
Comisión Nacional del Agua	CONAGUA
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	INIFAP
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo	CIMMYT
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	FAO

## Ensayo de sustentabilidad a Largo plazo

Cuadro 2A: Contenido de humedad del suelo (mm)

DDS		-20	-12	10	43	56	72	79	91	98	108	113	136
LAB-RES	N	mm											
CC-RIN	0 kg ha <sup>-1</sup>	218.94	243.57	229.98	192.96	254.71	208.19	244.29	196.51	224.64	194.24	228.45	202.77
CP-RQ	0 kg ha <sup>-1</sup>	225.34	252.78	248.24	197.38	244.30	212.99	240.38	202.84	221.63	203.68	216.93	196.44
CP-REM	0 kg ha <sup>-1</sup>	225.02	253.14	240.43	195.98	244.04	207.78	239.24	203.73	227.36	194.24	216.10	193.06
CP-RPR	0 kg ha <sup>-1</sup>	223.35	253.78	240.64	193.16	242.55	203.35	233.06	197.39	222.62	188.84	207.54	191.24
CP-RET	0 kg ha <sup>-1</sup>	224.52	256.68	242.10	191.54	247.08	208.71	246.82	200.10	225.26	199.82	215.73	197.99

Cuadro 2B: Valor del Error estándar

DDS		-20	-12	10	43	56	72	79	91	98	108	113	136
LAB-RES	N	Error											
CC-RIN	0 kg ha <sup>-1</sup>	23.50	5.57	5.11	2.69	3.82	2.78	2.04	2.43	2.83	2.59	3.76	2.32
CP-RQ	0 kg ha <sup>-1</sup>	3.38	2.41	1.73	1.96	2.90	4.31	3.66	2.95	7.71	4.67	9.10	3.39
CP-REM	0 kg ha <sup>-1</sup>	11.47	3.36	3.26	2.18	3.36	2.91	2.53	4.87	4.15	2.45	14.32	2.09
CP-RPR	0 kg ha <sup>-1</sup>	1.99	16.50	2.50	2.00	2.35	3.38	5.38	3.74	4.75	12.88	24.60	24.09
CP-RET	0 kg ha <sup>-1</sup>	6.52	6.10	5.32	4.17	6.42	5.26	6.10	4.53	3.72	9.65	9.19	5.59

Cuadro 3A : Contenido de humedad del suelo (mm)

DDS		-20	-12	-5	3	10	15	22	29	36	43	56	64
LAB-RES	N	mm											
CC-RIN	150 kg ha <sup>-1</sup>	224.28	240.58	236.00	247.42	244.21	235.30	235.08	219.03	207.37	194.30	238.55	219.86
CP-RQ	150 kg ha <sup>-1</sup>	227.47	258.73	253.76	248.36	245.78	240.77	239.80	221.68	201.50	189.04	236.08	214.32
CP-REM	150 kg ha <sup>-1</sup>	222.12	255.48	252.68	250.40	243.27	240.13	232.18	225.51	205.72	194.96	244.11	216.78
CP-RPR	150 kg ha <sup>-1</sup>	217.48	254.99	251.72	246.57	239.33	234.96	232.17	211.54	201.86	190.99	241.85	211.64
CP-RET	150 kg ha <sup>-1</sup>	217.50	259.60	246.89	251.04	240.18	246.15	240.09	220.08	206.25	189.94	248.10	227.00

DDS		72	79	85	91	98	108	113	122	129	136
LAB-RES	N	mm									
CC-RIN	150 kg ha <sup>-1</sup>	196.82	229.20	202.82	183.56	215.41	173.22	188.60	166.17	165.74	164.76
CP-RQ	150 kg ha <sup>-1</sup>	192.29	221.22	196.85	181.14	209.05	172.64	193.33	172.16	157.97	162.23
CP-REM	150 kg ha <sup>-1</sup>	197.23	227.52	196.61	181.59	219.05	174.28	197.46	170.39	161.61	161.81
CP-RPR	150 kg ha <sup>-1</sup>	181.96	212.43	192.81	176.19	191.48	170.90	180.34	164.66	163.50	159.56
CP-RET	150 kg ha <sup>-1</sup>	199.84	223.79	206.22	181.91	197.24	178.22	194.02	163.14	166.11	158.87

Cuadro 3B: Valor del Error estándar.

DDS		-20	-12	-5	3	10	15	22	29	36	43	56	64
LAB-RES	N	Error											
CC-RIN	150 kg ha <sup>-1</sup>	19.31	6.38	4.18	2.40	14.99	2.10	1.45	2.23	2.63	2.25	4.63	4.15
CP-RQ	150 kg ha <sup>-1</sup>	3.00	3.49	4.96	3.22	4.66	3.57	4.54	8.29	3.42	6.32	6.38	4.63
CP-REM	150 kg ha <sup>-1</sup>	3.21	3.12	2.36	3.12	3.53	3.75	4.70	2.52	2.49	3.37	3.97	4.16
CP-RPR	150 kg ha <sup>-1</sup>	9.56	3.57	2.17	2.40	4.55	2.81	3.70	3.31	4.43	3.69	3.51	4.11
CP-RET	150 kg ha <sup>-1</sup>	23.76	18.36	5.02	3.44	2.72	5.30	2.43	1.68	3.12	3.01	2.83	4.09

DDS		72	79	85	91	98	108	113	122	129	136
LAB-RES	N	Error									
CC-RIN	150 kg ha <sup>-1</sup>	2.29	4.23	3.08	3.98	5.19	4.50	3.35	3.21	1.62	13.56
CP-RQ	150 kg ha <sup>-1</sup>	3.26	3.33	5.89	3.00	6.79	3.05	7.92	3.12	4.19	2.04
CP-REM	150 kg ha <sup>-1</sup>	3.71	5.24	2.05	1.95	8.82	2.00	3.78	3.01	1.59	3.54
CP-RPR	150 kg ha <sup>-1</sup>	21.39	4.75	3.08	3.31	5.36	2.92	2.91	5.80	3.43	1.95
CP-RET	150 kg ha <sup>-1</sup>	2.64	6.04	2.65	2.41	4.83	2.76	5.80	2.58	3.50	3.29

Cuadro 4A: Contenido de humedad del suelo (mm)

DDS		-20	-12	10	43	56	72	79	91	98	108	113	136
LAB-RES	N	mm											
CC-RIN	300 kg ha <sup>-1</sup>	214.65	243.45	227.78	196.78	240.82	198.72	229.70	183.47	203.39	170.86	198.77	154.22
CP-RQ	300 kg ha <sup>-1</sup>	212.25	251.00	242.12	179.68	236.50	191.82	227.44	179.03	202.18	170.35	188.01	159.58
CP-REM	300 kg ha <sup>-1</sup>	218.49	254.68	246.14	192.61	245.07	199.89	227.74	183.09	211.48	176.82	203.91	159.28
CP-RPR	300 kg ha <sup>-1</sup>	228.33	254.42	244.77	179.30	239.50	191.21	211.04	174.42	217.82	172.78	181.12	159.34
CP-RET	300 kg ha <sup>-1</sup>	226.27	265.10	247.58	192.52	251.02	205.39	233.53	184.15	218.26	176.33	196.53	160.76

Cuadro 4B: Valor del Error

DDS		-20	-12	10	43	56	72	79	91	98	108	113	136
LAB-RES	N	Error											
CC-RIN	300 kg ha <sup>-1</sup>	1.97	4.40	2.41	25.67	4.84	2.11	4.38	2.77	1.59	0.87	5.38	1.83
CP-RQ	300 kg ha <sup>-1</sup>	1.98	2.75	4.26	2.32	5.00	2.36	7.25	2.89	5.55	2.16	9.52	2.65
CP-REM	300 kg ha <sup>-1</sup>	4.73	3.28	4.54	1.78	3.45	3.38	4.25	1.90	4.57	2.48	15.89	14.63
CP-RPR	300 kg ha <sup>-1</sup>	4.06	2.72	4.74	2.42	2.33	5.09	3.40	2.86	7.35	2.14	3.66	2.47
CP-RET	300 kg ha <sup>-1</sup>	3.55	4.78	3.15	2.93	4.94	3.59	2.56	1.86	4.85	3.50	9.89	1.88

Cuadro 5A: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

DDS		13	15	20	23	27	31	34	41	42	54	61	64	69
LAB-RES	N	NDVI												
CC-RIN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.126	0.156	0.168	0.197	0.244	0.316	0.378	0.507	0.518	0.583	0.640	0.644	0.572
CP-RQ	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.140	0.161	0.167	0.194	0.243	0.275	0.296	0.362	0.377	0.491	0.462	0.473	0.446
CP-REM	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.161	0.182	0.187	0.217	0.278	0.338	0.399	0.513	0.540	0.654	0.689	0.692	0.632
CP-RPR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.151	0.171	0.177	0.209	0.280	0.326	0.390	0.494	0.518	0.634	0.672	0.683	0.608
CP-RET	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.166	0.185	0.189	0.221	0.271	0.318	0.372	0.488	0.502	0.627	0.667	0.684	0.627

DDS		71	78	82	85	89	97	99	103	106	112	118	120	124
LAB-RES	N	NDVI												
CC-RIN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.575	0.638	0.626	0.591	0.549	0.537	0.434	0.434	0.388	0.297	0.173	0.156	0.107
CP-RQ	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.445	0.443	0.475	0.468	0.438	0.409	0.342	0.344	0.294	0.178	0.124	0.115	0.099
CP-REM	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.638	0.652	0.669	0.630	0.591	0.549	0.451	0.448	0.392	0.244	0.144	0.136	0.108
CP-RPR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.640	0.646	0.642	0.629	0.580	0.538	0.437	0.438	0.375	0.221	0.146	0.138	0.108
CP-RET	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.644	0.659	0.681	0.633	0.617	0.558	0.465	0.475	0.429	0.297	0.172	0.155	0.114

Cuadro 6A: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

DDS		13	15	20	23	27	31	34	41	42	54	61	64	69
LAB-RES	N	NDVI												
CC-RIN	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.124	0.154	0.165	0.194	0.231	0.318	0.387	0.550	0.598	0.703	0.801	0.835	0.842
CP-RQ	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.147	0.173	0.180	0.214	0.299	0.378	0.465	0.609	0.651	0.743	0.820	0.850	0.840
CP-REM	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.150	0.176	0.182	0.219	0.300	0.386	0.473	0.623	0.659	0.749	0.821	0.857	0.848
CP-RPR	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.155	0.174	0.188	0.218	0.293	0.369	0.451	0.603	0.657	0.739	0.821	0.857	0.850
CP-RET	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.174	0.192	0.197	0.226	0.261	0.337	0.401	0.568	0.609	0.709	0.792	0.839	0.842

<b>DDS</b>		<b>71</b>	<b>78</b>	<b>82</b>	<b>85</b>	<b>89</b>	<b>97</b>	<b>99</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>112</b>	<b>118</b>	<b>120</b>	<b>124</b>
LAB-RES	N	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI							
CC-RIN	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.835	0.848	0.830	0.799	0.796	0.775	0.701	0.719	0.679	0.603	0.449	0.339	0.171
CP-RQ	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.841	0.833	0.815	0.778	0.781	0.740	0.678	0.682	0.624	0.496	0.304	0.228	0.140
CP-REM	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.846	0.844	0.829	0.776	0.791	0.748	0.684	0.692	0.649	0.539	0.337	0.258	0.147
CP-RPR	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.845	0.849	0.832	0.790	0.793	0.760	0.697	0.711	0.658	0.553	0.363	0.271	0.148
CP-RET	150 kg ha <sup>-1</sup>	0.840	0.843	0.834	0.789	0.798	0.763	0.703	0.711	0.667	0.597	0.426	0.327	0.162

Cuadro 7A: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

<b>DDS</b>		<b>13</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>54</b>	<b>61</b>	<b>64</b>	<b>69</b>	<b>71</b>	<b>78</b>
LAB-RES	N	NDVI														
CC-RIN	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.122	0.151	0.165	0.191	0.228	0.329	0.406	0.568	0.614	0.711	0.807	0.847	0.851	0.849	0.856
CP-RQ	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.148	0.168	0.180	0.228	0.321	0.407	0.497	0.639	0.670	0.746	0.824	0.859	0.853	0.847	0.845
CP-REM	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.153	0.178	0.187	0.222	0.301	0.403	0.476	0.637	0.681	0.749	0.827	0.862	0.865	0.863	0.857
CP-RPR	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.155	0.174	0.186	0.213	0.280	0.360	0.437	0.594	0.647	0.730	0.819	0.853	0.857	0.851	0.853
CP-RET	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.169	0.187	0.192	0.225	0.266	0.334	0.403	0.574	0.619	0.711	0.797	0.849	0.859	0.852	0.857

<b>DDS</b>		<b>82</b>	<b>85</b>	<b>89</b>	<b>97</b>	<b>99</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>112</b>	<b>118</b>	<b>120</b>	<b>124</b>	<b>127</b>
LAB-RES	N	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
CC-RIN	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.840	0.805	0.814	0.788	0.724	0.736	0.705	0.656	0.572	0.482	0.257	0.188
CP-RQ	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.823	0.784	0.789	0.755	0.696	0.707	0.663	0.583	0.416	0.320	0.174	0.154
CP-REM	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.840	0.798	0.810	0.769	0.706	0.727	0.693	0.623	0.499	0.407	0.210	0.169
CP-RPR	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.835	0.801	0.807	0.765	0.712	0.734	0.689	0.618	0.487	0.392	0.202	0.162
CP-RET	300 kg ha <sup>-1</sup>	0.845	0.810	0.820	0.775	0.731	0.749	0.709	0.661	0.586	0.498	0.277	0.199

## Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia.

Cuadro 8A: Contenido de humedad del suelo (mm) Riego Normal

DDS		-18	-10	11	41	49	67	72	80	93	101	109	114	130
LAB-RES	N	mm												
CC-RIN-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	226.29	256.14	242.47	196.17	237.75	223.06	206.21	241.79	201.88	226.28	211.93	238.67	209.42
CP-RET-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	239.94	273.08	253.87	204.78	256.87	233.09	216.40	235.37	198.02	228.97	200.14	229.08	202.57
CP-REM-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	236.52	263.21	245.63	197.00	243.34	219.14	202.47	225.56	199.20	221.72	198.91	227.11	189.02

Cuadro 8B: Valor del Error estándar Riego Normal

DDS		-18	-10	11	41	49	67	72	80	93	101	109	114	130
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error
CC-RIN-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	12.519	4.008	2.856	1.712	1.986	16.052	2.052	2.277	3.178	3.743	32.153	7.590	9.808
CP-RET-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	5.793	20.755	1.098	1.460	1.669	2.511	2.875	6.240	3.230	9.014	2.197	1.017	10.715
CP-REM-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	2.021	2.685	2.312	1.633	3.371	0.471	3.035	2.781	1.673	2.204	1.628	6.458	6.691

Cuadro 9A: Contenido de humedad del suelo (mm) Riego Reducido

DDS		-18	-10	11	41	49	67	74	96	122	130
LAB-RES	N	mm									
CC-RIN-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	238.893	271.470	237.836	189.102	182.105	172.824	257.391	179.450	157.765	157.571
CP-RET-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	228.465	269.382	245.925	205.120	186.568	185.312	252.424	178.046	170.571	159.769
CP-REM-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	236.302	257.114	238.679	188.059	184.331	179.852	233.710	182.308	158.425	151.335

Cuadro 9B: Valor del Error Estándar Riego Reducido

DDS		-18	-10	11	41	49	67	74	96	122	130
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error						
CC-RIN-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	3.990	6.445	4.222	2.618	2.153	1.638	23.362	1.095	1.286	0.974
CP-RET-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	1.874	3.194	4.181	0.785	1.926	1.804	3.044	5.516	1.791	4.194
CP-REM-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	5.519	3.423	3.887	3.472	2.465	0.818	7.076	2.705	2.662	1.694

Cuadro 10A: Contenido de humedad del suelo (mm) Riego Normal

DDS		-18	-10	-4	6	11	19	26	33	41	49	53
LAB-RES	N	mm										
CC-RIN-RN	114 kgha <sup>-1</sup>	217.088	257.608	250.554	237.964	241.871	239.203	227.505	213.903	185.501	234.422	252.887
CP-RET-RN	114 kgha <sup>-1</sup>	233.126	271.527	267.361	251.799	254.477	252.137	242.617	231.785	208.540	269.462	271.429
CP-REM-RN	114 kgha <sup>-1</sup>	226.415	257.275	251.661	247.408	251.747	243.944	228.416	217.054	192.064	244.387	257.506

DDS		59	67	72	80	88	93	101	109	114	122	130
LAB-RES	N	mm										
CC-RIN-RN	114 kgha <sup>-1</sup>	223.154	211.177	191.316	218.665	186.700	178.285	201.300	177.127	210.264	176.087	168.364
CP-RET-RN	114 kgha <sup>-1</sup>	247.391	232.192	218.025	253.647	213.390	200.254	253.226	192.207	223.892	195.719	176.306
CP-REM-RN	114 kgha <sup>-1</sup>	234.095	209.341	195.026	212.834	194.106	183.062	222.032	173.338	201.670	184.889	171.952

Cuadro 10B: Valor del Error Estándar Riego Normal

DDS		-18	-10	-4	6	11	19	26	33	41	49	53	59	67
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error
CC-RIN-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	3.633	5.191	2.988	3.628	3.866	5.668	5.534	6.098	2.340	6.134	5.019	17.125	5.934
CP-RET-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	4.681	2.586	1.872	20.730	2.358	2.541	2.501	1.349	3.312	4.064	3.309	2.863	2.167
CP-REM-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	2.939	1.488	1.692	1.380	1.244	1.636	7.971	3.323	3.004	4.705	4.821	3.951	2.800

DDS		72	80	88	93	101	109	114	122	130
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error
CC-RIN-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	5.281	8.185	2.295	3.791	5.556	3.329	4.827	2.164	3.122
CP-RET-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	3.497	4.795	4.714	3.329	2.219	2.926	7.073	7.538	2.372
CP-REM-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	7.176	13.917	4.495	3.676	4.698	3.905	5.194	4.651	5.004

Cuadro 11A: Contenido de humedad del suelo (mm) Riego Reducido

DDS		-18	-10	-4	6	11	19	26	33	41	49	53
LAB-RES	N	mm										
CC-RIN-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	236.267	265.091	260.372	252.015	251.254	235.378	232.444	218.972	187.775	176.923	183.052
CP-RET-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	232.508	263.436	257.430	253.831	252.510	241.341	236.034	227.519	199.124	184.010	195.600
CP-REM-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	228.095	266.105	252.884	254.174	249.902	235.008	231.310	218.594	197.227	178.769	200.502

DDS		59	67	74	80	88	96	104	111	122	130
LAB-RES	N	mm									
CC-RIN-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	169.972	166.118	249.358	206.229	180.280	165.327	149.933	145.224	143.650	137.366
CP-RET-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	181.634	178.093	241.568	218.813	189.797	167.123	153.325	148.011	141.539	140.030
CP-REM-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	175.989	174.050	243.468	210.422	183.613	171.482	153.953	147.502	145.460	136.096

Cuadro 12B: Valor del Error Estándar Riego Reducido

<b>DDS</b>		<b>-18</b>	<b>-10</b>	<b>-4</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>33</b>	<b>41</b>	<b>49</b>	<b>53</b>
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error
CC-RIN-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	3.148	3.414	5.629	2.318	2.753	21.296	4.047	4.725	1.026	2.586	2.913
CP-RET-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	2.038	2.510	2.722	20.275	3.704	1.173	18.507	3.184	1.684	0.964	1.174
CP-REM-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	1.349	7.722	2.701	4.756	4.289	5.032	5.067	3.623	1.500	1.271	2.277

<b>DDS</b>		<b>59</b>	<b>67</b>	<b>74</b>	<b>80</b>	<b>88</b>	<b>96</b>	<b>104</b>	<b>111</b>	<b>122</b>	<b>130</b>
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error						
CC-RIN-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	1.675	1.679	6.631	3.656	5.395	4.724	1.813	1.884	0.696	1.967
CP-RET-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	27.135	1.783	0.661	2.185	1.745	1.373	1.794	0.790	2.812	0.839
CP-REM-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	3.302	1.326	9.031	3.050	3.071	0.774	2.465	2.770	1.669	1.506

Cuadro 13A: Contenido de humedad del suelo (mm) Riego Normal

<b>DDS</b>		<b>-18</b>	<b>-10</b>	<b>11</b>	<b>41</b>	<b>49</b>	<b>67</b>	<b>72</b>	<b>80</b>	<b>93</b>	<b>101</b>	<b>109</b>	<b>114</b>	<b>130</b>
LAB-RES	N	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
CC-RIN-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	228.52	254.87	235.42	187.03	251.99	215.58	193.46	231.70	179.85	219.56	181.15	198.68	162.42
CP-RET-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	245.54	270.88	257.96	205.22	268.37	224.43	212.29	245.62	193.45	237.40	187.30	203.56	170.19
CP-REM-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	232.07	263.67	244.88	201.56	254.29	217.39	194.03	219.14	177.24	207.36	176.08	184.96	166.10

Cuadro 13B: Valor del Error Riego Normal

<b>DDS</b>		<b>-18</b>	<b>-10</b>	<b>11</b>	<b>41</b>	<b>49</b>	<b>67</b>	<b>72</b>	<b>80</b>	<b>93</b>	<b>101</b>	<b>109</b>	<b>114</b>	<b>130</b>
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error
CC-RIN-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	4.427	0.987	1.458	4.410	4.011	16.926	2.873	4.318	1.642	0.819	2.587	15.865	4.553
CP-RET-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	4.027	1.614	1.413	2.120	3.571	5.402	2.953	2.145	2.975	4.990	11.394	3.956	2.720
CP-REM-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	5.350	0.876	1.747	3.612	7.475	16.604	3.847	4.458	1.475	3.459	2.779	1.784	2.415

Cuadro 14A: Contenido de humedad del suelo (mm) Riego Reducido

		<b>-18</b>	<b>-10</b>	<b>11</b>	<b>41</b>	<b>49</b>	<b>67</b>	<b>74</b>	<b>96</b>	<b>122</b>	<b>130</b>
COEDE	N	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
CC-RIN-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	239.44	273.64	252.05	185.58	173.48	164.31	233.97	158.23	138.44	128.59
CP-RET-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	230.28	265.67	253.08	198.21	184.08	176.37	245.52	171.53	144.42	140.39
CP-REM-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	238.48	258.59	250.09	197.02	176.08	176.88	247.09	166.78	140.76	142.67

Cuadro 14B: Valor del Error. Riego Reducido

<b>DDS</b>		<b>-18</b>	<b>-10</b>	<b>11</b>	<b>41</b>	<b>49</b>	<b>67</b>	<b>74</b>	<b>96</b>	<b>122</b>	<b>130</b>
LAB-RES	N	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error	Error
CC-RIN-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	3.990	6.445	4.222	2.618	2.153	1.638	23.362	1.095	1.286	0.974
CP-RET-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	1.874	3.194	4.181	0.785	1.926	1.804	3.044	5.516	1.791	4.194
CP-REM-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	5.519	3.423	3.887	3.472	2.465	0.818	7.076	2.705	2.662	1.694

Cuadro 15A: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Riego Normal

DDS		12	14	17	19	24	27	31	35	38	41	55	59	63
LAB-RES	N	NDVI												
CC-RIN-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.157	0.179	0.198	0.236	0.258	0.370	0.426	0.469	0.497	0.510	0.631	0.518	0.602
CP-RET-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.178	0.206	0.217	0.232	0.251	0.348	0.409	0.475	0.493	0.540	0.727	0.688	0.726
CP-REM-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.158	0.183	0.196	0.210	0.244	0.345	0.408	0.446	0.472	0.507	0.686	0.566	0.651

DDS		66	69	73	79	81	89	93	101	103	107	115	121
LAB-RES	N	NDVI											
CC-RIN-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.568	0.581	0.574	0.560	0.519	0.479	0.475	0.436	0.348	0.310	0.179	0.108
CP-RET-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.695	0.685	0.701	0.715	0.638	0.644	0.627	0.593	0.478	0.442	0.240	0.127
CP-REM-RN	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.559	0.586	0.605	0.588	0.515	0.514	0.510	0.474	0.381	0.350	0.212	0.143

Cuadro 15B: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Riego Reducido

DDS		12	14	17	19	24	27	31	35	38	41	46	52	55	59
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.171	0.185	0.207	0.240	0.280	0.410	0.475	0.491	0.515	0.548	0.538	0.617	0.622	0.501
CP-RET-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.166	0.188	0.198	0.211	0.236	0.321	0.374	0.421	0.430	0.474	0.452	0.544	0.581	0.454
CP-REM-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.157	0.178	0.196	0.205	0.234	0.320	0.398	0.466	0.503	0.547	0.528	0.647	0.671	0.578

DDS		63	66	74	76	79	81	89	93	96	101	103	107	111	115
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.547	0.497	0.546	0.517	0.496	0.481	0.481	0.452	0.442	0.382	0.292	0.219	0.130	0.117
CP-RET-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.501	0.436	0.511	0.498	0.449	0.422	0.440	0.427	0.416	0.382	0.302	0.258	0.159	0.125
CP-REM-RR	0 kg ha <sup>-1</sup>	0.609	0.551	0.646	0.589	0.588	0.517	0.559	0.539	0.518	0.458	0.351	0.281	0.165	0.128

Cuadro 16A: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Riego Normal

DDS		12	14	17	19	24	27	31	35	38	41	55	59	63	66
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.167	0.187	0.204	0.237	0.264	0.394	0.465	0.558	0.604	0.655	0.804	0.786	0.840	0.829
CP-RET-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.179	0.205	0.215	0.232	0.242	0.325	0.404	0.471	0.499	0.579	0.798	0.820	0.830	0.812
CP-REM-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.165	0.186	0.201	0.215	0.245	0.348	0.433	0.503	0.524	0.596	0.819	0.802	0.847	0.828

DDS		69	73	79	81	89	93	101	103	107	115	121	124
LAB-RES	N	NDVI											
CC-RIN-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.836	0.814	0.827	0.809	0.787	0.771	0.733	0.655	0.609	0.379	0.155	0.132
CP-RET-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.824	0.797	0.846	0.809	0.787	0.790	0.757	0.658	0.634	0.443	0.192	0.150
CP-REM-RN	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.837	0.804	0.849	0.812	0.788	0.787	0.743	0.651	0.621	0.409	0.176	0.147

Cuadro 16B: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Riego Reducido

DDS		12	14	17	19	24	27	31	35	38	41	46	52	55	59
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.174	0.188	0.209	0.251	0.289	0.421	0.515	0.564	0.618	0.682	0.700	0.785	0.785	0.703
CP-RET-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.178	0.199	0.210	0.227	0.243	0.324	0.396	0.467	0.520	0.583	0.595	0.737	0.756	0.733
CP-REM-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.155	0.178	0.196	0.202	0.234	0.327	0.408	0.493	0.529	0.611	0.617	0.757	0.767	0.729

DDS		63	66	74	76	79	81	89	93	96	101	103	107	111	115
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.762	0.714	0.742	0.657	0.692	0.675	0.712	0.685	0.679	0.591	0.454	0.343	0.193	0.143
CP-RET-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.762	0.728	0.764	0.693	0.739	0.706	0.736	0.703	0.698	0.640	0.506	0.405	0.247	0.167
CP-REM-RR	114 kg ha <sup>-1</sup>	0.766	0.733	0.770	0.690	0.737	0.690	0.725	0.716	0.676	0.622	0.481	0.370	0.215	0.152

Cuadro 17A: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Riego Normal

DDS		12	14	17	19	24	27	31	35	38	41	55	59	63
LAB-RES	N	NDVI												
CC-RIN-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.165	0.192	0.206	0.242	0.270	0.398	0.485	0.564	0.602	0.653	0.828	0.818	0.856
CP-RET-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.181	0.204	0.214	0.231	0.238	0.323	0.395	0.471	0.500	0.590	0.810	0.841	0.839
CP-REM-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.164	0.183	0.196	0.216	0.247	0.345	0.436	0.497	0.544	0.620	0.828	0.823	0.853

DDS		66	69	73	79	81	89	93	101	103	107	115	121	124
LAB-RES	N	NDVI												
CC-RIN-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.851	0.855	0.826	0.845	0.828	0.816	0.806	0.767	0.706	0.688	0.583	0.329	0.216
CP-RET-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.835	0.841	0.808	0.866	0.829	0.813	0.820	0.790	0.705	0.691	0.597	0.336	0.219
CP-REM-RN	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.840	0.845	0.812	0.855	0.829	0.792	0.807	0.772	0.705	0.686	0.568	0.320	0.218

Cuadro 18B: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Riego Reducido

DDS		12	14	17	19	24	27	31	35	38	41	46	52	55	59
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.177	0.192	0.213	0.250	0.297	0.431	0.519	0.584	0.641	0.711	0.744	0.826	0.829	0.739
CP-RET-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.183	0.208	0.218	0.232	0.255	0.342	0.419	0.478	0.521	0.612	0.645	0.766	0.793	0.760
CP-REM-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.161	0.182	0.198	0.213	0.248	0.349	0.433	0.541	0.590	0.669	0.688	0.811	0.818	0.764

DDS		63	66	74	76	79	81	89	93	96	101	103	107	111	115
LAB-RES	N	NDVI													
CC-RIN-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.818	0.793	0.791	0.706	0.738	0.736	0.756	0.728	0.693	0.620	0.492	0.365	0.215	0.151
CP-RET-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.799	0.779	0.800	0.719	0.778	0.740	0.764	0.734	0.719	0.668	0.540	0.439	0.280	0.184
CP-REM-RR	228 kg ha <sup>-1</sup>	0.816	0.794	0.812	0.731	0.783	0.736	0.761	0.735	0.716	0.657	0.516	0.400	0.240	0.167

Cuadro 19: Rendimiento; Ensayo de sustentabilidad a Largo plazo.

Tratamientos	N	Rendimiento(12% H2O) en kg/ha	Media	Error
CC-RIN	0 kg N ha <sup>-1</sup>	2944.348	3173	345
CC-RIN	150 kg N ha <sup>-1</sup>	7474.203	7329	145
CC-RIN	300 kg N ha <sup>-1</sup>	7962.247	7902	280
CP-RQ	0 kg N ha <sup>-1</sup>	2546.335	2600	140
CP-RQ	150 kg N ha <sup>-1</sup>	7350.312	6949	264
CP-RQ	300 kg N ha <sup>-1</sup>	7345.914	7562	125
CP-REM	0 kg N ha <sup>-1</sup>	3931.915	3913	163
CP-REM	150 kg N ha <sup>-1</sup>	7437.987	7645	106
CP-REM	300 kg N ha <sup>-1</sup>	8174.017	8204	141
CP-RPR	0 kg N ha <sup>-1</sup>	3747.840	3689	108
CP-RPR	150 kg N ha <sup>-1</sup>	7405.295	7693	155
CP-RPR	300 kg N ha <sup>-1</sup>	7348.284	7922	288
CP-RET	0 kg N ha <sup>-1</sup>	4072.614	3920	456
CP-RET	150 kg N ha <sup>-1</sup>	7380.761	7532	75
CP-RET	300 kg N ha <sup>-1</sup>	8048.076	8152	52

Cuadro 20: Rendimiento; Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequia

Tratamientos	Riegos	N	Rendimiento (12% H2O) en kg/ha	Media	Error
CC-RIN-RN	1	0 kg N ha <sup>-1</sup>	3098.008	3141	43.0
CC-RIN-RN	1	114 kg N ha <sup>-1</sup>	6949.483	6898	51.7
CC-RIN-RN	1	228 kg N ha <sup>-1</sup>	7936.768	7909	28.0
CC-RIN-RR	2	0 kg kg N ha <sup>-1</sup>	2956.465	3008	51.9
CC-RIN-RR	2	114 kg N ha <sup>-1</sup>	4585.152	4791	205.7
CC-RIN-RR	2	228 kg N ha <sup>-1</sup>	5208.305	5182	26.1
CP-RET-RN	1	0 kg N ha <sup>-1</sup>	4567.727	4284	283.6
CP-RET-RN	1	114 kg N ha <sup>-1</sup>	6731.410	6630	101.6
CP-RET-RN	1	228 kg N ha <sup>-1</sup>	7919.577	7653	266.4
CP-RET-RR	2	0 kg kg N ha <sup>-1</sup>	2294.021	2791	497.5
CP-RET-RR	2	114 kg N ha <sup>-1</sup>	5197.184	5113	83.8
CP-RET-RR	2	228 kg N ha <sup>-1</sup>	5454.053	5310	144.1
CP-REM-RN	1	0 kg N ha <sup>-1</sup>	3153.904	3238	84.5
CP-REM-RN	1	114 kg N ha <sup>-1</sup>	6992.462	6694	298.3
CP-REM-RN	1	228 kg N ha <sup>-1</sup>	7712.830	7739	26.6
CP-REM-RR	2	0 kg kg N ha <sup>-1</sup>	3766.736	3804	37.3
CP-REM-RR	2	114 kg N ha <sup>-1</sup>	4891.384	5142	250.5
CP-REM-RR	2	228 kg N ha <sup>-1</sup>	5254.863	5393	138.4

Cuadro 21: Datos climatológicos a partir del mes de Noviembre 2009 – Abril 2010.

SERVICIO METEOROLÓGICO  
NACIONAL  
ESTADO DE: SONORA

ESTACION: 00026018 CD,  
OBREGON, CAJEME      LATITUD: 27°28'53" N      LONGITUD: 109°56'17" W      ALTURA: 18,0 MSNM

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Temp. Max(°C)	30.19	24.63	24.76	24.34	27.11	29.14
Temp. Min.(°C)	12.92	7.98	7.57	7.99	8.38	10.91
Temp Prom(°C)	20.76	15.57	15.28	15.44	16.95	19.67
HRel. Max.(%)	86.07	88.61	90.35	92.79	90.35	89.23
HRel. Min.(%)	28.72	30.74	32.42	36.82	29.29	27.53
HRel. Prom.(%)	61.62	64.38	67.10	71.61	65.21	62.44
Def. Presion Vapor(kPa)	0.96	0.63	0.56	0.50	0.68	0.86
Radiacion Solar(Mj/m2)	16.13	14.56	15.29	19.86	24.27	17.92
Lluvia(mm)	0.10	0.04	0.61	0.31	0.00	0.00
Vel. Vto Max Vto(m/seg)	2.87	3.36	3.61	3.40	3.86	3.97
Vel. Viento (m/seg)	0.72	1.09	1.18	1.06	1.21	1.05
ET0 mm	73.3	91.6	95.6	111.2	164.9	119

## ANEXO II

### Ensayo para evaluar la sustentabilidad a largo plazo.

#### 1.1 Comparación del Rendimiento del grano y la Lamina de agua extraído

Al realizar la comparación entre la lamina extraída por el cultivo y el rendimiento de grano se observa en la Figura 1, que al fertilizar el cultivo con  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  la lamina de agua extraída puede alcanzar hasta  $272 \text{ mm}$ , para producir  $7409 \text{ kg ha}^{-1}$ . Al aplicar  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  el cultivo logró extraer una lámina de  $302 \text{ mm}$  y se obtuvo un rendimiento de  $7775 \text{ kg ha}^{-1}$ . La aplicación de fertilizante ayudó a formar mayor biomasa en el cultivo demandando mayor requerimiento hídrico.

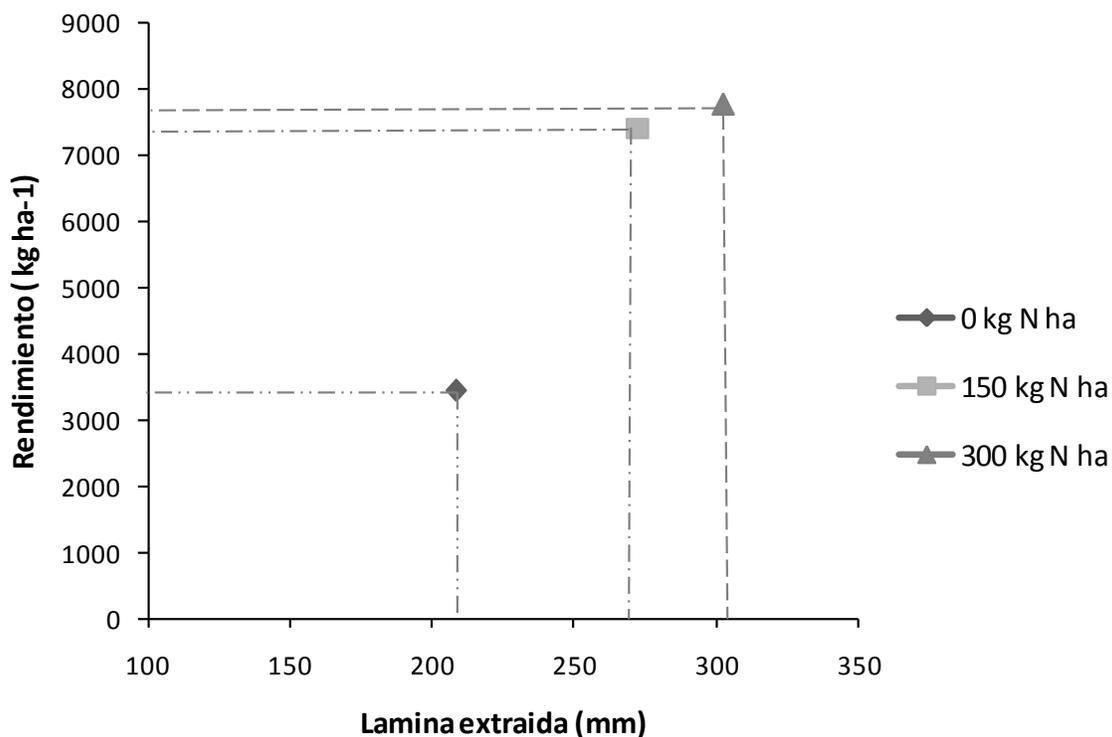


Figura 1. Rendimiento de grano de trigo ( $\text{kg ha}^{-1}$  12 %  $\text{H}_2\text{O}$ ) comparado entre la lamina extraída de agua (mm) con aplicación basal en banda de  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  durante todo el ciclo.

## Ensayo para evaluar ambientes más resistentes a condiciones de sequía.

### 1.2 Comparación del Rendimiento del grano y la Lámina de agua extraído

De acuerdo a la figura 2 donde se aplicó riego normal, comparando la lamina extraída y el rendimiento de grano, se observó que con una lamina de 336 mm, aplicando 144 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvo un rendimiento de 6891.11kg ha<sup>-1</sup>. Con 228 kg N ha<sup>-1</sup> se extrajo una lámina de 329 mm, para obtener un rendimiento de 7856.3kg ha<sup>-1</sup>.

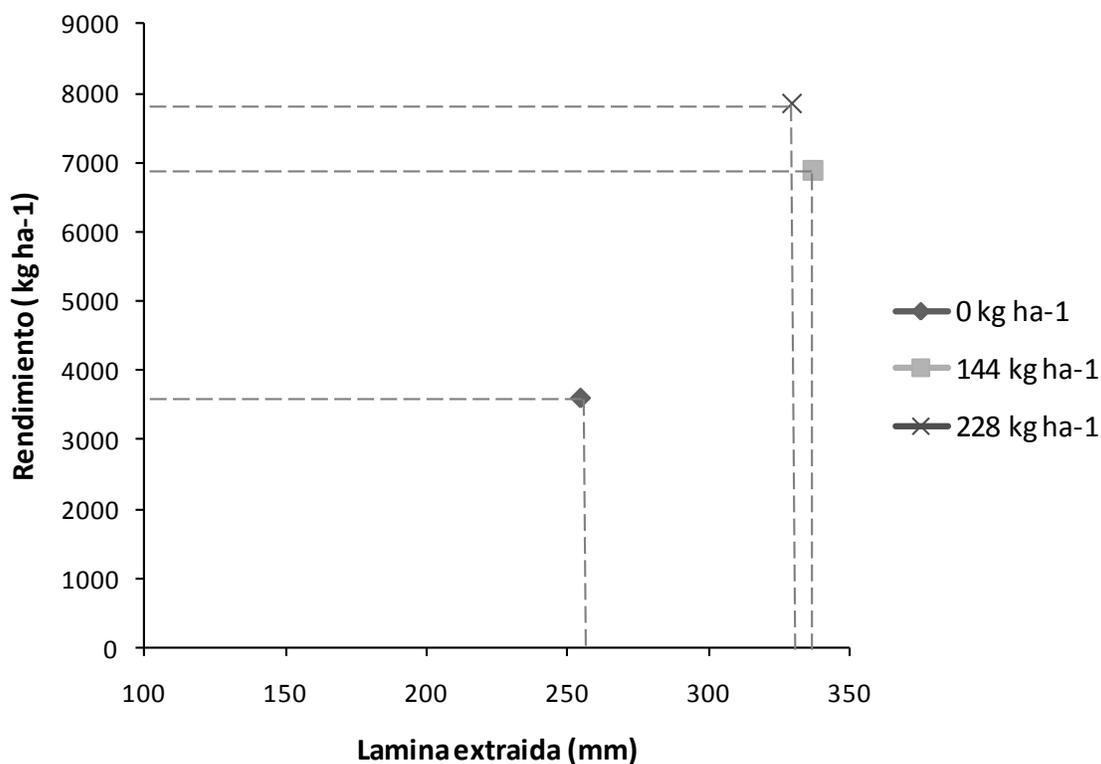


Figura 2. Rendimiento de grano de trigo (kg ha<sup>-1</sup> 12 % H<sub>2</sub>O) comparado entre la lamina extraída de agua (mm) con Riegos Normales y aplicación basal en banda de 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 144 kg N ha<sup>-1</sup> y 228 kg N ha<sup>-1</sup> durante todo el ciclo.

Cuando el cultivo se sometió a estrés (riego reducido) y sin fertilización se obtuvo un rendimiento de  $3005 \text{ kg ha}^{-1}$  requiriendo una lamina de 204 mm de agua. Con fertilización de  $144 \text{ kg N ha}^{-1}$  el rendimiento de grano fue de  $4891 \text{ kg ha}^{-1}$  extrayendo una lámina de 213 mm de agua. Al aplicar  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$  se obtuvo un rendimiento de  $5305 \text{ kg ha}^{-1}$  y la lamina extraída fue de 227 mm de agua

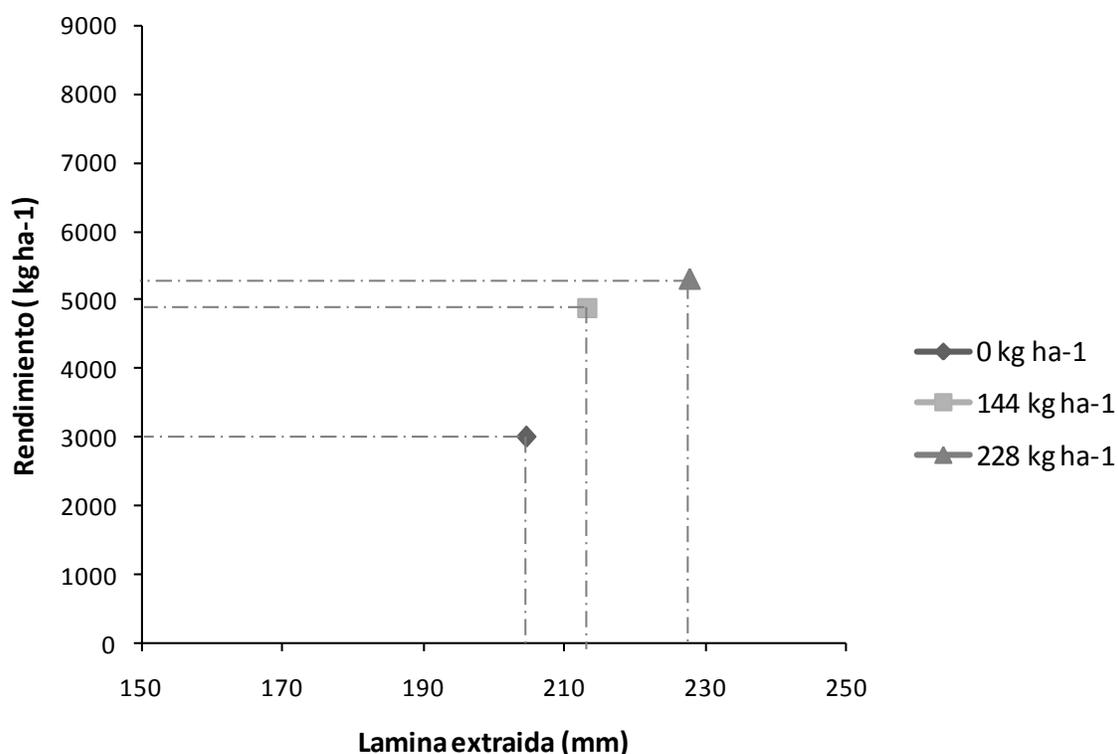


Figura 3. Rendimiento de grano de trigo ( $\text{kg ha}^{-1}$  12 %  $\text{H}_2\text{O}$ ) comparado entre la lamina extraída de agua (mm) con Riego reducido y aplicación basal en banda de  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $144 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $228 \text{ kg N ha}^{-1}$  durante todo el ciclo.

A medida que el cultivo se desarrolla, el suelo llega a cubrirse progresivamente con la vegetación del cultivo; presentando diferentes requerimientos hídricos del cultivo de acuerdo a las distintas etapas de desarrollo. La figura 4 muestra cuatro etapas del cultivo: inicial, desarrollo, mitad de la estación y la etapa final del ciclo.

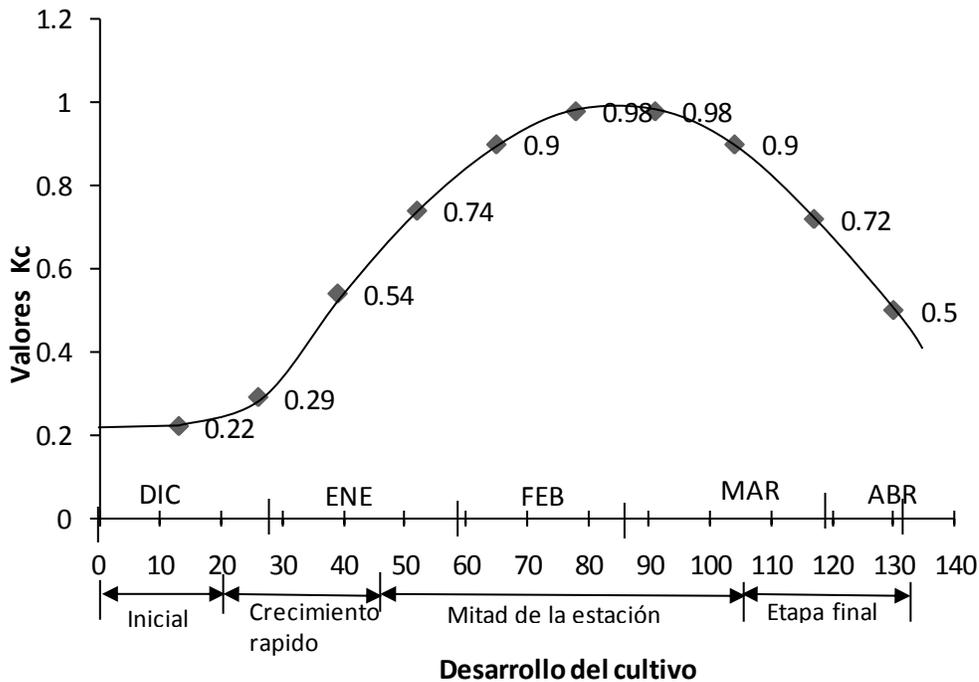


Figura 4. Curva de desarrollo del cultivo de trigo durante todo el ciclo.

Con la curva de desarrollo del cultivo se logró obtener valores de desarrollo del cultivo ( $K_c$ ) de cada mes (Cuadro 1) y en consecuencia el valor de  $ET_c$ .

Cuadro 1. Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ).

MESES	$K_c$	$ET_o$ mm	$ET_c$ mm
DIC	0.22	91.6	20.15
ENE	0.57	95.6	54.49
FEB	0.96	111.2	106.75
MAR	0.93	164.9	153.36
ABRIL	0.57	119	67.83

$$ET_c = 402.58 \text{ mm}$$

Cuadro 1. A partir de datos meteorológicos (Anexo 1, Cuadro 21) se obtuvo la evapotranspiración del cultivo de referencia [ $\text{mm d}^{-1}$ ], utilizando la ecuación de Penman-Monteith.