

SISTEMAS DE SIEMBRA EN TRIGO: ENCARANDO LA ESCASEZ DE AGUA CAUSADA POR EL CALENTAMIENTO GLOBAL*

SYSTEMS OF SOWING IN WHEAT: FACING THE SCARCITY OF WATER CAUSED BY THE GLOBAL WARMING

Héctor Eduardo Villaseñor Mir^{1§}, Agustín Limón Ortega¹, Eduardo Espitia Rangel¹ y Luis Antonio Mariscal Amaro¹

¹Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5. Coatlinchán, Textcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212657. (limón.agustín@inifap.gob.mx), (espitia.eduardo@inifap.gob.mx), (lmariscal@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: hevimir3@yahoo.com.mx.

RESUMEN

En 80% de las regiones productoras de trigo de temporal hay deficiencias de humedad, por lo que la disponibilidad de agua y la eficiencia en su uso son los factores más importantes, para mejorar la rentabilidad del cultivo, y más aún, cuando se prevé que gran parte de México, en los próximos años, enfrentará temporales más escasos por el calentamiento global. La siembra de trigo en camas, con y sin microcuencas, ha sido ideada para una captación efectiva del agua de lluvia, que permite mayor disponibilidad de humedad del suelo ayudando a incrementar el rendimiento de este cereal. En 2008 y 2009, se evaluaron seis variedades de trigo y tres sistemas de siembra, en plano y en camas con y sin microcuencas. Los resultados indicaron que la siembra en camas, con o sin microcuencas, incrementó el rendimiento promedio del cultivo hasta 29% (728 kg ha⁻¹), debido quizá a que permitió una mayor disponibilidad de humedad de suelo en etapas críticas de desarrollo del cultivo. La siembra en camas con microcuencas aumentó el número de espigas * m² y número de granos * m². La variedad Rebeca F2000 superó en rendimiento (3 680 kg ha⁻¹) a las demás variedades en las dos modalidades en camas. En trigo la siembra en camas con microcuencas es una estrategia, que permite reducir los efectos del déficit hídrico y consecuentemente del cambio climático, gracias a que permite una mayor conservación y disponibilidad de humedad del suelo.

ABSTRACT

In 80% of the wheat producing regions under rainfed conditions, there are moisture deficiencies; so, water availability and, the efficiency in its use are the main factors to improve the crop's profitability and, especially when in the coming years is expected that most of Mexico will face limited precipitations due to global warming. The wheat crop in planting beds with and without micro-watersheds has been designed for effective capture of rainwater, which allows greater availability of soil moisture, helping to increase this cereal yielding. In 2008 and 2009, six varieties of wheat and three planting systems were evaluated, in regular conditions, beds, with and without micro-watersheds. The results indicated that, planting beds, with or without micro-watersheds, increased the average crop yield up to 29% (728 kg ha⁻¹), perhaps because it allowed a greater availability of soil moisture at critical stages of the crop's development. Planting beds with micro-watersheds increased the number of spikes per m² and, the number of grains per m². The Rebeca F2000 variety outperformed (3 680 kg ha⁻¹) the other varieties in the two modalities in planting beds. In wheat, planting beds with micro-watersheds is a strategy that reduces the effects of drought-stress and, consequently climate change by allowing greater conservation and availability of soil moisture.

* Recibido: enero de 2011
Aceptado: junio de 2011

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., microcuencas, sistema convencional, variedades.

Key words: *Triticum aestivum* L., conventional system, micro-watersheds, varieties.

INTRODUCCIÓN

El trigo representa 21% del consumo de granos básicos en México, ubicado en el segundo lugar después del maíz, con una superficie sembrada de 845 085 ha y una producción de 3 918 395 t, que se cosechó durante 2008 en 85% bajo riego. El consumo nacional es de 5.2 millones de toneladas y se ha recurrido en los últimos años a las importaciones (1.8 millones de toneladas en 2008), para surtir esa demanda (SIAP, 2009), las mismas que cada vez son más complicadas debido a la escasez globalizada de trigo a nivel mundial; de tal manera, que será importante implementar estrategias de producción para minimizar esa dependencia.

La principal zona productora es el noroeste de México, en donde se ha logrado un desarrollo tecnológico importante, como la siembra de trigo en camas que ha permitido incrementos importantes en la productividad; sin embargo, en esta región la escasez de agua para riego es la principal limitante para ampliar la superficie e incrementar la producción (González *et al.*, 2006). Las áreas de temporal en México son una alternativa para lograr incrementos en la producción nacional, ya que se tienen cerca de 1.5 millones de hectáreas en donde el trigo es mejor alternativa que el maíz (Villaseñor y Espitia, 2000).

Las siembras de trigo de temporal en México, se realizan en diversas regiones productoras en 13 estados, que presentan problemáticas bióticas y abióticas complejas. Villaseñor y Espitia (2000) analizaron esa problemática y agruparon las regiones en ambientes favorables, intermedios y críticos de producción, indicando que en los ambientes críticos, donde la principal limitante es la sequía, es donde pueden crecer las siembras y deberá de generarse tecnología que permita mitigar el déficit hídrico y así lograr incrementar la producción nacional.

Bajo condiciones de riego, la siembra convencional de trigo requiere por hectárea de 100 kg de semilla y 7 000 m³ de agua en 5 riegos, mientras que la siembra en camas requiere de 30 kg de semilla y 5 750 m³ de agua en cuatro riegos, reduciendo los costos de producción 6.57% (González *et al.*, 2006). Además, la siembra en camas usa modificaciones en el arreglo espacial de las plantas, lo que permite realizar

INTRODUCTION

The wheat represents 21% of consumption of basic grains in Mexico, located in the second place just behind the maize, with a planted area of 845 085 ha and a production of 3 918 395 t, which was harvested in 2008 and, 85% under irrigation. The domestic consumption is about 5.2 million tons and, in the recent years, imports have been made (1.8 million tons in 2008) in order to supply that demand (SIAP, 2009); becoming more complicated due to the global shortage of wheat, so, there will be a serious need to implement strategies in order to minimize the dependency.

The main producing area is the Northwest of Mexico, where a major technological development has been achieved, such as wheat planted in beds which have enabled significant increases in productivity; but in this region, the shortage of irrigation water is the main obstacle to expanding the area and, to increase the production (González *et al.*, 2006). Temporal areas in Mexico are an alternative to achieve increases in domestic production, as there are about 1.5 million hectares where the wheat is a better alternative than maize's (Villaseñor and Espitia, 2000).

The rainfed wheat planting in Mexico is made in different regions in 13 States that have complex biotic and abiotic problems. Villaseñor and Espitia (2000), analyzed this problem and grouped the regions in favorable, intermediate and critical production environments, indicating that, in the critical environments where the main limiting factor is the drought, it's just where crops can be grown and, technology must be generated in order to mitigate the water shortage and, thus, increasing the domestic production.

Under irrigated conditions, the conventional planting of wheat requires 100 kg of seeds per hectare and, 7 000 m³ of water in five irrigations, while planting beds require 30 kg of seeds and, 5 750 m³ of water in four irrigations, reducing the production costs in 6.57% (González *et al.*, 2006). In addition, planting beds require changes in the spatial arrangement of the plants, allowing tillage, pesticides

labores de cultivo, aplicaciones de pesticidas, etc., que dan versatilidad y estabilidad al sistema que se ha reflejado en incrementos en la productividad y rentabilidad (Moreno *et al.*, 1993).

En temporal 80% de las regiones productoras de trigo, manifiestan principalmente deficiencias de humedad y en las regiones lluviosas los excesos afectan el escurrimiento de agua y el deslave del suelo; algunas prácticas agrícolas, como el uso de camas de siembra sustituyendo la siembra convencional (en plano), ha sido ideada para mejorar la condición de producción y hacer mejor uso del agua de lluvia, principalmente en regiones áridas y semiáridas (Sayre, 1997; Cortés *et al.*, 2003; Cabañas *et al.*, 2004; Limón *et al.*, 2004).

Bajo la siembra convencional, al presentarse la primera lluvia de temporal, la mayor parte del agua se infiltra por la estructura suelta del suelo; éste consecuentemente se endurece por la falta de materia orgánica, ocasionando que con las lluvias posteriores el agua no se filtre y se pierda por escurrimiento; lo anterior ocasiona un déficit de humedad, lo que se manifiesta en un crecimiento raquítico de la planta.

El uso de camas de siembra es una alternativa para modificar el relieve para conservar suelo y agua; esta siembra puede ser optimizada con la creación de estructuras de almacenamiento de agua, si se levantan cada 3-5 metros bordos para la formación de microcuencas, que permitan la captación, filtración y conservación del agua de lluvia (Limón *et al.*, 2004). Los efectos más sustanciales de retención de agua se observan en regiones semiáridas sujetas a precipitaciones de alta intensidad con periodos cortos.

Se ha observado que en este sistema el comportamiento del rendimiento y sus componentes puede variar y depende del nivel de humedad del suelo al momento de la siembra, y de la cantidad e intensidad de la precipitación durante las etapas críticas de crecimiento (Harris y Krishna, 1989; McFarland *et al.*, 1991; Limón, 2001; Cabañas *et al.*, 2004).

El sistema de siembra en camas con microcuencas se ha conocido como de bordos unidos, de surcos contenedores, de labranza con piletas (cuencas), franjas con piletas y de labranza con micropiletas (microcuencas), y fue usado primeramente en las grandes planicies de Estados Unidos de América, en 1931, por Peacock. Por sus ventajas, con el paso del tiempo este sistema se ha adaptado en cultivos como sorgo, algodón y girasol, en Estados Unidos de América;

application, etc., giving versatility and, stability to the system that has been reflected in increased productivity and profitability (Moreno *et al.*, 1993).

The 80% of the wheat producing regions under rainfed conditions, mainly manifest moisture deficiencies and, in rainy regions excesses affect water and soil runoff; some agricultural practices such as planting beds, replace the conventional sowing (in-plane) and have been designed to improve the production conditions and, to a better use rain water, mainly in arid and semiarid regions (Sayre, 1997; Cortés *et al.*, 2003; Cabañas *et al.*, 2004; Limón *et al.*, 2004).

Under conventional planting, with the first rain of the season, most of the water infiltrates the loose soil's structure; this invariably becomes hardened by the lack of organic matter, causing in the subsequent rains that, the water does not leak and get lost by runoff; this results in a moisture deficit, which is manifested by a stunted plant growth.

The use of planting beds is an option to change reliefs in order to preserve soil and water; this planting can be optimized with the creation of water storage structures, if edges are built every 3-5 meters for micro-watersheds formation that would allow the collection, filtration and storage of rainwater (Limón *et al.*, 2004). More substantial effects of water retention are observed in semiarid regions with high intensity rainfall for short periods.

In this system it has been observed that, the yield behavior and its components may vary depending on the level of soil moisture at the planting time and, the amount and intensity of the rainfall during the critical stages of growth (Harris and Krishna, 1989; McFarland *et al.*, 1991; Limón, 2001; Cabañas *et al.*, 2004).

The bed planting system with micro-watersheds has been known as joint edges, container grooves, farming with ponds (basins), bands with ponds and tillage with micro-ponds (micro-watersheds) and, was primarily used in the Great Plains of the United States of America in 1931 by Peacock. Because of its advantages, this system has been adapted over time to crops such as sorghum, cotton and sunflower in the United States of America and in beans, maize, wheat and barley in Mexico, where there have been significant yield increases (Jones and Baumhardt, 2003).

y en frijol, maíz, trigo y cebada en México, donde se han observado incrementos significativos en el rendimiento (Jones y Baumhardt, 2003).

Según Cabañas *et al.* (1993), en trigo la siembra en camas con microcuencas incrementó el rendimiento de trigo entre 14-18%, observándose incrementos en la longitud de la espiga, granos por espiga y peso de mil granos. En maíz, la siembra en camas con microcuencas ha incrementado el peso de las mazorcas y el tamaño de las hojas lo que se reflejó en el incremento significativo del rendimiento (Howell *et al.*, 2002).

En trigo y sorgo, sembrados en camas con surcos y microcuencas formadas desde el periodo de descanso del terreno, hasta la etapa de crecimiento del cultivo, los rendimientos aumentaron 62% y 25%, respecto al sistema convencional de siembra (McFarland *et al.*, 1991; Tewolde *et al.*, 1993); en otro estudio este sistema incrementó los rendimientos de grano de sorgo de 1.4 t ha⁻¹ a 2.8 t ha⁻¹. En girasol el rendimiento se ha incrementado 7% y en algodón 18% (Harris y Krishna, 1989). Limón (2001) menciona que este sistema incrementó el rendimiento de trigo 15%; mientras que Cabañas *et al.* (2004) indican un incremento de 42%.

Se prevé que en los próximos años a causa del cambio climático, México se vea afectado por regímenes más escasos de agua en la temporada de lluvias y como consecuencia, con periodos más prolongados de sequía, afectando gran parte del territorio. Históricamente, en los pasados mil años, México como otras partes del mundo, ha presenciado sequías a gran escala, mismas que se intensificarán en los próximos 50 años como lo predicen algunos modelos climáticos (Dai, 2010).

Milly *et al.* (2005) mencionan con base en modelos de predicción climática, que la saturación de la presión de vapor ha sido altamente sensitiva al cambio de temperaturas, por lo que en un futuro, se esperan perturbaciones en el ciclo mundial del agua a causa del calentamiento global; algunos de estos modelos han predicho una reducción de 10 a 30% de agua de lluvia en Sudáfrica, el sur de Europa y parte de Estados Unidos de América en los próximos 40 años. Por otro lado, William *et al.* (2008), mencionan específicamente que la disponibilidad de agua tendrá una marcada reducción anual en las regiones del sureste de Estados Unidos de América, el Caribe y partes de México.

En México en los últimos años los regímenes de lluvia en las regiones productoras de trigo de temporal han cambiado, ya que se han observado temporales cada vez más escasos, de

According to Cabañas *et al.* (1993), wheat in planting beds with micro-watersheds increased yield between 14-18%, with increases in spike length, grains per spike and thousand grain's weight. In maize, planting beds with micro-watersheds has increased the cobs weight and leaf size, which was reflected in a significant yield increase (Howell *et al.*, 2002).

In wheat and sorghum planted in beds with furrows and micro-watersheds formed since the field's resting period until the crop's growth stage, the yields increased 62% and 25% compared to the conventional planting system (McFarland *et al.*, 1991; Tewolde *et al.*, 1993); in another study, this system increased sorghum grain's yields from 1.4 t ha⁻¹ to 2.8 t ha⁻¹. In sunflower, the yields have increased 7% and, 18% in cotton (Harris and Krishna, 1989). Limón (2001) mentions that, this system increased the wheat yield in 15%, while Cabañas *et al.* (2004) indicated an increase of 42%.

In the coming years and, due to climate change, it is expected that Mexico will be affected by low water regimes in the rainy season and, consequently with longer periods of drought, affecting much of the territory. Historically, in the last thousand years, Mexico and other parts around the world have seen large-scaled droughts; which will intensify in the next 50 years as predicted by some climate models (Dai, 2010).

Milly *et al.* (2005), based on climate prediction models mentioned that, the saturation of vapor pressure has been highly sensitive to the changing temperatures, so, disturbances in the global water cycle are expected in the future, due to global warming; some of these models have predicted a reduction from 10 to 30% of rainfall in South Africa, southern Europe and part of the United States of America in the next 40 years. On the other hand, William *et al.* (2008) noted that, water availability will face a strong annual reduction in the southeastern of the United States of America, the Caribbean and parts of Mexico.

In Mexico, in the recent years, the rainfall patterns in the wheat producing regions under rainfed conditions have changed, presenting increasingly scarce precipitations so that, planting methodologies should be evaluated, in order to improve the productivity. Therefore, in this paper was evaluated in different rainfed environments, sowing in planting beds and planting beds with micro-watersheds,

tal manera que se deben evaluar metodologías de siembra que permitan mejorar la productividad. Por lo anterior, en este estudio se evaluó en diferentes ambientes de temporal la siembra en camas y en camas con microcuencas, comparados con la siembra convencional, para observar sus efectos sobre el rendimiento y sus componentes en variedades recomendadas para temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se evaluaron seis variedades de trigo harinero recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) para siembras de temporal: Temporalera M87, Romoga F96, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000, Juchi F2000 y Rebeca F2000.

Clasificación de ambientes y localidades de prueba

Los ambientes de producción de los Valles Altos de la Mesa Central, en donde el programa de trigo de temporal del INIFAP-CEVAMEX realiza sus evaluaciones, se clasifican en ambientes favorables, intermedios y críticos (Villaseñor y Espitia, 2000; Rodríguez *et al.*, 2005); la evaluación se realizó en los ciclos primavera-verano 2001 y primavera-verano 2002, en diferentes localidades que fueron clasificadas de acuerdo con su precipitación ocurrida en ambientes intermedios o críticos, como se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Año, precipitación total y tipo de ambiente de las localidades evaluadas.

Table 1. Year, total precipitation and environment type of the tested locations.

Localidad	Año	Precipitación (mm)	Tipo de ambiente
Coatepec (Coat01)	2001	278	C
Apan (Apan01)	2001	432	I
Nopaltepec (Nopa01)	2001	283	C
Zotoluca (Zoto01)	2001	350	C
Tecámac (Teca01)	2001	361	C
Chapingo (Chap1AF02)	2002	450	I
Chapingo (Chap2AF02)	2002	450	I
Tecámac (Teca02)	2002	302	C

C= crítico; I= intermedio.

compared to the conventional planting in order to observe their effects on yield and, its components in varieties recommended for rainfed conditions.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material

Six bread-wheat varieties recommended by the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), at the Valle de Mexico Experimental Field (CEVAMEX) to sowing under rainfed conditions were evaluated: Temporalera M87, Romoga F96, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000, Juchi F2000 and Rebeca F2000.

Classification of environments and testing locations

The production environments of the High Valleys of the Central Plateau where, the rainfed wheat program of the INIFAP-CEVAMEX made their assessments are classified in favorable, intermediate and critical environments (Villaseñor and Espitia, 2000; Rodríguez *et al.*, 2005); the evaluation was conducted in the Spring-Summer 2001 and Spring-Summer 2002 at different locations that were classified according with the rainfall in intermediate or critical environments, as shown in Table 1.

Experimental design

The design consisted in randomized block with 4 replicates in an array of split-plot treatments, where the planting systems were large plots and, the varieties were the small ones.

Diseño experimental

Fue de bloques al azar con 4 repeticiones en un arreglo de tratamientos de parcelas divididas, en donde el sistema de siembra fue las parcelas grandes y las variedades las parcelas chicas. Los sistemas de siembra se denominaron: siembra convencional (CONV); siembra en camas sin microcuencas (CAMSIN); siembra en camas con microcuencas (CAMCON).

Parcela experimental

En todas las localidades fue de 7.5 m² (1.5*5 m), cuatro surcos de siembra efectiva de 5 m*0.3 m de separación en CONV y dos surcos dobles espaciados a 0.75 m entre surcos y 0.3 m entre hileras en CAMSIN y CAMCON. La preparación y siembra de las parcelas experimentales y el levantamiento de los bordos en los surcos en CAMCON, y la formación de las hileras en la cama se hicieron a mano. La siembra y conducción agronómica del experimento se realizó con base en las recomendaciones realizadas por el INIFAP para cada región.

Variables de estudio

Fueron directas e indirectas; las primeras se tomaron directamente de las parcelas experimentales y las indirectas fueron producto del muestreo de 25 tallos. Las variables directas fueron: 1) días a espigamiento (DE), días transcurridos desde la siembra al tiempo que 50% de las espigas presentara las anteras visibles; 2) días a madurez (DM), días transcurridos desde la siembra al tiempo 50% de la espigas presentarían pedúnculos amarillentos; 3) altura de planta (ALT), longitud en cm de la superficie del suelo a la espiguilla terminal en el dosel; y 4) rendimiento de grano (REND), peso de grano en g por parcela útil.

Las variables indirectas fueron: 1) biomasa total en g por m² (BIOM), $BIOM = ((RGP + RE25T)/PU)/IC$; 2) índice de cosecha (IC), $IC = RE25T/RB25T$; 3) espigas por metro cuadrado (EPMC), $EPMC = BIOM/(RB25T/25)$; 4) peso de 1 000 granos (P1 000G); 5) granos por metro cuadrado (GPMC), $GPMC = RG/(\text{peso de 1 000 granos}/1 000)$; 6) espiguillas por espiga (EESP); 7) granos por espiga (GPE), $GPE = (GPMC/EPMC)$; 8) granos por espiguilla (GPÉE), $GPÉE = GPE/EESP$; y 9) peso hectolítico (PHEC), medida de densidad de grano en kg hL⁻¹.

Planting systems were named: conventional planting (CONV); planting bed without micro-watersheds (CAMSIN); planting beds with micro-watersheds (CAMCON).

Experimental plot

In all the localities the measures were 7.5 m² (1.5*5 m), with four furrows of effective planting of 5m*0.3 m apart in CONV and two double spaced rows with 0.75 m between furrows and 0.3 m between rows in CAMSIN and CAMCON. The preparation and planting of experimental plots and the building of the grooves edges in CAMCON and, the formation of the rows in the beds were made by hand. The sowing and agronomic conduction of the experiment was made based on the recommendations made by the INIFAP.

Study variables

The variables were direct and indirect; direct variables were taken straight from the experimental plots and, the indirect were the result of sampling 25 stems. The direct variables were: 1) days to tasseling (DE), days from planting to the time when 50% of the spikes presented visible anthers; 2) days to maturity (DM), days from planting to the time when 50% of the spikes presented yellow stalks; 3) plant height (ALT), length in cm from the ground's surface to the terminal spikelet in the canopy and, 4) grain yield (REND), grain weight in g per useful plot.

The indirect variables were: 1) total biomass in g per m² (BIOM), $BIOM = ((RGP + RE25T)/PU)/IC$; 2) harvest index (IC), $IC = RE25T/RB25T$; 3) spikes per square meter (EPMC), $EPMC = BIOM/(RB25T/25)$; 4) 1 000-grain weight (P1 000G); 5) grains per square meter (GPMC), $GPMC = RG/(\text{weight of 1 000 grains}/1 000)$; 6) spikelets per spike (EESP); 7) grains per spike (GPE), $GPE = (GPMC/EPMC)$; 8) grains per spikelet (GPÉE), $GPÉE = GPE/EESP$; and 9) hectoliter weight (PHEC) grain density measure in kg hL⁻¹.

Where: RB25T= biological yield of 25 stems (g); RE25T= economic yield of 25 stems (g); RGP= grain yield per plot (g); PU= usable plot (m); EESP= spikelets per spike.

Data analysis

The analysis of variance and mean comparison (Tukey 5%) were performed by location, planting system and variety, in order to statistically differentiate the factors and the study variables.

Donde: RB25T= rendimiento biológico de 25 tallos (g), RE25T= rendimiento económico de 25 tallos (g), RGP= rendimiento de grano por parcela (g), PU= parcela útil (m) y EESP= espiguillas por espiga.

Análisis de datos

Se realizó el análisis de varianza y comparación de medias (Tukey 5%) por localidad, sistema de siembra y variedad, para diferenciar estadísticamente los diferentes factores y variables de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que invariablemente con microcuencas o no, el sistema de siembra en camas (CAMSIN y CAMCON) aumentó el rendimiento promedio en trigo entre 20% y 29%, coincidiendo con incrementos en rendimiento obtenidos por Tewolde *et al.* (1993); Tripathi *et al.* (2002); Cabañas *et al.* (2003); Moreno *et al.* (2005); Sayre (1997), en donde la siembra en camas también aumentó significativamente BIOM, REND, P1000G, GPE y GPMC.

Análisis general de variables

El Cuadro 2 presenta los resultados del análisis de varianza, donde se observan diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre localidades para todas las variables, lo que indica que la evaluación se realizó en condiciones contrastadas. En los sistemas de siembra hubo diferencias altamente significativas para DE, DM, ALT, REND, BIOM, EPMC, GPEE, GPE, GPMC e IC, y diferencias significativas ($p > 0.01$, $p \leq 0.05$) en EESP, coincidiendo en la mayoría de las variables con lo reportado por Cabañas *et al.* (1993), lo que indica que la siembra en camas tiene un efecto sobre el rendimiento de grano y sus componentes.

En la interacción localidades*sistema hubo diferencias altamente significativas en todas las variables a excepción de EPMC y P1 000G en donde no hubo diferencia. En el factor variedades y en la interacción localidad*variedad hubo diferencias altamente significativas para todas las variables. En la interacción sistema*variedad sólo hubo diferencias significativas para DM y ALT. Por último para la interacción de tercer orden sólo hubo diferencia significativa en DM.

RESULTS AND DISCUSSION

The results invariably indicated that, with or without micro-watersheds, the bed planting systems (CAMSIN and CAMCON) increased the average wheat yield from 20% to 29%, coinciding with the yield increases obtained by Tewolde *et al.* (1993); Tripathi *et al.* (2002); Cabañas *et al.* (2003); Moreno *et al.* (2005); Sayre (1997), where the planting beds also increased significantly: BIOM, REND, P1000G, GPE and GPMC.

General analysis of variables

The Table 2 presents the results of analysis of variance where, highly significant differences were observed ($p \leq 0.01$) among the locations for all the variables, indicating that the assessment was conducted under contrasting conditions. Among the planting systems there were highly significant differences for DE, DM, ALT, REND, BIOM, EPMC, GPEE, GPE, GPMC and IC and, significant differences ($p > 0.01$, $p \leq 0.05$) in EESP, most of the variables coincided with that reported by Cabañas *et al.* (1993), indicating that, the planting beds have an effect on grain yield and its components.

In the localities*system interaction, there were highly significant differences in all variables except for EPMC and P1 000G, with no difference at all. In the varieties' factor and locality*variety interaction, highly significant differences for all variables were found. In the system*variety interaction, only the significant differences exist for DM and ALT. Finally, for the third-order interaction only the significant differences were found in DM.

Yield comparison in the three systems by location

Six localities had higher yields with CAMCON (Coatepec, Apan, Nopaltepec, Zotoluca, Tecamac 02 and Chapingo 1AF02), surpassing the conventional and bed plantings without watersheds. CAMSIN only outperforms the conventional planting yield in two locations (Figure 1).

The Figure 2 shows the average yield of each locality from lowest to the highest and, a regression line was plotted in order to observe the trend of every system in each locality, noting that, CAMCON was the system with higher yields and improved trend. This figure illustrates the benefits of

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza general en diferentes sistemas de siembra de trigo de temporal en ocho localidades.
Table 2. Mean squares for general analysis of variance in different rainfed wheat planting systems at eight locations.

FV	GL	DE	DM	ALT	REND	BIOM	EPMC	EESP	P1000G	GPMC	GPE	GPEE	PHEC	IC
LOC	8	1412.7**	1131.5**	7941.57**	127224584.5*	3274928.7**	189840.57**	166.61**	2226.44**	1033599530**	940.62**	1.07**	68597.7**	0.13**
REP(LOC)	24	4.29	10.79	636.76	5263501.1	89075.68	10333.9	5.86	22.81	37644052	77.53	0.18	257.76	0.003
SISTEMA	2	110.8**	260.78**	2727.8**	26904760.3**	737203.18**	102176.26**	5.3*	3.38 ns	226472216**	133.3**	0.85**	234.31ns	0.02**
LOC*SISTEMA	14	19.77**	38.80**	1036**	10452130.2**	98141.28**	10232.94 ns	6.03**	19.92ns	91847619**	104.7**	0.49**	809.05**	0.01**
REP*SISTEMA (LOC)	48	2.16	4.63	82.34	873745.4	12980.37	7720.74	1.74	18.97	8218815	28.24	0.12	95.45	0.002
VAR	5	598.82**	509.93**	794.80**	3110249.4**	60054.46**	46305.21**	28.91**	1742.86**	85044688**	226.29**	1.31**	7561.01**	0.04**
LOC*VAR	37	14.26**	6.36**	88.54**	990741.3**	10618.37*	11924.78**	3.76**	43.25**	12120270**	84.68**	0.32**	1078.49**	0.005**
SISTEMA*VAR	10	1.04ns	2.81*	54.57*	387882.9 ns	6434.98 ns	3471.16 ns	1.02 ns	12.7**	3864689	20.48 ns	0.16 ns	58.25 ns	0.001ns
LOC*SISTEMA* VAR	70	1.19ns	1.74*	24.75	302232 ns	4955.13 ns	3093.13 ns	1.85 ns	10.27**	2755681	11.47 ns	0.07 ns	103.39 ns	0.001ns
ERROR	359	0.91	1.25	26.28	233092	5652.34	3124.74	1.48	9.57	2399842	15.87	0.09	108.76	0.001
MEDIA	60.6	111.15	75.04	2935.65	511	252.77	13.26	35.82	8227.28	23.26	1.8	774.47	0.42	
CV (%)	1.57	1.01	6.83	16.45	14.7	22.11	9.17	8.64	18.83	17.12	16.80	1.35	9.11	

*= significancia al 0.05 de probabilidad; **= significancia al 0.01 de probabilidad; LOC= localidad; SISTEMA= sistema de siembra; REP= repetición; VAR= variedad; GL= grados de libertad; DE= días a espigamiento; DM= días a madurez; ALT= altura; REND= rendimiento (kg ha⁻¹); BIOM= biomasa (g m⁻¹); EPMC= espigas por metro cuadrado; EESP= espiguillas por espiga; P1000G= peso de mil granos; GPMC= granos por metro cuadrado; GPE= granos por espiga; GPEE= granos por espiguilla; PHEC= peso hectolitrico; IC= índice de cosecha.

Comparación de rendimiento en los tres sistemas por localidad

Seis localidades presentaron mayores rendimientos en CAMCON (Coatepec, Apan, Nopaltepec, Zotoluca, Tecamac 02 y Chapingo 1AF02), superando a la siembra convencional y camas sin contras. CAMSIN solamente superó el rendimiento de la siembra convencional en dos localidades (Figura 1).

En la Figura 2 se ordenó el rendimiento promedio de cada localidad de menor a mayor y se trazó una línea de regresión para observar la tendencia que tuvo cada sistema en las localidades, en donde se observa que CAMCON fue el sistema en donde se presentan mayores rendimientos y conforme fueron mejorando los rendimientos la tendencia también fue en aumento. En esta figura se ilustran los beneficios de la siembra de trigo en camas con contras, para hacer mejor uso del agua, ya que en ambientes de baja productividad expreso mayor rendimiento.

El número de espigas es un componente que está influenciado por el potencial productivo de cada lugar. Se ha encontrado que para ambientes de baja productividad, el número de espigas promedio es mayor para CONV. Pero en ambientes más favorables donde se promueve un mayor número de EPMC, la siembra en CAMCON empieza a superar a CONV (Limón *et al.*, 2004), coincidiendo con lo encontrado en este estudio. Moreno *et al.* (2005) también observaron un número promedio mayor de EPMC cuando se sembró trigo en camas a doble hilera aún sin la construcción de microcuencas.

Comparación de variables en los tres sistemas de siembra

El Cuadro 3 muestra que la siembra en camas (CAMSIN y CAMCON) incrementó estadísticamente DE, ALT, REND, GPMC, GPE y GPÉE. Cabañas *et al.* (1993) observaron que la siembra en camas superó 14% al sistema convencional, dicho incremento por presentarse valores más altos en las variables EESP y ALT principalmente. Estadísticamente CAMCON incrementó DE, DM, ALT, REND, BIOM, EPMC, EESP y GPMC, de tal manera que este sistema favoreció las condiciones de producción para que el rendimiento y sus componentes se incrementaran, coincide con Limón *et al.* (2004) donde mencionan que fisiológicamente con este sistema se logran condiciones más adecuadas para lograr mayor productividad.

plantando trigo en camas con drenajes en orden para hacer un mejor uso del agua ya que reportó un aumento de rendimiento en ambientes de baja productividad.

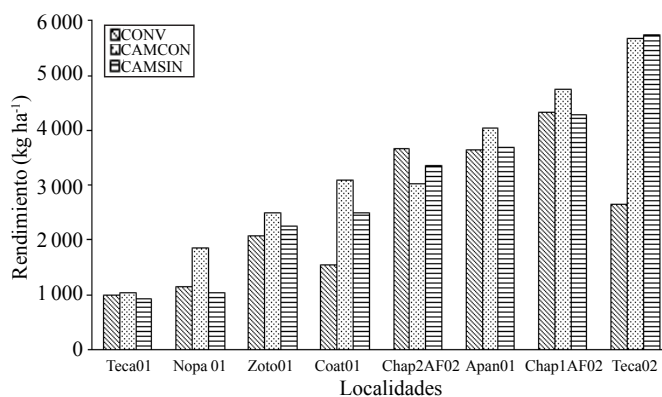


Figura 1. Rendimiento de grano de trigo obtenido en ocho localidades bajo tres diferentes sistemas de siembra.

Figure 1. Wheat grain yield obtained at eight locations under three different planting systems.

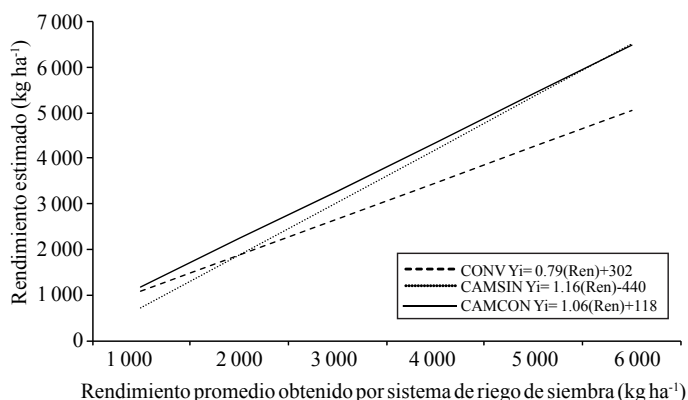


Figura 2. Estimación del rendimiento en tres sistemas de siembra comparado con el rendimiento promedio obtenido en las localidades evaluadas.

Figure 2. Estimating yield in three planting systems compared with the average yield obtained at the evaluated localities.

The number of spikes is a component influenced by the productive potential of each locality. For low-productivity environments, the average number of spikes is higher for CONV. But in more favorable environments where a greater number of EPMC is promoted, CAMCON planting begins to outperform CONV (Limón *et al.*, 2004), coinciding with the findings of this paper. Moreno *et al.* (2005) also observed a higher average number of EPMC when the wheat was planted in beds in a double row even without building micro-watersheds.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables en los tres sistemas de siembra probados.
Table 3. Comparison of means of variables in the three planting systems tested.

Variable	Sistema de siembra			Tukey $p \leq 0.05$
	CONV	CAMSIN	CAMCON	
Días a espigamiento	60 c	61 b	62 a	0.2
Días a madurez	110 b	111 b	112 a	0.27
Altura	71.9 c	75.2 b	78.7 a	1.23
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	2522 c	3034 b	3250 a	117
Biomasa (g m ⁻²)	448.9 b	484.7 b	598 a	23
Espigas por metro cuadrado	235 b	237 b	286 a	17
Espiguillas por espiga	13.2 ab	13.1 b	13.5 a	0.4
Peso de mil granos	35.8 a	35.7 a	35.9 a	0.7
Granos por metro cuadrado	7003 c	8528 b	9149 a	373
Granos por espiga	22 b	24 a	24 a	1
Granos por espiguilla	1.7 b	1.8 a	1.8 a	0.09
Peso hectolítrico	77.4 b	78 a	77.3 b	0.3
Índice de cosecha	0.42 b	0.43 a	0.41 b	0.01

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

El Cuadro 4 muestra que las variedades fueron diferentes estadísticamente (Tukey 5%). En general, la variedad que más destacó en REND fue Rebeca F2000, que coincide con sus características descritas por Villaseñor y Espitia (2000). Es importante resaltar que en la interacción sistema*variedad no hubo significancia estadística, que se puede observar en el Cuadro 5, donde se muestra que Rebeca F2000 prácticamente superó a todas las variedades en los tres sistemas de siembra, y también se puede observar que todas las variedades expresaron mayor rendimiento en CAMCON.

Cuadro 4. Comparación general de medias entre variedades de trigo evaluadas en ocho localidades bajo tres sistemas de siembra.

Table 4. General comparison of means between wheat varieties evaluated at eight locations in three planting systems.

Variedad	DE	DM	ALT	REND
Juchi F2000	60.5 b	111.6 b	76.1 b	2 666 c
Náhuatl F2000	59.2 c	108.7 d	76.8 b	2 887 b
Rebeca F2000	65.6 a	115.7 a	79.3 a	3 157 a
Romoga F96	59.4 c	110.5 bc	72.1 c	2 923 b
Temporalera M87	60.4 b	111.6 b	79.7 a	2 860 b
Tlaxcala F2000	59.5 c	109.6 cd	74 c	3 030 ab
Tukey 5%	0.3	1.6	2	187

DE= días a espigamiento; DM= días a madurez; ALT= altura; REND=rendimiento (kg ha⁻¹). Datos con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales.

Comparison of variables in the three planting systems

The Table 3 shows that, the bed plantings (CAMSIN and CAMCON) statistically increased DE, ALT, REND, GPMC, GPE and GPEE. Cabañas *et al.* (1993) observed that, the bed plantings outperformed in 14% the conventional system; the increase was for showing higher values mainly in the EESP and ALT variables. CAMCON statistically increased DE, DM, ALT, REND, BIOM, EPMC, EESP and GPMC, this system favored the producing conditions, therefore, the yield and its components increased, this coincides with Limón *et al.* (2004), who mentioned that, physiologically this system achieves most suitable conditions for greater productivity.

The Table 4 shows that, the varieties were statistically different (Tukey 5%). Over all, the variety that highly stands out in REND was Rebeca F2000, which coincides with the characteristics described by Villaseñor and Espitia (2000). In the interaction system*variety, there was no statistical significance, which can be seen in the Table 5, which shows that, Rebecca F2000 practically outperformed in all the varieties at the three planting systems and, it is also shown that all the varieties in CAMCON expressed a greater performance.

In Figures 3, 4 and 5, the average yields of the varieties were ranked from lowest to the highest and, trend lines were plotted for each of them by the planting system.

Cuadro 5. Rendimiento promedio de variedades en cada sistema de siembra.

Table 5. Average yield of varieties in each planting system.

Variedad	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		
	CONV	CAMSIN	CAMCON
Juchi F2000	2 358	2 695	2 944
Náhuatl F2000	2 551	2 863	3 245
Rebeca F2000	2 607	3 285	3 581
Romoga F96	2 671	2 998	3 103
Temporalera M87	2 592	2 837	3 149
Tlaxcala F2000	2 750	3 074	3 265

En las Figuras 3, 4 y 5 se ordenaron los rendimientos promedio de las variedades de menor a mayor y se trazaron líneas de tendencia para cada una de ellas por sistema de siembra. Se observa que Rebeca F2000 fue la variedad que mejor respondió en rendimiento en los tres sistemas, seguida de Tlaxcala F2000 y Náhuatl F2000.

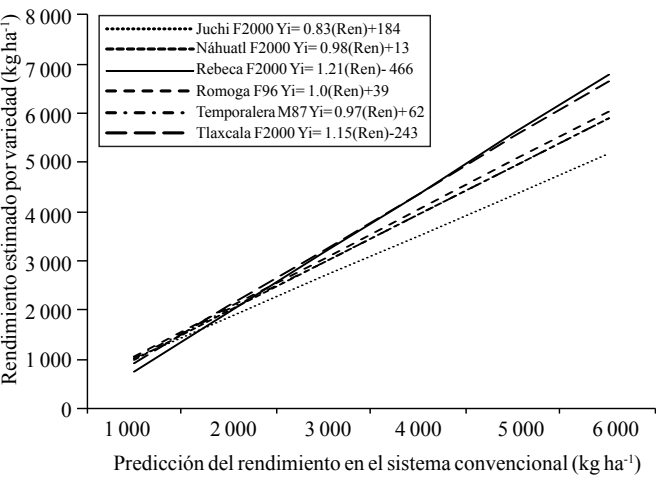


Figura 3. Rendimiento promedio de cada variedad comparado con el rendimiento general de cada localidad obtenido bajo el sistema de siembra convencional.

Figure 3. Average yield of each variety compared with the overall yield of each location obtained under conventional planting system.

CONCLUSIONES

Para los ambientes evaluados, el sistema de siembra en cama aumentó significativamente el rendimiento, destacando el sistema CAMCON con incrementos

Rebecca F2000 was the variety with better yield response in the three systems, followed by Tlaxcala F2000 and Náhuatl F2000.

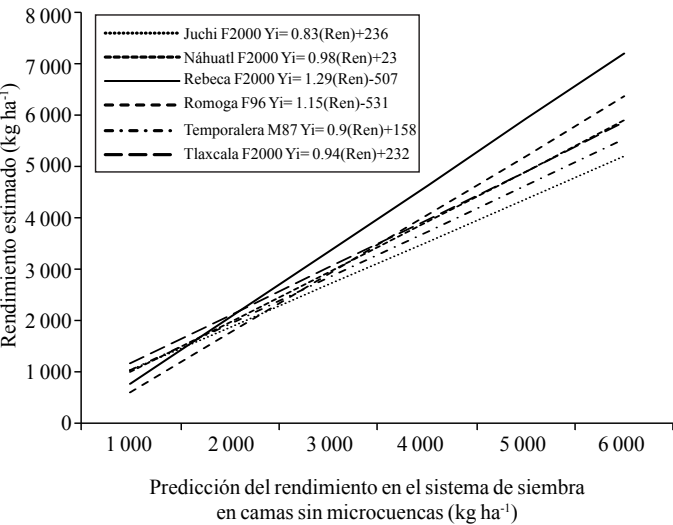


Figura 4. Rendimiento promedio de cada variedad comparado con el rendimiento general de cada localidad obtenido bajo el sistema de siembra en camas sin microcuencas.

Figure 4. Average yield of each variety compared with the overall yield of each location obtained under the bed planting system without watersheds.

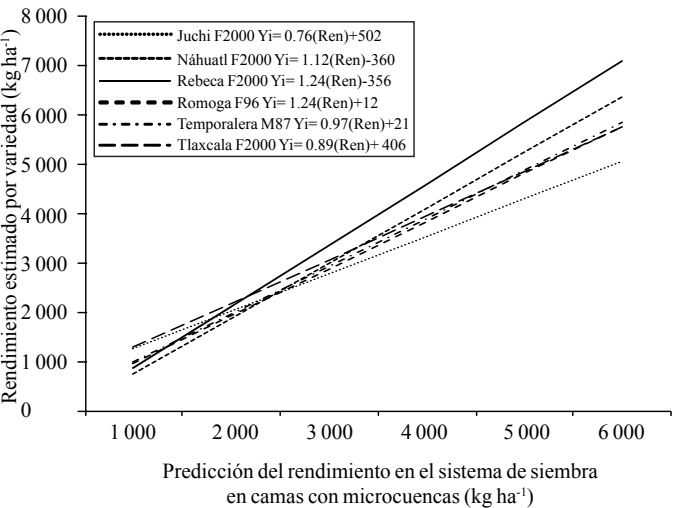


Figura 5. Rendimiento promedio de cada variedad comparado con el rendimiento general de cada localidad obtenido bajo el sistema de siembra en camas con microcuencas.

Figure 5. Average yield of each variety compared with the overall yield of each location obtained under the bed planting system with watersheds.

promedio 38% y que llegaron hasta 62%. El sistema CAMCON incrementó el rendimiento en seis localidades probadas, destacando más en los sitios con menor precipitación. La mayoría de variables relacionadas con el rendimiento de grano respondieron positivamente al sistema CAMCON, debido que ofreció mejores condiciones de humedad.

Las variedades evaluadas no interaccionaron con el sistema de siembra y respondieron positivamente al sistema CAMCON, de tal manera que se puede utilizar en este sistema, desde luego, destacando Rebeca F2000 y Tlaxcala F2000. El sistema de siembra en camas, sobre todo con contras (CAMCON) es una estrategia que permitirá reducir los efectos del déficit hídrico y consecuentemente del cambio climático.

LITERATURA CITADA

- Cabañas, C. B.; Verástegui, Ch. J.; y Medina, G. G. 1993. Formas y densidad de siembra en trigo de temporal. II Componentes del rendimiento y consumo de agua. *Terra*. 11(2):141-150.
- Cabañas, C. B.; Galindo, G. G.; Mena, C. J. y Medina, G. G. 2004. La siembra en surcos y corrugaciones con pileteo en cebada maltera de temporal en Zacatecas. CIRNO-CEZAC-INIFAP. Folleto para productores. Núm. 29. 41 p.
- Cortés, J. J. M.; Contreras, C. E. y Martínez, S. J. J. 2003. Validación de métodos y densidades de siembra en el cultivo de trigo, en el Valle del Yaqui, Sonora. INIFAP-CIRNO-CEVY. Cd. Obregón, Sonora, México. Folleto técnico. Núm. 48. 28 p.
- Dai, A. 2010. Drought under global warming: a review. *Wiley interdisciplinary reviews. Clim. Change*. 2(1):45-65.
- Espitia, R. E. y Villaseñor, M. H. E. 2000. El rendimiento de grano en relación a la morfología, desarrollo y fisiología en trigo. *In: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (eds.). El trigo de temporal en México. SAGAR, INIFAP, CEVAMEX. Libro técnico. Núm. 1. 53-83 pp.*
- González, E. A.; Camacho, C. M.; Moreno, R. O.; Martínez, P. R. y Wood, S. 2004. Impacto económico del sistema de siembra del trigo en surcos en Sonora. INIFAP. Publicación técnica. Núm. 8. 66 p.

CONCLUSIONS

For the tested environments, the bed planting system significantly increased the yield, highlighting the CAMCON system with average increases of 38% and reaching 62%. The CAMCON system increased the yield in six locations, with increased emphasis on sites with lower rainfall. Most of the variables related to the grains' yield responded positively to the CAMCON system because it offered better moisture conditions.

The varieties tested did not interact with the planting system and responded positively to the CAMCON system, so it can be used in this system, of course highlighting Rebecca F2000 and Tlaxcala F2000. The bed planting system, especially with watersheds (CAMCON) is a strategy that will help to reducing the effects of drought-stress and climate change impacts as well.

End of the English version



- González, E. A.; Camacho, C. M.; Moreno, R. O.; Martínez, P. R. y Stanley, W. 2006. Impacto económico del sistema de siembra del trigo en surcos. *In: González, E. A.; y Stanley, W. (eds.). 2006. Impactos económicos de tecnologías para el campo mexicano. INIFAP. Libro científico. Núm. 1. 231-255 pp.*
- Harris, B. L. and Krishna, J. H. 1989. Furrow diking to conserve moisture. *J. Soil Water Conserv.* 44(4):271-273.
- Howell, T. A.; Schneider, A. D.; and Dusek, D. A. 2002. Effects of furrow disking on corn response to limited and full sprinkler irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:222-227.
- Jones, R. O. and Baumhardt, R. L. 2003. Furrow dikes. *In: encyclopedia of water science. Marcel, D. Inc. N. Y., USA. 317-320 pp.*
- Limón, O. A. 2001. Tecnología para la siembra de trigo en surcos en áreas de temporal. *In: Día de Campo CEVAMEX y Primera Expo Nacional de Maquinaria Agrícola. INIFAP-CIR-CENTRO. Memoria técnica. Núm. 1. 31-35 pp.*
- Limón, O. A. 2004. Principios para la siembra de trigo en camas en áreas de temporal para Tlaxcala. INIFAP-CEVAMEX. Folleto técnico. Núm. 19. 16 p.

- Limón, O. A.; Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E. y Sayre, K. D. 2004. Siembra de trigo en camas: una opción tecnológica para ambientes de temporal. INIFAP-CEVAMEX. Folleto técnico. Núm. 20. 24 p.
- McFarland, M. L.; Hons, F. M. and Saladino, V. A. 1991. Effects of furrow disking and tillage on corn grain yield and nitrogen accumulation. *Agron. J.* 83:382-386.
- Milly, P. C. D.; Dunne, K. A. and Vecchia, A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*. 438(17):347-350.
- Moreno, R. O. H.; Rodríguez, C. J.; Johnson, D.; Canseco, V. E. P.; Thompson, L. T. and Salazar, G. J. M. 2005. Irrigated wheat response to population density and number of rows per bed in Northwest Mexico. *Cereal Res. Commun.* 33(2-3):595-602.
- Moreno, R. O. H.; Salazar, G. J. M.; Tamayo, E. L. M.; y Martínez, C. J. L. 1993. Tecnología para la producción de trigo en surcos. CIRCE-CEVY-INIFAP. Folleto técnico. Núm. 22. 28 p.
- Rodríguez, G. A. y Vuelvas, C. M. A. 2000. Manejo de suelo y agua. *In*: Solis, M. E. y Rodríguez, G. A. (eds.). 2000. Trigo de riego: origen, variedades, manejo del cultivo, calidad industrial. INIFAP-CIR-CENTRO. Libro técnico. Núm. 2. 36-39 pp.
- Sayre, K. D. 1997. Aplicaciones de sistemas de siembra en camellones para trigo. *In*: Mohan, K. M. y Martino, D. L. 1997. Explorando altos rendimientos de trigo. CIMMYT-INIA. La Estanzuela, Uruguay. 167-192 pp.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Obtenido de la red. URL: <http://www.siap.gob.mx>.
- Tewolde, H. J. R.; Mulkey, Jr. and Elledge, Jr. R. E. 1993. Furrow disking effects on yield of dryland grain sorghum and winter wheat. *Agron. J.* 85:1217-1221.
- Tripathi, S. C.; Sayre, D. K.; Kaul, N. J. and Narang, S. R. 2002. Effect of planting methods and N rates on lodging, morphological characters of culm and yield in spring wheat varieties. *Cereal Res. Commun.* 30(3-4):431-438.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In*: Villaseñor, M. H. E.; y Espitia, R. E. 2000. El trigo de temporal en México. INIFAP-CIR-CENTRO. Libro técnico. Núm. 1. 85-98 pp.
- William, G. J. Jr. 2008. Causes of observed changes in extremes and projections of future changes. *In*: weather and climate extremes in changing climate regions of focus: North America, Hawaii, Caribbean and Pacific Islands, USA. Climate Change Science Program. 81-116 pp.