



## IMPACTO DE LA PENDIENTE Y TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOBRE EL ESCURRIMIENTO, LA EROSIÓN Y EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

[IMPACT OF THE SLOPE AND THREE PRODUCTION SYSTEMS ON RUN OFF, EROSION AND CORN YIELD]

Bernardo Villar Sánchez<sup>1</sup>, Oscar Hugo Tosquy Valle<sup>2</sup>, Ernesto López Salinas<sup>2</sup>, Valentín A. Esqueda Esquivel<sup>2\*</sup> and Gabriela Palacios Pola<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Campo Experimental Centro de Chiapas. CIRPAS. INIFAP. Km 3.0 Carr. Ocozocoautla-Cintalapa. C. P. 29140, Ocozocoautla, Chis., México.*

<sup>2</sup>*Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. Km 34 Carr. Veracruz-Córdoba. Apdo. Postal 429, 91700, Veracruz, Ver., México. E-mail: esqueda.valentin@inifap.gob.mx*

<sup>3</sup>*Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Carr. Panamericana Km 1080. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México.*

*\*Corresponding author*

### RESUMEN

En 2001 se realizó un trabajo de investigación en el municipio de Suchiapa, Chis., México, con objeto de diagnosticar el nivel de fertilidad de suelos de ladera en seis estratos formados por tres rangos de pendiente y dos sistemas de manejo, así como evaluar el impacto de la pendiente y tres sistemas de producción, sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. El modelo EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculador) fue alimentado con la información obtenida del análisis de suelos, datos climáticos y de manejo del suelo y del cultivo de maíz, para realizar simulaciones para nueve escenarios formados por tres rangos de pendiente (<5, 5-15 y >15%) y tres tipos de uso del suelo (siembra de maíz, siembra de maíz intercalado con barreras vivas de timbre en curvas a nivel y siembra comercial de timbre), para estimar su impacto sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. Hubo diferencias significativas en la pendiente y uso de suelo en todas las características del suelo evaluadas, pero en la interacción de ambos factores, sólo se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la capacidad de intercambio catiónico, y el carbono orgánico. En la evaluación del efecto de la pendiente y sistemas de producción, sólo se detectó significancia ( $P \leq 0.01$ ) en el factor uso del suelo, en las variables escurrimiento y erosión.

**Palabras clave:** Suelos; erosión; escurrimiento; maíz; timbre.

### SUMMARY

In 2001 a research work was carried out in Suchiapa, Chis., Mexico, in order to diagnose the level of fertility of hillside soils, in six strata formed by three slope ranges and two management systems, as well as to evaluate the impact of the slope and three production systems on soil runoff and erosion, and corn yield. The model EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator) was fed with information obtained from soils analyses, climate, soil management the corn crop data, to perform simulations for nine scenarios formed by three ranges of slope (<5, 5-15 and >5%) and three types of land use (corn planting, corn planting intercropped with contour hedgerows of prairie acacia and commercial planting of prairie acacia), to estimate their impact on runoff, erosion and corn yield. There were significant differences in the slope and land use factors in all soil characteristics evaluated, but in the interaction of both factors, only significant differences ( $P \leq 0.01$ ) in the cation exchange capacity and the organic carbon were detected. In the evaluation of the effect of slope and production systems, significance ( $P \leq 0.01$ ) was only detected in the land use factor, in the runoff and erosion variables.

**Key words:** Soils; erosion; runoff; corn; prairie acacia.

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Chiapas, la erosión hídrica es un problema muy importante, ya que bajo las condiciones actuales de manejo puede alcanzar tasas de pérdida de suelo agrícola de hasta  $80 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en condiciones de laderas y se presenta a tasas cada vez más altas; es resultado de la acción conjunta de factores físico-naturales, técnicos y socioeconómicos y sus efectos se reflejan en la pérdida de la productividad del suelo, y por ende del rendimiento de los cultivos, afectando así la calidad de vida de los habitantes (Villar, 2003; López *et al.*, 2007; López y Magdaleno, 2009). El efecto de este problema ha sido cuantificado y los resultados indican que en maíz sembrado en laderas, se reduce el rendimiento en un 70% por una erosión acumulada de 250 t en seis años (Villar, 2001). Asimismo, estos problemas causan otros efectos fuera de sitio como daños a la infraestructura carretera por azolvamiento, contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos, principalmente nitratos y fosfatos e inundaciones, que incluso han causado pérdida de vidas humanas por la magnitud y frecuencia en que se presentan (López *et al.*, 2007).

Se estima que más de 36% de la superficie agrícola de Chiapas, está afectada por diferentes grados de erosión, cuya magnitud es mayor en las zonas centro y norte de la entidad (Santacruz, 2011). En el estado se han reportado tasas de erosión de más de  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en las áreas potenciales para maíz de muy buena y buena productividad, mientras que para las laderas, las tasas de erosión anual llegan hasta  $80 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Villar *et al.*, 2005). Además, el contenido de materia orgánica y cationes básicos del suelo también se han reducido, presentándose generalmente niveles inferiores al 1% de materia orgánica y menores de 50 meq 100 g de suelo<sup>-1</sup> de la CIC, así como deficiencias severas de nitrógeno y otros nutrimentos.

Ante esta situación, el disponer de información confiable y oportuna sobre el estado que guardan los recursos naturales, en cuanto a potencialidades y limitaciones, es un prerrequisito para el uso correcto y racional de los mismos, mediante una planeación ordenada (Serrano y Cano, 2007). Etchevers *et al.* (1986) y Etchevers (1999) mencionan que la evaluación de la fertilidad de los suelos y la generación de recomendaciones técnicas son posibles gracias a la utilización de herramientas analíticas químicas, que sirven para medir concentraciones nutrimentales en el suelo, para lo cual Castellanos *et al.* (2000) propusieron estándares para la interpretación de los resultados de laboratorio. Asimismo, es necesario destacar que se requiere el planteamiento de nuevas alternativas de producción y conservación, viables de implementar y que aseguren

una producción rentable y sostenida en el campo mexicano. En este sentido, se han generado varias alternativas tecnológicas de producción y conservación (Machado y Silva, 2001; Uribe *et al.*, 2002; Francisco *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2005; Serrano y Cano, 2007; Camas *et al.*, 2012) y algunas propuestas para su aplicación ordenada con apoyo de modelos de simulación (Villar, 2003; Villar-Sánchez *et al.*, 2011).

En la zona centro de Chiapas predominan suelos del orden de los Litosoles (INEGI, 1998), derivados de rocas calizas, cuyas características propias, y muchas veces por su posición fisiográfica, se clasifican como no aptos para la agricultura; no obstante, se utilizan principalmente para la siembra de maíz (*Zea mays*), sin mediar ninguna práctica de conservación. Por otra parte, algunos trabajos de investigación que se han realizado en el país, indican la potencialidad de algunas especies forestales para uso industrial, como el mezquite (*Prosopis* spp.) y el árbol del timbre (*Acacia angustissima*) (Reyes-Reyes *et al.*, 2003; Rincón-Rosales *et al.*, 2003), que podrían formar parte de un sistema agroforestal con maíz como alternativa de producción para este tipo de suelos.

En la zona central del estado de Chiapas, el árbol de timbre se utiliza principalmente para curtir pieles de ganado, y con fines medicinales. Esta leguminosa fija nitrógeno atmosférico en simbiosis con bacterias como *Sinorhizobium mexicanum*, por lo que puede ser utilizada en la regeneración de suelos erosionados, y tiene potencial como planta forrajera (Rincón-Rosales *et al.*, 2003; Rincón-Rosales y Gutiérrez-Miceli, 2008).

Los objetivos de este trabajo fueron: diagnosticar el grado de fertilidad de suelos de ladera de la zona centro del estado de Chiapas y determinar el impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó durante el año 2001, en el ejido Carrillo Puerto, municipio de Suchiapa, Chiapas, localizado entre los  $16^{\circ} 64'$  y  $16^{\circ} 66'$  de latitud norte y  $93^{\circ} 04'$  y  $93^{\circ} 07'$  de longitud oeste, a una altitud de entre 755 y 789 metros sobre el nivel del mar. Tiene una área aproximada de 2,000 ha, de las cuales, de acuerdo a la clasificación fisiográfica propuesta por Pérez (1990), el 55% se ubica en pendientes menores al 5%, un 30% en pendientes de entre 5 y 15% y el resto del área tiene pendientes mayores al 15%. Su clima es cálido subhúmedo  $AW''_1(w)(i)g$  con lluvias en verano, una temperatura

promedio anual de 24.4°C y una precipitación promedio anual de 956 mm, distribuida de mayo a octubre (García, 1987).

Los suelos predominantes son derivados de rocas calizas de la era Cenozoica, y se clasifican como Rendzinas en asociación con Litosoles en fase lítica, muy delgados, con 38% de arcilla, entre 0.3 y 4.9% de materia orgánica y 2.7 ppm de fósforo (INEGI, 1998). Asimismo la vegetación es de selva baja caducifolia con especies como *A. angustissima*, *Byrsonima crassifolia*, *Swietenia macrophylla* y *A. conspicua*.

### Estudio específico para el diagnóstico de suelos

Para caracterizar el nivel de fertilidad de los suelos del área de estudio, se realizó un muestreo estratificado en función de los factores: pendiente (menos de 5%, entre 5 y 15% y más de 15%) y uso del suelo (cultivo tradicional de maíz criollo y vegetación natural de árboles de timbre), lo que da un total seis diferentes estratos. La selección de los sitios para el muestreo de suelos se realizó con base en su representatividad del área de estudio con fines de diagnóstico. En cada estrato se tomaron tres muestras compuestas de suelo de 1 kg cada una, elegidas al azar, lo que dio un total de 18 muestras.

El muestreo de suelos en cada sitio para uso de vegetación natural se realizó bajo la sombra de tres árboles nativos de timbre seleccionados al azar; en cada árbol se tomaron submuestras de suelo en cuatro direcciones perpendiculares a las distancias de 0.5 m y 1 m a partir del tallo del árbol. De las ocho submuestras así obtenidas, se integró una muestra compuesta por cada árbol, para dar un total de nueve muestras por los tres sitios experimentales. Así mismo, el muestreo de suelos en cada sitio de uso agrícola, tuvo lugar en una parcela que ha sido cultivada con maíz durante 15 años. Se tomaron tres muestras de suelo al azar por cada sitio experimental, para completar un total de nueve muestras. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde fueron secadas a temperatura ambiente durante un mínimo de 24 h y luego tamizadas para conservarlas hasta su análisis respectivo. El muestreo de suelos se realizó en abril de 2001, a una profundidad de 0 a 30 cm, considerando que en general los suelos son muy someros.

En las muestras de suelo se determinó: pH en agua, con una dilución 1:2.5, (Kalembasa y Jenkinson, 1973); carbono total, carbono orgánico, mediante la diferencia del carbono total y el carbono inorgánico (Jenkinson y Powelson, 1976); textura por el método

de Bouyoucos (Primo-Yúfera y Carrasco, 1980). En este trabajo sólo se utilizó el porcentaje de arena, debido a que los suelos del área de estudio son de textura gruesa, y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de acetato de amonio 1 N (Aguilar-Noh, 1987). Los datos de las variables de suelo consideradas se analizaron en diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, con arreglo de tratamientos en factorial completo 3 x 2 (tres rangos de pendiente y dos usos de suelo). En los casos en que se detectó significancia, para la separación de promedios se aplicó la prueba de Tukey al 0.05.

### Evaluación del impacto de la pendiente y tres sistemas de uso del suelo sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz

Para determinar el impacto de la pendiente y el uso del suelo sobre el escurrimiento, la erosión hídrica y el rendimiento de maíz, se consideraron nueve escenarios, conformados por los mismos rangos de pendiente de suelo y tres sistemas de uso de suelo: 1. Sistema tradicional de maíz, en surcos separados a 90 cm y matas con dos plantas cada 60 cm, lo que da una densidad de 37,000 plantas ha<sup>-1</sup>, 2. Siembra de maíz en hileras, intercalado con barreras vivas en curvas a nivel, utilizando el árbol de timbre; en este sistema el maíz se sembró bajo el mismo arreglo que el sistema anterior, y las barreras vivas con árboles de timbre sembrados a una distancia entre árboles de 1 m (1,000 árboles ha<sup>-1</sup>) tuvieron un distanciamiento de aproximadamente 10 m, y 3. Cultivo comercial de timbre establecido a marco real 4 m x 4 m, lo que da una densidad de 625 árboles ha<sup>-1</sup>.

Con el modelo dinámico de simulación EPIC (Sharpley y Williams, 1990), previamente calibrado en el área tropical por Villar *et al.* (1998), se estimó el escurrimiento superficial (mm), la erosión hídrica (t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y el rendimiento de maíz (kg ha<sup>-1</sup>), tomando como base datos de suelo obtenidos de las determinaciones físico-químicas de los análisis realizados en el laboratorio y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), datos de clima, obtenidos de la estación El Boquerón, localizada en la localidad de Suchiapa a corta distancia del área de estudio, así como de manejo agrícola (variedad usada, fertilización, control de malezas y plagas y cosecha), obtenidos de una encuesta exploratoria aplicada a los productores del área de estudio.

Los datos de escurrimiento, erosión y rendimiento de maíz obtenidos mediante las simulaciones, se analizaron en diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo de tratamientos en factorial completo regular 3 x 3

(tres pendientes y tres usos del suelo). En los casos en que se detectó significancia, para la separación de promedios también se aplicó la prueba de Tukey al 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio específico para el diagnóstico de suelos

Los resultados del análisis de varianza realizado a los datos obtenidos de los análisis de suelo indicaron que en los factores pendiente y uso de suelo se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en las medias de todas las características físico-químicas del suelo evaluadas: CIC (meq 100 g de suelo<sup>-1</sup>), pH C total (mg kg<sup>-1</sup>), C orgánico (mg kg<sup>-1</sup>) y arena (%). Sin embargo, en la acción conjunta de ambos factores, sólo se detectó efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y en el carbono orgánico, lo que indica que estas características relacionadas con la fertilidad del suelo, presentaron valores estadísticamente diferentes, dependiendo de la pendiente y el uso del suelo.

En la Tabla 1 se observa que la CIC y el pH del suelo fueron significativamente superiores en la pendiente menor a 5% y mayor a 15%, con respecto al rango de pendiente intermedio. Lo anterior se atribuye a que en pendientes intermedias, por un uso agrícola mayor del suelo, hay un mayor uso de fertilizantes químicos nitrogenados, principalmente amoniacales, que por su efecto residual ácido disminuyen el pH y afectan la CIC, en comparación con suelos de laderas y planos (Zetina *et al.*, 2002; Campo-Alves, 2003).

En suelo con pendiente menor al 5%, el contenido de carbono total y orgánico fue estadísticamente similar al obtenido en suelo con pendiente de entre 5 y 15%, y superior al del suelo con la mayor pendiente. Este comportamiento se debe a que el carbono está relacionado con el contenido de la materia orgánica, por lo que al disminuir ésta por una mayor pendiente, el carbono también disminuye (Campo-Alves, 2003). Por el contrario, el contenido de arena fue significativamente superior en suelo con pendiente

mayor a 15%, con respecto a los otros dos rangos de pendiente, lo cual se atribuye a que cuando la pendiente es mayor, el suelo es más delgado, más arenoso y por lo tanto, es menos fértil (Tabla 1).

En cuanto al uso del suelo en la Tabla 2, se observa que todas las características físico-químicas evaluadas, excepto el pH del suelo presentaron valores significativamente superiores con vegetación de timbre, con respecto al sistema tradicional de siembra de maíz, lo cual puede explicarse, a que en el último sistema, el suelo pierde su fertilidad, debido a que el maíz es un cultivo muy esquilante de nutrientes, los cuales no son repuestos al suelo, mientras que con el sistema de vegetación de timbre, éstos son repuestos de manera natural; resultados similares han sido reportados por Uribe *et al.* (2002) y Campo-Alves (2003).

En la Tabla 3 se muestra que en promedio, en el sistema con árboles de timbre, la CIC fue estadísticamente mayor en los rangos de las pendientes extremas, que en el de la pendiente intermedia, en tanto que en el sistema tradicional de maíz, ésta fue mayor sólo en pendiente superior al 15%. Esto último se debe, a que bajo esta condición, hay un menor uso del suelo con fines agrícolas que favorece menores tasas extracción y lixiviación de nutrientes, que se reflejan en mayores valores de este parámetro (CIC = 49 meq 100 g de suelo<sup>-1</sup>). Por su parte, el carbono orgánico en el sistema timbre disminuyó a medida que la pendiente del terreno fue mayor, lo que obedece en gran parte, a que en pendientes mayores, hay una menor cobertura vegetal, que favorece mayores pérdidas de materia orgánica, y por ende de carbono orgánico por escurrimiento y erosión del suelo (Villar, 2003; Francisco *et al.*, 2005). Sin embargo, en el sistema tradicional de maíz, al ser una especie que produce menor cantidad de biomasa y cobertura de suelo, los valores de carbono orgánico obtenidos fueron estadísticamente similares en los tres rangos de pendiente.

Tabla 1. Efecto de la pendiente sobre algunas propiedades físico-químicas del suelo.

Características del suelo	Rangos de pendiente del suelo (%)		
	<5	5-15	>15
CIC (meq 100 g de suelo <sup>-1</sup> )	47 a	43 b	50 a
pH	7.54 a	7.15 b	7.46 ab
C total (mg kg <sup>-1</sup> )	74,070 a	63,752 ab	50,072 b
C orgánico (mg kg <sup>-1</sup> )	70,086 a	62,407 ab	45,848 b
Arena (%)	70.8 b	68.0 b	88.5 a

Cifras con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales entre los diferentes niveles de pendiente (Tukey, 0.05).

Tabla 2. Efecto del uso del suelo sobre algunas propiedades físico-químicas del suelo.

Características del suelo	Uso del suelo	
	Vegetación de timbre	Cultivo tradicional de maíz
CIC (meq 100 g de suelo <sup>-1</sup> )	50.252 a	44.030 b
pH	7.27 a	7.49 a
C total (mg kg <sup>-1</sup> )	78,488 a	46,774 b
C orgánico (mg kg <sup>-1</sup> )	75,960 a	42,934 b
Arena (%)	79 a	72 b

Cifras con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales entre los diferentes usos del suelo (Tukey, 0.05).

Tabla 3. Efecto de la acción conjunta pendiente por uso de suelo en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el carbono orgánico.

Pendiente (%)	Uso del suelo	CIC (meq 100 g de suelo <sup>-1</sup> )	Carbono orgánico (mg kg <sup>-1</sup> )
<5	Timbre	54.55 a	98,794 a
5-15	Timbre	45.85 bc	79,379 ab
>15	Timbre	50.36 ab	49,705 bc
<5	Maíz	41.05 c	41,377 c
5-15	Maíz	41.25 c	45,434 c
>15	Maíz	49.79 ab	41,991 c

Cifras con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

### Evaluación del impacto de tres sistemas de uso del suelo y tres pendientes sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz

De acuerdo a los resultados de los análisis de varianza realizados a los datos de erosión, escurrimiento y rendimiento de maíz, obtenidos de las simulaciones con el modelo EPIC, sólo se detectó significancia ( $P \leq 0.01$ ) en el factor uso del suelo, en las variables escurrimiento y erosión. El efecto no significativo detectado en la otra fuente de variación, indicó que el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz no fueron afectados por la pendiente, y que en estas tres variables, es independiente el efecto del uso del suelo al de la pendiente.

Con respecto al uso del suelo, en el sistema tradicional de maíz, el escurrimiento fue significativamente mayor, que en los otros dos sistemas de producción, debido principalmente a que con este sistema se proporciona una menor cobertura vegetal, para proteger el suelo de la erosión hídrica. Con el establecimiento de timbre solo, el escurrimiento prácticamente se controló. La erosión del suelo presentó la misma tendencia que la variable anterior, ya que con la siembra de maíz solo, se tuvo una tasa significativamente más alta de pérdida de suelo, que en los sistemas de maíz intercalado con timbre y timbre solo (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto del uso del suelo sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz obtenidos con la simulación del modelo EPIC.

Variable	Uso del suelo		
	Maíz	Maíz + timbre	Timbre
Escurrecimiento (mm)	217.81 a	53.94 b	19.93 c
Erosión (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	18.18 a	1.76 b	0.51 b
Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	1.05 a	1.14 a	-

Cifras con la misma letra en cada variable, son estadísticamente iguales entre los diferentes usos del suelo (Tukey, 0.05).

Con estos dos últimos sistemas de producción, se favorece una mayor cubierta vegetal y de residuos en la superficie del suelo, que disminuyen el desprendimiento de partículas y significativamente la velocidad de escurrimiento, así como su capacidad de transporte de sedimentos (Ramírez y Oropeza, 2001; Pérez-Nieto *et al.*, 2005). También se reduce gradualmente la compactación superficial del suelo, y de esta manera se mantienen tasas de infiltración altas, que disminuyen el escurrimiento y la erosión de suelo (Pérez-Nieto *et al.*, 2005; Camas *et al.*, 2012).

Aunque el rendimiento de maíz obtenido en el sistema tradicional fue estadísticamente similar al de maíz intercalado con timbre (Tabla 4), en este último sistema, se obtienen otros beneficios como la disminución del escurrimiento y la erosión del suelo, además de obtener recursos económicos adicionales por la venta de los productos del timbre (Rincón-Rosales *et al.*, 2003; Rincón-Rosales y Gutiérrez-Miceli, 2008).

### CONCLUSIONES

Los suelos del área de estudio son de baja fertilidad, la cual es menor en pendientes mayores y utilizando el sistema de monocultivo de maíz.

La erosión hídrica y el escurrimiento superficial sólo fueron afectados por el uso del suelo. Con los sistemas alternativos de maíz-timbre y timbre sólo, las tasas de erosión y escurrimiento fueron menores, en comparación con el sistema tradicional de maíz.

El rendimiento de grano de maíz no fue afectado por la pendiente, ni el uso del suelo, pero con la siembra de maíz con timbre, pueden obtenerse beneficios adicionales.

### REFERENCIAS

- Aguilar-Noh, A. G. 1987. Capacidad de intercambio catiónico. *In:* Aguilar-Santelises, A., Etchevers-Barra J. D. y Castellanos-Ramos J. Z. (eds.). Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Publicación Especial 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México. pp. 93-107.
- Camas G., R., Turrent F., A., Cortés F., J. I., Livera M., M., González E., A., Villar S., B., López M., J., Espinoza P., N., Cadena I., P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):231-243.
- Campo-Alves, J. 2003. Disponibilidad y flujo de nutrimentos en una toposecuencia con

bosque tropical seco en México. *Agrociencia*, 37(2):211-219.

- Castellanos R., J. Z., Uvalle B., J. X., Aguilar S., A. 2000. Manual para la Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2da. ed. INCAPA, México.
- Etchevers B., J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado de nutricional de los cultivos. *Terra*, 17(3):209-219.
- Etchevers B., J. D., Anzastiga A., P., Volke H., V., Etchevers G., G. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del estado de Puebla. *Agrociencia*, 65:161-178.
- Francisco N., N., Turrent F., A., Oropeza M., J. L., Martínez M., M., Cortés F., J. I. 2005. Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra*, 24:253-260.
- Hernández A., J., Lacasta, C., Pastor, J. 2005. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77:232-248.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). 4ª. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1998. Anuario Estadístico del Estado de Chiapas. Gobierno del estado de Chiapas, México.
- Jenkinson, D. S., Powlson, D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil Biological Biochemistry*, 8:209-213.
- Kalembasa, S. J., Jenkinson, D. S. 1973. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for determination of organic carbon in soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24:1085-1090.
- López B., W., Magdaleno G. R. 2009. La Cuenca Hidrográfica. Un Concepto Nuevo con Historia. Análisis y Reflexiones para Orientar su Utilización. Libro Técnico No. 3.

- INIFAP. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chis., México.
- López B., W., Villar S., B., López M., J., Faustino M., J. 2007. El Manejo de Cuencas Hidrográficas en el Estado de Chiapas: Diagnóstico y Propuesta de un Modelo Alternativo de Gestión. Publicación Especial No. 3. INIFAP. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chis., México.
- Machado, P. L. O., Silva, C. A. 2001: Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61:119-130.
- Pérez Z., O. 1990. Limitantes de la producción de maíz de temporal en La Fraylesca, Chiapas: 1. Transecto edafológico y características físicas y químicas del suelo. Terra, 8(1):68-83.
- Pérez-Nieto, J., Valdés-Velarde., E., Hernández-San Román, M. E., Ordaz-Chaparro, V. 2005. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en tres sistemas agroforestales de café bajo sombra. Agrociencia, 39(4):409-418.
- Primo-Yúfera, E., Carrasco, D. 1980. Química Agrícola, Suelo y Fertilizante. Ed. Alhambra, España.
- Ramírez C., M. E., Oropeza M., J. L. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión en laderas en el trópico. Agrociencia, 35:489-495.
- Reyes-Reyes, B. G., Zamora-Villafranco, E., Reyes-Reyes, M. L., Frías-Hernández, J. T., Olalde-Portugal, V., Dendooven, L. 2003. Decomposition of leaves of huizache (*Acacia tortuosa*) and mesquite (*Prosopis* spp) in soil of the central highlands of México. Plant and Soil, 256:359-370.
- Rincón-Rosales, R., Culebro-Espinosa, N. R., Gutierrez-Miceli, F. A., Dendooven, L. 2003. Scarification of seeds of *Acacia angustissima* (Mill.) Kuntze and its effects on germination. Seed Science and Technology, 31:301-307.
- Rincón-Rosales, R., Gutiérrez-Miceli, F. A. 2008. Características biológicas de *Acaciella angustissima* (Mill.) Britton & Rose en su hábitat natural y evaluación de su potencial cortical en Chiapas, México. Agrociencia, 42: 129-137.
- Santacruz De L., G. 2011. Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahocacán, Chiapas, México. Aqua-LAC, 32(1):45-54.
- Serrano A., V., Cano G., M. A. 2007. Leguminosas de cobertura para reducir la erosión y mejorar la fertilidad de suelo de ladera. Terra Latinoamericana, 25(4):427-435.
- Sharpley, A. N., Williams, J. R. 1990. EPIC Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. Technical Bulletin No. 1768. United States Department of Agriculture, USA.
- Uribe G., S., Francisco N., N., Turrent F., A. 2002. Pérdida de suelo y nutrientes en un Entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Agrociencia, 36:161-168.
- Villar S., B. 2001. Investigación sobre sistemas de conservación del suelo y su ordenamiento espacial en la región del Pacífico Sur de México. In: Claverán A., R. y Rulfo V., F. O. (eds.). Productividad y Conservación Suelo y Agua: Avances de Investigación en Agricultura de Conservación II. Libro Técnico No. 2. INIFAP. CENAPROS. Morelia, Mich., México. pp. 107-124.
- Villar S., B. 2003. Aplicación del modelo de simulación EPIC en la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo. Terra, 21(3):381-388.
- Villar S., B., Figueroa S., B., Oropeza M., J. L., Landois P., L., Volke H., V. 1998. Erosionabilidad de suelos y su impacto en la productividad del maíz en el trópico mexicano. Agrociencia, 32:199-207.
- Villar S., B., López M., J., Contreras H., J. R., De La Piedra C., R. 2005. Respuesta Hidrológica de una Cuenca al Cambio en su Manejo por un Sistema Conservacionista. Folleto Técnico No. 5. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla, Chis., México.

Villar-Sánchez, B., López-Martínez, J., Cena-Velásquez, J. M., Solís-Guzmán, B. F. 2011. Protocolo para la Toma de Decisiones sobre Conservación del Suelo y Agua y Producción Agrícola en Cuencas. Libro Técnico No. 6. INIFAP. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla, Chis., México.

Zetina L., R., Pastrana A., L., Romero M., J., Jiménez Ch., J. A. 2002. Manejo de Suelos Ácidos para la Región Tropical Húmeda de México. Libro Técnico Núm. 10. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan y Campo Experimental Huimanguillo, México.

*Submitted August xx, 2012– Accepted August xx, 2013*  
*Revised received September xx, 2013*