

## EFFECTO DE LA COBERTURA DE SUELO DE TRES CULTIVOS SOBRE LA EROSIÓN HÍDRICA

### EFFECT OF SOIL COVER OF THREE CROPS ON WATER EROSION

Hugo Ernesto Flores López<sup>\*</sup>; Celia de la Mora Orozco; José Ariel Ruíz Corral; Álvaro Agustín Chávez Durán

<sup>1</sup>km 8 Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, Tepatitlán, Jalisco. MÉXICO.  
C. P. 47600. Correo-e: flores.hugo@inifap.gob.mx (\*Autor para correspondencia)

#### RESUMEN

La erosión del suelo es un fenómeno natural que las actividades agrícolas aceleran. En México se estima que de 29 a 97 % de las tierras tienen algún grado de erosión hídrica, donde es bien conocida la acción protectora de la cobertura de la vegetación sobre el suelo; pero cultivos como agave tequilero o inclusive en maíz o pasto, requiere documentarse el proceso erosivo en lapsos de tiempo cuando el suelo está expuesto al efecto erosivo de la lluvia o escurrimiento. El objetivo del presente trabajo es describir el proceso de erosión hídrica en maíz, pasto, agave tequilero y suelo desnudo. Se utilizaron lotes de escurrimiento con maíz, agave tequilero, pasto y suelo desnudo, donde se midió la pérdida de suelo (PS) en cinco años. Los resultados mostraron que la mayor PS se tuvo en agave tequilero y suelo desnudo, intermedia en maíz y la más baja en pasto. La PS acumulada en agave tequilero siguió la tendencia de los eventos de lluvia. La PS acumulada en maíz es alta sólo hasta antes de que se cubra por completo el suelo, mientras que en pasto la erosión hídrica fue baja en todos los años de estudio.

#### PALABRAS CLAVE:

Agave tequilero, maíz, pasto, pérdida de suelo.

#### ABSTRACT

Soil erosion is a natural phenomenon that agricultural activities accelerate. In Mexico, it is estimated that 29 to 97 % of the land has some degree of erosion, where the protective action of the soil vegetation cover is well known; however, for crops such as tequila agave or even corn or grass, the erosion process needs to be documented in time lapse when the soil is exposed to the erosive effect of rain or runoff. The objective of this study is to describe the erosion process in corn, grass, tequila agave and bare soil. We used field plots with corn, tequila agave, grass and bare soil, where soil loss (SL) was measured in five years. The results showed that the highest SL was in tequila agave and bare soil, whereas it was intermediate in corn and the lowest in grass. The SL in tequila agave followed the trend of rainfall events. The accumulated SL in corn is high only until the crop completely covers the soil, while water erosion in grass was low in all the study years.

**KEYWORDS:** Tequila agave, corn, grass, soil loss.



Recibido: 19 de junio, 2012  
Aceptado: 17 de abril, 2013  
doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.015  
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

## INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un fenómeno natural que ocurre lentamente, pero cuando el hombre interviene en la naturaleza modificando las coberturas del suelo con desmontes para desarrollar la agricultura o ganadería, abriendo caminos o urbanización de ciudades, entre otras acciones, produce la pérdida acelerada del suelo (USDA-SCS, 1994). En México se cita que de 29 a 98 % de las tierras tienen algún grado de erosión hídrica, según el método de evaluación (Cotler *et al.*, 2011; Garrido y Cotler, 2010; González-Mateos *et al.*, 2007; Contreras-Hinojosa *et al.*, 2005; Figueroa *et al.*, 1991). La erosión del suelo se define como el proceso de desprendimiento, transporte y depósito de partículas por agentes erosivos, como las gotas de lluvia, el escurrimiento superficial o el viento (Wishmeier y Smith, 1978). De acuerdo con Schwab *et al.* (1993), los tipos de erosión por agua son los siguientes: erosión por salpicado de las gotas de agua y laminar (ambas conocidas como erosión entre surcos), erosión en surcos, cárcavas y canales de drenaje. Cada uno de ellos ocurre en diferentes escalas espaciales, pero invariablemente los principales factores que afectan la erosión hídrica son el clima, el suelo, la vegetación y la topografía; de estos factores, el componente vegetación y algunos del suelo y la topografía podrían ser controlados, pero el clima es un componente incontrolable y que no se puede modificar a gran escala.

A escala de un predio, las características de la lluvia y el escurrimiento en el proceso de erosión son complejos y con alto grado de incertidumbre, pero la intensidad de la lluvia en 30 minutos es un indicador adecuado de tormentas erosivas, particularmente en la erosión entre surcos; en cambio para la erosión en surcos el escurrimiento es más importante (Schwab *et al.*, 1993). El impacto de las gotas de lluvia en el suelo da inicio al proceso de mojado, la saturación de la capa superficial y la remoción por salpicado de las partículas del suelo. Este proceso se vuelve más crítico con el continuo mojado y secado, y por la acción del laboreo y manejo del suelo (Figueroa *et al.*, 1991). Cuando se presenta el flujo superficial se tiene la capacidad de remover las partículas del suelo, y una vez que el sedimento entra al flujo superficial como partículas primarias o agregados, una proporción de éstas se deposita en el terreno o el canal y estarán expuestas nuevamente a los procesos remoción y transporte (Hairsine y Rose, 1992). El desprendimiento y el transporte de partículas están relacionados con los mecanismos de flujo del agua en surcos y entre surcos. La erosión en surcos se considera como una función de la capacidad del flujo superficial para desprender el sedimento, la capacidad de transporte de sedimento en el flujo y la carga de sedimento existente, y la erosión entre surcos se describe como un proceso de desprendimiento de partículas causado por el impacto de las gotas de lluvia seguido del transporte en el flujo superficial amplio y poco profundo, y su entrega a surcos que forman canales (Flanagan *et al.*, 1995). La erosión en surcos es más importante cuando ocurren tormentas intensas en suelos con alta capacidad de producir escurrimiento (Schwab *et al.*, 1993).

En el contexto de la erosión hídrica, la vegetación actúa como una capa protectora entre el suelo y la atmósfera, pues es en la parte aérea de las plantas (tallos y hojas) donde se absorbe la energía de las gotas de lluvia, del escurrimiento superficial y el viento (Morgan, 2005). Sin embargo, existen etapas del cultivo antes que éste cubra el suelo dejándolo expuesto al efecto erosivo de la lluvia (Ríos y Martínez, 1990; Morgan, 2005), o cultivos como el agave tequilero que generan un flujo concentrado en la base de su piña, condición que intensifica el proceso de erosión en surcos (Flores *et al.*, 2010). Este es el resultado del desarrollo de la planta, que modifica la respuesta esperada de la vegetación y su influencia en erosión hídrica. Morgan (2005) menciona que de acuerdo al tipo de cobertura y altura de la planta, además de la distribución espacial en la superficie del suelo, se puede modificar el tamaño de la gota de lluvia, produciendo intensidad de lluvia muy localizada, lo que excede la capacidad de infiltración del suelo y genera más escurrimiento superficial. La cobertura de la planta también actúa disipando la energía de las corrientes de agua, por la rugosidad de esta que reduce la velocidad del flujo, con mayores efectos en cultivos densos y uniformes, como es el caso de los pastos, pero sólo hasta pendientes menores de 8° (Morgan, 2005).

Con la finalidad de mejorar el diseño de Buenas Prácticas de Manejo y Conservación de Suelos, es importante conocer la pérdida de suelo local y el proceso de la erosión hídrica asociada con el factor lluvia, que en cultivos como el agave tequilero en Jalisco se ha identificado como un serio problema de pérdida de suelo (Flores *et al.*, 2010), o el maíz que no obstante que ha sido objeto de múltiples estudios, aún tiene problemas de erosión. El objetivo del presente trabajo fue revisar el efecto de la cobertura de cultivos sobre el proceso de la erosión hídrica de tres cultivos y con suelo desnudo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y características del área donde se desarrolló el estudio

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, que se localiza en el municipio de Tepatlán, Jalisco (Figura 1). La precipitación promedio anual es de 869 mm con 88 días de lluvia apreciable. Las temperaturas máxima, mínima y media promedio anuales son 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. La estación de crecimiento al 70 % de probabilidad de excedencia de lluvia comienza el 16 de junio y termina el 28 de octubre, con una duración de 135 días. El suelo del CECEAJAL se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic rhodustalf (INEGI, 1994). Las características edáficas del suelo se presentan en el Cuadro 1. La pendiente del terreno es de 2.1 %. El pasto y agave tequilero son cultivos perennes y el genotipo de maíz que se utilizó fue el H-375, con 87 días a floración femenina.

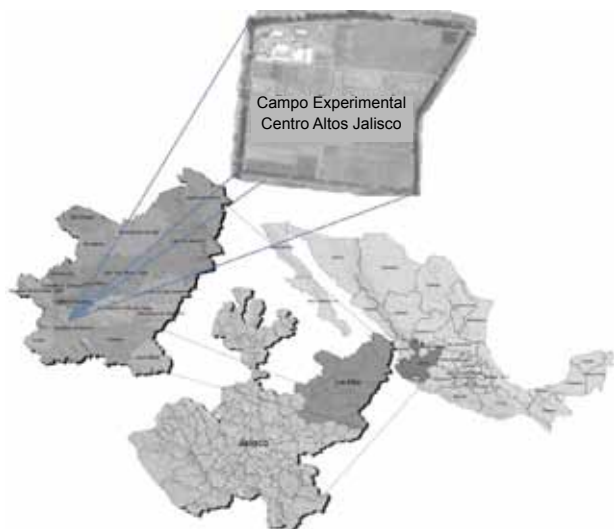


FIGURA 1. Localización del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco de INIFAP.

**El factor erosividad de la lluvia (R).** Se evaluó utilizando las ecuaciones que presentaron Figueroa *et al.* (1991), correspondiente a la región VII de la República mexicana, localizada en el estado de Jalisco. El modelo aplicado fue el siguiente:

$$\text{Región VII} \quad Y = -0.0334X + 0.006661X^2 \quad R^2 = 0.98$$

donde Y es el valor de EI<sub>30</sub> anual en MJ·mm·(ha·h)<sup>-1</sup> y X es la lluvia anual en mm.

**El factor erosionabilidad del suelo (K).** Se determinó con la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad medido en el lote de escurrimiento con suelo desnudo, indicado por la expresión (Wischmeier y Smith, 1978):

$$K = \frac{A_{\text{SUELO.DESNUDO}}}{R \cdot L \cdot S}$$

**Factor longitud de la pendiente (L).** Se utilizó la función:

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

Donde λ es la longitud de la pendiente en m, m es un exponente con la modificación hecha por Foster *et al.* (1977):

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad ; \quad \beta = \frac{\left( \frac{\text{sen} \theta}{0.0896} \right)}{[3.0(\text{sen} \theta)^{0.8} + 0.56]}$$

donde θ es el ángulo de la pendiente en grados.

**El factor inclinación de la pendiente (S).** Se calculó con la ecuación siguiente:

$$S = 10.8 \text{ sen } \theta + 0.03 \quad , \quad \text{si } S < 9\%$$

CUADRO 1. Características físicas y químicas del suelo de los lotes de escurrimiento.

Características	Lotes de escurrimiento			
	Pasto	Agave tequilero	Maíz	Suelo desnudo
Arena (%)	25.68	23.68	23.68	23.68
Arcilla (%)	48.68	50.68	50.68	52.68
Limo (%)	25.64	25.64	25.64	23.64
CC (%)	39.75	37.2	39.3	38.7
PMP %	20.9	19.5	20.6	20.3
Da (g cm <sup>-3</sup> )	1.22	1.23	1.22	1.22
pH	4.7	4.6	4.7	4.3
MO (%)	2.65	1.93	2.11	2.08
N-inorg (ppm)	42.5	88.1	31	102
P-Bray (ppm)	38.9	24.3	37.6	28.3
CIC (meq/100 g)	17.41	9.91	8.96	9.74

**El factor cobertura del cultivo (C).** Se determinó utilizando la pérdida total de suelo medido en el lote con agave tequilero (A<sub>AGAVE</sub>). Posteriormente se despejó el factor C de la EUPS, y al factor prácticas de manejo se le asignó un valor unitario:

$$C = \frac{A_{\text{AGAVE}}}{R \cdot L \cdot S \cdot K \cdot P}$$

**METODOLOGÍA**

La medición de la pérdida de suelo fue obtenida con lotes de escurrimiento (LE) establecidos en los terrenos del CECEAJAL. Las dimensiones de los LE fueron de 2 x 25 m, sembrados con maíz, agave tequilero, pasto y suelo sin cobertura vegetal. En la construcción se utilizaron paredes de lámina galvanizada de 30 cm de ancho, insertadas 15 cm dentro del suelo en el contorno del lote. En la parte baja del LE se colocaron dos depósitos que recibían el agua del escurrimiento; el primero captó un volumen que después de rebasar su capacidad, se vertía una octava parte al segundo depósito. Se instaló un colector de lluvia unido a un registrador automático de datos con la finalidad de medir la cantidad de lluvia. Después de cada evento pluvial se midió el escurrimiento hídrico y se tomó una muestra de agua con sedimento para determinar la concentración de éste en agua y estimar la pérdida de suelo. El manejo de los cultivos fue con las recomendaciones del CECEAJAL.

El análisis de información se realizó con estadística descriptiva en el programa EXCEL, para identificar los cambios de pendiente en la erosión acumulada.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La pérdida de suelos y lluvia que generó escurrimiento en LE durante cinco años de observación en maíz, agave tequi-

lero, pasto y suelo sin cobertura, en Tepatitlán, Jalisco, se muestra en el Cuadro 2. La mayor pérdida de suelo se tuvo en el agave tequilero y suelo desnudo, intermedio en maíz y más bajo en pasto.

En los años 2002 y 2003, el agave tequilero tuvo la mayor pérdida de suelo con respecto al suelo sin cobertura, resultado causado por la morfología de las hojas del agave tequilero, pues esta planta tiene hojas diseñadas para captar agua y conducirla a la base de la planta para que sea absorbida por su sistema radical, de manera que al ocurrir un evento de lluvia, el agua que cae sobre la planta es conducida a la base de la misma generando un flujo concentrado que produce erosión en surcos (Flores *et al.*, 2009a). Para 2009 la misma planta de agave ya tenía ocho años, y ese mismo año fue cosechada. Debido a que el sistema radical del agave es superficial (García, 2007; Nobel, 1998) y suelos con elevado contenido de óxidos de Fe, como en los Altos de Jalisco (Flores, 2004), en los últimos años de desarrollo del agave tequilero el suelo no se mueve, favorece la generación de agregados en el suelo (Duiker *et al.*, 2003) y mayor resistencia del suelo a la acción erosiva del flujo concentrado (Zhang *et al.*, 2003). Esta característica observada en el agave tequilero también

se ha identificado en otras especies de este género, como el agave salmiana, que se recomienda para la conservación de suelos (Alanís-Flores y González-Álvarez, 2011). En el año 2010 la planta de agave es nueva y ocurre una menor pérdida de suelo con respecto al suelo desnudo, efecto atribuido a la lluvia que generó escurrimiento (Cuadro 3), además de las raíces y agregados por el cultivo anterior. En 2011 se observa un incremento en la pérdida de suelo en agave tequilero aún mayor que en suelo desnudo, resultado atribuido a la lluvia y al manejo del suelo.

El cultivo de maíz mantuvo una pérdida de suelo intermedia al agave tequilero y al pasto, aunque en 2009 el maíz supera en erosión al agave; este resultado es atribuido a las características de las raíces del agave y a la formación de agregados en suelo, además del mínimo movimiento del suelo de los últimos años, así como que la mayor parte de la lluvia ocurrió en el periodo vegetativo del cultivo del maíz. Ríos y Martínez (1990) mencionaron que en maíz la pérdida de suelo ocurre principalmente antes que el cultivo cubra el suelo, aproximadamente 40 días después de la siembra.

El pasto mostró la menor pérdida de suelo en todos los años, aun en 2003, cuando ocurrió un 20 % más de la media de precipitación de la zona. La razón es atribuida a que al inicio del temporal el suelo se mantuvo con más de 30 % de cobertura, situación que minimizó su pérdida y que con el crecimiento de la planta cubrió totalmente la superficie en poco tiempo. Serna y Echavarría (2002), en la evaluación de la pérdida de suelo como parte de la caracterización hidrológica de un pastizal excluido al pastoreo con más de 20 % de cobertura, encontraron una respuesta similar a lo mostrado en el presente estudio.

En el Cuadro 3 se muestran la cantidad de lluvia acumulada que generó escurrimiento superficial y los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS): erosividad de la lluvia (R), erosionabilidad del suelo (K) y cobertura

**CUADRO 2. Pérdida de suelo en los cultivos de maíz, agave tequilero, pasto y suelo sin cobertura, en un suelo Luvisol férrico de Tepatitlán, Jalisco, México.**

Año	Erosión hídrica en cultivos (kg·ha <sup>-1</sup> )			
	Suelo desnudo	Agave tequilero	Maíz	Pasto
2011	5,862.8	10,239.1	4,536.9	51.9
2010	5,768.0	4,709.5	1,707.5	30.2
2009	7,509.6	2,576.4	4,403.4	162.7
2003	35,127.8	36,587.6	11,620.2	379.8
2002	24,925.6	27,036.8	13,342.1	503.8

**CUADRO 3. Lluvia que generó escurrimiento y valores de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo: erosividad de la lluvia (R), erosionabilidad del suelo (K) y cobertura del suelo (C) en los cultivos de maíz, agave tequilero, pasto y suelo sin cobertura, de un Luvisol férrico durante cinco años de observación en Tepatitlán, Jalisco, México.**

Año	Lluvia que generó escurrimiento (mm)	Factor R (MJ mm) (ha·h) <sup>-1</sup>	Factor K t·ha <sup>-1</sup> [(ha h) (MJ·mm <sup>-1</sup> )]	Factor C		
				Agave tequilero	Maíz	Pasto
2011	545.6	1964.6	0.0113	1.746	0.774	0.009
2010	354.7	826.2	0.0264	0.816	0.296	0.005
2009	854.4	4834.0	0.0059	0.343	0.586	0.022
2003	1043.2	7214.1	0.0184	1.042	0.331	0.011
2002	802.7	4265.1	0.0221	1.085	0.535	0.020
PROMEDIO	720.1	3820.8	0.0168	1.006	0.504	0.013
Desviación Estándar	270.75	2507.6	0.0082	0.508	0.196	0.007

del suelo (C), en los cultivos agave tequilero, maíz, pasto y suelo sin cobertura, de un Luvisol férrico de Tepatitlán, Jalisco, México. Los parámetros K y C de EUPS muestran un alto grado de dinamismo en los años de estudio, resultado estrechamente asociado con la erosividad de la lluvia y los procesos erosivos de cada cultivo, por lo que el valor de estos factores a utilizar debe considerar la variación propia de las características de la lluvia y el desarrollo del cultivo. En el caso de C del agave tequilero, es sobresaliente el efecto con el avance de la edad de la planta, de manera que de 2002, 2003 y 2009 se tiene tendencia a reducir el valor de C, pero la respuesta es irregular en 2010 y 2011, posiblemente por las características de erosividad de la lluvia de las tormentas y el manejo del cultivo.

Otro aspecto importante que resultó fue la distribución temporal de la erosión hídrica. En la Figura 2 se presenta la

pérdida de suelo acumulada y la lluvia acumulada durante el ciclo de lluvias de los cultivos de maíz, agave tequilero, pasto y suelo sin cobertura. En esta figura se muestra que el comportamiento de la erosión hídrica acumulada es diferente en cada cultivo estudiado. En el agave tequilero y suelo desnudo la acumulación de la erosión es muy similar, siguiendo estrechamente la ocurrencia de la pérdida de suelo con los eventos de lluvia durante todos los años de estudio mostrados; pero es sobresaliente el efecto de la cobertura de las hojas del agave tequilero sobre la pérdida de suelo, superando en 2002 y 2003 al suelo sin cobertura, por efecto de la generación de flujos concentrados reportados por Flores (2009a). La situación cambia en 2009 cuando el agave tiene tres años que no se movió el suelo y un sistema radical que le da coherencia, situación que ofrece mayor resistencia al flujo concentrado. En 2010 y 2011 se tiene agave nuevo en los lotes de escurrimiento, situación que modifica la res-

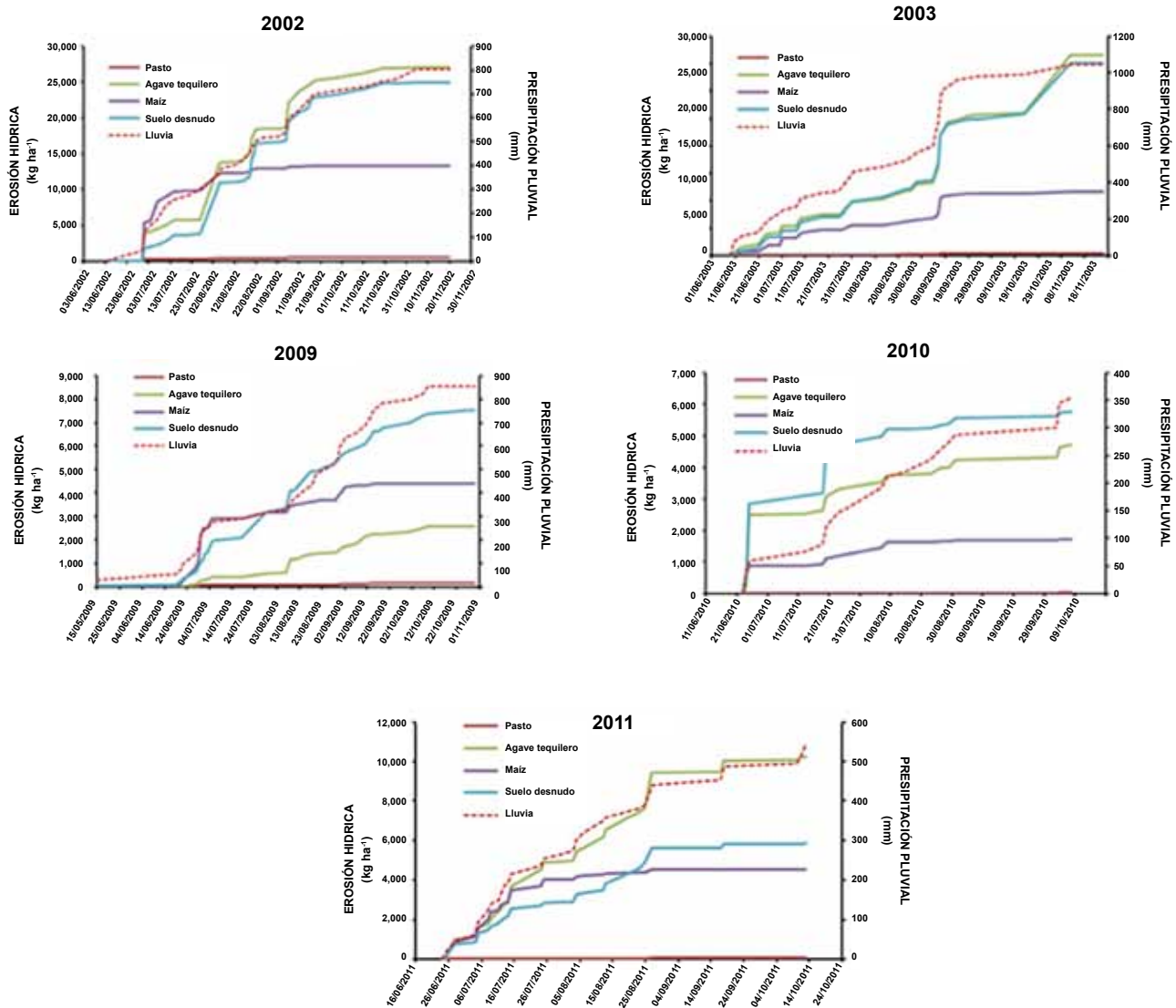


FIGURA 1. Erosión hídrica acumulada y lluvia acumulada durante 2002, 2003, 2009, 2010 y 2011 en los cultivos de maíz, pasto, agave tequilero y suelo desnudo, en Tepatitlán, Jalisco.

puesta observada en la acumulación de la pérdida de suelo, con cierta inconsistencia atribuida a los residuos del cultivo anterior, al manejo del suelo y a la erosividad de la lluvia. Estos resultados muestran la necesidad de protección constante a lo largo del ciclo de lluvias, pero particularmente en los primeros años y cuando se planta agave por primera vez.

En cambio el maíz tuvo una respuesta similar a la pérdida de suelo en todos los años de estudio, con un patrón de alta erosión hídrica sólo hasta antes de los 45 días después de la emergencia (DDE) del cultivo, antes de que el cultivo tenga una cobertura completa en el suelo (Martínez y Ríos, 1990), posteriormente sólo tormentas con alta cantidad de lluvia que llevan implícita elevada erosividad causan pérdidas de suelo importantes. Por esta razón, el maíz requiere de protección del suelo contra la erosión hasta los 45 DDE, por ejemplo con el uso de labranza de conservación, pues con ello se evita la pérdida de suelo y nutrientes importantes, como nitrógeno y fósforo (Flores *et al.*, 2009b; Tapia *et al.*, 2002).

La erosión hídrica en pasto fue baja en todos los años de estudio, indicador del efecto protector que tiene esta planta sobre el suelo en cualquier condición de lluvia, pero siempre y cuando se tenga cobertura de al menos 20 % del suelo desde el inicio del temporal de lluvias, para que la erosión sea menor a la permisible (Flores *et al.*, 2009a).

## CONCLUSIONES

La mayor pérdida de suelo se tuvo en el agave tequilero y suelo desnudo, intermedia en maíz y la más baja en pasto. Su dinámica también fue contrastante entre cultivos. Esta pérdida de suelo está asociada con las características morfológicas de las plantas, las características erosivas de las tormentas y el manejo del suelo.

Los valores de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS): erosividad de la lluvia (R), erosionabilidad del suelo (K) y cobertura del suelo (C), que resultaron en los cultivos agave tequilero, maíz, pasto y suelo sin cobertura, de un Luvisol férrico de Tepatitlán, Jalisco, México, fueron altamente variables en los años que duró el estudio, situación que debe considerar la variación de las características de la lluvia y de los cultivos.

El comportamiento de la erosión hídrica acumulada fue diferente en cada cultivo estudiado. En el agave tequilero y suelo desnudo la acumulación de la erosión fue muy similar, con estrecha relación de la pérdida de suelo con los eventos de lluvia durante todos los años de estudio. Esto implica la necesidad de protección constante a lo largo del ciclo de lluvias en agave, pero particularmente en los años iniciales del cultivo y cuando se siembra por primera vez.

La erosión hídrica en maíz es alta sólo hasta antes de los 45 días después de emergencia, cuando el cultivo no tiene cobertura completa sobre el suelo; posteriormente la pér-

didada de suelo importante sólo ocurre con tormentas de alta magnitud de lluvia.

En el pasto la erosión hídrica fue baja en todos los años de estudio, lo cual es un indicador del efecto protector que tiene sobre el suelo en cualquier condición de lluvia.

## LITERATURA CITADA

- ALANÍS-FLORES, G. J.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, M. 2011. Formas de uso de los magueyes (*Agave spp.*) en Nuevo León, MÉXICO. Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial núm. 5: 287-299.
- CONTRERAS-HINOJOSA, J.; VOLKE-HALLER, V.; OROPEZAMOTA, J. L.; RODRÍGUEZ-FRANCO, C.; MARTÍNEZ-SALDAÑA T.; MARTÍNEZ-GARZA. A. 2005. Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuatlán, Oaxaca, México. *TERRA Latinoamericana*, 23 (3): 399-408.
- COTLER, H.; LÓPEZ, C. A.; MARTÍNEZ-TRINIDAD, S. 2011. ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación ambiental*, 3(2): 31-43.
- DUIKER, S. W.; RHOTON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E.; LAL, R. 2003. Iron (Hydr) Oxide Crystallinity Effects on Soil Aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 606-611.
- FIGUEROA S., B.; AMANTE O., A.; CORTÉS T., H. G.; PIMENTEL L.; OSUNA C., J.; RODRÍGUEZ O. E. S.; J. M. Y MORALES F., F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Postgraduados. Salinas, S.L.P., México. 150 p.
- FLANAGAN, D. C.; ASCOUGH H, J. C.; NICKS, A. D.; NEARING M. A.; LAFLEN J. M. 1995. Overview of the WEPP erosion prediction model. Technical documentation WEPP. Report No. 10. National Soil Erosion Research Laboratory. USDA-ARS-MWA. West Lafayette, Indican, USA.
- FLORES-LÓPEZ., H. E. 2004. Rutas de transporte superficial de nitrógeno y fósforo en un área de drenaje de Jalisco, México. Tesis doctorado en ciencias. Especialidad en Edafología. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.
- FLORES-LÓPEZ., H. E.; J. IRETA-MORENO., J.; PÉREZ-DOMÍNGUEZ.; J. A. RUÍZ-CORRAL; P. DÍAZ-MEDEROS. P. 2009a. Identificación de buenas prácticas agrícolas para reducir la degradación del suelo e incrementar la calidad del agua. INIFAP. CIRPAC. CE CENTRO ALTOS DE JALISCO. Libro científico núm. 1. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.
- FLORES-LÓPEZ, H.E.; R. CARRILLO-GONZÁLEZ; N. FRANCISCO-NICOLÁS; C. HIDALGO-MORENO; J. A. RUÍZ-CORRAL; A.A. CASTAÑEDA-VILLANUEVA; R. VELAZCO-NUÑO. 2009b. Aportes de nitrógeno y fósforo de tres sistemas agrícolas de la cuenca hidrográfica "El Jihuite", en Jalisco, México. *Agrociencia*, 43:659-699.
- FLORES LÓPEZ, H. E.; PÉREZ DOMÍNGUEZ J. F.; IRETA MORENO J. 2010. Estimación de la erosión hídrica en agave tequilero en Jalisco. Folleto técnico núm. 6. Campo

- Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 43 pág.
- FOSTER, G. R.; MEYER, L. D.; ONSTAD, C. A. 1977. An erosion equation derived from basic erosion principles. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 20:678-68.
- GARCÍA M., A. J. 2007. Los agaves de México. *Ciencias*, 87: 14-23.
- GARRIDO, A.; COTLER, H. 2010. Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. *In: Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización* (Cotler, H. coordinador). Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- GONZÁLEZ MATEOS, R.; VOLKE HALLER, J.; GONZÁLEZ RÍOS, V.; OCAMPO PORTILLO M.; ORTÍZ SOLORIO, C.; MANZO RAMOS, F. 2007. Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *TERRA latinoamericana*, 25(4): 399-408.
- HAIRSINE, P. B.; ROSE, C. W. 1992. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles 1. Sheet flow. *Water Resour. Res.* 28: 237-253.
- INEGI. 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco – Zamora, Michoacán. *In: Guide for technical tours “1” and “10”: Guadalajara – México city.* 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. 10 – 16 de julio. Acapulco, Gro. México.
- MORGAN, R.P.C. 2005. *Soil Erosion and Conservation*. 3ra edición. Blackwell Publishing, Oxford. 304 pág.
- NOBEL, P. S. 1998. Los incomparables agaves y actos. Traducción del inglés por Edmundo García Moya. Editorial Trillas S. A. de C. V. México, D.F. 211 p.
- RÍOS B., J. D.; MARTÍNEZ M. R. 1990. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. *AGROCIENCIA*, serie AGUA-SUELO-CLIMA, 1(1): 61-73.
- SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. 1993. *Soil and water conservation engineering*. Cuarta edición. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York, USA.
- SERNA P., A.; ECHAVARRÍA Ch. F. G. 2002. Caracterización hidrológica de un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. I. Pérdidas de suelo. *Tec. Pecu. Méx.*, 40(1): 37-53.
- SJOERD W.; DUIKER, S. W.; RHOTON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E.; LAL, R. 2003. Iron (Hydr) Oxide Crystallinity Effects on Soil Aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 606–611.
- TAPIA V., L. M.; TISCAREÑO L., M.; SALINAS R., J.; VELÁZQUEZ V., M.; VEGA P. A.; GUILLEN A. H. 2002. Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo, en laderas agrícolas. *TERRA Latinoamericana*, 20(4): 449-457.
- USDA-SCS. 1994. *Soil erosion by water. Agriculture information bulletin* 513.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. U. S. Department of Agriculture. *Agriculture Handbook* No. 537. USA.
- ZHANG, G.; LIU, B.; LIU, G.; HE, X.; NEARING, M. A. 2003. Detachment of Undisturbed Soil by Shallow Flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 713–719.