



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO POR PRÁCTICA DE LABRANZA (G x T) DEL CULTIVO DE TRIGO

RUY PONCE CRUZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO POR PRÁCTICA DE LABRANZA (G x T) DEL CULTIVO DE TRIGO**, realizada por el alumno: Ruy Ponce Cruz, 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 TJERINA CHAVEZ

DIRECTOR DE TESIS:



DRA. NÈLE VERHULST

ASESOR:



DR. BRAM GOVAERTS

ASESOR:



DR. IOURII NIKOLSKII GAVRILOV

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2013.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo mexicano y al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACyT) por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de Maestría.

Al **Colegio de Postgraduados**, especialmente al programa de **Hidrociencias**, Campus Montecillos, por coadyuvar a mi formación académica, profesional y por el apoyo desde principio hasta el final de mi estancia en esta prestigiosa institución.

Al **Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo** (CIMMYT) por todas las facilidades para la realización de esta tesis.

A la **Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuario** (DGETA) por la confianza y el apoyo brindado a sus docentes para seguir superándose profesionalmente.

A mi consejo particular encabezado por el **Dr. Leonardo Tijerina Chávez**, por todas sus enseñanzas, su paciencia y su preocupación por mi formación; agradezco su calidad académica pero sobre todo su calidad humana. A mi Directora de tesis **Dra. Nele Verhulst** por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de aprender el quehacer científico en el CIMMYT. Por su paciencia e interés por enseñar, sus comentarios y sugerencias fueron fundamentales para culminar este trabajo de investigación. A mi Asesor **Dr. Bram Govaerts** por su apoyo incondicional, consejos precisos para elevar mi calidad científica, fueron pieza fundamental en esta investigación. Al **Dr. Iourri Nikolskii Gavrilov** por su participación en este trabajo de investigación.

Al **Ing. Héctor René Becerril Toral** Coordinador de Enlace Operativo DGETA-Puebla, por la confianza y apoyo e impulso brindado para lograr mi formación personal e institucional.

Al **Lic. Alfonso Martínez Castillo** Coordinador C.B.T.a 255, Ext. Educativa Molcaxac, Pue. Por la comprensión y apoyo incondicional brindado en todo momento.

Agradecimientos especiales al **Staff de Agronomía AC en Cd. Obregón Sonora**. Comandado por Manuel Ruiz Cano (Jefe de Campo), Beatriz Martínez Ortiz (Asistente principal de Campo), Jesús Gutiérrez Angulo (Esp. Maquinaria agrícola), Álvaro Zermeño (Esp. Maquinaria agrícola), Juan de Dios Sánchez López (Esp. muestreo de suelo), Juan Carlos Gastelum (Esp. Green Seeaker), Ana Rosa García López (Asistente de investigación). También al **Staff de irrigación AC** encabezado por Juan Mendoza Bizcarra y Jesús R. Rodríguez Hermosillo. Con cariño, respeto y admiración, gracias por todas sus atenciones, por su amistad y ayuda, esto no sería posible sin ustedes.

A mis amigos del Hub Pacifico-Norte Ing. Jesús Mendoza (Gerente Hub), Paulette Galaviz (Asistente), Ing. Nehemías Buitimea e Ing. Esteban Ontamucha (Supervisores técnicos).

A mis compañeros y amigos Jorge L. Valenzuela A., Kathrin Grahmann, Jelle Van Loon, Igor Reech, Michael Mulvaney, Carmen Enríquez, les debo muchos momentos inolvidables en Sonora. Y amigos del Batán, Luis, Tania, Javier, y a todo el Staff de Agronomía AC del Batán.

A mis Padres y hermanos: familia Ponce-Cruz, Ponce de Jesús, Tovar-Ponce, Garduño-Ponce, Trinidad-Ponce, por esperarme mucho tiempo. “Lo mejor está por venir María y Ruy”.

EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO POR PRÁCTICA DE LABRANZA (G x T) DEL CULTIVO DE TRIGO

Ruy Ponce Cruz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

RESUMEN

Esta investigación es parte de los esfuerzos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) para evaluar la interacción entre genotipo y práctica de labranza en cuanto a desarrollo de trigo y su rendimiento bajo diferentes niveles de estrés hídrico, con el propósito de optimizar el proceso de mejoramiento de trigo para distintos sistemas agronómicos. El experimento se realizó en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), localizado en la parte noroeste de México, en un suelo Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol, Calcaric, Chromic), bajo en materia orgánica (< 1%), en condiciones áridas. Los tratamientos fueron: Camas Convencionales (CC) y Camas Permanentes (CP) y el régimen de riego, Completo (RC) y Reducido (RR). Para determinar la efectividad del sistema de producción en cada una de los 48 genotipos (30 T. harinero y 18 T. duro) sembrados, se evaluó el desarrollo del cultivo mediante el porcentaje de cobertura por el follaje mediante fotos digitales, se utilizó el sensor GreenSeeker™ para medir el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI), y por gravimetría-volumetría se calculó el contenido de humedad en el suelo. También se estimó el rendimiento de producción de grano. Se encontró que la interacción GxT resultó significativa, tanto para trigo harinero y trigo duro. El rendimiento promedio de los genotipos de trigo harinero y duro difería en las distintas prácticas de labranza y regímenes de riego. Seis genotipos (3 T. harinero y 3 T. Duro) fueron seleccionados utilizando rendimiento de grano, porcentaje de cobertura del suelo por el follaje y NDVI como criterios para el análisis más detallado. Genotipo 48 y 31 de trigo harinero y duro se adaptaron mejor en camas convencionales con riego completo, su capacidad de crecimiento inicial y valores de NDVI altos, resultó una ventaja en rendimiento. Genotipo 13 y 27 de trigo harinero y duro respectivamente, mostraron un buen rendimiento en camas

permanentes con riego completo, su mejor desarrollo lo tuvieron en las etapas de floración y llenado de grano. Para los ambientes de riego reducido genotipo 48 y 13 de trigo harinero tuvieron un mejor desarrollo en camas permanentes, registrando altos porcentajes de cobertura y NDVI. Es importante analizar los genotipos a través de los ciclos para poder atribuir de manera específica aquellas características que influyen en un mejor desarrollo y adaptación al sistema lo cual repercute en el rendimiento de grano.

Palabras clave: Interacción, genotipo, práctica de labranza, porcentaje de cobertura, NDVI

EVALUATION OF THE GENOTYPE BY TILLAGE INTERACTION (G x T) FOR DIFFERENT DURUM AND BREAD WHEAT CULTIVARS/GENOTYPES

Ruy Ponce Cruz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

ABSTRACT

This research is part of the International Maize and Wheat Improvement Centre's (CIMMYT) effort to evaluate genotype by tillage interactions (GxT) in terms of development and performance of wheat under different water stress levels in order to optimize wheat breeding for different agronomic practices. The experiment was conducted at the experiment station CENEB (Campo Experimental Norman E. Borlaug), near Ciudad Obregón, Sonora, Mexico (lat. 27.33°N, long. 109.09°W, 38 m a.s.l.). The soil is a Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol, Calcaric, Chromic) with low organic matter content (<1 %) in an arid climate, with an annual rainfall of 320 mm. The treatments were conventional tilled beds (CTB) and permanent beds (PB) with full and reduced irrigation regime. To determine the effects of the production system for each of the 48 genotypes [30 bread wheat (*Triticum aestivum*) varieties and 18 durum wheat (*Triticum durum*) varieties], crop development was assessed by the percentage of crop coverage by foliage using digital photos, by NDVI (normalized difference vegetation index) measurements obtained by using the GreenSeeker™ sensor, by calculations of the gravimetric-volumetric soil moisture content and lastly by grain yield estimations. We found a significant GxT interaction for tillage and irrigation environments for both bread wheat and durum wheat. The average yield for bread and durum wheat genotypes differed in various tillage practices and irrigation regimes. Six genotypes (3 bread wheat and 3 durum wheat) were selected using grain yield, percent ground cover by foliage and NDVI as criteria for further analysis. Genotypes 48 for bread wheat and genotype 31 for durum wheat have shown best adaptation in CTB with full irrigation presenting initial growth capacity and high NDVI values, which turned out in an advantage in crop performance. Genotype 13 and 27 bread and durum wheat resulted in good performance in PB with full irrigation with better development in the stages of flowering and grain filling. For reduced irrigation

environments genotype 48 and 13 of bread wheat had better development in PB, recording high rates of coverage and NDVI. It is important to analyze the genotypes through cycles to specifically attribute those characteristics that are influencing a better adaptation to the plant development and thereby affecting grain yield.

Keywords: Interaction, genotype, tillage practice, percent cover, NDVI.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| ÍNDICE DE TABLAS | xii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. OBJETIVOS | 2 |
| 1.1 Objetivo general | 2 |
| 1.1.1 <i>Objetivos Específicos</i> | 2 |
| 1.2 Hipótesis..... | 3 |
| 1.2.1 <i>General</i> | 3 |
| 1.2.2 <i>Particulares</i> | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 Agricultura de Conservación | 4 |
| 2.2 Potencial de rendimiento en trigo..... | 6 |
| 2.3 Interacción Genotipo por Sistema (G x S)..... | 6 |
| 2.4 Interacción Genotipo por práctica de labranza (G x T)..... | 7 |
| 2.5 Desarrollo de trigo a lo largo del ciclo | 9 |
| 2.5.1 <i>Fenología del trigo</i> | 9 |
| 2.5.2 <i>Métodos para monitorear el desarrollo: Cobertura e índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)</i> | 12 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 14 |
| 3.1 Caracterización del sitio experimental..... | 14 |
| 3.2 Descripción del experimento | 15 |
| 3.3 Parámetros de medición | 20 |
| 3.3.1 <i>Cobertura de suelo por el follaje</i> | 20 |
| 3.3.2 <i>Diferencia Normalizada del índice vegetativo (NDVI)</i> | 20 |
| 3.3.3 <i>Humedad del suelo</i> | 21 |
| 3.3.4 <i>Rendimiento y Componentes de rendimiento</i> | 22 |
| 3.4 Análisis estadístico..... | 22 |

| | |
|---|-----------|
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 23 |
| 4.1 Efecto de la labranza y niveles de riego en el comportamiento de los genotipos de trigo harinero y duro promediados por ambiente | 23 |
| 4.1.1 Cobertura del suelo por el follaje..... | 23 |
| 4.1.2 Diferencia Normalizada del Índice Vegetativo (NDVI) | 26 |
| 4.2 Parámetro de medición del suelo..... | 30 |
| 4.2.1 Contenido de humedad del suelo..... | 30 |
| 4.3 Rendimiento | 32 |
| 4.4 Efecto de la labranza y niveles de riego en el comportamiento de los genotipos seleccionados para su análisis (Interacción genotipo-practica de labranza) | 35 |
| 4.4.1 Rendimiento de los genotipos | 35 |
| 4.4.2 Interacción genotipo-practica de labranza..... | 38 |
| 4.4.3 Cobertura del suelo por el follaje..... | 40 |
| 4.4.4 Diferencia normalizada del índice vegetativo (NDVI) | 44 |
| V. CONCLUSIONES..... | 47 |
| VI. LITERATURA CITADA..... | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Las fases de desarrollo según la escala decimal Zadoks (Z). | 11 |
| Figura 2. Clima de Ciudad Obregón, Sonora, México. Enero de 2012 -Abril de 2013. (Datos del Sistema de Información Agroclimática-Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora, México.) ... | 15 |
| Figura 3. Efecto de la práctica de labranza con riego completo y riego reducido sobre la cobertura del suelo por el follaje para las variedades de a) trigo harinero b) trigo duro en los campos experimentales CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora en el ciclo de cultivo 2012/2013..... | 24 |
| Figura 4. Efecto de la práctica de labranza con riego completo y riego reducido sobre la diferencia normalizada del índice vegetativo (NDVI) durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora para los genotipos a) Trigo Harinero y b) Trigo Duro..... | 27 |
| Figura 5. Efecto de la práctica de labranza con riego completo y riego reducido sobre contenido de humedad del suelo (0-90 cm) durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora en diferentes ambientes. | 31 |
| Figura 6. Efectos de las prácticas de labranza con riego completo y riego reducido sobre el rendimiento de las variedades de trigo duro y trigo harinero en el ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora. Las barras de error representan error estándar y los resultados de la prueba de medias comparativas (LSD) $P < 0.05$, se presentan como superíndices. | 33 |
| Figura 7. Rendimiento de los genotipos de trigo sembrados en el ensayo 201ABCD (ver lista de genotipos). A) Camas permanentes - riego completo, B) Camas permanentes - riego reducido, C) Camas convencionales – riego reducido, D) Camas convencionales – riego completo. En los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora en el ciclo de cultivo 2012/2013. | 36 |

- Figura 8. Efectos de la práctica de labranza-con riego completo y riego reducido sobre el rendimiento de los genotipos a) trigo harinero y b) trigo duro, seleccionados para su análisis en el ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora..... 39
- Figura 9. Efectos de la práctica de labranza con riego completo sobre la cobertura del suelo por el follaje en los genotipos Trigo harinero (Lado izquierda) y Trigo duro (Lado derecha) seleccionados a para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora. 40
- Figura 11. Efectos de los sistemas de labranza con riego completo sobre el NDVI en los genotipos Trigo harinero (izquierda) y Trigo duro (derecha) seleccionados para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora..... 44
- Figura 12. Efectos de los sistemas de labranza con riego reducido sobre el NDVI en los genotipos Trigo harinero (Lado izquierda) y Trigo duro (Lado derecha) seleccionados para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora..... 45

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Estudios realizados en cultivos de maíz y trigo, Interacción Genotipo por práctica de labranza (GxT), incluyendo número de localidades (L), año (A), genotipo (G); tratamiento de labranza, tipos de suelo, fertilización nitrogenada (N)..... | 8 |
| Tabla 2. Fases de desarrollo del trigo según Zadoks <i>et al.</i> , 1974 (Z _{0.0} a Z _{9.9}). | 11 |
| Tabla 3. Calendario de actividades, aplicados al ensayo 201ABCD en el campo experimental CIMMYT-CENEB en el ciclo de cultivo 2012/2013 Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora. | 17 |
| Tabla 4. Lista de genotipos de trigo harinero y duro utilizados en la siembra del ensayo 201ABCD ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora. | 18 |
| Tabla 5. Análisis de varianza para el efecto de las prácticas de labranza y riego sobre el rendimiento en el ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora..... | 34 |

I. INTRODUCCIÓN

Encontrar aquellas características deseables que manifiestan los genotipos de trigo a través de su ciclo, interactuando con el ambiente ayudan a los fitomejoradores a producir genotipos avanzados para que se puedan adaptar a cualquier sistema de producción, este proceso de investigación conlleva a crear variedades de trigo con adaptabilidad general o específica, lo cual es esencial para combatir los estragos del hambre, mitigar los efectos ambientales y todas aquellas condiciones adversas a las que se tenga que enfrentar. Adaptar los genotipos a una agricultura sustentable como lo es Agricultura de conservación (AC) es uno de los objetivos de esta investigación. En el marco de una agricultura que responda a las necesidades del mercado consumidor, es necesario apuntar a maximizar la rentabilidad de la empresa agropecuaria, poniendo a su disposición genotipos significativamente superiores desde el punto de vista cualitativo, principalmente en ambientes marginales para el cultivo (Duboi and Gaido, 2006). El desarrollo de cultivos con alto potencial en rendimiento, capacidad de adaptación y estabilidad es el objetivo principal de los fitomejoradores. Sin embargo, la consecución de este objetivo es más complicado por la interacción genotipo-ambiente (Crossa, 1990). La pregunta clave que enfrentan los mejoradores es que interacción hay entre genotipo y sistema. Si el rendimiento del cultivo cambia con prácticas de labranza convencional y de conservación, entonces los cultivos pueden manipularse para maximizar sus rendimientos bajo sistemas de producción específicos (Trethowan *et al.*, 2005). Para encontrar respuestas a estas incógnitas, en el campo experimental del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ubicado en Ciudad Obregón, Sonora, México, se inició este proyecto con la finalidad de evaluar la interacción genotipos por práctica de labranza.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar la interacción entre genotipo y práctica de labranza en cuanto a desarrollo de trigo y su rendimiento bajo diferentes niveles de estrés hídrico, con el propósito de optimizar el proceso de mejoramiento de trigo para distintos sistemas agronómicos.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de labranza y nivel de riego sobre el desarrollo de trigo.
- Comparar rendimiento en genotipos de trigo (harinero y duro) en camas permanentes y camas convencionales con riego completo y reducido.
- Determinar si es necesario considerar el genotipo en función del sistema agronómico con diferente régimen de riego.
- Identificar que rasgos fisiológicos (vigor inicial y tolerancia a la sequía) explican diferencias entre genotipos en sistemas de producción convencional y agricultura de conservación.

1.2 Hipótesis

1.2.1 General

Existe interacción entre genotipo y práctica de labranza e influye en el desarrollo del trigo y su rendimiento de grano en distintos niveles de estrés hídrico y sistemas agronómicos.

1.2.2 Particulares

- El efecto de la labranza y el nivel de riego, tienen efectos en el desarrollo del cultivo, en el sistema de camas permanentes será más lento al inicio que en camas convencionales.
- El rendimiento de los cultivos es más alto con camas permanentes que en camas convencionales para trigos duros y harineros, mientras que la reducción de los rendimientos es mayor en camas convencionales con riego reducido.
- El rendimiento de genotipos de trigo es afectado por la interacción entre genotipo y práctica de labranza con diferente régimen de riego.
- Los genotipos que rinden mejor en camas permanentes, son los que tienen un desarrollo inicial más vigoroso.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agricultura de Conservación

La agricultura de conservación (AC) es un sistema de producción agrícola de cultivos para una productividad mejorada y sostenible, mayor rentabilidad económica y seguridad alimentaria, conservando y reforzando al mismo tiempo los recursos naturales y el medio ambiente. La AC tiene como objetivo mantener y mejorar los rendimientos de los cultivos y de la capacidad de reacción del suelo contra la sequía y otros riesgos, y al mismo tiempo proteger y estimular su funcionamiento biológico (FAO, 2012).

La AC se basa en tres principios que son: movimiento mínimo del suelo; retención de residuos del cultivo anterior; y la práctica cada vez más adoptada de rotación y diversificación de cultivos económicamente viables (CIMMYT, 2008). Los principios mencionados se definen como comunes a los sistemas de AC. Sin embargo, los componentes específicos de un sistema AC (selección de implementos agrícolas, la rotación de cultivos, la gestión de la fertilidad del suelo, manejo de rastrojo del cultivo anterior, la selección de germoplasma, etc.) tienden a ser diferentes en los distintos ambientes. Las técnicas para aplicar los principios de AC variarán con las condiciones de manejo, sistemas biofísicos y las circunstancias de agricultores (Verhulst *et al.*, 2010a). Inversiones locales en la investigación adaptativa típicamente son necesarias para adaptar los principios de la AC a las condiciones locales. Este proceso de "adaptación" es más eficaz cuando se produce un "sistema de innovación" emergente y comienza a adquirir una dinámica autosustentable (Harrington and Erenstein, 2005).

En relación al movimiento mínimo del suelo, conviene diferenciar algunas técnicas aplicadas en AC, particularmente de labranza. La reducción o eliminación de la labranza se llama "labranza mínima" o "cero labranza", respectivamente y son alternativas a la labranza convencional (Kienle, 2008). En la labranza convencional el productor trabaja el terreno después de la cosecha con el arado y lo prepara para la siembra con la rastra y/o cultivadora. En labranza mínima

normalmente no se usa el arado para preparación del terreno, pero si se prepara la cama del suelo (Howard and Gómez, 2001).

Diversos estudios han demostrado que reducir al mínimo la perturbación del suelo -resultante de la labranza mecánica o de tracción animal-, ofrece una oportunidad viable para aumentar la productividad de los cultivos en un largo plazo de manera sostenible (FAO, 2002; Hobbs, 2007; Govaerts *et al.*, 2009; Kassam *et al.*, 2009; Wall, 2009; Thierfelder and Wall, 2010).

Hablando de otro principio, la retención de residuos del cultivo anterior funciona como interface entre suelo y atmósfera y tiene una influencia directa entre agua de lluvia y evapotranspiración (Erenstein, 2002). Esto conduce a un mejor abastecimiento de agua en el suelo para los cultivos. Existen otras características importantes que se han reportado como resultado del manejo de residuos, como la formación de macroagregados, disminución de la Densidad aparente (Dap) y resistencia a la penetración (Hill and Cruse, 1985). Según Gómez *et al.*, (2001), 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). 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 and Putamna, 1983; Liebl and Worsham, 1983).

Por último, se realiza rotación y diversificación de cultivos en AC, para ayudar a mitigar moderadamente problemas en el control de malezas, enfermedades y plagas; ofrecer opciones económicamente viables y minimizar riegos para los agricultores (Govaerts *et al.*, 2006c; Hulugalle and Scott 2008). En síntesis, Las ventajas de la AC implican beneficios económicos, sociales y ambientales: reducción de los insumos (combustibles fósiles, fertilizantes y mano de obra), mayor rendimiento y estabilidad del rendimiento, aumento de la seguridad alimentaria y la conservación del medio ambiente como consecuencia de la mejora de la calidad del suelo: físicos, químicos y biológicos; incluyendo el

carbono del suelo, el contenido de nitrógeno, y la conservación del suelo y agua, en comparación con las prácticas convencionales (Dumanski *et al.*, 2006).

2.2 Potencial de rendimiento en trigo

Se define potencial de rendimiento como el rendimiento de un genotipo adaptado a un medio determinado, sin problemas de fertilización ni agua y donde otros factores de estrés son controlados (Acevedo and Fereres, 1993). De otra manera, es la prevista para un año y lugar determinado, basándose en el supuesto de que se mantenga el nivel de los factores de crecimiento responsables del desarrollo inicial de los cultivos (limitaciones que existían en las primeras etapas de crecimiento seguirán influyendo en el desarrollo de manera similar a la madurez, por ejemplo, deficiencia de N). Si el estrés aumenta a un cierto nivel puede ocurrir que el genotipo de mayor rendimiento potencial rinda menos que otros de menor rendimiento potencial, fenómeno conocido como “crossover” (interacción) (Acevedo *et al.*, 1999a). Este es un parámetro útil para cuantificar los avances en fitomejoramiento y en prácticas agronómicas.

2.3 Interacción Genotipo por Sistema (G x S)

La interacción Genotipo por Sistema es un cambio en la respuesta de los genotipos a los diferentes sistemas agronómicos. Con el término Sistema agronómico nos referimos al conjunto de elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí en el manejo agronómico (fecha de siembra, labranza, control integral de plagas y enfermedades, riego, labores culturales, etc.), sin descartar los factores ambientales. Puede representarse por el siguiente modelo:

$$\bar{Y} = G + S + (G \times S)$$

Dónde:

\bar{Y} = Rendimiento promedio

G = Efecto del Genotipo

S = Efecto del Sistema agronómico

$(G \times S)$ = Interacción Genotipo por Sistema agronómico

2.4 Interacción Genotipo por práctica de labranza (G x T)

El movimiento mínimo del suelo es un principio fundamental de la Agricultura de Conservación y nos centraremos en el estudio de interacción genotipo por prácticas de labranza (“Tillage” por sus siglas en inglés) en este trabajo.

Las razones de aparición en estudios de interacción genotipo x ambiente (G x E), están ampliamente discutidas, y estos son considerados como un paso esencial para los programas de mejoramiento (Bidinger *et al.*, 1996; Kang, 1998; Basford and Tukey, 2000; Crossa, 2010). Las investigaciones realizadas de G x E, sugieren un gran potencial para desarrollar cultivares con adaptabilidad general o específica. El mismo principio se aplica para interacciones G x T, la necesidad de llevar a cabo programas de mejoramiento con las diferentes prácticas de labranza, (1) implica una necesidad de desarrollar nuevas variedades. (2) Identificar y explotar las interacciones genotipo x práctica de labranza se considera que es una posible vía para aumentar el potencial de rendimiento en el futuro (Ransom *et al.*, 2007; Blumenthal, 2009; Carena *et al.*, 2009).

(3) Además del desarrollo de nuevas variedades se encuentra la necesidad de conservar los recursos naturales como el suelo y el agua; (4) La cero labranza y mínima son las técnicas clave que se utilizan ampliamente en la agricultura de conservación (Jordan and Hutcheon, 1997; El Titi, 2003; SOWAP, 2006).

Existen referencias sobre los cambios en las prácticas de labranza como “cero labranza (ZT)” y estos se remontan en la década de 1980. A partir de esta década comienzan a realizarse investigaciones sobre interacción G x T, y generalmente, reportaron una falta de interacción en cultivos de campo: sorgo, cebada, soya, trigo y arroz (Francis *et al.*, 1984; Ullrich and Muir, 1986; Elmore, 1990; Cox, 1991).

En la actualidad los aspectos agronómicos de la agricultura de conservación se han estudiado más metódicamente en el control genético de la adaptación de los cultivos (Liebman and Davis, 2000; Cook, 2006; Mahmood *et al.*, 2009). Gran parte de las investigaciones fueron sobre la respuesta del genotipo utilizando pocas variedades desarrolladas bajo labranza convencional (CT); es de vital

importancia que los nuevos materiales se desarrollen y prueben bajo cero labranza (ZT), sus rasgos útiles para su adaptación a la labranza de conservación deben ser identificados (Trethowan *et al.*, 2011).

Enseguida se presentan algunos estudios realizados en la actualidad sobre GxT (Tabla 1).

Tabla 1. Estudios realizados en cultivos de maíz y trigo, Interacción Genotipo por práctica de labranza (GxT), incluyendo número de localidades (L), año (A), genotipo (G); tratamiento de labranza, tipos de suelo, fertilización nitrogenada (N).

| Cultivo | Estudio | L | A | G | Tratamientos de labranza | Tipos de suelo | N | GxT |
|---------|---------------------------------|--------|---------|-------------------------------|--------------------------|--|----|-------|
| Maíz | Newhouse and Crosbie (1987) | (2)(3) | 2 | (100)(100) | ZT, CT | Haplaquoll, Hapludoll | Si | **+NS |
| | Hersterman <i>et al.</i> (1988) | 2 | 2 | 15(18) | ZT, CT | Ochraqualf, Hapludaf1 | Si | NS |
| | Duiker <i>et al.</i> (2006) | 1 | 3 | 5 | ZT, CT | Hapludaf1 | Si | NS |
| Trigo | Trethowan <i>et al.</i> (2005) | 1 | 1 | 4 | ZT, CT | Haplic Vertisol Calcaric Chromic | Si | * |
| | Verhulst <i>et al.</i> (2010) | 1 | 1 | 36 | ZT, CT | Haplic Vertisol Calcaric Chromic | Si | ** |
| | Moreno (2010) | 1 | 1 | T. Duro (15) T. Harinero (21) | ZT, CT | Haplic Vertisol Calcaric Chromic | Si | NS+* |
| | Trethowan <i>et al.</i> (2011) | 2 | (5)(10) | 10 | ZT, CT | Thermic Cumulic Haplustoll, Haplic Vertisol Calcaric Chromic | Si | ** |

NS= No significativo

*, ** =Niveles de significancia

ZT=Cero Labranza

CT=Labranza convencional

Los estudios de interacción G x T tienen variaciones importantes en el comportamiento de los genotipos a través del tiempo, ocasionadas por factores no permanentes (precipitación, temperaturas, presencia de patógenos, etc.), que dificultan la identificación de genotipos superiores (Rodríguez, 2004).

Se han utilizado diversas metodologías estadísticas para agrupar ambientes de producción; sin embargo, el logro de este objetivo, mediante la aplicación de alguna técnica específica, es difícil, debido a las particularidades de las regiones de producción y a la respuesta de los genotipos. Al recurrir al rendimiento de grano como única variable respuesta para definir las condiciones ambientales, la aplicación de técnicas multivariadas al estudio de interacciones son los más recurrentes (Crossa, 2010).

2.5 Desarrollo de trigo a lo largo del ciclo

2.5.1 Fenología del trigo

El trigo es una especie que tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que unido a su gran consumo, ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo (Plana *et al.*, 2006).

El rendimiento es el resultado final de un grupo de interacciones, donde intervienen el genotipo, clima, suelo y manejo del cultivo. El impacto de los distintos parámetros que intervienen en estas variables del sistema define la fenología y el rendimiento de los cultivos (Guevara, 2007). Dado que el producto final de un cultivo no es sino la consecuencia de un proceso derivado de las actividades agrícolas efectuadas durante todo el ciclo, para los investigadores y productores se hace necesario el conocimiento de la fenología agrícola y duración de las diferentes etapas (Soto *et al.*, 2009).

La fenología es el estudio de los fenómenos periódicos que presentan los organismos vivos y su reacción con el proceso meteorológico. La fenología agrícola se refiere a los fenómenos periódicos que presentan las plantas y su relación con las condiciones ambientales, tales como la temperatura, luz, humedad etc. (Ibíd.).

Por ejemplo la temperatura, controla la tasa de desarrollo de muchos organismos, que requieren la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estadio a otro en su ciclo de vida. En el trigo de invierno, es necesario acumular 760°C desde la siembra hasta el espigado (Rawson and Gómez, 2001).

Para la mayoría de los cultivos, el rendimiento está positivamente relacionado con la duración del período del llenado del grano; los factores genéticos, climáticos y de manejo agronómico que permiten una mayor duración y un mantenimiento de la fotosíntesis durante este período son fundamentales en su aporte al incremento del rendimiento (Soto *et al.*, 2009).

Existen al menos cinco tipos de escala usados comúnmente en todo el mundo que describen los estadios de crecimiento/ desarrollo del cultivo de trigo y otros cereales de grano pequeño. El sistema Zadoks, se está convirtiendo en el más aceptado universalmente, y se aplica a cualquier grano pequeño, sus etapas son fáciles de identificar en el campo. Es más detallado que otros sistemas y permite la puesta en escena precisa (Simmons *et al.*, 1995).

Las fases de la escala Zadoks describen lo que puede ser observado a simple vista, pero es el ápice, espiga o punto de crecimiento de la planta, no visible dentro de las vainas, el primer indicador de la evolución de la planta a través de sus fases principales. De acuerdo a la escala Zadoks, el primer dígito de este código de dos dígitos que se refiere a la etapa principal de crecimiento a partir de la germinación (etapa 0) y terminando con la maduración del núcleo (etapa 9). El uso del segundo dígito entre 0 y 9 subdivide cada etapa de crecimiento principal (Tabla 2, Figura 1).

Tabla 2. Fases de desarrollo del trigo según Zadoks *et al.*, 1974 (Z_{0,0} a Z_{9,9}).

| Etapa principal | Descripción | Sub-fase | Etapa principal | Descripción | Sub-fase |
|-----------------|-----------------------------------|----------|-----------------|--------------------------|----------|
| 0 | Germinación | 0.0-0.9 | 5 | Espigado | 5.0-5.9 |
| 1 | Producción de hojas TP | 1.0-1.9 | 6 | Antesis | 6.0-6.9 |
| 2 | Producción de macollos | 2.0-2.9 | 7 | Estado lechoso del grano | 7.0-7.9 |
| 3 | Producción de nudos TP (encañado) | 3.0-3.9 | 8 | Estado pastoso del grano | 8.0-8.9 |
| 4 | Vaina engrosada | 4.0-4.9 | 9 | Madurez | 9.0-9.9 |

TP= Tallo principal

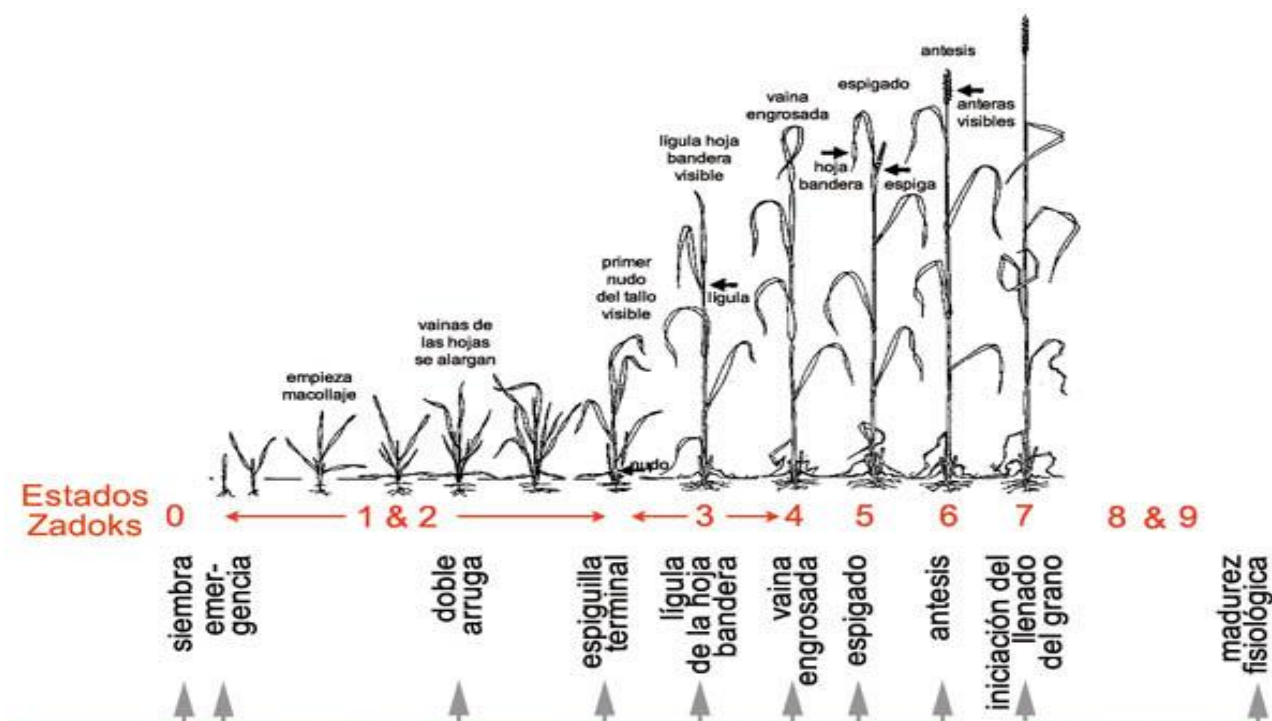


Figura 1. Las fases de desarrollo según la escala decimal Zadoks (Z).

2.5.2 Métodos para monitorear el desarrollo: Cobertura e índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)

Cobertura de cultivo del suelo o el porcentaje de la superficie cubierta por el follaje de la planta, es una medida importante de establecimiento del cultivo y vigor inicial, caracterizada por un rápido desarrollo del área foliar y/o de la biomasa por encima del suelo. Los genotipos con mayor cobertura temprana son capaces de mejorar la intercepción de radiación, aumentar el sombreado y disminuir la evaporación del suelo, por ende, aumentar la eficiencia en el uso de agua, reducir la erosión eólica e hídrica (Mullan and Barcelo, 2012).

Una manera de examinar los cambios que experimenta la parte aérea del cultivo durante su ciclo es a partir de mediciones de la fracción de suelo cubierto (Burstall and Harris, 1983; Korva, 1996; Korva and Forbes, 1997). Por otra parte, Burstall and Harris (1983) y Millard *et al.* (1990) sostienen que la estimación de la cobertura es más fácil de realizar y asumen la existencia de una relación 1:1 entre el porcentaje de suelo cubierto y la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (fAPAR). Aprovechando la evolución que ha tenido la tecnología digital, es posible realizar actualmente el seguimiento del desarrollo de las plantas por medio de fotografías digitales y determinar el porcentaje de cobertura del suelo aplicando técnicas de imágenes (Rodríguez *et al.*, 2000; De la Casa *et al.*, 2007).

El 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 hojas, considerando la reflectancia de la vegetación verde en la VIS es de 20% y en el NIR de 60% (Garty *et al.*, 2001).

La reflectancia es la fracción de energía reflejada por un objeto posteriormente a la incidencia de la misma en la superficie. La reflectancia espectral de un cultivo

difiere considerablemente entre el rango del infrarrojo cercano ($\lambda=700-1300$ nm) y del rojo visible ($\lambda= 550-700$ nm) (Kumar and Silva, 1973).

El NDVI se calcula a partir de las mediciones de la reflectancia en el rango de luz roja e infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) del espectro:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$$

Donde R_{NIR} es la reflectancia de la radiación NIR y R_{Red} es la reflectancia de la radiación del rojo visible (Verhulst and Govaerts, 2010).

Debido a su normalización, los rangos de medición del NDVI se encuentran entre (-1.0) a (+1.0), siendo los valores más altos (0.7- 0.8) indicadores de plantas en las mejores condiciones. Un valor de 1 representaría la densidad más alta posible de hojas verdes y saludables (Viney *et al.*, 2005; Monteith and Unsworth, 2008). Los suelos descubiertos generan valores positivos bajos (0.1 a 0.2), y el agua libre valores que van desde -0.1 hasta 0.1 ó 0.2. Valores de -1 se registran en superficies blancas como la nieve, el hielo o las nubes, mientras que 0 indica ausencia de vegetación. Se han propuesto índices menos afectados por la reflectividad del suelo en relación con la del follaje para solucionar los problemas encontrados en estados tempranos del desarrollo del dosel (Huete, 1988; Rondeaux *et al.*, 1996).

El NDVI ha sido correlacionado con numerosas variables como: la deficiencia de nutrientes en los cultivos, el rendimiento de cereales de grano pequeño y el estrés hídrico prolongado de las plantas. Sin embargo, más que reflejar el efecto de un solo parámetro, el NDVI tiene que ser considerado como una medida del crecimiento integral de la planta, incluyendo factores que intervienen en dicho crecimiento (Verhulst and Govaerts, 2010).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Caracterización del sitio experimental

El experimento de esta tesis se realizó en la estación experimental del CIMMYT – CENEB (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo – Campo Experimental Norman E. Borlaug), cerca de Ciudad Obregón, Sonora, México (lat. 27.33° N, long. 109.09° W, 38 msnm). La estación está situada en el Valle del Yaqui. El clima predominante según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García es del grupo de climas muy secos, subtipos BW(h')hw muy cálido, cálido, con lluvias de verano (CONAGUA, 2009) con una precipitación anual de alrededor de 320 mm, y una ETo (Penman-Monteith) anual aproximadamente de 1800-2000 mm (Verhulst *et al.*, 2011). Los rangos medios diarios de temperatura son de 16.8°C en Enero a 30.8°C en Julio / Agosto (media de 24.7°C, Figura 2) (Rodríguez *et al.*, 2003). El tipo de suelo es una arcilla arenosa común, clasificada como Vertisol Hiposódico (Calcárico Crómico) en el Sistema Base Referencial Mundial (Verhulst *et al.*, 2009; IUSS Working Group WRB, 2007). Otras características del suelo es el bajo contenido de materia orgánica (SOM <12 g kg⁻¹) (<1%) y pH ligeramente alcalino (pH=8) (Limón-Ortega *et al.*, 2008). El suelo tiene una textura arcillosa (en promedio 300 g kg⁻¹ arena, 200 g kg⁻¹ limo y 500 g kg⁻¹ arcilla en el primer metro del perfil). La densidad aparente es de alrededor de 1.3 Mg m⁻³ en la capa arable (Verhulst *et al.*, 2009).

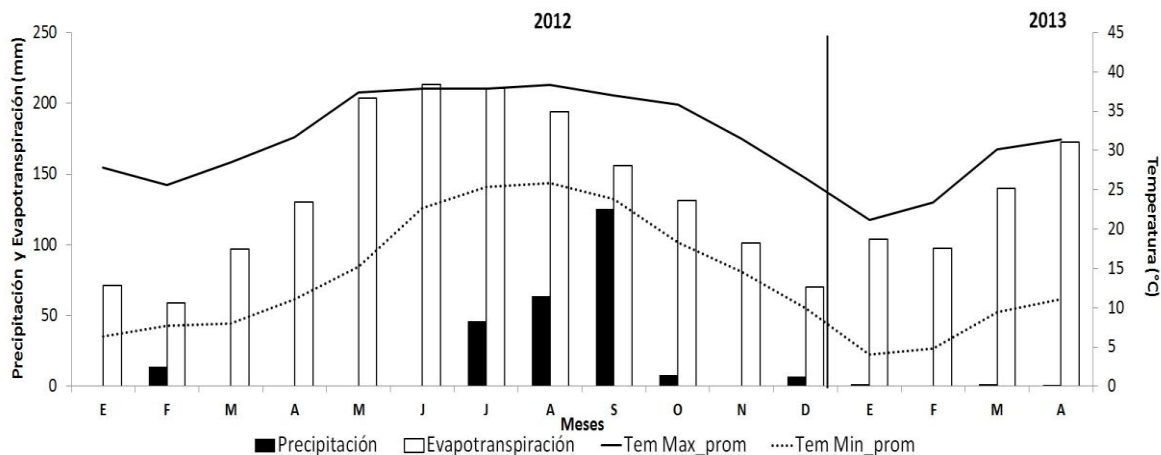


Figura 2. Clima de Ciudad Obregón, Sonora, México. Enero de 2012 -Abril de 2013. (Datos del Sistema de Información Agroclimática-Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora, México.)

3.2 Descripción del experimento

El experimento se inició en el ciclo de trigo invernal 2005/06. Los datos para esta tesis se recolectaron en el ciclo invernal 2012/13. El estudio comprende 48 genotipos de trigo sembrados en cuatro ambientes contrastantes de labranza/riego. El diseño experimental utilizado fue Bloques completos al azar con tres repeticiones en cada uno de los cuatro ambientes. Las diferentes variedades están en parcelas con área de 8.0 m² (1.6 x 5.0 m) que consisten en dos camas (0.8 m cada cama) con dos hileras de trigo por cama (0.28 m entre las hileras). Los ambientes de labranza/riego difieren en el nivel de riego (completo [RC] y riego reducido [RR]) y la práctica de labranza (camas labradas convencionalmente [CC] y camas permanentes [CP]), quedando los ambientes de la siguiente manera:

Ambiente A – CP-RC, camas permanentes con riego completo.

Ambiente B – CP-RR, camas permanentes con riego reducido.

Ambiente C – CC-RR, camas convencionales con riego reducido.

Ambiente D – CC-RC, camas convencionales con riego completo.

Los cuatro ambientes recibieron un riego de presiembra. Los riegos de auxilio para los tratamientos de riego completo se aplicaron cuando el agua disponible del suelo para la planta fuera el 70% a una profundidad de 0.90 m, lo que resultó aplicar 5 riegos de auxilio durante el ciclo del cultivo, haciendo un total de aproximadamente de 620 mm de agua de riego aplicada. Un riego de auxilio fue aplicado al tratamiento de riego reducido en todo el ciclo del cultivo. Aproximadamente 240 mm de agua de riego se aplicó en total para los entornos con riego reducido.

En otoño del 2005 se preparó el área del experimento: 1 pasada con el arado de cincel a 50 cm y un arado de vertedera a 40 cm y 2 pases con arado de discos de 20 cm. Después se instalaron los diferentes ambientes de labranza. En las camas convencionales (CC) se hace labranza después de cada cosecha de la siguiente manera: dos pases de rastreo, 1 pasada con el arado de cincel a 50 cm, un tabloneo y un surqueo. En las camas permanentes (CP) no se hace labranza, solamente se reforman los fondos de los surcos con el arado "pata de mula" a 10 cm de profundidad antes de la siembra. El suelo arriba de la cama no se mueve.

Para controlar la maleza que emergió después del riego de pre-siembra se aplicó un herbicida sistémico no selectivo (Faena Fuerte ®, Ingrediente activo: Glifosato, 2 Ltrs./ha). La densidad de siembra fue de 250 granos por m². De los 48 genotipos 18 fueron de trigo duro y 30 de trigo harinero. Los genotipos utilizados en la siembra se muestran en la Tabla 4. Las parcelas fueron tratadas con 103 kg N/ha y 52 kg P P₂O₅/ha incorporado a través con la cultivadora cuando se reformaron las camas antes de la siembra. Además, 175 kg N/ha (Ambiente A y D con riego completo) y 100 kg N/ha (Ambiente B y C con riego reducido) como urea fue incorporada en el fondo del surco con la cultivadora; cuando a pareció el primer nudo. Se hizo el control estándar para control de plagas (Tabla 3).

Tabla 3. Calendario de actividades, aplicados al ensayo 201ABCD en el campo experimental CIMMYT-CENEB en el ciclo de cultivo 2012/2013 Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora.

| Evento | Fecha | Cantidad/Tipo |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Siembra | | |
| A | 29-11-12 | |
| B | 29-11-12 | 250 granos /m ² (ABCD) |
| C | 28-11-12 | |
| D | 28-11-12 | |
| Fertilización | | |
| | 23-10-12 | 52 kg P/ha (ABCD) |
| | 23-10-12 | 103 kg N/ha (ABCD) |
| | 08-01-13 | 175 kg N/ha (AD) |
| | 22-01-13 | 100 kg N/ha (BC) |
| Riego | | |
| | 07-11-12 | Pre-siembra (ABCD) |
| | 11-01-13 | 1st Auxilio (AD) |
| | 01-02-13 | 2nd Auxilio (AD) |
| | 25-02-13 | 3rd Auxilio (AD) |
| | 15-03-13 | 4th Auxilio (AD) |
| | 03-04-13 | 4th Auxilio (AD) |
| | 01-02-13 | 1st Auxilio (BC) |
| Control de maleza | | |
| | 22-11-12 | Faena (ABCD) |
| Control de plaga | | |
| | 01-02-13 | Furadan (ABCD) |
| | 31-01-13 | Previcur (ABCD) |
| | 15-02-13 | Previcur (ABCD) |
| | 04-03-13 | Previcur (ABCD) |

A=CP-RC, B=CP-RR, C=CC-RR, D=CC-RC

Tabla 4. Lista de genotipos de trigo harinero y duro utilizados en la siembra del ensayo 201ABCD ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora.

| Nr | Genotipo | D/H |
|----|---|-----|
| 1 | 7 Cerros 66 | H |
| 2 | Pavon 76 | H |
| 3 | Seri 82 | H |
| 4 | Super KAUZ 88 | H |
| 5 | Baviacora 92 | H |
| 6 | PFAU/ WEAVER CMBW90M4-30-0Y | H |
| 7 | Tacupeto 2001 | H |
| 8 | ATTILA (50y) | H |
| 9 | PASTOR | H |
| 10 | NESSER | H |
| 11 | WEEBILL (35y) | H |
| 12 | ROLF07*2/5/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO/4/HUITES | H |
| 13 | TACUPETO F2001/BRAMBLING*2/5/KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES TRAP#1/BOW/3/VEE/PJN//2*TUI/4/BAV92/RAYON/5/KAUZ//ALTAR | H |
| 14 | 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/5/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA | H |
| 15 | (213)//PGO/4/HUITES | H |
| 16 | WBLL1*2/ KIRITATI CGSS01B00063T-099Y-099M-099M-099Y-099M-27Y-0B | H |
| 17 | Villa Juarez F2009 | H |
| 18 | Navojoa M2007 | H |
| 19 | TRCH/SRTU/5/KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES | H |
| 20 | SOOTY_9/RASCON_37/3/STOT//ALTAR 84/ALD CGSS02Y00002S-2F1-48Y-0B-11Y-0B TACUPETO 2001/7/CAL/NH//H567.71/3/SERI/4/CAL/NH//H567.71/5/2*KAUZ/6/PASTOR/8/ | D |
| 21 | BABAX/LR42//BABAX*2/3/KURUKU | H |
| 22 | PBW343*2/KUKUNA*2//FRTL/PIFED | H |
| 23 | COCORIT 71 | D |
| 24 | MEXICALI 75 | D |
| 25 | YAVAROS 79 | D |
| 26 | ALTAR 84 GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_ | D |
| 27 | 1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR | D |
| 28 | ATIL C2001 | D |
| 29 | JUPARE C2001 | D |
| 30 | SAMAYOA C2004 | D |
| 31 | CIRNO C2008 TOPDY_18/FOCHA_1//ALTAR 84/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/ | D |
| 32 | 4/SOMAT_3/GREEN_22/5/VRKS_3/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13 | D |
| 33 | ARMENT//2*SOOTY_9/RASCON_37/4/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU_17/3/SNITAN ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA- D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13 /8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR | D |
| 34 | 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU_17/3/SNITAN SOMAT_4/INTER_8/4/GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/5/CNDO/PRIMADUR//HAI- OU_17/3/SNITAN | D |
| 35 | SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/4/SOOTY_9/RASCO | D |
| 36 | N_37//GUAYACAN INIA/3/SOOTY_9/RASCON_37//LLARETA INIA | D |
| 37 | WBLL1*2/4/BABAX/LR42//BABAX/3/BABAX/LR42//BABAX | H |
| 38 | BABAX/LR42//BABAX/3/VORB CMSA05M00103S-040ZTM-040ZTY-13ZTM-02Y-0B | H |
| 39 | BABAX/LR42//BABAX/3/VORB CMSA05M00103S-040ZTM-040ZTY-13ZTM-03Y-0B | H |

| | | |
|----|--|---|
| 40 | SOKOLL//PBW343*2/KUKUNA/3/ATTILA/PASTOR CMSA05Y01188T-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-17ZTM-01Y-0B | H |
| 41 | SOKOLL*2/3/BABAX/LR42//BABAX CMSA05Y01225T-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-12ZTM-01Y-0B | H |
| 42 | GK ARON/AG SECO 7846//2180/4/2*MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92 CMSA05Y00954T-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-12ZTM-01Y-0B | H |
| 43 | SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 | D |
| 44 | P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/RISSA/GANN//POHO_1/3/PLATA_3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 | D |
| 45 | SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/5/GUAYACAN INIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/8/AVTA/ALTAR 84/5/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/6/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/7/SOOTY_9/RASCON_3 | D |
| 46 | 7 | D |
| 47 | Kirchauf | H |
| 48 | BERKUT | H |
| | ROLF07/4/BOW/NKT//CBRD/3/CBRD/5/FRET2/TUKURU//FRET2CMSS06Y00605T-099TOPM-099Y-099ZTM-099Y-099M-11WGY-0B | H |

D = Trigo duro, H = Trigo harinero.

3.3 Parámetros de medición

3.3.1 Cobertura de suelo por el follaje

La cobertura de suelo se determinó como el porcentaje de píxeles verdes en una foto que se sacó de manera perpendicular de un área representativa de la parcela. Dos fotografías por parcela (principio y final) fueron tomadas con una cámara digital. Una regla de madera de 1.89 m se colocó sobre el terreno de manera perpendicular a las 2 camas centrales para estandarizar el área de la foto. Se utilizó el programa Adobe Photoshop CS3™, para calcular la cobertura del suelo por el follaje como una diferencia entre la cantidad de píxeles verdes y todos los píxeles de cada fotografía.

3.3.2 Diferencia Normalizada del índice vegetativo (NDVI)

El GreenSeeker™ Unidad de Sensor Óptico Portable (NTech Industries, Inc.) se usó para recolectar la diferencia normalizada del índice vegetativo (NDVI). Este equipo usa una técnica patentada para medir la reflectancia del cultivo y para calcular el NDVI. El sensor 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 luz emitida por la superficie y la que regresa al sensor (reflectancia). Estas fracciones se usan dentro del sensor para elaborar el NDVI según la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{F_{NIR} - F_{RED}}{F_{NIR} + F_{RED}}$$

Dónde:

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

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

La unidad sensor está diseñada para ser manejada manualmente (“hand-held”) y las mediciones son tomadas pasando el sensor por la superficie del cultivo en el rango de altura mencionado.

El sensor toma muestras a una velocidad muy alta (aproximadamente 1000 mediciones por segundo) y las promedia por salida. Las salidas del sensor del NDVI están a una tasa de 10 lecturas por segundo.

Las mediciones se iniciaron a los 14 días después de la siembra, dos veces por semana y a través de todo el ciclo de cultivo. Se tomaron mediciones en cada parcela, tomando cama (colocar el sensor por encima de las dos hileras de trigo plantadas en la cama del cultivo) y fondo (colocar el sensor en el medio de las dos camas que conforman la parcela).

3.3.3 Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo se determinó una vez por semana. Dos muestras de cada profundidad (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, 45-60 cm, 60-90 cm) en diferentes puntos de la cama fueron tomadas por repetición y fueron mezcladas por profundidad para obtener una muestra compuesta. Después de ser pesadas; y registrado el peso; las muestras fueron introducidas en un horno 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).

$$m_{wet} - m_{dry}$$

Donde m_{wet} es el peso del suelo húmedo y m_{dry} el peso suelo seco.

El contenido de humedad volumétrica fue determinado multiplicando el contenido de humedad gravimétrica por la respectiva densidad aparente (White, 2005).

3.3.4 Rendimiento y Componentes de rendimiento

Una muestra aleatoria de 50 tallos enteros cortados a nivel del suelo se tomó después de la madurez fisiológica en cada parcela. Esta muestra se secó en estufa durante 48 horas a 75 °C y posteriormente se trilló. El peso de mil granos se determinó contando una submuestra de 200 granos y se determinó peso seco. La cosecha de trigo se realizó en las dos camas de cada parcela. Cada parcela se cosecho con una trilladora marca Wintersteiger. El grano recolectado por parcela se depositó en un costal previamente etiquetado indicando el número de la parcela. Se sacó una submuestra para determinar el contenido de humedad y se expresó el rendimiento a 12% de humedad. El número de granos por m² se calculó usando el rendimiento y el peso de mil granos.

3.4 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza de bloques completos al azar con tres repeticiones para estudiar el efecto de la interacción de las variedades en los diferentes tratamientos de labranza y riego, adicionalmente se hizo prueba de medias comparativas con promedio de rendimiento de los genotipos por ambiente para determinar el mejor tratamiento por ambiente. Estos análisis se realizaron con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ utilizando el programa SAS (SAS, 2000).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la labranza y niveles de riego en el comportamiento de los genotipos de trigo harinero y duro promediados por ambiente

4.1.1 Cobertura del suelo por el follaje

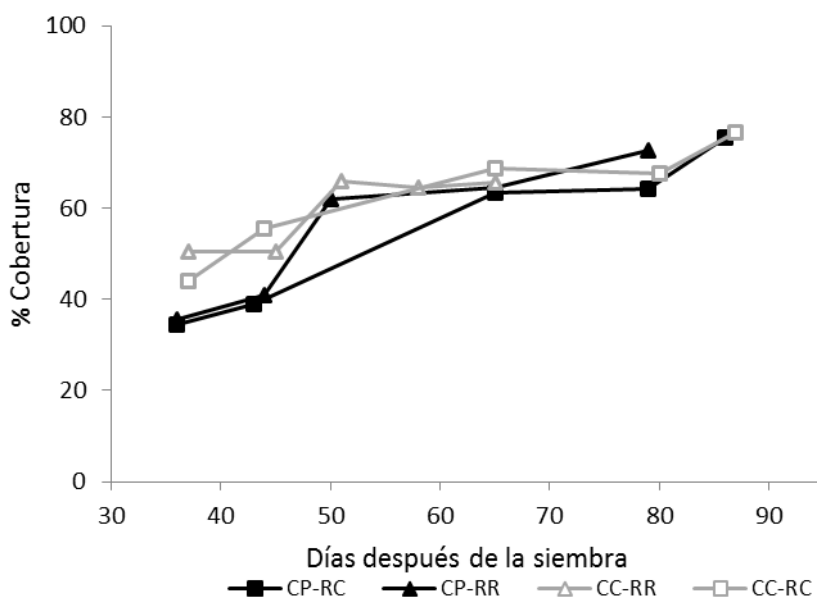
Porcentajes de cobertura del suelo por el follaje fueron obtenidos agrupando los genotipos de trigo harinero (30 genotipos) y trigo duro (18 genotipos) con diferente práctica de labranza y riego. Los valores de los genotipos de cada grupo se promediaron por ambiente.

La cobertura del suelo por el follaje se presenta en la figura 3 **a)** trigo harinero y **b)** trigo duro. Al inicio de los primeros 36 días después de la siembra (inicio de brote) hasta los 87 días después de la siembra (espigamiento y antesis), se obtuvieron diferencias significativas en cobertura, siendo más alto el tratamiento CC-RC ($P < 0.05$) en comparación con CP-RC. El aumento rápido de la cobertura del suelo por el follaje para los tratamientos de labranza con riego completo se hace notar por la aplicación del primer y segundo riego de auxilio (45 y 66 DDS).

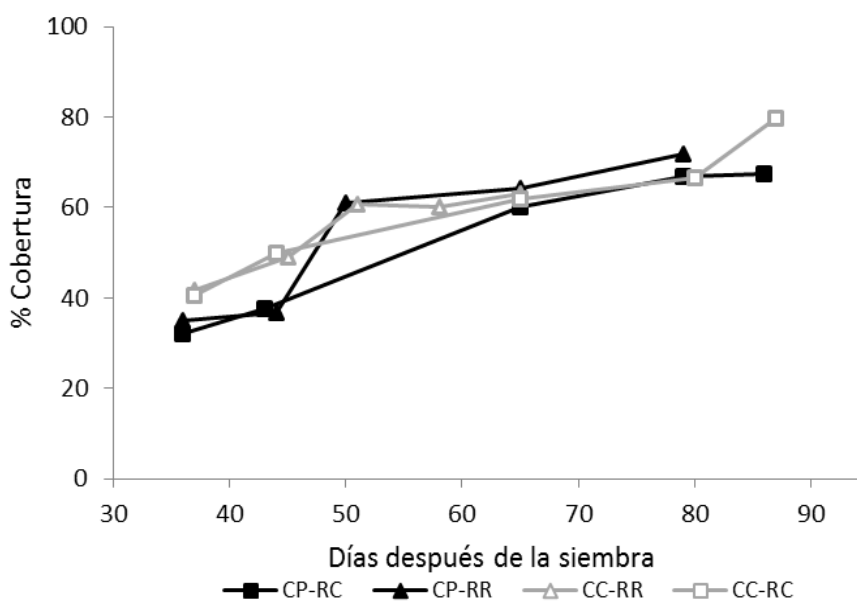
El riego de auxilio para los ambientes CP-RR y CC-RR (condiciones de sequía) se aplicó a los 66 DDS. No mostraron diferencias significativas en porcentaje de cobertura de suelo por follaje durante el ciclo del cultivo del trigo harinero.

En CP con riego completo se alcanzó un porcentaje máximo promedio de 75.57% (86 DDS) de cobertura y con riego reducido se alcanzó un porcentaje máximo promedio de 72.76 (79 DDS). En CC-RC se alcanzó un porcentaje máximo promedio de 76.61% (87 DDS) y CC-RR 65.57% (65 DDS) para trigo harinero.

a)



b)



CP-RC=Camas Permanentes – Riego Completo, CP-RR=Camas Permanentes – Riego Reducido, CC-RR=Camas Convencionales – Riego Reducido, CC-RC=Camas Convencionales – Riego Completo.

Figura 3. Efecto de la práctica de labranza con riego completo y riego reducido sobre la cobertura del suelo por el follaje para las variedades de a) trigo harinero b) trigo duro en los campos experimentales CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora en el ciclo de cultivo 2012/2013.

Tanto para trigo harinero y duro su desarrollo fue casi igual en los diferentes sistemas agronómicos. Desde el primer día de la captura de datos (37 DDS) hasta los 87 DDS, es significativamente mayor ($P < 0.05$) CC-RC en comparación con CP-RC. Solo en los 80 DDS no mostraron diferencias significativas, siendo la etapa del trigo de espigamiento y anthesis.

Con riego reducido CP-RR y CC-RR, con trigo duro, mostraron diferencias significativas, contrariamente a los tratamientos de trigo harinero. El tratamiento CC-RR fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en comparación con CP-RR en los primeros 37-45 DDS, sin embargo a los 65 DDS, CP-RR fue significativamente mayor que el tratamiento CC-RR.

El porcentaje de cobertura máximo promedio obtenido en CP-RC fue de 67.39% (86 DDS), y CP-RR fue de 71.80% (87 DDS), los tratamientos CC-RC el porcentaje máximo promedio fue de 79.59% (87 DDS) y CC-RR de 63.18 (65 DDS) para trigo duro.

Riley (1998) encontró que el desarrollo de plantas se retrasó con labranza reducida en trigo, pero esto fue compensado más adelante en la temporada. Se podría esperar aumentos en el crecimiento del cultivo durante la fase vegetativa de aumentar la eficiencia del uso de agua (EUA) como resultado de la disminución de la evaporación del suelo (López-Bellido *et al.*, 2007). En otros experimentos Dang *et al.* (2006), encontraron que el trigo harinero utilizó más agua que el trigo duro.

Por otra parte, los resultados de esta investigación indican que el desarrollo del cultivo se relaciona mucho con lo encontrado en otras investigaciones, el desarrollo del cultivo en CP fue más lento en comparación a CC, de otra manera, los porcentajes de cobertura en CP son más bajos al inicio en comparación a CC.

4.1.2 Diferencia Normalizada del Índice Vegetativo (NDVI)

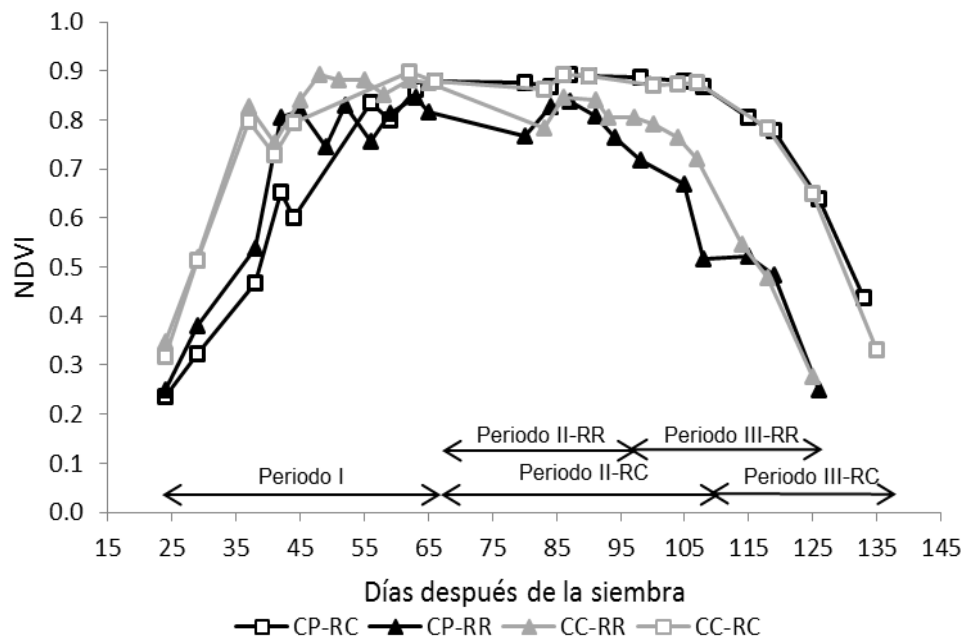
Los valores promedios de NDVI se trazaron contra el tiempo en todos los ambientes agronómicos para trigo harinero y duro en el ciclo de cultivo 2012/2013 (Fig. 4, **a y b**). El NDVI aumenta gradualmente desde el principio del ciclo en todos los ambientes agronómicos (Periodo I), con el tiempo llegó a un periodo de estabilidad (Periodo II) y posteriormente disminuyó hacia el final conforme el cultivo fue madurando (Periodo III).

Los tratamientos CC tuvieron lecturas de NDVI más altas durante la fase vegetativa, pero esto fue compensado más adelante en la temporada por los tratamientos CP. CP y CC con riego completo registraron un NDVI más alto y pudieron mantenerla más estable durante más tiempo en comparación a los tratamientos CP-RR y CC-RR.

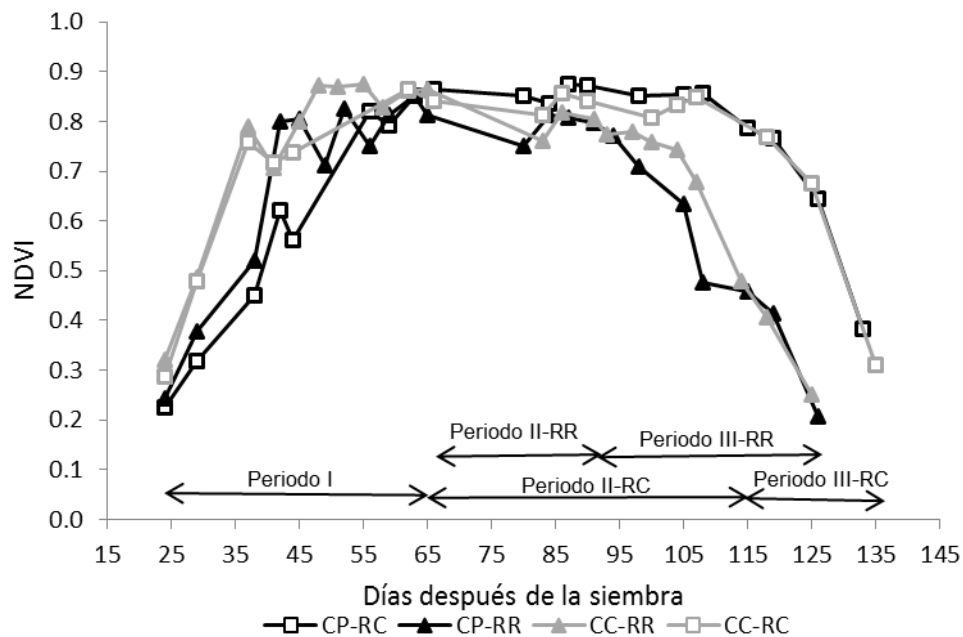
Los tratamientos CP-RC y CC-RC con trigo harinero, mostraron diferencias significativas solo en el Periodo I (25-65 DDS, etapa de amacollamiento, encañe y embuche), siendo significativamente mayor ($P < 0.05$) CC-RC en comparación con CP-RC, posteriormente para el Periodo II (66-95 DDS) y III (96-125 DDS), no hubo diferencias significativas entre CC-RC y CP-RC, atribuible al periodo de entre riegos (2do, 3er y 4to riego de auxilio), permitiendo estabilizar los valores de NDVI (embuche, espigamiento, anthesis y llenado de grano).

En condiciones de sequía (CP-RR y CC-RR con trigo harinero), se obtuvieron valores más bajos de NDVI en comparación con los de riego completo. El tratamiento CC-RR fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en comparación con CP-RR, durante los Periodos I y III (25-65 y 106-135 DDS), siendo Periodo II (66-105) sin diferencias significativas, debido a la aplicación del 1er riego de auxilio (66 DDS), como se muestra en la Figura 3, a).

a



b



CP-RC=Camas Permanentes – Riego Completo, CP-RR=Camas Permanentes – Riego Reducido, CC-RR=Camas Convencionales – Riego Reducido, CC-RC=Camas Convencionales – Riego Completo, NDVI=Diferencia Normalizada del Índice Vegetativo.

Figura 4. Efecto de la práctica de labranza con riego completo y riego reducido sobre la diferencia normalizada del índice vegetativo (NDVI) durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora para los genotipos a) Trigo Harinero y b) Trigo Duro.

Los resultados de NDVI para el ciclo de cultivo de trigo duro en ambientes con riego completo (CC-RC y CP-RC), tuvieron un comportamiento similar en comparación al trigo harinero (Figura 3b). CC-RC obtuvieron valores de NDVI significativos más altos ($P < 0.05$) que CP-RC en el Periodo I (25-65 DDS, etapa de amacollamiento y encañe). Sin embargo, CP-RC fue significativamente mayor ($P < 0.05$) que CC-RC en el Periodo II (66-105 DDS, embuche, espigamiento, anthesis y producción de grano). En el periodo III (106-135 DDS, llenado de grano y madurez), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos bajo ningún ambiente con riego.

En riego reducido el desarrollo fue muy parecido entre los sistemas de labranza aplicado para trigo harinero, siendo significativamente mayor ($P < 0.05$) CC-RR en comparación con CP-RR en los periodos I y III (25-65 DDS y 96-125 DDS), en el Periodo II (66-95 DDS) no se mostraron diferencias significativas.

Las razones del diferente comportamiento de trigo harinero y duro no son claras, tampoco coinciden con los resultados obtenidos por Verhulst *et al.* (2010) y Moreno (2010), CP-RR fue significativamente mayor en comparación a CC-RR en el periodo II y III.

En síntesis, la tendencia para todos los ambientes agronómicos, valores de NDVI en el cultivo de trigo aumentaron gradualmente durante la etapa de crecimiento hasta alcanzar un valor máximo, una vez que la cubierta vegetal comenzó a cerrarse, las hojas de las plantas más grandes cubrieron a las plantas más pequeñas, el trigo comenzó ampliar su cobertura del suelo por follaje verde, lo que resultó en altos valores de NDVI, después los valores de NDVI se estabilizaron y finalmente disminuyó con el tiempo.

Esta última aseveración coinciden con los resultados obtenidos por Govaerts *et al.* (2009c) y Verhulst (2010b), ellos reportan el mismo comportamiento para el cultivo de trigo bajo cero labranza con retención de residuos, y se caracteriza por lento crecimiento inicial en comparación con labranza convencional, el crecimiento del trigo en cero labranza es compensado en las últimas etapas, lo cual influyó positivamente en el rendimiento del grano.

Otros investigadores encontraron una menor intensidad de mineralización de nitrógeno y menor nitrógeno en forma de nitratos disponibles para el cultivo cuando se maneja con cero labranza (Silgram and Shepherd, 1999; Malhi *et al.*, 2001).

Más que la retención de los residuos del cultivo anterior en el suelo, la combinación de la retención de los residuos y la labranza induce un cambio en el ciclo del nitrógeno y así como el tiempo de liberación de N (Govaerts *et al.*, 2006). Este cambio en el ciclo del nitrógeno podría explicar en parte porque las curvas de NDVI para labranza convencional avanzan o aumentan más rápidamente en comparación con los tratamientos con camas permanentes.

Tamames (2001) comparo 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. El crecimiento del cultivo basado en las curvas de NDVI, refleja y explica claramente estrés hídrico en los cultivos (Govaerts *et al.*, 2007c; Verhulst *et al.*, 2009). La humedad en el suelo es un factor determinante del rendimiento de la planta, valores de NDVI fueron mayores y se mantienen durante más tiempo para todos los genotipos bajo riego completo que bajo los tratamientos de riego reducido. Chan *et al.* (1987, 1989), Lockwood *et al.* (2000), encuentran varias explicaciones posibles para un retraso de crecimiento temprano con rastrojo de trigo, menos movimiento del suelo y la siembra directa pueden restringir el crecimiento de la raíz.

4.2 Parámetro de medición del suelo

4.2.1 Contenido de humedad del suelo

Los resultados de contenido de humedad en el perfil 0-90 cm trazados contra el tiempo (Días después de la siembra) se muestran en las Figura 5. El contenido de humedad volumétrico permanece regularmente por arriba del punto de marchitamiento permanente (PMP=217 mm) y cerca a capacidad de campo (CC=416 mm), manteniendo la humedad del suelo disponible para la planta durante todo el ciclo del cultivo (20 a 146 DDS) en los tratamientos con riego completo.

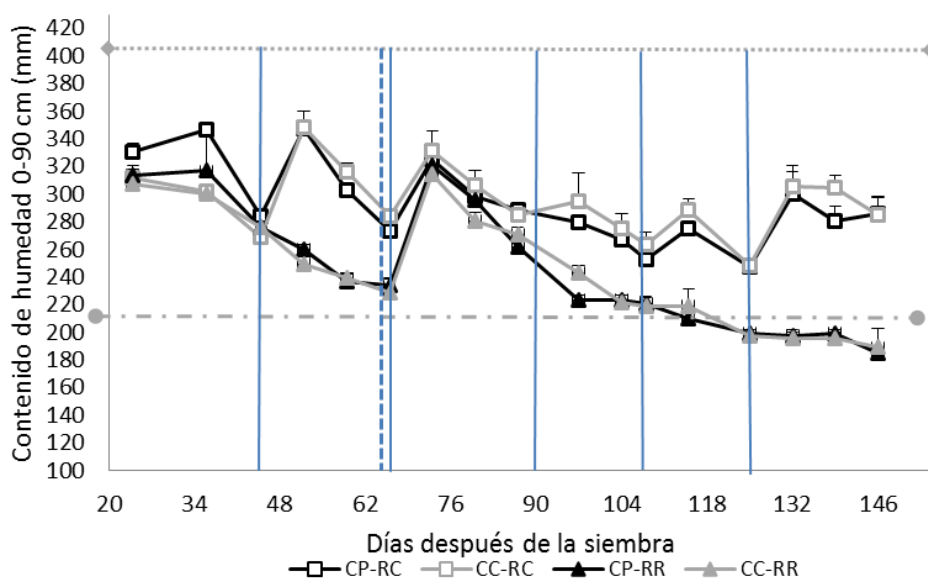
Para los tratamientos con riego completo CP-RC y CC-RC, se tuvieron diferencias significativas en contenido de humedad solo al principio, antes de la primer aplicación del riego de auxilio (36 DDS), siendo mayor ($P<0.05$) CP-RC en comparación con CC-RC, posteriormente no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Con riego reducido hubo diferencias significativas entre los 87 y 97 DDS, el contenido de humedad es significativamente más alto ($P<0.05$) en CC-RR que CP-RR. En el periodo final no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Los tratamientos bajo riego reducido se mantuvieron por arriba de PMP hasta los 118 DDS, pese al único riego de auxilio aplicado a los 66 DDS, y posteriormente en la recta final del cultivo, estuvieron por debajo de PMP (Figura 5).

La explicación del comportamiento en el contenido de humedad en el suelo, no es clara. En otros experimentos Mendoza (2010), encontró que bajo riego completo no existieron diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo ($P<0.05$). Bajo condiciones de riego reducido (sequía) observo un mayor contenido de humedad en las camas permanentes reteniendo todos los residuos o removiendo parte de los residuos, comparado con las camas convencionales.

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.



CP-RC=Camas Permanentes – Riego Completo, CP-RR=Camas Permanentes – Riego Reducido, CC-RR=Camas Convencionales – Riego Reducido, CC-RC=Camas Convencionales – Riego Completo. Líneas verticales, riegos de auxilio (líneas normales para RC; línea punteada para RR). Capacidad de campo. -----◊ Punto de Marchitamiento Permanente. — · — ●

Figura 5. Efecto de la práctica de labranza con riego completo y riego reducido sobre contenido de humedad del suelo (0-90 cm) durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora en diferentes ambientes.

Uribe and Rouanet (2002) compararon la humedad de suelo en 3 diferentes sistemas de labranza y manejo de residuos; labranza convencional, labranza cero con retención de residuos y cero labranza con quema de residuos. Encontraron que en camas con cero labranza 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. Govaerts *et al.* (2009c) mencionan que 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; lo cual existen coincidencias con otros estudios.

Gicheru *et al.* (1994) demostraron que la cubierta de residuos de cosecha anterior resulto con más humedad durante dos ciclos de 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

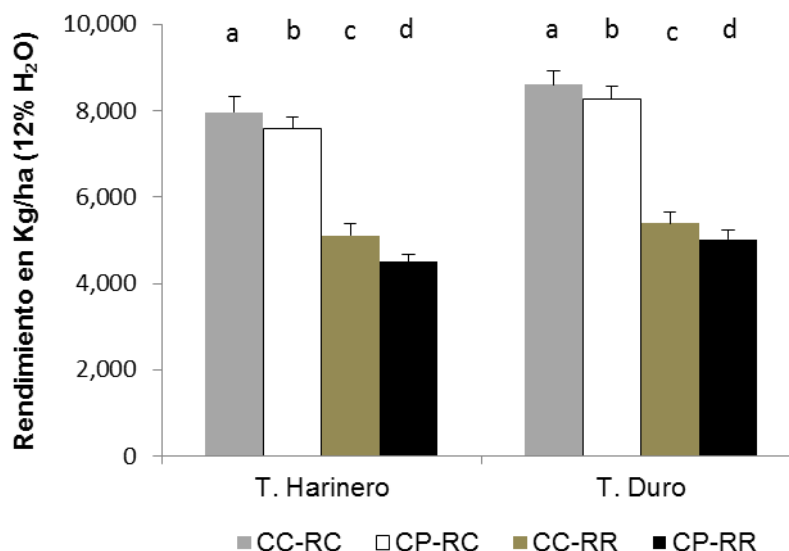
humedad en el suelo, se reduce la evaporación y además se mejora el contenido de materia orgánica, favoreciendo la actividad biológica.

Nielsen *et al.* (2005) reporta que al haber una mayor infiltración en suelos bajo cero labranza, aunado a una menor velocidad de evapotranspiración de suelos cubiertos por rastrojo bajo estos manejos, se logra un mayor contenido de humedad y también una mayor eficiencia en el uso de agua.

4.3 Rendimiento

El rendimiento de grano T. harinero y T. duro presenta diferentes resultados entre los ambientes de riego (normal y reducido, Fig. 6). En condiciones de riego completo (sin estrés), el rendimiento de trigo harinero, CC-RC fue significativamente mayor en comparación a CP-RC (rendimiento promedio por ambiente, CC-RC=7,960 kg·ha⁻¹ vs CP-RC=7,590 kg·ha⁻¹, P<0.05) también fue el caso para genotipos de trigo duro, CC-RC mayor que CP-RC (Promedios por ambiente CC-RC=8,600 kg·ha⁻¹ vs CP-RC=8,279 kg·ha⁻¹, P<0.05, Fig. 5). Bajo riego reducido (condiciones de estrés), el rendimiento de trigo harinero en CC-RR fue significativamente mayor en comparación a CP-RR (rendimiento promedio por ambiente CC-RR=5,113 kg·ha⁻¹ vs CP-RR= 4,497 kg·ha⁻¹, P<0.05). Para genotipos de trigo duro CC-RR significativamente mayor que CP-RR (rendimiento promedio por ambiente CC-RR=5,388 kg·ha⁻¹ vs CP-RR=5,019 kg·ha⁻¹, P<0.05, Fig. 6). Genotipos de trigo duro mostraron mayor rendimiento en comparación a trigo harinero con riego completo y riego reducido. La prueba de medias comparativas (LSD) P<0.05, mostro diferencias significativas, siendo CC el que obtuvo mayor rendimiento con riego completo y reducido, como se muestra en la Fig. 6.

Cabe mencionar la problemática presentada en los tratamientos CP-RR y CC-RR del insecto “gallina ciega” (*Phyllophaga, spp*) estadio larvario, provocando daño en los primeros días de haber germinado el trigo, y de esta manera mermar el rendimiento, principalmente en el tratamiento CP-RR.



CP-RC=Camas Permanentes – Riego Completo, CP-RR=Camas Permanentes – Riego Reducido, CC-RR=Camas Convencionales – Riego Reducido, CC-RC=Camas Convencionales – Riego Completo.

Figura 6. Efectos de las prácticas de labranza con riego completo y riego reducido sobre el rendimiento de las variedades de trigo duro y trigo harinero en el ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora. Las barras de error representan error estándar y los resultados de la prueba de medias comparativas (LSD) $P < 0.05$, se presentan como superíndices.

Es claro el efecto sobre rendimiento que se presenta al someter un cultivo a estrés hídrico (riego reducido). Además, la producción de biomasa es menor en condiciones de riego limitado que con riego completo.

Los resultados muestran diferencias significativas entre los sistemas de labranza y los genotipos de trigo harinero y duro (Tabla 5), resultados que coinciden con Carrillo (2009).

Contrariamente a los encontrados por Moreno (2010), la interacción entre el ambiente y el genotipo solo se dio en las variedades de trigo harinero en riego completo y riego reducido, no así; en los genotipos de trigo duro.

Tabla 5. Análisis de varianza para el efecto de las prácticas de labranza y riego sobre el rendimiento en el ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora.

| Especie | Fuente | DF | Cuadrado de la media | F | P |
|--------------------|---------------|-----------|-----------------------------|----------|----------|
| T. Harinero | AMB | 3 | 2.72E+08 | 2028.9 | <.0001 |
| | REP | 2 | 19760755 | 147.19 | <.0001 |
| | GEN | 29 | 2985390 | 22.24 | <.0001 |
| | AMB*GEN | 87 | 321101.2 | 2.39 | <.0001 |
| T. Duro | AMB | 3 | 1.91E+08 | 1293.94 | <.0001 |
| | REP | 2 | 8917942 | 60.54 | <.0001 |
| | GEN | 17 | 2318944 | 15.74 | <.0001 |
| | AMB*GEN | 51 | 301489.1 | 2.05 | 0.0005 |

AMB = Ambiente agronómico REP = Repetición en campo GEN=Genotipo.

Se confirma la hipótesis general del presente trabajo de investigación; Existe interacción entre genotipo y práctica de labranza e influye en el desarrollo del trigo y su rendimiento de grano en distintos niveles de estrés hídrico y sistemas agronómicos. La interacción genotipo por practica de labranza resulto significativa, con un nivel de significancia del 5% (Tabla 5), tanto para genotipos de trigo duro y harinero.

4.4 Efecto de la labranza y niveles de riego en el comportamiento de los genotipos seleccionados para su análisis (Interacción genotipo-practica de labranza)

4.4.1 Rendimiento de los genotipos

El rendimiento de grano de trigo se vio afectada por el genotipo y la práctica de labranza/ niveles de riego, por otra parte, existe interacción genotipo x ambiente de labranza y riego, tanto para trigo duro y harinero ($P < 0.05$). Rendimiento de genotipos de trigo harinero y duro por ambiente se muestran en la Figura 7.

En el ambiente A (CP-RC), genotipo de trigo harinero que tuvo mayor rendimiento fue **38** - BABAX/LR42//BABAX/3/VORB CMSA05M00103S-040ZTM-040ZTY-13ZTM-02Y-0B con **8.8 t/ha** y el que menos rindió fue el genotipo **2** - Pavon 76 con **6.3 t/ha**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo harinero ($P < 0.05$). Genotipo de trigo duro que tuvo mayor rendimiento fue **27** – GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR con **9.3 t/ha** y el que menos rindió fue el genotipo **23** – COCORIT 71 con **6.8 t/ha**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo duro ($P < 0.05$).

En el ambiente B (CP-RR), genotipo de trigo harinero que tuvo mayor rendimiento fue **17** – Villa Juarez F2009 con **5.3 t/h** y el que menos rindió fue el genotipo **3**- Seri 82 con **3.4 t/h**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo harinero ($P < 0.05$). Genotipo de trigo duro que tuvo mayor rendimiento fue **32** – 4/SOMAT_3/GREEN_22/5/VRKS_3/3/AJAIA_12/F3LOCAL SEL.ETHIO. (135.85)//PLATA_13 con **5.4 t/h** y el que menos rindió fue el genotipo **23** - COCORIT 71 con **4.1 t/ha**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo duro (Figura 7, $P < 0.05$).

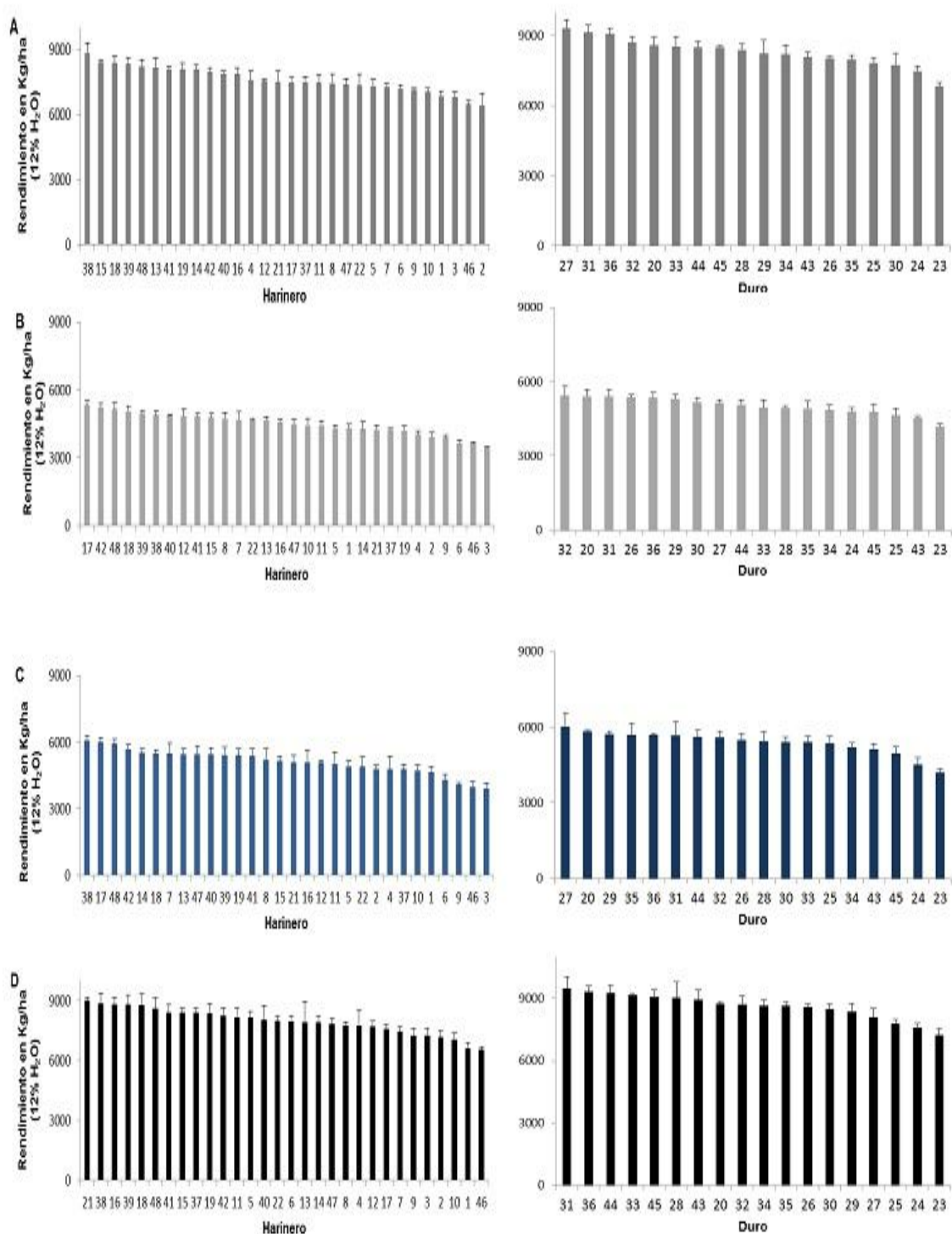


Figura 7. Rendimiento de los genotipos de trigo sembrados en el ensayo 201ABCD (ver lista de genotipos). A) Camas permanentes - riego completo, B) Camas permanentes - riego reducido, C) Camas convencionales – riego reducido, D) Camas convencionales – riego completo. En los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora en el ciclo de cultivo 2012/2013.

En el ambiente C (CC-RR), genotipo de trigo harinero que tuvo mayor rendimiento fue **38** - BABAX/LR42//BABAX/3/VORB CMSA05M00103S-040ZTM-040ZTY-13ZTM-02Y-0B con **6.1 t/ha** y el que menos rindió fue el genotipo **3** - Seri 82 con **3.9 t/ha**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo harinero ($P<0.05$). Genotipo de trigo duro que tuvo mayor rendimiento fue **27** – GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR con **6.0 t/ha** y el que menos rindió fue el genotipo **23** – COCORIT 71 con **4.2 t/ha**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo duro ($P<0.05$).

En el ambiente D (CC-RC), genotipo de trigo harinero que tuvo mayor rendimiento fue **21** – BABAX/LR42//BABAX*2/3/KURUKU con **9.0 t/h** y el que menos rindió fue el genotipo **46** – Kirchauf con **6.5 t/h**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo harinero ($P<0.05$). Genotipo de trigo duro que tuvo mayor rendimiento fue **31** – CIRNO C2008 con **9.4 t/h** y el que menos rindió fue el genotipo **23** – COCORIT 71 con **4.2 t/ha**, presentando diferencias significativas con todos los genotipos de trigo duro (Figura 7, $P<0.05$).

Los resultados obtenidos difieren a los presentados por Carrillo (2009) encontrando que el mejor genotipo de trigo harinero con mayor rendimiento en CC fue genotipo **21** (WBLL1*2/KIRITATI, hoy día **16** – WBLL1*2/ KIRITATI CGSS01B00063T-099Y-099M-099M-099Y-099M-27Y-0B), para trigo duro, genotipo **20** (SOOTY_9/RASCON_37/3/STOT//ALTAR_84/ALD, hoy día **20** - SOOTY_9/RASCON_37/3/STOT//ALTAR_84/ALD CGSS02Y00002S-2F1-48Y-0B-11Y-0B) y genotipo **35** (SOMAT 3.1//WODUCK/CHAM 3/5/AJAIA6//HORA/JRO/3/GAN/4/ZAR/7/CHEN 11/POC//TANTLO/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1//3/LD357E/2*TC60//JO69/6/FULVOUS 1/MFOWL 1, hoy día no existente) en CP con riego completo y reducido. Para Moreno (2010), el genotipo que obtuvo mayor rendimiento en CP y CC con riego completo y reducido fue **19** (TRCH/SRTU/5/KAUZ//ALTAR_84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES), y para trigo duro genotipo **33** (ARMENT//2*SOOTY_9/RASCON_37/4/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU_17/3/SNITAN).

4.4.2 Interacción genotipo-practica de labranza

Resultados de la interacción genotipo x práctica de labranza fueron observadas y discutidas en la tabla 5. Corresponde analizar y discutir las características de los genotipos mejor adaptadas en CP y CC con diferente régimen de riego. Considerando la información disponible sobre los estudios de Carrillo (2009) y Moreno (2010), los genotipos que fueron caracterizados por estos autores, no tuvieron el mismo comportamiento para el presente ciclo de cultivo 2012-2013. Los genotipos de referencia para esta tesis fueron tomadas considerando su interacción genotipo por ambiente de labranza y riego, y rendimiento (Tabla 6).

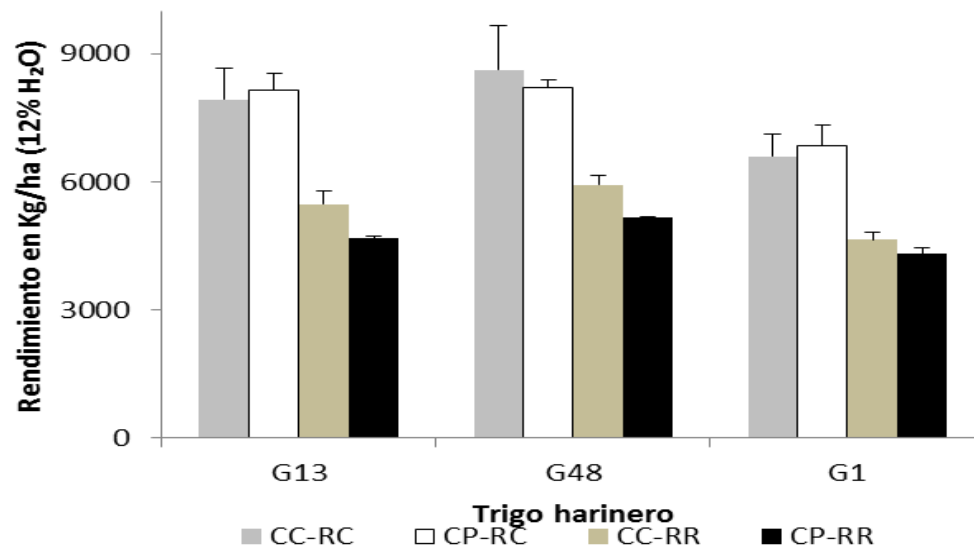
Tabla 6. Genotipos seleccionados para la caracterización (con base en rendimiento) en la interacción genotipo-ambiente de labranza y riego en el campo experimental CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora ciclo de cultivo 2012/2013.

| Trigo Harinero | |
|-----------------------|---|
| 48 | ROLF07/4/BOW/NKT//CBRD/3/CBRD/5/FRET2/TUKURU//FRET2CMSS06Y00605T-099TOPM-099Y-099ZTM-099Y-099M-11WGY-0B |
| 13 | TACUPETO F2001/BRAMBLING*2/5/KAUZ//ALTAR84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES |
| 1 | 7 Cerros 66 |
| Trigo Duro | |
| 27 | GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR |
| 31 | CIRNO C2008 |
| 23 | COCORIT 71 |

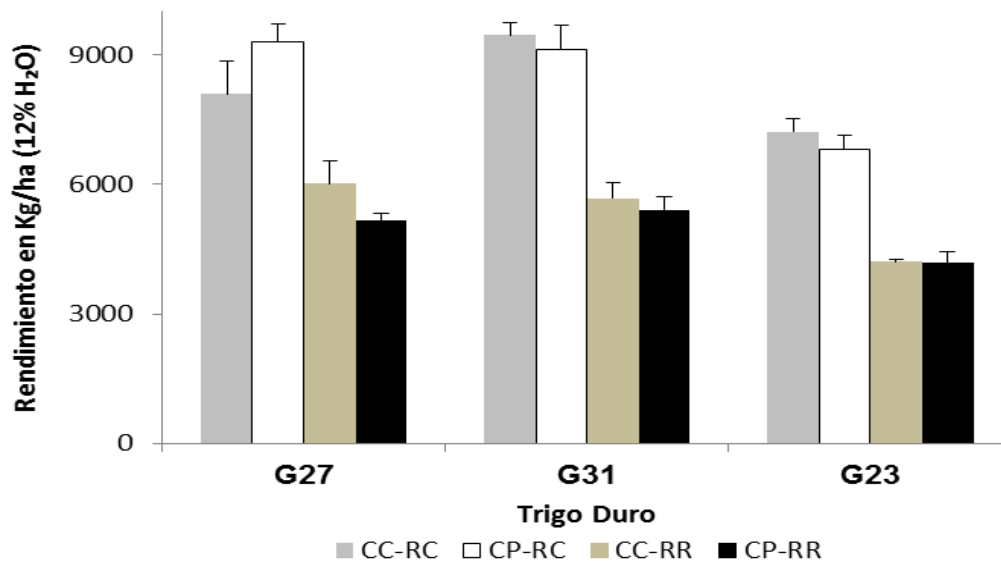
El rendimiento individual de los genotipos se ve afectada por la interacción de los genotipos por la práctica de labranza/ niveles de riego, pese a existir genotipos con mayor rendimiento, los genotipos seleccionados son los más representativos para explicar la interacción.

Genotipo 48 (Trigo harinero) tuvo mayor rendimiento en CC con riego completo y reducido en comparación a los tratamientos CP. Por el contrario Genotipo 13 y 1, aunque tuvieron rendimientos significativamente menores en comparación a genotipo 48, tuvieron mejores rendimientos en CP-RC, pero no para los tratamientos con riego reducido donde CC fue mayor a CP (Figura 8a).

a



b

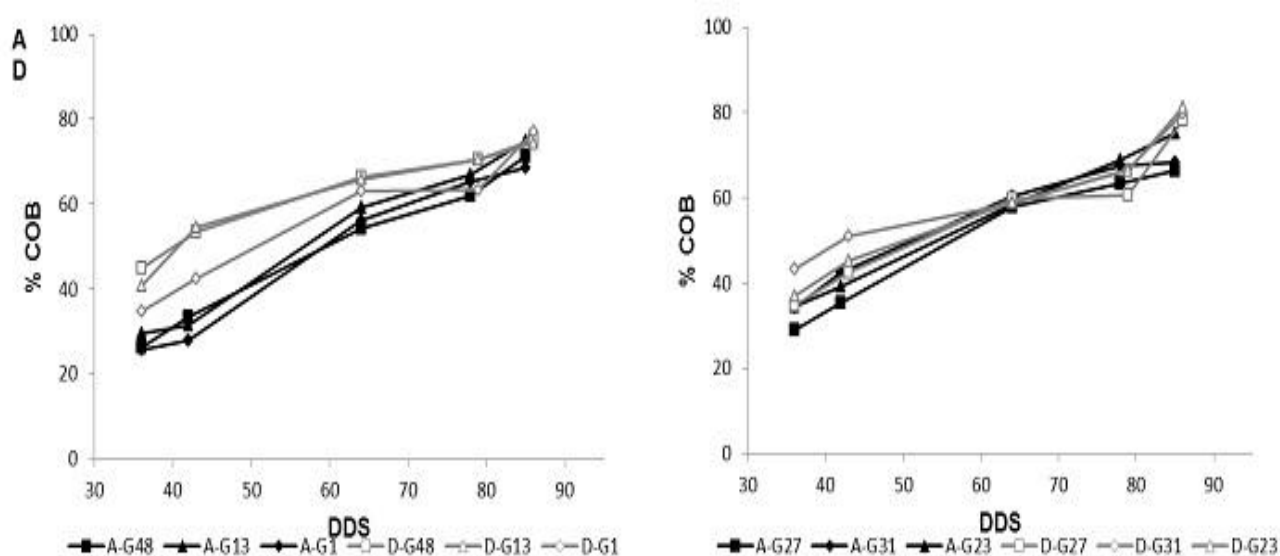


CC-RC=Camas Convencionales – Riego Completo, CP-RC=Camas Permanentes – Riego Completo, CC-RR=Camas Convencionales – Riego Reducido CP-RR=Camas Permanentes – Riego Reducido. G=Genotipo

Figura 8. Efectos de la práctica de labranza-con riego completo y riego reducido sobre el rendimiento de los genotipos a) trigo harinero y b) trigo duro, seleccionados para su análisis en el ciclo de cultivo 2012/2013 en el campo experimental CIMMYT CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora.

4.4.3 Cobertura del suelo por el follaje

Porcentajes de cobertura del suelo por el follaje de genotipos seleccionados de trigo harinero y duro sembrados en CP y CC con riego completo se muestran en la Figura 9. El porcentaje de cobertura tuvo diferente comportamiento tanto para trigo harinero y duro. En general, los genotipos sembrados en CP, aumentan el porcentaje de cobertura de manera constante, mientras que en los tratamientos CC, la cobertura incrementa abruptamente después de los 40 DDS y se mantiene constante a partir de entonces. Después del primer y segundo riego de auxilio (45 y 65 DDS), la cobertura fue impulsada y alcanzó su máximo en los dos tratamientos de labranza a los 85 DDS (Sin diferencias significativas entre los tratamientos). En el caso de trigo harinero los primeros 40 DDS hasta 65 DDS, genotipo 48, 13 y 1 sembrados en CC con riego completo muestran diferencias significativas en comparación a los tratamientos sembrados en CP ($P < 0.05$).



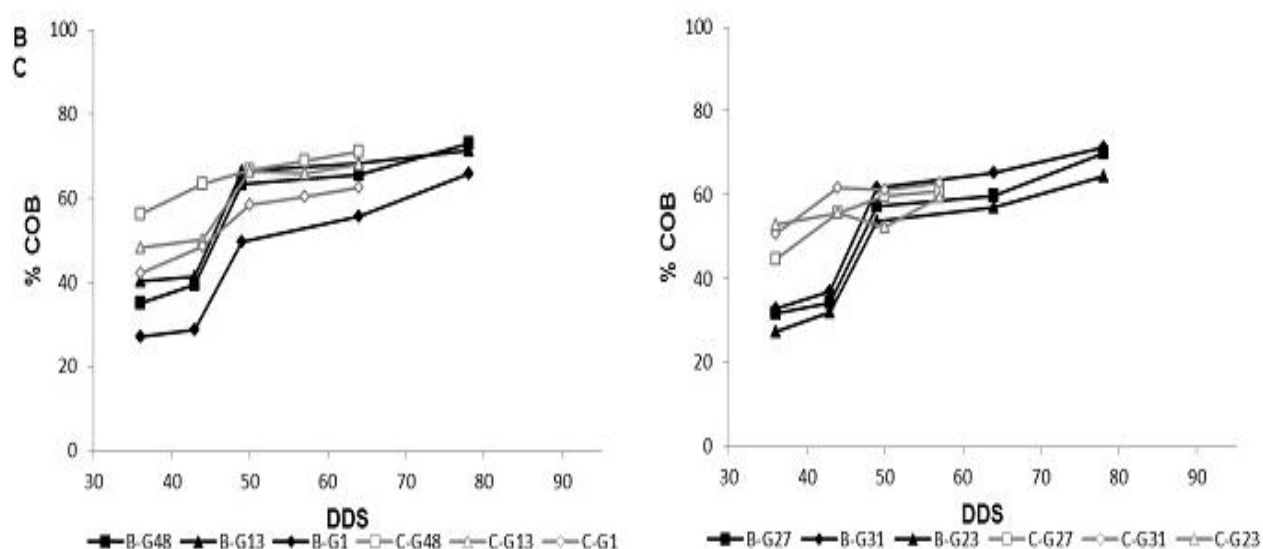
A= Camas Permanentes – Riego Completo D= Camas Convencionales – Riego Completo
 %COB=Porcentaje de cobertura. DDS= Días después de la siembra. Genotipos Trigo Harinero: 48, 13 y 1. Genotipos Trigo Duro: 27, 31, 23 (Ver lista de genotipos).

Figura 9. Efectos de la práctica de labranza con riego completo sobre la cobertura del suelo por el follaje en los genotipos Trigo harinero (Lado izquierda) y Trigo duro (Lado derecha) seleccionados para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora.

En los tratamientos CC-RC, Genotipo 1 registro el porcentaje de cobertura más alto (77 %) a los 86 DDS en comparación a genotipo 48 y 13 (75% y 74%), pero también fue el genotipo más inestable y el de menor rendimiento, tanto en CC y CP con riego completo. Genotipo 48 y 13 fueron los más estables y los de mayor rendimiento en ambos tratamientos, genotipo 48 tuvo el mejor desempeño en CC, mientras que genotipo 13 tuvo mejor desempeño en CP. El porcentaje de cobertura máxima lograda en CP-RC por el genotipo 13 fue de 74.8% comparada con genotipo 48 con 71.2%, y genotipo 1 con 68.5%, a los 85 DDS (Figura 9, AD).

Para genotipos de trigo duro, el porcentaje de cobertura tiene la misma tendencia estable en comparación a genotipos de trigo harinero para ambos tratamientos de labranza con riego completo. Genotipo 27 reporto el mayor rendimiento en CP-RC, no así su porcentaje de cobertura máxima lograda 66.3% comparado con genotipo 31 y 23 (68.4% y 75%) a los 85 DDS (Sin diferencias significativas). Porcentaje de cobertura donde hubo mejor desempeño de los genotipos fue en CC, genotipo 23 logro un porcentaje de cobertura máxima de 81%, seguido de genotipo 31 con 79.8%, por ultimo genotipo 27 con 78.3%. Contrariamente al porcentaje de cobertura máxima lograda, no significo genotipos con el mayor rendimiento, es el caso para genotipo 27 en CP y genotipo 31 en CC con riego completo, registraron el mayor rendimiento en comparación a genotipo 23 con el menor rendimiento (Figura 9, AD).

Los tratamientos en condiciones de sequía con los genotipos de trigo harinero y duro sembrados en CP y CC, se muestran en la Figura 10. Genotipo de trigo harinero: 48, 13 y 1, registraron mayor porcentaje en cobertura en CC-RR en los primeros 40 DDS, en comparación a CP-RR. Después de haber aplicado el 1er. riego de auxilio a los 64 DDS, genotipos en CP logran tener un ascenso en porcentaje de cobertura antes de entrar a la etapa de antesis y llenado de grano. El mejor desempeño en términos de cobertura lo tuvieron genotipo 48 y 13 (71.1% y 68%) en CC-RR a los 64 DDS, que también se ve reflejada en el rendimiento, la cobertura máxima lograda en CP-RR de los genotipos 48 y 13 fue 73% y 71% respectivamente, a los 78 DDS. Genotipo 1, reporto los porcentajes de cobertura más bajos tanto en CP y CC (65.9% y 62.7%), en consecuencia tuvo el rendimiento más bajo en comparación a otros genotipos.



B=Camas Permanentes – Riego Reducido **C**=Camas Convencionales – Riego Reducido, **%COB**=Porcentaje de cobertura. **DDS**= Días después de la siembra. **Genotipos Trigo Harinero**: 48, 13 1. **Genotipos Trigo Duro**: 27, 31, 23 (Ver lista de genotipos).

Figura 10. Efectos de la práctica de labranza con reducido sobre la cobertura del suelo por el follaje en los genotipos Trigo harinero (Lado izquierda) y Trigo duro (Lado derecha) seleccionados a para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora.

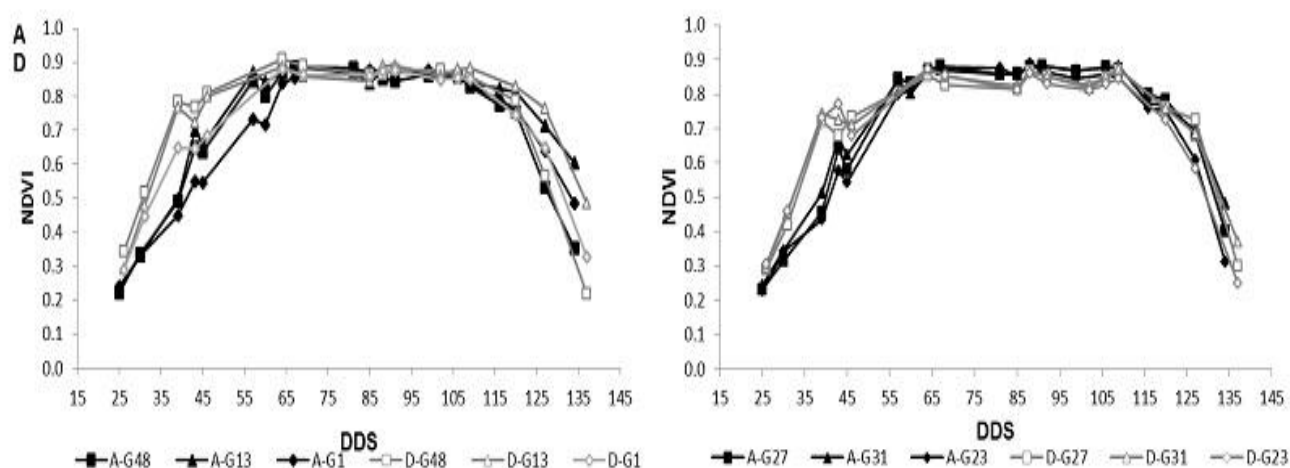
Para los genotipos de trigo duro en CP-RR y CC-RR, tuvieron un comportamiento similar a genotipos de trigo harinero. Genotipos 31, 23 y 27, tuvieron una tendencia en porcentaje de cobertura más estable en CP comparada con CC. El porcentaje de cobertura de genotipos en CC fue mayor solo al principio a los 45 DDS. El porcentaje de cobertura máxima lograda de los genotipos 31, 23 y 27 en CC fue de 62.8%, 59.5 y 60.9%, respectivamente, a los 64 DDS. Mientras que la cobertura máxima alcanzada de los mismos genotipos en CP fue de 71%, 64.5 y 70%, respectivamente, a los 78 DDS.

Genotipo 27 es el que registro mayor rendimiento en CC-RR, pero tampoco tuvo un porcentaje de cobertura muy alto, seguido de genotipo 31, y el último lugar, lo tuvo genotipo 23, incrementado más follaje que producción de grano.

El comparativo de los genotipos entre los diferentes tratamientos, se observa que los genotipos sembradas en CC tienen un crecimiento inicial mayor en comparación a CP. De acuerdo con Carrillo (2009) y Moreno (2010), cuyos reportes mencionan que en CP se da un crecimiento más lento en comparación a los tratamientos en CC donde el crecimiento inicial es más rápido.

4.4.4 Diferencia normalizada del índice vegetativo (NDVI)

Valores de NDVI de genotipos seleccionados de trigo harinero y duro, trazados contra el tiempo en los ambientes de labranza y riego completo, se presentan en la Figura 11. En general los genotipos seleccionados despegan temprano en los tratamientos CC-RC en comparación con CP-RC a los 45 DDS, posteriormente genotipos sembrados en CP-RC logran equilibrar los valores de NDVI por el resto del ciclo. Es el caso de los genotipos 13, 48 y 1 de trigo harinero obteniendo valores más altos de NDVI en CC-RC en comparación a los sembrados en CP-RC. Pero al pasar el primer riego de auxilio, los valores cambian; Genotipo 13 y 48 son los que registraron valores más altos de NDVI en ambos tratamientos de labranza y se mantienen constantes y estables hasta los 115 DDS, pasando las etapas de antesis, producción de grano y llenado de grano. Genotipo 1, fue el que reporto valores más bajos de NDVI en ambos tratamientos de labranza y riego. En el caso de los genotipos 27, 31 y 23 de trigo duro, el comportamiento es similar en valores más altos de NDVI al inicio del ciclo (45 DDS), de genotipos sembrados en CC-RC en comparación a CP-RC (Figura 11. AD- Lado derecha).

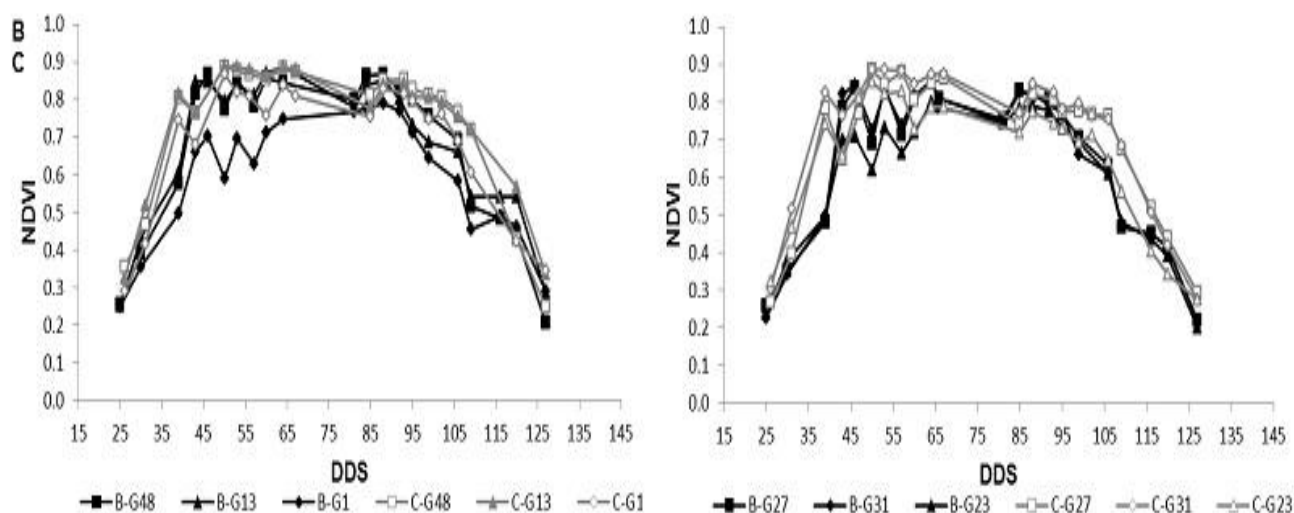


A= Camas Permanentes – Riego Completo D= Camas Convencionales – Riego Completo
NDVI=Diferencia normalizada del índice vegetativo. DDS= Días después de la siembra.
Genotipos Trigo harinero: 48, 13, 1. Genotipos Trigo duro: 27, 31,23 (Ver lista de genotipos).

Figura 101. Efectos de los sistemas de labranza con riego completo sobre el NDVI en los genotipos Trigo harinero (izquierda) y Trigo duro (derecha) seleccionados para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora

En el periodo entre riegos se ven más favorecido los genotipos 31 y 27 en los tratamientos CP-RC comparados con CC-RC, al registrar valores más altos de NDVI en un periodo que va de los 60 a 110 DDS (pasando las etapas de antesis, producción y llenado de grano). Genotipo 23 sigue manteniendo los valores de NDVI más bajos en ambos tratamientos, comparado con otros genotipos. Los valores de NDVI empiezan a bajar en ambos tratamientos, debido a la maduración del cultivo, hasta el final de la toma de datos (115-135 DDS).

Para los tratamientos en condiciones de sequía se muestran las curvas de NDVI en la Figura 12. Los valores de NDVI para los genotipos harineros y duros sembrados en CP y CC con riego reducido, fueron más inestables, debido precisamente al estrés hídrico de la planta. Genotipo de trigo harinero: 48, 13 y 1 tuvieron el mismo comportamiento inicial en valores más altos de NDVI en CC-RR comparado con CP-RR, los primeros 35 DDS. Aplicado el primer y único riego de auxilio a los 64 DDS (Etapa de embuche), los valores de NDVI se estabilizan para ambos tratamientos.



B=Camas Permanentes – Riego Reducido, **C**=Camas Convencionales – Riego Reducido, NDVI=Diferencia normalizada del índice vegetativo. **DDS**= Días después de la siembra. Genotipos **Trigo harinero**: 48, 13, 1. Genotipos **Trigo duro**: 27, 31,23 (Ver lista de genotipos).

Figura 112. Efectos de los sistemas de labranza con riego reducido sobre el NDVI en los genotipos Trigo harinero (Lado izquierda) y Trigo duro (Lado derecha) seleccionados para su análisis durante el ciclo de cultivo 2012/2013 en

los campos experimentales CIMMYT-CENEB Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora

Genotipo 48 y 13 siguen siendo los que mejor comportamiento muestran, y son más estables en sus valores de NDVI tanto en CP-RR como en CC-RR. Los valores de NDVI de estos genotipos fueron más altos en CC-RR durante todo el ciclo del cultivo en comparación a CP-RR, los valores de NDVI empiezan a caer drásticamente a partir de los 95 a 125 DDS. Genotipo 1 vuelve a tener los valores más bajos de NDVI comparado con otros genotipos (Figura 12, BC-Lado izquierda).

Para el caso de genotipos de trigo duro es similar el comportamiento a trigo harinero. Genotipo 27 y 31 siguen destacando en registrar valores más altos de NDVI en CC-RR comparado con CP-RR, en todo el ciclo del cultivo. Genotipo 23 fue el más bajo en valores de NDVI en ambos tratamientos.

Parte de la discusión se centra cuando comparamos los genotipos de manera individual entre los tratamientos, en general se observó en esta investigación que el comportamiento es similar; crecimiento inicial (vigor inicial) mayor en CC con respecto a CP en la etapa vegetativa de la planta en porcentaje de cobertura y NDVI, pero esto fue compensado más adelante en la temporada por los tratamientos de mínima labranza.

Resultados obtenidos por Carrillo (2009) y Moreno (2010) se asemejan a los encontrados en esta investigación, la tendencia para todos los entornos agronómicos el NDVI fue aumentando gradualmente en el inicio de la temporada, llegó a un período de estabilidad y luego disminuyó al final de la temporada cuando el grano estaba en su etapa de maduración. Los tratamientos de CC-RC y CC-RR presentaron un despegue más rápido que los tratamientos de CP. Los cambios en los valores de NDVI quizá se deban a la combinación de la retención de los residuos y a la labranza, lo cual puede inducir un cambio en el ciclo del nitrógeno y así como el tiempo de liberación de N (Govaerts et al., 2006). Este cambio en el ciclo del nitrógeno podría explicar en parte porque las curvas de NDVI para CC avanzan o aumentan más rápidamente en comparación con los tratamientos con CP.

V. CONCLUSIONES

Se confirma la hipótesis general del presente trabajo de investigación; Existe interacción entre genotipo y práctica de labranza e influye en el desarrollo del trigo y su rendimiento de grano en distintos niveles de estrés hídrico y sistemas agronómicos. El sistema agronómico y el genotipo de trigo (harinero y duro) tuvieron un impacto en rendimiento de grano. El efecto de la labranza y el nivel de riego, si tuvieron efectos en el desarrollo del cultivo, en el sistema de camas permanentes fue más lento al inicio que en camas convencionales, pero esto fue compensado más adelante en la temporada por los tratamientos de mínima labranza.

Se rechaza la hipótesis particular de que el rendimiento de los cultivos es más alto con camas permanentes que en camas convencionales para trigos duros y harineros, los resultados afirman lo contrario para este ciclo del cultivo, el rendimiento de los cultivos promediados por ambiente fueron mayores en camas convencionales en comparación a camas permanentes tanto para trigo harinero y duro. La reducción de los rendimientos no fue mayor en camas convencionales con riego reducido, fue el caso para camas permanentes si consideramos los promedios por ambiente.

Se confirma la hipótesis particular de que el rendimiento de genotipos de trigo es afectado por la interacción entre genotipo y práctica de labranza con diferente régimen de riego. Genotipo 48 (T. harinero) y 31 (T. duro) se adaptaron mejor en camas convencionales con riego completo, su capacidad de crecimiento inicial y valores de NDVI altos, resulto una ventaja en rendimiento. Genotipo 13 y 27 de trigo harinero y duro respectivamente, mostraron un buen rendimiento en camas permanentes con riego completo, su mejor desarrollo lo tuvieron en las etapas de floración y llenado de grano. Para los ambientes de riego reducido genotipo 48 y 13 de trigo harinero tuvieron un mejor desarrollo en camas permanentes, registrando altos porcentajes de cobertura y NDVI.

Los genotipos que rinden mejor en camas permanentes, son los que tienen un desarrollo inicial más vigoroso. El NDVI fue capaz de detectar vigor inicial en las variedades de trigo estudiados aunque en el caso particular de esta investigación los genotipos sembrados en tratamientos de camas convencionales tuvieron un desarrollo inicial más vigoroso que en camas permanentes. NDVI los genotipos presentan valores mayores en CC durante su etapa vegetativa; de la etapa de floración en adelante los valores favorecen a CP. Se puede afirmar en esta investigación que los genotipos con valores de NDVI altos fueron los que obtuvieron mejores rendimientos tanto en CC y CP con riego normal y reducido.

Porcentaje de cobertura es un parámetro importante, aunque no está relacionada con el rendimiento de grano, la cobertura del suelo por el follaje desempeñan un papel importante en la conservación de la humedad del suelo, los genotipos que obtuvieron mayor rendimiento no fueron precisamente los que mayor porcentaje de cobertura registraron en CC-CP con riego completo, pero en condiciones de sequía, favorecen más al rendimiento los de mayor porcentaje de cobertura. Es necesario hacer estudios más detallados sobre el comportamiento de los genotipos que benefician a la producción de grano que de follaje, particularmente en AC. Los nuevos genotipos probados en esta investigación deberán cumplir con su ciclo de prueba. Es necesario desarrollar variedades que sean buenas en condiciones de sequía y buenas en condiciones de riego.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo, E., Silva, P., Silva, H. and Solar, B. 1999. Wheat production in Mediterranean environments. In: E.H. Satorre and G.A. Slafer (eds) *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination*. pp 295-331. The Haworth Press, Inc. New York.
- Acevedo, E. and E. Fereres. 1993. Resistance to biotic stress. In: *Plant Breeding Principles and Prospects*; (M.D. Hayward, N.O. Bosermar and I. Romagosa, eds.). pp:406-421. Chapman and Hall, London.
- 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.
- Anderson, EL. (1986). No-till effects on yield and plant density of maize hybrids. *Agron J* 78:323–326
- Aquino, P., 1998. The adoption of bed planting of wheat in the Yaqui Valley, Sonora, México. *Wheat Special Report No. 17a*. México, DF: CIMMYT.
- Arauz, L., 1996. La protección de cultivos en la agricultura sostenible: perspectivas para Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (CR)* 41:29-36
- Baldy, C., Ruelle, P., Fernandes, A., Konate, J.M., Olufayo, A., 1993. Résistance á la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen et gestion optimale d'une quantité d'eau limitée. *Sécheresse* 2:85–93.
- Balota, M., Payne, W.A., Evett, S.R., Peters, T.R. 2008. Morphological and physiological traits associated with canopy temperature depression in three closely related wheat lines. *Crop Science* 48, 1897-1910.
- Benites, J. y A. Castellanos., 2003. Mejorando la humedad del suelo con agricultura de conservación. *LEISA revista de agroecología*. 19: 5 - 6.
- Betancourt, P., 2004. La erosión hídrica de los suelos bajo explotación agropecuaria. Centro de investigaciones agropecuarias del Estado de Lara. Barquisimeto, Estado de Lara, Venezuela.

- Bunch, R., 1998. Una odisea de descubrimiento: principios de la agricultura para el trópico húmedo. EDN ECHO NOTAS DE DESARROLLO, editado por Martín Price, sitio en la red: <http://www.echonet.org/>, edición 58, febrero 1998.
- Brakke JP, Francis CA, Nelson LA, Gardner CO (1983) Genotype by cropping system interactions in maize grown in a short-season environment. *Crop Sci* 23:868-870
- Bissett, M.J., O'Leary, G.J., 1996. Effects of conservation tillage and rotation on water infiltration in two soils of south-eastern Australia. *Aust. J. Soil Res.* 34, 299–308.
- Burger H, Schloen M, Schmidt W, Geiger HH (2008) Quantitative genetic studies on breeding maize for adaptation to organic farming. *Euphytica* 163:501–510. doi:10.1007/ s10681-008-9723-4
- Byerlee, D., Morris, M., 1993. Research for marginal environments: Are we underinvested? *Food Policy* 18(3): 381-393.
- Carter, M.R., 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in humid climate. *Soil Till. Res.* 23, 361–372.
- Carter PR, Barnett KH (1987) Corn-hybrid performance under conventional and no-tillage systems after thinning. *Agron J* 79:919–926
- Carrillo, A., 2009. Conservation agriculture for sustainable irrigated wheat production in the Yaqui Valley of north-western Mexico. The University of Sydney Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources.
- Castellarín, J. M., 2009. Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. Investigador del INTA. *Ecofisiología y Manejo de los Cultivos*. EEA Oliveros. (ver <http://www.inta.gov.ar>)
- Cook, J., 2006. Toward cropping systems that enhance productivity and sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103, 18389–18394.
- Cox, D.J., 1991. Performance of hard red winter wheat cultivars under conventional-till and no-till systems. *N. Dak. Farm Res.* 48, 17–20.
- Crossa, J., 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy*, 44: 55-86.

- Crossa, J., Burgueño, J., Vargas, M., 2010. Statistical models for stud and understanding genotype x environment interaction in an era of climate change and increased genetic information. In: Reynolds, M.P (Ed.), Climate Change and Crop Production. CABI, Oxfordshire, UK, pp. 236-283, ISBN: 9781845936334.
- Crovetto, C. 1992. Rastrojo sobre el suelo; una introducción a la cero labranza. Ed. Universitaria, Santiago de Chile, pp. 301.
- CIMMYT, sf. CIMMYT y México. (ver http://www.cimmyt.org/spanish/docs/special_publ/cimmyt&Mexico.pdf).
- CIMMYT, 2004. Seeds of Innovation: CIMMYT's Strategy for helping to Reduce Poverty and Hunger by 2020. México, DF: CIMMYT, p. 6
- De la Vega, A. J., De la Fuente, E., 2003. Elección de genotipos. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía UBA. Cap. 14: 318 – 349.
- Denardin, J.E., 1987. Preparo conservacionista do solo, plantio direto. Vol. 5(21):2.
- Du, B., Deng, J., Li, W.Y., Liao, Z.X., 2000. Comparison of effects of conservation and conventional tillage systems on winter wheat growth, grain yield and soil properties. J. China Agri. Univ. 5, 55–58 (in Chinese, with English abstract).
- Dubois, M. E. and Gaido, Z.A., 2006. Bread-making quality of new genotypes of bread wheat. Agriscientia. XXIII (2): 105-108.
- Duiker SW, Haldeman JF Jr, Johnson DH (2006) Tillage x maize hybrid interactions. Agron J 98:436–442. doi:10.2134/ agronj2005.0063
- Dumanski, J., Peiretti, R., Benetis, J., McGarry, D., Pieri, C., 2006. The paradigm of conservation tillage. In: Proc. World Assoc. Soil and Water Conserv, pp. 58–64.
- Duvick, D.N., 1990. Genetic enhancement and plant breeding. In: Janick, J., Simon, J.E. (Eds.), Advances in New Crops. Timber Press, Portland, Oregon, USA, pp. 90–96.
- El Titi, A., 2003. Soil Tillage in Agroecosystems. CRC press, Florida, ISBN 13:9780849312281, p. 367.
- Elmore, R.W., 1990. Soybean cultivar response to tillage systems and planting date. Agron. J. 82, 69–73

- Ekboir, J. (ed.), 2002. CIMMYT 2000-2001 World Wheat Overview and Outlook: Developing No-Till Packages for Small-Scale Farmers. Mexico, DF: CIMMYT.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research* 67 (2): 115–133.
- FAO, 2001. Página de la FAO: <http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/Main.htm>. [Extraído de: Agricultura conservacionista-camino para una agricultura sustentable. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 11, número 001 Universidad Agraria de la Habana, Cuba].
- FAO, 2002. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. (ver <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y7352s/y7250s.pdf>).
- FAO, 2003. Unlocking the Water Potential of Agriculture. FAO, Rome, Italy. pp. 70. (Ver <http://www.fao.org/docrep/006/y4525e/y4525e00.htm#Contents>.)
- FAO. 2004. FAOSTAT, FAO Statistical Databases. (ver <http://apps.fao.org/>).
- FAO, 2007a. <http://faostat.fao.org/faostat/>
- FAO, 2007b. ¿Qué es agricultura de conservación? (ver <http://www.fao.org/ag/ca/es/1a.html>).
- FAO, 2008a. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor, Agricultura de Conservación. (Ver <http://www.fao.org/ag/ca/es/index.html>)
- FAO/INTA, 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Roma, Boletín de suelos de la FAO, No. 66, pp. 193.
- Feng, B., Liu, Y.Z., Kong, L.A., Li, S.D., Si, J.S., Wang, F.H., 2008. Effects of nitrogen application on leaf photosynthesis and grain yield in wheat in bed planting. *J. Triticeae Crops* 28, 107–112.
- Fernández-Gómez, L. M., Giráldez, J.V., 2004. Furrow irrigation erosion and management. *Irrigation science*. 23: 123–131
- Figueroa, B., Morales, F.J., 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. CREZAS. CP. SLP, México, p. 272.

- Funnermark WL, Hallauer AR (1985) Cold tolerance in corn hybrids as affected by tillage systems and planting dates. *Proc Iowa Acad Sci* 92:58–62
- González Sánchez, E., Martínez Vilela, A., 2002. Agricultura de conservación, la agricultura del carbono. [ver: <http://www.aeac-sv.org/pdfs/carbono.pdf>]
- Govaerts, B., K. Sayre, Deckers J., 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research* 87, 163-174.
- Govaerts, B., Fuentes, M., Mezzalama, M., Nicol, J.M., Deckers, J., Etchevers, J.D., Figueroa-Sandoval, B., Sayre, K.D., 2007a. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil Tillage Res.* 94, 209–219.
- Govaerts, B., Sayre, K.D., Lichter, K., Dendooven, L., Deckers, J., 2007b. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291(1–2):39–54 doi:10.1007/s11104-006-9172-6.
- Govaerts, B., K. Sayre, Deckers J., 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research* 87, 163-174.
- Govaerts, B., Sayre, K., 2008. The Yaqui Valley of Sonora Mexico, where the beds came from? Inédito. CIMMYT.
- Gupta, R.K., Sayre, K., 2007. Conservation agriculture in South Asia. *Journal of Agricultural Sciences Cambridge* 145, 207–214.
- Gupta, R.K., Seth, A., 2007. A review of resource conserving technologies for sustainable management of the rice–wheat cropping systems of the Indo-Gangetic plains. *Crop Protection* 26, 436–447.
- Hallauer AR, Colvin TS (1985) Corn hybrids response to four methods of tillage. *Agron J* 77:547–550
- Harrington, L. and Erenstein, O., 2005. Conservation Agriculture and Resource Conserving Technologies –a Global Perspective.
- Halverson, A.D., Black, A.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., Wienhold, B.J., Tanaka, D.L., 2000. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. *Agron. J.* 92, 136–144.

- Heisey, P.W., Lantican, M.A., Dubin., H.J., 2002. Impacts of International Wheat Breeding Research in Developing Countries, 1966-97. México, D.F.: CIMMYT.
- Hersterman OB, Pierce FJ, Rossman EC (1988) Performance of commercial corn hybrids under conventional and no-tillage systems. *J Prod Agric* 1:202–206
- Hobbs, P.R., 2007. Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *Journal of Agricultural Science* 145, 127-137.
- Howard, M. and Gómez, H. 2001. Trigo regado. FAO. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s00.htm> (20 septiembre 2012)
- Hulugalle, N.R., Scott, F., 2008. A review of the changes in soil quality and profitability accomplished by sowing rotation crops after cotton in Australia Vertosols from 1970 to 2006. *Australian Journal of Soil Research* 46, 173-190.
- ICONA, 1991. Plan Nacional de lucha contra la erosión. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources. Reports No., 103*. FAO, Rome, Italy, 128 pp.
- Jordan, V.W.L., Hutcheon, J.A., 1997. Alternative farming methods (arable): a study of the effects of an integrated arable management system on levels of herbicide and nutrients reaching “controlled waters”. R&D Technical Report No., P113. Environment Agency, Bristol, p. 65, Available from: www.environmentagency.gov.uk/.
- Johnston, A.M., Clayton, G.W., Wall, P.C., Sayre, K.D., 2002. Sustainable cropping systems for semiarid regions. Paper Presented at the International Conference on Environmentally Sustainable Agriculture for Dry Areas for the 2nd Millennium, September 15–19, 2002, Shijiazhuang, Hebei Province, P.R.C.

- Joshi, A.K., Chand, R., Arun, B., Singh, R.P., Ortiz, R., 2007. Breeding crops for reduced-tillage management in the intensive, rice-wheat systems of south Asia. *Euphytica* 153, 135-151.
- Kay, B.D., Vanden Bygaart, A.J., 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 66, 107e118.
- Karlen DL, Sojka RE (1985) Hybrid and irrigation effects on conservation tillage corn in The Coastal Plain. *Agron J* 77:561–567
- Kaspar TC, Crosbie TM, Cruse RM, Erbach DC, Timmons DR, Potter KN (1987) Growth and productivity of four corn hybrids as affected by tillage. *Agron J* 79:477–481
- Kassam A., Friedrich T., Shaxson F. and Pretty J., 2009. The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *Internacional Journal of Agricultural Sustainability*.
- 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 Posgraduados. Montecillos Texcoco, Edo. Mex.
- Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adaptation of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32, 25-48.
- Lampkin, N., 1998. *Organic Farming*. Farming Press, EEUU, p. 724.
- Lewis, R.B., Hiler, E.A., Jordan, W.R., 1974. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. *Agron. J.* 66:589– 591.
- Liebman, M., Davis, A.S., 2000. Integration of soil, crop and weed management in low external-input farming systems. *Weed Res.* 40, 27–47.
- Lilbl, R.A. and Worsham, A.D. 1983. Inhibition of morningglory (*Ipomoea lacunose* L.) and certain other weed species by phytotoxic components of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw. *J. Chem. Ecol.* 9:1027-1043. (Lorenzana and Bernardo, 2007).
- Lichter, K., Govaerts, B., Six, J., Sayre, K.D., Deckers, J., Dendooven, L., 2008. Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in the permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico. *Plant Soil* 305, 237–252.

- Limon-Ortega, A., Sayre, K.D., Francis, C.A., 2000. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in northwest Mexico. *Agron. J.* 92, 303–308.
- Limon-Ortega, A., Govaerts, B., Sayre, K.D., 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy* 29, 21-28.
- Mandal, U.K., Singh, G., Victor, U.S., Sharma, K.L., 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. *European Journal of Agronomy*. 19, 225-237.
- Mahmood, T., Ahmad, A., Ali, Z., Trethowan R., 2009. Genotype \times tillage interactions in broad acre crops and their implications for cultivar improvement. Paper presented at 14th Australasian Plant Breeding & 11th SABRAO Conference, 10–14 August 2009, Cairns, Australia.
- Manna, M. C., Ghosh, P.K., Acharya, C.L., 2003. Sustainable crop production through management of soil organic carbon in semiarid and tropical India. *J. Sustainable Agric.* 21: 87-116.
- Martínez, R. A. 2006. Experiencias en la producción de trigo en labranza de conservación. In: Ríos, R. S. A.; Solís, M. E. y Hernández, M. M. (eds.). Primer foro de producción y comercialización de trigo en Guanajuato. Salamanca, Guanajuato, México. 119-123 pp.
- 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
- Mendoza, J.E., 2010. Uso eficiente de agua, desarrollo del cultivo y estrés hídrico en trigo (*Triticum durum* L.) con riego afectado por practicas de manejo. INSTITUTO TECNOLOGICO DE SONORA.
- McVay, K.A., Budde, J.A., Fabrizzi, K., Mikha, M.M., Rice, C.W., Schlegel, A.J., Peterson, D.E., Sweeney, D.W., Thompson, C., 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 434–438.
- Montgomery, D. R., 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS* 104: 13268–13272.

- Moreno, L. N., 2010. Efecto de dos sistemas de labranza con dos niveles de riego sobre el rendimiento de trigos duros y harineros en el valle del Yaqui. Tesis de Maestría, ITSON. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Morales Flores, F., Martínez Menez, M.R., sf. Rotación de cultivos. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION Subsecretaría de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados. Carr. México-Texcoco, km. 36.5 56230 Montecillo, Edo. de México Tel. (595) 2 02 35 [ver: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Rutaci%C3%B3n%20de%20cultivos.pdf>]
- National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. 1998. Effect of Soil Erosion on Soil Productivity and Soil Quality. Technical Note no. 7, Soil Quality Institute, Auburn, Alabama, USA. p. 4.
- Newhouse KE, Crosbie TM (1986) Interactions of maize hybrids with tillage systems. *Agron J* 78:951–954
- Nicol, J. M., 2002. Important nematode pests. In *Bread Wheat Improvement and Production*, pp. 345–366. Eds. B C Curtis, S Rajaram and H Gomez Macpherson. Plant Production and Protection Series No. 30. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Paneque, P., Fernandes, H.C., Leyva, L.Z., 2002. Agricultura conservacionista-camino para una agricultura sustentable. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 11, número 001 Universidad Agraria de la Habana, Cuba.
- Pedersen, P., Lauer, G., 2003. Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing, and tillage system. *Agron. J.* 95, 965–971.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267, 1117-1123.
- Pitty, A., 1997. *Introducción a la biología, ecología y manejo de las malezas*. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano.300p.

- Popp, M.P., Keisling, T.C., McNew, R.W., Oliver, L.R., Dillon, C.R., Wallace, D.M., 2002. Planting date, cultivar, and tillage systems effects on dryland soybean production. *Agron. J.* 94, 81–88.
- Raimbault, B. A., Vyn, T. J., 1991. Crop-rotation and tillage effect on corn growth and soil structural stability. *Agronomy Journal.* 83, 979-985.
- Rebetzke, G.J., Bortwright, T.L., Moore, C.S., Richards, R.A., Richards, A.G., Condon, A.G.. 2004. Genotypic variation in specific leaf area for genetic improvement of early vigour in wheat. *Fidel Crops Res.*88:179-189.
- Reynolds, M.P., Borlaug, N.E., 2006. Applying innovations and new technologies for international collaborative wheat improvement. *J Agric Sci* 144:95–110 doi:10.1017/S0021859606005879
- Reynolds, M., Tuberosa, R., 2008. Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11: 171-179.
- Riley, H.C., 1998. Soil mineral-N and N-fertilizer requirements of spring cereals in two long-term tillage trials on a loam soil in southeast Norway. *Soil & Tillage Research* 48, 265-274.
- Rodriguez, J.C., Duchemin, B., Watts, C.J., Hadria, R., Garatuza, J., Chehbouni, A., Boulet, G., Armenta, M., Er-Raki, S., 2003. Wheat yield estimation using remote sensing and crop modeling in Yaqui Valley in Mexico. In 'Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings' pp. 2221-2223. (2003 IEEE International).
- Rosegrant, M., Paisner, M., Meijer, S., Witcover, J., 2001. *Global Food Projections to 2020: Emerging Trends and Alternative Futures.* International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Sainju, U.M., Singh, B.P., 2001. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. *Agron. J.* 93, 878–886.
- Sayre, K.D., Govaerts, B., Limón-Ortega, A., Martínez., A., 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).

- Sayre, K.D., Hobbs, P.R., 2004. The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. In R. Lal, P. Hobbs, N. Uphoff 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., Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Rajaram, S., 1998. Genetic progress in reducing losses to leaf rust in CIMMYT-derived Mexican spring wheat cultivars. *Crop Science* 38:654–659.
- Scotford, I. M., Miller, P.C., 2004. Combination of spectral reflectance and ultrasonic sensing to monitor the growth of winter wheat. *Biosystems Engineering*. 87, 27-38.
- SOWAP, 2006. Soil and Water Protection in Europe (EU-Life Funded Project). SOWAP, Jealott's Hill International Research Centre, Bracknell, Berkshire, Available from: <http://www.sowap.org>.
- Serageldin, 1995. Extraído de Agroecología: procesos eológicos en agricultura sostenible. [ver http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=rnqan8BOVNAC&oi=fnd&pg=PR1&dq=desventajas+agricultura+convencional&ots=AfGdKrDnkA&sig=U_8b3bVGdGJ_mhAbdzEbeb0DmTo#v=onepage&q&f=false]
- Shukla, M.K., Lal, R., Owens, L.B., Unkefer, P., 2003. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the north Appalachian region of Ohio. *Soil Science* 168 (3), 167e177.
- Singh, B., Malhi, S.S., 2006. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. *Soil Till. Res.* 85, 143–153.
- Solís, M., E.; Ríos, R. S. A.; García, N. H.; Arévalo, V. A.; Grageda, C. O. A.; Vuelvas, C. M. A.; Díaz de León, T. J. G.; Aguilar, A. L.; Ramírez, R. A.; Narro, S. J.; Bujanos, M. R.; Marín, J. A. y Peña, M. R., 2007. Producción de trigo de riego en El Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico. Núm. 3. 94 p.
- Stout, B. 1990. *Handbook of Energy for World Agriculture*. Elsevier, Amsterdam, pp 504.
- Tamames, R. 2002. *Agricultura de Conservación 2002: un enfoque global*. España, Ediciones Mundi-Prensa.

- Thierfelder, C. and Wall, P. C. 2010. Investigating Conservation Agriculture (CA) systems in Zambia and Zimbabwe to mitigate future effects of climate change. *Journal of Crop Improvement* 24: 113-121.
- Trethowan, M. R, Mahmood, T.; Ali, Z., Oldach, K., Gutierrez-García, A. (2011). Breeding wheat cultivars better adapted to conservation agriculture. *Field Crops Research* 132 (2012) 76-83.
- Trethowan, R., 2008. Breeding for conservation agriculture improves crop yields. In '4th Conservation Agriculture Conference'.
- Trethowan, R.M., Reynolds, M., Sayre, K., Ortiz-Monasterio, I., 2005. Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs. CIMMYT, Int. AP 6-641, 06600 México, DF, Mexico.
- Trethowan, R. M., Van Ginkel, M., Rajaram, S., 2002. Progress in breeding for yield and adaptation in global drought affected environments. *Crop Science* 42:1441–1446.
- Verhulst, N., 2007. Conserveringslandbouw in het hoogland van Mexico: Een efficiënte verdeling in tijd en ruimte van plantengroei en plantengroefactoren? Katholieke Universiteit Leuven Faculteit Bioingenieurswetenschappen
- Verhulst, N., Govaerts, B., Kienle, F., Tijerina-Chavez, L., Deckers, J., Raes, D., Sayre, K., 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.*
- Verhulst N, Govaerts B, Verachtert E, Castellanos-Navarrete A, Mezzalama M, Wall P, Deckers J, Sayre KD (2010 a) Conservation agricultura improving soil quality for sustainable production systems? In: Lal R, Stewart BA (eds) *Advances in soil science: Food security and soil quality*. CRC, Boca Raton, pp 137-208
- Verhulst, N., Govaerts, B., Sayre, K. D., De Corte, P., Crossa, J., Deckers, J., Dendoveen, L. 2011. The effect of tillage, crop rotation and residue management on maize and wheat growth and development evaluated with an optical sensor. *Field Crops Research* 120, 58-67.

- Vetsch, J.A., Randall, G.W., Lamb, J.A., 2007. Corn and soybean production as affected by tillage systems. *Agron. J.* 99, 952–959.
- Vlachostergios DN, Roupakias DG (2008) Response to conventional and organic environment of thirty-six lentil (*Lens culinaris* Medik.) varieties. *Euphytica* 163:449–457. doi:10.1007/s10681-008-9712-7
- 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.
- Wall, P.C., 2006. Facilitating the widespread adoption of conservation agriculture and other resource conserving technologies (RCT's): some difficult issues. Science week Extended Abstracts. CIMMYT Headquarters, El Batán, México, 23–27 January 2006, pp. 61–64.
- White, R.E, 2005. Principles and Practice of Soil Science. The Soil As a Natural Resource 4 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.