

Siembra en micro-cuencas para la producción de grano y forraje en condiciones de secano

Cropping systems for maize and beans in micro-watersheds under rainfed conditions

Juan Becerra Becerra^a, Ricardo Basurto Gutiérrez^a, Agustín Escamilla Martínez^b,
Erika Ramírez Rodríguez^a

RESUMEN

Siembras en micro-cuencas tipo "W" fueron evaluadas para la producción de maíz y frijol bajo condiciones de secano. En suelo de tipo fluvisol, se formaron micro-cuencas con pendiente cero, a 1.6 m de separación y 0.4 m de altura. Los tratamientos fueron: siembra convencional en surcos a 0.80 m (SC); siembra en micro-cuencas (SM), sembrando una hilera del cultivo al fondo de las micro-cuencas y otra hilera en el borde; SM con arreglo topológico (SMT), sembrando maíz en el fondo y frijol en el borde de las micro-cuencas y SM sembrando una hilera de maíz en cada pendiente de las micro-cuencas (SMP). Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro réplicas. La precipitación pluvial fue 398, 676 y 397 mm distribuidos de junio a septiembre de 2006, 2007 y 2008, respectivamente. En 2006, la producción en SM fue superior a SC ($P < 0.05$) para maíz (29 y 39 % grano y forraje respectivamente) y frijol (40 %). En 2007 y 2008 la producción de SM fue similar a SC ($P > 0.05$) y SMT superó a SC en maíz grano y forraje con 38 y 46 % para 2007 y 34 y 39 % en 2008. SMP superó a SC ($P < 0.05$) en 18 y 27 % para maíz forraje y grano respectivamente. Durante los tres ciclos de la investigación, el maíz presentó acame en SM. La siembra en SMT y SMP permite incrementar la producción de maíz y frijol mejorando la eficiencia del uso del agua de lluvia para la producción de grano y forraje.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, Arreglos topológicos,

ABSTRACT

In the present study, rainfed cropping systems for maize and beans were evaluated in "W" type micro-watersheds. In a fluvisol soil, micro-watersheds with zero slopes were built at 1.6 m distance and 0.4 m high. Treatments were: conventional planting in furrows at 0.80 m (CP), planting in micro-watersheds (MW), with a row at one end and another at the edge, MW with a topological arrangement (MWT), with maize at the end and beans at the edge and MW planting maize in each slope (MWP). A completely randomized block experimental design with four replications was used. Rainfall at the experimental site was 398, 676 and 397 mm between July and September in 2006, 2007 and 2008, respectively. In 2006 MW output was greater than CP ($P < 0.05$) for maize (29 and 39 % grain and forage, respectively) and beans (40 %). In 2007 and 2008 MW yield was similar to CP ($P > 0.05$) and MWT maize yield improved on CP by 38 and 46 % in 2007 and by 34 and 39 % in 2008, in grain and forage, respectively, while MWP produced more maize forage (18 %) and grain (27 %) than CP ($P < 0.05$). In the three research periods, lodging was observed in MW maize. MWT and MWP planting increases both maize and beans yield, improving water use efficiency in both grain and forage output.

KEY WORDS: *Zea mays*, Intercropping, Rainfall, Micro-watersheds.

En México el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son la base de la alimentación de la mayoría de las familias. Cada

In Mexico, both maize (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are consumed as basic foods by the majority of families in the country; each

Recibido el 21 de abril de 2010. Aceptado el 9 de agosto de 2010.

^a Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal. Km. 1 Carr. a Colón, 76280 Ajuchitlán, Colón, Querétaro, México. becerra.juan@inifap.gob.mx. Correspondencia al primer autor.

^b Centro Investigaciones Avanzadas del Estado de Querétaro

Proyecto financiado por CONACYT-SAGARPA 2005. No.12772.

año se cultivan de 7 a 8.5 millones de hectáreas de maíz y 1.8 a 2.1 millones de hectáreas de frijol^(1,2); de las cuales el 85 % son sembradas en áreas de temporal⁽³⁾. El potencial de rendimiento del cultivo de maíz para grano en riego es superior a las 20 t ha⁻¹⁽⁴⁾. Sin embargo, en México el promedio nacional para riego es 5.2 t ha⁻¹ y 2 t ha⁻¹ para temporal⁽³⁾.

En las regiones de secano o temporal, la producción de los cultivos está limitada por la cantidad y la distribución de las lluvias, principalmente en localidades donde la precipitación pluvial es menor a 500 mm anuales y el 80 % se presenta en eventos irregulares durante tres a cuatro meses, favoreciendo la pérdida de agua por escorrentía; en estas condiciones es común que los cultivos presenten estrés hídrico que afecta su tasa fotosintética^(5,6) y con ello su productividad. En México, la importancia de la agricultura de temporal se debe a la superficie que comprende, la cual se estima en 6.5 millones de hectáreas, las cuales aportan el 65 % de la producción total de grano⁽²⁾.

Mediante algunas prácticas de labranza es posible mejorar la eficiencia en el uso del agua de lluvia y el rendimiento de los cultivos^(7,8). Reduciendo las pérdidas de agua de lluvia por escurrimiento, es posible obtener un periodo más largo de humedad del suelo, lo cual puede favorecer el desarrollo de los cultivos^(9,10).

Actualmente existen varios modelos para establecer sistemas de captación de agua en el área de cultivo^(11,12,13); la elección de alguno de ellos depende de varios factores, como son: tipo de suelo, topografía, cantidad y distribución de lluvias y longevidad del cultivo⁽¹⁴⁾. Todos los modelos se basan en la formación de surcos, camellones y superficies de escurrimiento. La formación de micro-cuencas es una de estas prácticas, que consiste en la modificación de la superficie natural del terreno mediante bordos y zanjas; esto permite inducir el flujo de la escorrentía del agua de lluvia hasta un área de captación o a la raíz de las plantas⁽¹²⁾.

Los efectos favorables en la producción con el uso de micro-cuencas para diferentes cultivos anuales y

year between 7 and 8.5 million ha and between 1.8 and 2.1 million ha are planted to maize and beans, respectively^(1,2), almost 85 % rainfed⁽³⁾. Maize yield potential in irrigated conditions⁽⁴⁾ is more than 20 t ha⁻¹, however, yield average in the whole country is 5.2 t ha⁻¹ and 2.0 t ha⁻¹, for irrigated and rainfed maize, respectively⁽³⁾.

In rainfed production areas, crop output is limited by rainfall amount and distribution, especially in locations receiving less than 500 mm annually, 80 % of which takes place in irregular events for 3 or 4 mo, favoring losses by runoff. In these conditions, crops usually show water stress that affect their photosynthetic rate^(5,6) and therefore, yield. In Mexico, the importance of rainfed crops is due to their total area, some 6.5 million ha, which produce 65 % of total grain output⁽²⁾.

Through some improved tillage practices, rainwater use efficiency can be increased, and crop yield, too^(7,8). By reducing runoff losses, it is possible to maintain soil moist for longer periods, with favorable effect on crop performance^(9,10).

Currently, several models for setting up rainwater harvesting systems are available^(11,12,13), and choosing one is dependent on several factors, such as soil type, topography, rainfall amount and distribution and crop longevity⁽¹⁴⁾. All models are based on furrows, ridges and runoff areas. One of such systems is micro-watershed, which consists of building ditches and crests, thus modifying the original soil surface, inducing water overflow towards a catchment area or plant roots⁽¹²⁾.

Micro-watershed favorable effects on yield on different annual and perennial crops have been reported by several authors^(15,16,17). Improved *Pinus radiata* survival⁽¹⁵⁾ is reported when using a system of ditches for water catchment. In alfalfa (*Medicago sativa* L.), with a furrow-ridge or micro-watershed system, forage yield increased between 12 and 43 %⁽¹⁶⁾. Potato (*Solanum tuberosum* L.) yield increased by 50 % with a ridge and furrow system⁽¹⁷⁾. In maize, in a relay strip ridge and furrow model, one for planting, and another covered with plastic for harvesting rainwater, grain yield

perennes han sido reportados por diversos investigadores^(15,16,17). Con un sistema de zanjas para la captación del agua de lluvia, se encontró un efecto favorable en la sobrevivencia de las plantaciones de *Pinus radiata*⁽¹⁵⁾. En alfalfa (*Medicago sativa* L.), con un sistema de bordos o micro-cuencas la producción de forraje se incrementó entre 12 a 43 %⁽¹⁶⁾. En el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), con un sistema de crestas y surcos se reportaron incrementos de 50 %⁽¹⁷⁾. En maíz con un sistema de bordos alternos, uno para la siembra y otro cubierto con plástico para la captación de lluvia, se encontraron incrementos de 108 a 143 % en la producción de grano y una eficiencia del uso del agua superior a 2.0 kg MS m⁻³⁽¹⁸⁾. Sin embargo, se ha observado que los mejores resultados se obtienen cuando la lluvia es escasa y con una intensidad tal que supera la tasa de infiltración del suelo, favoreciendo la escorrentía dentro del área de cultivo; de esta forma, en un sistema de micro-cuencas con cubiertas de plástico, se encontró un mayor incremento en la producción de maíz respecto al tratamiento testigo al reducir la lluvia artificial de 440 a 230 mm⁽¹⁹⁾. Cuando la precipitación pluvial tiende a decrecer por debajo del requerimiento hídrico de los cultivos, la producción tiende a reducirse, sin embargo, en las micro-cuencas este efecto es atenuado, incrementando la diferencia en producción respecto a la siembra convencional⁽¹⁹⁾. Este efecto fue reportado en sorgo para grano, donde las menores precipitaciones redujeron el rendimiento, principalmente en la siembra convencional y en menor medida con el uso de micro-cuencas, incrementando la diferencia en la producción en relación a la siembra tradicional⁽²⁰⁾.

En micro-cuencas compactadas, se ha encontrado que la precipitación mínima necesaria para producir la escorrentía fue de 4 mm y 8.5 mm h⁻¹ para las cuencas sin compactar⁽²¹⁾. Por esta razón, en un trabajo posterior, no se encontró efectos significativos en la producción de los cultivos en micro-cuencas sin compactar cuando los eventos de la precipitación fueron inferiores a 5 mm⁽²²⁾.

El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes métodos de siembra, en un sistema de micro-cuencas en forma de crestas y zanjas tipo "W" para

increased between 108 and 143 % and a water use efficiency of more than 2.0 kg DM m⁻³ was obtained⁽¹⁸⁾. However, best results are obtained when rainfall is scarce and exceeds soil infiltration rate, favoring runoff within the cropped area. Like this, in a micro-watershed system covered with plastic sheets, maize grain yield increased more than in the control treatment when artificial rainfall was reduced from 440 to 230 mm⁽¹⁹⁾. When rainfall drops below crop requirements, yield decreases, but in micro-watersheds this effects can be mitigated, increasing the difference in output relative to conventional planting systems⁽¹⁹⁾. This effect was also reported in grain sorghum, where scarce rainfall reduced yield, but less in micro-watersheds than in conventional planting⁽²⁰⁾.

In compacted micro-watersheds, the minimum rainfall needed for producing runoff is 4 mm h⁻¹ vs 8.5 in non-compacted microcatchments⁽²¹⁾. Due to this, in a later study, no significant effects were found in non-compacted micro-watersheds when rainfall events fell below 5 mm⁽²²⁾.

The purpose of the present study was evaluating several planting methods in a ridge and furrow type "W" micro-watershed system for increasing maize (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) yield.

The experiment was carried out for three consecutive years, in the spring-summer growing seasons of 2006, 2007 and 2008 in the municipality of Huimilpan, Queretaro, Mexico, 20° 25' 49" N and 100° 08' 05" W, at 2,037 m asl. Climate in this area is temperate, 16.0 °C average annual temperature, 540 mm annual average rainfall, mostly (80 to 90 %) from June to September⁽²³⁾.

Several planting methods were assessed in type "W" micro-watersheds in the 3 yr experiment in both maize and beans. The assessed planting methods were as follows, CP, planting at 0.80 m furrows (conventional); MW, micro-watershed sole crop planting in rows, one at furrow bottom and the other at ridge top; MWT, micro-watershed planting in a maize – beans topological arrangement, beans in rows at furrow bottom and maize at ridge

incrementar la producción de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

El estudio se realizó durante los ciclos primavera-verano de 2006, 2007 y 2008 en el municipio de Huimilpan, Querétaro, a 20° 25' 49" N y 100° 08' 05" O y a 2037 msnm. El clima es templado con temperatura media anual de 16.0 °C. La precipitación media anual es de 540 mm, y 80 % se presenta durante junio a septiembre⁽²³⁾.

Durante los tres años del proyecto se evaluaron diferentes métodos de siembra en micro-cuencas tipo "W" para la producción de maíz, y frijol. Los métodos de siembra fueron: SC= siembra en surcos a 0.80 m (tradicional); SM= siembra en micro-cuencas en monocultivo, colocando la semilla en hileras, una al fondo de la zanja y otra sobre el borde del surco; SMT= siembra en micro-cuencas con arreglo topológico maíz-frijol, colocando una hilera de semilla de maíz en el fondo de la zanja y otra hilera de frijol sobre el borde del surco y SMP= siembra en micro-cuencas con dos hileras de maíz, colocando una hilera a la mitad de cada borde, resultando una separación de 0.60 m entre hileras dentro de la micro-cuenca.

En los tres años de evaluación, se utilizó el mismo sitio experimental, empleando un diseño de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas con cuatro réplicas por tratamiento. La parcela grande se refiere a la preparación del suelo con 30 m de largo y 6.4 m de ancho, la parcela pequeña se refiere al cultivo sembrado en un área de 6.4 m de ancho y 7.0 m de largo. Entre parcelas pequeñas se formó un bordo de 30 cm de altura para impedir el flujo del agua de lluvia entre parcelas. La parcela útil consistió en todas las plantas de los cuatro surcos centrales de 5 m de largo.

Las variables de respuesta fueron rendimiento de grano en maíz y frijol y rendimiento de forraje seco para maíz. El forraje se muestreó cuando el grano se encontraba en estado mazoso y la muestra para grano fue colectada cuando éste alcanzó su madurez fisiológica.

Para determinar la producción de forraje seco, se cortaron de cada parcela dos hileras de plantas de

top; and MWP, micro-watershed maize planting in rows at furrow slope at 1.60 m between rows.

The same experimental site was used in the three years of the experiment, using a completely randomized experimental block design with four replications for each treatment. The big plot, 30 m long and 6.4 m wide, is referred to soil preparation, and the small plot, 6.4 m wide and 7.0 m long, is referred to the planting plot. A 30 cm high ridge was fashioned between small plots to prevent water runoff between them.

Response variables were maize and bean grain yield and dry forage output in maize. Forage samples were taken when grain was at mass stage and grain was harvested at physiological maturity.

For determining dry forage yield, plants in two 5-m long rows were cut at 0.10 m height and dry matter was determined from two whole plants from this sample and dried in a forced air stove at 70 °C until constant weight. Evaluations were made separately for each year and crop, and results were assessed through a variance test using the GLM procedure of the SAS software⁽²⁴⁾. Treatment averages were compared through Tukey's test at $P < 0.05$.

In the first year, 2006, maize (DeKalb 2002) and beans (Flor de Junio), were evaluated in CP and MW. In the second year, 2007, maize and beans were evaluated in CP, MW and MWT. This last treatment was introduced to overcome lodging problems in maize planted in ridge tops and spotted grain in beans planted at furrow bottom. Earlier maize (Criollo Morado) and bean varieties (Negro Querétaro) were planted too. In the third year, 2008, the following treatments were assessed, CP, MW, MWT and MWP, the last one for evaluating possibilities of using tractors in tillage.

Soils at the experimental site are eutric fluvisols⁽²⁵⁾, 0.60 m deep, 1.2 % organic matter, 6.8 pH and with a slope of less than 1 %. At the beginning of the cropping season (May), plots were plowed 0.30 m deep with a disc plow, and later harrowed twice. Microwatersheds were shaped with a type ZA 51 agricultural dredger, at 0.40 depth following

5 m de longitud a una altura de 0.1 m; para la determinación de materia seca se tomaron las dos plantas enteras de cada parcela y se secaron a 70 °C en estufa de aire forzado hasta obtener peso constante. Las evaluaciones se realizaron por separado para cada año y cultivo, los resultados se evaluaron con un análisis de varianza empleando el procedimiento GLM del programa 'Statistical Analysis System'(24). Las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey con nivel de significancia de $P < 0.05$.

Primer año (ciclo 2006). Los tratamientos evaluados fueron: SC y SM, para ellos se emplearon los cultivos de maíz y frijol. Los germoplasmas utilizados fueron: para maíz el híbrido Dekalb 2002 para grano y forraje, y para frijol la variedad flor de junio.

Segundo año (ciclo 2007). Los tratamientos evaluados fueron: SC, SM y SMT; este último tratamiento para evitar los problemas observados en SM durante el ciclo anterior, como acame en maíz con la siembra sobre el lomo de las micro-cuencas y el manchado de frijol para la siembra al fondo de las micro-cuencas; también se utilizaron variedades más precoces de maíz (criollo morado) y de frijol (Negro Querétaro).

Tercer año (ciclo 2008). Los tratamientos evaluados fueron: SC, SM, SMT y SMP; este último con objeto de evaluar la posibilidad de utilizar el tractor para las labores de cultivo.

El suelo del sitio experimental es de tipo fluvisol eútrico(25), con una profundidad de 0.60 m, 1.2 % de materia orgánica, pH de 6.8 y una pendiente menor al 1%. Al inicio de cada ciclo agrícola (mayo), se efectuó un barbecho a 0.30 m de profundidad utilizando un arado de disco, posteriormente se dieron dos pasos con rastra. Para la formación de las micro-cuencas, se empleó una zanjadora agrícola para canales tipo ZA 51, la profundidad de las micro-cuencas fue a 0.40 m siguiendo las curvas a nivel y a una distancia de 1.60 m entre las crestas de los bordes, equivalente al ancho del tractor.

En los tres años de evaluación, la siembra se realizó durante la primera semana de junio, previo al inicio

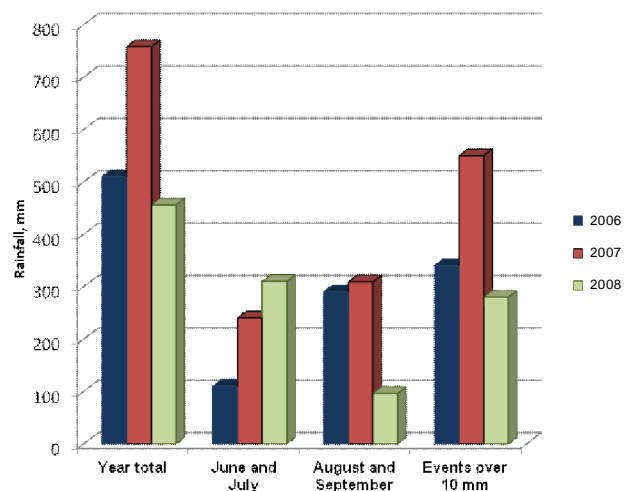
contour lines at 1.60 m distance between crest of ridges, equivalent to tractor width.

In the three assessment years, plantings were performed in the first week of June, before the rainy season began, by hand in 2006, and with a mechanical seeder planter in the following years. Planting density for both maize and beans was seven seeds m^{-1} row. Fertilization was performed 20 to 40 d post planting with a 51-51-51 formula for beans and 180-90-30 for maize. Weeds were controlled by hand at fertilization. Rainfall was recorded daily with a Hellman's type 120 mm pluviometer.

Rainfall distribution during the 3 yr is shown in Figure 1. Total annual rainfall was 517, 758 and 468 mm in 2006, 2007 and 2008, respectively. The average, 581 mm, is close to the regional 10 yr average, 550 mm. Most of rainfall, 77 to 89 %, took place during the growth stage, June – September, but unevenly distributed. For example, in 2006, 72 % fell in August and September during the flowering and grain filling stages, but in 2008 77 % fell in June and July during the initial growth stage. In 2007, rainfall between June and September was more evenly distributed 45 % in June – July

Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial durante el desarrollo de los cultivos (junio a septiembre)

Figure 1. Rainfall distribution in crop growth stage (June - September)



de la temporada de lluvias, el primer año fue en forma manual y en los dos siguientes ciclos en forma mecánica. La densidad de siembra aplicada para maíz y frijol fue de siete semillas m⁻¹ lineal. La fertilización se aplicó entre el día 20 al 40 post-siembra, empleando la fórmula (51-51-51) para el cultivo de frijol y (180-90-30) para el maíz. El control de maleza se realizó manualmente previo a la fertilización de las parcelas. La precipitación pluvial se registró diariamente con el uso de un pluviómetro tipo *Hellman's* de 120 mm.

En la Figura 1 se presenta la distribución de la precipitación pluvial durante los tres años de evaluación. La precipitación registrada fue de 517, 758 y 468 mm para 2006, 2007 y 2008, respectivamente. El promedio (581 mm) fue similar a la media regional (550 mm en los 10 años anteriores). Durante la etapa de crecimiento de los cultivos (junio a septiembre) ocurrió el mayor porcentaje de precipitación (77 al 89 %), pero distribuidas en forma diferente; en 2006 el 72 % de la precipitación ocurrió en agosto y septiembre durante la etapa de floración y llenado de grano del maíz, sin embargo, en 2008 el 77 % de la precipitación ocurrió en junio y julio, durante la etapa inicial de crecimiento. Durante 2007 la distribución de junio a septiembre fue equitativa, 45 y 55 % para los periodos de junio-julio y agosto-septiembre respectivamente. Durante los tres años de evaluación, entre el 70 y 83 % de la precipitación ocurrió en eventos superiores a los 10 mm, lo cual

and 55 % in August – September. In the three year evaluation period, 77 % of rainfall fell in events of more than 10 mm, which favors runoff in a microwatershed system^(21,22).

First year (Spring – Summer 2006)

Yields obtained in this period are shown in Table 1. Maize output in microwatersheds (MW) was 39 and 29 % more ($P<0.05$) for grain and forage, respectively, than in CP. Similar increases were observed between 19 and 36 % in maize grain yield, in a microwatershed cropping system with plastic cover⁽²⁶⁾ in an area with 302 to 340 mm rainfall during the growing season. On the other hand, in a water management system similar to the one described before, with 340 mm rainfall, 36 to 42 % increase in maize grain yield were observed vs conventional planting⁽¹⁹⁾.

The greater effect due to MW was seen in beans, a 40 % yield increase compared to CP. Similar results (23 to 45 % increase) are reported in a microwatershed system with 256 mm rainfall⁽²⁷⁾.

Several factors favored microwatershed cropping systems in 2006. The first was total rainfall, 517 mm, as the best effects due to MW have been reported in 500 mm annual rainfall areas⁽²⁸⁾. A second favorable effect was rainfall distribution, because 77 % fell between June and September (398 mm) and almost three quarters of this fell in

Cuadro 1. Producción de forraje y grano en diferentes cultivos con dos métodos de siembra en el ciclo primavera-verano 2006

Table 1. Forage and grain yield in crops planted with two different systems in the 2006 spring summer planting season

Crop	Planting to harvest PP (mm)	Yield (t ha ⁻¹) ± SD	
		CP	MW
Maize forage (DM)	354	6.94 ± 2.26 ^b	9.57 ± 1.00 ^a
Maize grain	435	3.69 ± 0.54 ^b	4.81 ± 0.28 ^a
Beans grain	244	0.45 ± 0.07 ^b	0.63 ± 0.07 ^a

PP= rainfall; SD= standard deviation; DM= dry matter; CP= conventional planting; MW= micro-watershed system.

^{ab} Different superscripts in the same row indicate differences ($P<0.05$).

es favorable para inducir la escorrentía en un sistema de micro-cuencas^(21,22).

Primer año (ciclo PV 2006)

Los rendimientos obtenidos durante este ciclo se presentan en el Cuadro 1. La siembra en micro-cuencas (SM) incrementó ($P < 0.05$) la producción de maíz en 39 y 29 % para forraje y grano respectivamente; Incrementos similares, en una escala de 19 a 36 % para la producción de grano de maíz, se encontraron con el uso de micro-cuencas con cobertura plástica, en una zona con precipitación de 302 a 340 mm durante el periodo de crecimiento⁽²⁶⁾. Por otro lado, en un sistema similar al anterior y con 340 mm de precipitación, se encontraron incrementos de 36 a 42 % en la producción de maíz grano respecto a la siembra convencional⁽¹⁹⁾.

El mayor efecto observado para la SM fue para el cultivo de frijol, en el cual se encontró un 40 % de incremento en la producción de grano respecto a SC. Resultados similares con incrementos de 23 a 45 % en la producción de frijol se reportaron en un sistema de micro-cuencas con 256 mm de lluvia⁽²⁷⁾.

Durante este ciclo 2006, se presentaron varios factores que favorecieron a los cultivos en las micro-cuencas, uno de ellos fue la cantidad de lluvia registrada durante el año (517 mm); los mejores

August and September, 60 d post emergence, when maize has the greatest moisture requirements⁽²⁹⁾. Added to this, 82 % of rainfall was in events of more than 10 mm, which favors water runoff and catchment in microwatersheds, with positive results on biomass output^(5,6,19). In this assessment period, seven events of more than 20 mm took place, three of which were between 30 and 37 mm. These events favored water catchment in microwatersheds but eroded ridges, causing plant lodging. Besides, excess moisture at the bottom of furrows, caused grain spotting and germination damage in beans.

Second year (Spring – Summer 2007)

Results corresponding to this assessment period are shown in Table 2. No significant differences ($P > 0.05$) in both maize grain and forage yield between MW and CP were found. Likewise, beans output was 33 % less in MW than in CP ($P < 0.05$). Similarly, maize and beans yield was lower in MWT than in CP ($P < 0.05$). However, for a more unbiased comparison between MWT and CP, it was necessary to adjust yield by effective planted area, so real MWT yields were greater than in CP by 38, 46, and 64 % for maize grain and forage and for beans, respectively ($P < 0.05$).

In this cycle, the non significant effect observed in MW relative to CP, most probably is due to the greater rainfall and its better distribution in this period. Rainfall in 2007 was atypical, 758 mm, or

Cuadro 2. Producción de forraje y grano en diferentes cultivos con tres métodos de siembra en el ciclo primavera-verano 2007

Table 2. Forage and grain yield in crops planted with three different systems in the 2007 spring summer planting season

Crop	Planting to harvest PP (mm)	Yield (t ha ⁻¹) ± SD		
		CP	MW	MWT
Maize forage (DM)	686	19.4 ± 2.7 ^a	18.1 ± 2.6 ^a	13.2 ± 1.7 ^b
Maize grain	719	6.0 ± 1.5 ^a	6.1 ± 0.9 ^a	4.4 ± 0.83 ^b
Beans grain	646	0.62 ± 0.7 ^a	0.41 ± 0.4 ^b	0.5 1± 0.6 ^b

PP= rainfall; SD= standard deviation; DM= dry matter; CP= conventional planting; MW= micro-watershed system; MWT= micro watershed planting with topological arrangements.

^{ab} Different superscripts in the same row indicate differences ($P < 0.05$).

efectos de las micro-cuencas se han observado en áreas con precipitación pluvial anual alrededor de 500 mm⁽²⁸⁾. Otro efecto favorable fue la distribución de las lluvias, el 77 % de ellas ocurrieron de junio a septiembre (398 mm) y el 75 % de esta cantidad ocurrió durante el bimestre agosto y septiembre, 60 días después de la emergencia del cultivo, etapa en la cual se presentan las mayores necesidades de agua para el maíz⁽²⁹⁾; por otro lado, el 82 % de la precipitación ocurrió en eventos mayores a 10 mm lo cual propicia el escurrimiento y la cosecha de agua en las micro-cuencas^{21,22}, favoreciendo con ello la producción de biomasa de los cultivos^(5,6,19). Durante este ciclo, ocurrieron siete eventos de precipitación mayores a 20 mm, tres de los cuales fueron de 30 a 37 mm. Estos eventos favorecieron la concentración de la lluvia al fondo de las micro-cuencas; sin embargo, erosionaron el borde o cresta, ocasionando el acame del maíz sembrado en este lugar. Por otro lado, el exceso de humedad en el fondo de las micro-cuencas, ocasionó daño de manchado y germinación del grano en frijol.

Segundo año (ciclo PV 2007)

Los rendimientos se presentan en el Cuadro 2. La SM no incrementó la producción de grano y forraje de maíz respecto a la SC ($P > 0.05$). Por el contrario, la producción de grano de frijol resultó menor en 33 % comparada a la producción en SC ($P < 0.05$). De la misma forma, con el tratamiento SMT se encontró menor producción de maíz y frijol respecto a SC ($P < 0.05$). Sin embargo, para una comparación más equitativa entre SMT y SC, fue necesario ajustar la producción por área sembrada, de esta forma, los rendimientos en SMT resultaron superiores ($P < 0.05$) a SC en 38, 46 y 64 % para forraje y grano de maíz y para grano de frijol respectivamente.

Durante este ciclo, el efecto no significativo observado para SM en relación a SC, probablemente está relacionado con la mayor cantidad de lluvia y su mejor distribución. Este año, la precipitación pluvial fue atípica, con 758 mm anuales, 38 % superior a la media de la localidad en 10 años; el 89 % ocurrió durante el periodo de junio a

38 % over the 10 yr average. Of this quantity, 89 % fell between June and September during the maize growing period (Figure 1). This amount falls within the range needed for good maize growth and development⁽³⁰⁾. However, with an increase in rainfall, microwatershed effects tend to diminish⁽¹⁹⁾. This effect was observed in maize, when artificial rain was increased from 230 to 440 mm, increase in maize yield dropped from 83 to 11 % relative to control and no statistically significant differences were found⁽¹⁹⁾. Another unfavorable factor for MW was the seven rainfall events of more than 20 mm, five of which were of more than 30 mm d⁻¹. The same as in the previous year, this eroded ridges, causing lodging of maize planted at their crest. On the other hand, excess moisture at the bottom of the furrows, can produce stress in plants by reducing soil aeration⁽²⁰⁾. This last effect was observed in beans that suffered grain spotting and presented germinated grains in pods, and 40 to 80 % plant mortality, too, resulting in lower yield.

Lodging in maize and grain spotting in beans was avoided in the MWT treatment, and greater yield ($P < 0.05$) was obtained, proportionately to effective planted area, relative to both CP and MW. Favorable effects due to intercropping or topological arrangements have been mentioned by other authors⁽³¹⁻³⁴⁾, who attribute this effect to a better use of resources (radiation, photosynthesis, nutrients and soil moisture, among others), relative to sole crop planting.

In this period, the eight rainfall events of more than 20 mm, eroded microwatershed ridges, but favored runoff to area planted to maize in MWT, increasing the amount of moisture available to plants relative to CP. In addition, row spacing in MWT, allows for a better yield per furrow, as observed in a maize-soybeans strip intercropping pattern, where maize yields were 20 to 27 % higher than planted as sole crop⁽³⁵⁾. In another study⁽³⁶⁾, maize strip planted in 1 and 2 rows, interspaced by 1 and 2 soybeans rows, yielded 35 % more than in conventional planting. Other authors⁽³²⁾ mentioned advantages in beans planted in association to maize relative to ensuring bean yield.

septiembre en la etapa de crecimiento para el cultivo de maíz (Figura 1), esta cantidad de precipitación se encuentra en el rango de las necesidades del maíz para un buen desarrollo⁽³⁰⁾; sin embargo, con el incremento en la precipitación, el efecto favorable de las micro-cuencas tiende a diluirse⁽¹⁹⁾. Este efecto fue observado en maíz, al aumentar la lluvia artificial de 230 a 440 mm, el incremento en el rendimiento de maíz en micro-cuencas se redujo de 83 a 11 % respecto al testigo y no se encontraron diferencias estadísticas con la mayor precipitación⁽¹⁹⁾. Otro evento desfavorable para la SM fueron los ocho eventos de precipitación mayores a 20 mm, cinco de los cuales fueron mayores de 30 mm día⁻¹; nuevamente estos eventos favorecieron la erosión de los bordes o crestas de las micro-cuencas, ocasionando "acame" del maíz sembrado en este lugar afectando su rendimiento. Por otro lado, el exceso de humedad en el fondo de las micro-cuencas, puede ocasionar estrés en las plantas al reducir la aireación del suelo⁽²⁰⁾; este efecto fue observado en el frijol sembrado en ese lugar para SM, los daños observados fueron manchado y germinación del grano en la vaina, así como la muerte del 40 al 80 % de las plantas, que dio como resultado una menor producción del cultivo en SM.

Con el tratamiento SMT, se lograron evitar los problemas de acame de maíz y manchado de la semilla de frijol observados en SM, obteniendo un mayor rendimiento ($P < 0.05$) en forma proporcional

Third year (Spring – Summer 2008)

Results for this period are shown in Table 3. In MWP yield was 18 and 20 % higher than in CP for maize forage and grain, respectively ($P < 0.05$). In MWT, when yield was adjusted to effective planted area, yield was 34 and 30 % more for maize forage and grain, respectively, than in CP ($P < 0.05$), while MW showed no differences with CP ($P > 0.05$). In beans, rust (*Uromyces phaseoli*) caused considerable damage in all treatments, so this crop was not taken into account.

In this cycle, rainfall total and distribution between June and September were 397 mm of which 77 % took place in June and July, in the initial growth stage (Figure 1). In these two months, 70 % of events were of more than 10 mm, favorable for stocking rainfall at bottom of furrows due to runoff^(16,17). However, as in the previous years, ridge erosion took place, and plant lodging resulted in MW, negatively influencing results, which could be the cause of its non significant yield difference with CP.

In the next two months (August and September), rainfall was merely 90 mm and only two events exceeded 10 mm, limiting moisture accumulation in furrow bottom^(21,22). However, it is possible that residual moisture from the previous months was available, thus explaining the greater yield found in maize grain and forage in both MWP and MWT. In MWP no plant lodging was observed and so

Cuadro 3. Producción de forraje y grano en diferentes cultivos con dos métodos de siembra en el ciclo primavera-verano 2008

Table 3. Forage and grain yield in crops planted with two different systems in the 2008 spring summer planting season

Crop	Planting to harvest		Yield (t ha ⁻¹) ± SD		
	PP (mm)	CP	MW	MWT	MWP
Maize forage (DM)	385	11.6 ± 2.1 ^b	12.2 ± 1.2 ^b	7.5 ± 0.7 ^c	13.9 ± 2.4 ^a
Maize grain	460	3.9 ± 0.6 ^b	4.1 ± 0.4 ^b	2.4 ± 0.3 ^c	5.1 ± 0.3 ^a

PP= rainfall; SD= standard deviation; DM= dry matter; CP= conventional planting; MW= micro watershed system; MWT= micro watershed planting with topological arrangements; MWP= micro watershed planting placing rows at middle of furrow slope .

^{ab} Different superscripts in the same row indicate differences ($P < 0.05$).

a la superficie sembrada con respecto a SC y SM. Los efectos favorables en los rendimientos con la inter-siembra de cultivos o arreglos topológicos han sido reportados por varios investigadores⁽³¹⁻³⁴⁾, los cuales atribuyen los efectos a un mejor uso de los recursos ambientales (radiación fotosintética, nutrientes y humedad del suelo entre otros) en relación a un monocultivo.

Durante este ciclo, los ocho eventos de precipitación registrados con más de 20 mm, provocaron la erosión del borde de la micro-cuenca, sin embargo, favorecieron el escurrimiento al área sembrada del maíz en SMT, mejorando con ello la humedad disponible para el maíz sembrado en este lugar respecto a SC. Aunado a esto, la separación de las hierbas de maíz a 1.6 m en SMT, permite una mayor producción por surco; esto fue observado en una inter-siembra soja/maíz, donde los surcos de maíz colindantes con soja rindieron 20 a 27 % más que el tratamiento en monocultivo⁽³⁵⁾. En otro estudio, la siembra en franjas de maíz con 1 y 2 surcos, separados por 1 y 2 surcos de soya, se encontró un incremento de 35 % en la producción relativa de maíz respecto a la siembra convencional⁽³⁶⁾. Otros investigadores⁽³²⁾ han reportado las ventajas de la asociación maíz-frijol como una manera de asegurar la producción de la leguminosa.

Tercer año (ciclo PV 2008)

Los rendimientos obtenidos se presentan en el Cuadro 3. En SMP la producción de maíz se incrementó en 18 y 27 % para forraje y grano respectivamente con relación a SC ($P < 0.05$). En SMT cuando el rendimiento se ajustó por superficie sembrada, la producción fue superior a SC en 34 y 30 % para forraje y grano, respectivamente ($P < 0.05$). En SM el rendimiento de maíz grano y forraje no fue diferente a SC ($P > 0.05$). En relación al cultivo de frijol, durante este ciclo ocurrió la presencia de roya o chahuixtle (*Uromyces phaseoli*) que causó daños considerables en los diferentes tratamientos, por lo cual, el rendimiento de este cultivo no fue considerado en la evaluación.

Durante este ciclo, la cantidad y distribución de lluvia ocurrida de junio a septiembre fue de 397 mm, el 77 % se distribuyó en junio y julio, durante

mechanical tillage was possible, a plain advantage over MW.

In conclusion, use of "W" microwatersheds is an option that allows increase in output crops, and a positive response is related to the planting method. Maize-beans topological arrangements cause greater yield in both crops, when adjusted to effective planted area.

Beans planted at furrow bottom in microwatersheds suffer damage in both plant and pods due to excess moisture. Maize planted in ridge crest presented lodging, but when planted at furrow slope overcame this problem, increasing yield and permitting mechanical hoeing and spraying of agrichemicals.

End of english version

la etapa inicial de crecimiento (Figura 1). Durante estos dos meses, el 70 % de la cantidad de lluvia se presentó en 12 eventos > 10 mm; que resultaron favorables para la concentración de la lluvia al fondo de las micro-cuencas por efecto de la escorrentía^(16,17). Sin embargo, también ocasionaron erosión en el borde o cresta de las micro-cuencas y el acame del maíz sembrado en este lugar para SM afectando su rendimiento, esto podría estar relacionado con el efecto no significativo en la producción para SM en relación a SC.

Durante el segundo bimestre (agosto-septiembre), sólo se registraron 90 mm de precipitación y sólo dos eventos superaron los 10 mm, limitando la concentración de humedad al fondo de las micro-cuencas^(21,22). Sin embargo, es probable que la humedad residual en las micro-cuencas permaneciera por mayor tiempo, dando como resultado los mayores rendimientos observados en maíz grano y forraje en SMT y SMP. En el SMP no se observó el acame del maíz y fue posible utilizar el tractor para las labores de cultivo, lo cual constituye una ventaja respecto a SM.

Se concluye que el uso de micro-cuencas tipo "W" es una opción que permite incrementar la producción

de los cultivos, su respuesta favorable está relacionada con el método de siembra en las micro-cuencas. El método de siembra en arreglos topológicos maíz-frijol en micro-cuencas permite una mayor producción de ambos cultivos cuando se ajusta por el área sembrada.

La siembra de frijol en el fondo de las micro-cuencas presenta daños en la planta y su vaina por exceso de humedad. La siembra de maíz en el borde o cresta de las micro-cuencas presentó problemas de acame. La siembra de maíz en micro-cuencas colocando una hilera sobre cada pendiente o área de escurrimiento, permite mejorar la producción, evita el acame observado en SM y adicionalmente es posible el uso de maquinaria para la escarda y aplicación de agroquímicos.

LITERATURA CITADA

- CEFP/054/2004. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. H. Cámara de Diputados. LX Legislatura Febrero de 2004. [en línea] <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0542004.pdf>. Consultado Jun 15, 2011.
- CEFP/004/2007. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. H. Cámara de Diputados. LX Legislatura Febrero de 2007. [en línea] <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0042007.pdf>. Consultado Jun 15, 2011.
- Miramontes PCU. Situación actual y perspectivas del maíz en México. 1996-2012. Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. México, D.F. [en línea]. http://w4.siap.gob.mx/sispro/SP_AG/Maiz/PortalesFijos/Situacion/maiz96-12.pdf. Consultado Jun 15, 2011.
- Yang H, Dobermann A, Cassman K G, Walters T D. Features, applications, and limitations of the hybrid-maize simulation mode. *Agron J* 2006;98:737-748.
- Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodriguez ML, Ricardo CP, Osorio ML, Carvalho I, *et al.* ¿How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Ann Botany* 2002;89:907-916.
- Ghannoum O. C4 photosynthesis and water stress. *Ann Botany* 2009;103(4):635-644.
- Huang Y, Chen L, Fu B, Huang Z, Gong J. The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: Straw mulch and irrigation effects. *Agric Water Manage* 2005;72(3):209-222.
- McHugh VO, Steenhuis ST, Abebe B, Fernandes CME. Performance of *in situ* rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands. *Soil & Tillage Res* 2007;(2007):19-36.
- Motsi KE, Chuma E, Mukamuri B. Rainwater harvesting for sustainable agriculture in communal lands of Zimbabwe. *Phys Chem Earth* 2004;29(15-18):1069-1073.
- Mupangwa W, Love D, Twomlow S. Soil-water conservation and rainwater harvesting strategies in the semi-arid Mzingwane Catchment, Limpopo Basin, Zimbabwe. *Phys Chem Earth* 2006;Parts A/B/C;31(15-16):893-900.
- Abu-Awwad AM. Effects of sand column, furrow and supplemental irrigation on agricultural production in an arid environment. *Irrigation Sci* 1999;18:191-197.
- Boers TM, Ben-Asher J. A review of rainwater harvesting. *Agric Water Manage* 1982;5:145-158.
- Boers TM, Zondervan J, Ben-Asher J. Micro-catchmentwater harvesting (MCWH) for arid zone development. *Agric Water Manage* 1986;12:21-39.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Experiencias en América Latina; serie: zonas áridas y semiáridas no 13. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>. Consultado Ene 15, 2011.
- Pizarro R, Novoa P. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque* 2008; 29(2):136-145. [en línea] <http://www.revistabosque.equipu.cl/index.php/revistabosque/article/view/art06>. Consultado Ene 15, 2011.
- Li XL, Su DR, Yuan QH. Ridge-furrow planting of alfalfa (*Medicago sativa* L.) for improved rainwater harvest in rainfed semiarid areas in Northwest China. *Soil Tillage Res* 2007;93:117-125.
- Tian Y, Su D, Li F, Li X. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas. *Field Crops Res* 2003;84(3):385-391.
- Li X.-Y, Gong J-D, Gao Q-Z, Li F-R. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions. *Agric Water Manage* 2001;50(3,20):173-183.
- Xiaolong R, Zhikuan J, Xiaoli C, Qingfang H, Rong, L. Effects of a rainwater-harvesting furrow/ridge system on spring corn productivity under simulated rainfalls. *Acta Ecol Sinica* 2008;28(3):1006-1015.
- Zougmore R, Guillobez S, Kambou NF, Son G, Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone. *Soil Tillage Res* 2000;56(3-4):175-183.
- Li X-Y, Gong J-D. Compacted microcatchments with local earth materials for rainwater harvesting in the semiarid region of China. *J Hydrol* 2002;257(1-4):134-144.
- Wang Y, Xie Z, Malhi, SS, Vera CL, Zhang, Y, Wang J. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China. *Agric Water Manage* 2009;96(3):374-382.
- CEA 2008. Comisión estatal de agua. [en línea] <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/qro/NORMAL22029.TXT>. Consultado Ene 15, 2011.
- SAS. User Guide. Statistical Analysis System Inc., Carry, NC. Version 9.01. 2006.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1998. World reference base for soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. [en línea] <http://edafologia.ugr.es/carto/tema02/faowrbcl.htm>. Accessed Ene 15, 2011.
- Liu Y, Li S, Chen F, Yang S, Chen X. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China. *Agric Water Manage* 2010;97:769-775.

27. Adekalu OK, Balogun AJ, Aluko BO, Okunade AD, Gowing WJ, Faborode O M. Runoff water harvesting for dry spell mitigation for cowpea in the savannah belt of Nigeria. *Agric Water Manage* 2009;96(11):1502-1508.
28. Hernández J. Captación del agua de lluvia para fines agrícolas en áreas de temporal. Patuach Dpto. de zonas áridas U.A.CH. Chapingo, México. 1981; Boletín Técnico no. 2.
29. Ojeda BW, Sifuentes IE, Unland WH. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia* 2006;40:13-25.
30. Doorenbos J, Pruitt WO. Las necesidades de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje. Roma. 1977; FAO N° 24.
31. Caviglia OP, Sadras VO, Andrade H F. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops Res* 2004;87:117-129.
32. Gebeyehu S, Simane B, Kirkby R. Genotype × cropping system interaction in climbing beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown as sole crop and in association with maize (*Zea mays* L.). *Eur J Agron* 2006;24(4):396-403.
33. Zhang L, van-der W, Zhang S, Li B, Spiertz JHJ. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Res* 2007;103(3):178-188.
34. West TD, Griffith RD. Effect of strip-intercropping corn and soybean on yield and profit. *J Prod Agric* 1992;5:107-110.
35. Ouda SA, El Mesiry T, Abdallah EF, Gaballah MS. Effect of water stress on the yield of soybean and maize grown under different Intercropping patterns. *Aust J Basic Appl Sci* 2007;1(4):578-585,
36. Cantú I, Salinas GE. Influencia del microambiente sobre el comportamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en seis arreglos topológicos de asociación con maíz (*Zea mays* L.). *Revista Fitotecnia* 1985;7:33-48.