

Evaluación preliminar del efecto del laboreo sobre un suelo con manejo de labranza conservacionista en el escurrimiento y erosión, Pátzcuaro, Michoacán

M. Bravo-Espinosa¹, L. Medina-Orozco², L. E. Fregoso-Tirado¹ y M. Gallardo-Valdez¹.

¹Campo Experimental Uruapan-CIRPAC-INIFAP, ² Facultad de Biología, UMSNH, ¹ Ex-Investigador del INIFAP (qepd)

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue explorar el efecto de una roturación (barbecho) en un suelo después de siete años de manejo con labranza de conservación en los primeros 20 cm de profundidad, en términos del volumen de escurrimiento y de pérdidas de suelo. Se delimitaron dos parcelas de 2.0 m de largo por 0.8 m de ancho, en un terreno que ha permanecido durante los últimos siete años con manejo continuo de producción de maíz bajo labranza de conservación. Una parcela se mantuvo con los residuos y sin laboreo (LC), y en la segunda se realizó un barbecho con la reincorporación de los residuos de cosecha existentes en su condición original (LB). Se aplicaron dos corridas consecutivas de lluvia simulada; la primera en condiciones de suelo seco con una intensidad de 140 mm h^{-1} por 60 min, la segunda con suelo húmedo du-

rante 30 min, 24 h después de la primera aplicación. El escurrimiento se colectó a intervalos de 5 min, para determinar la concentración de sedimentos como el volumen de agua. La diferencia en pérdidas de suelo fue mayor durante las pruebas en húmedo bajo LB, con respecto a LC probablemente debido a que la rugosidad del suelo en LB fue más suave favoreciendo el transporte por el escurrimiento. Por otra parte, el volumen del escurrimiento fue 3.5 veces mayor en el suelo sin roturar (LC), en la condición de suelo seco.

Palabras clave: Erosionabilidad, Oponguio, simulación de lluvia.

Abstract

The objective of the present work was to explore the effect of 20 cm deep tillage in a soil after seven years of handling with conservation tillage, in terms of runoff and soil losses. Two runoff plots of 2.0 m long by 0.8 m wide were managed in a cropland that has remained during the last seven years with continuous maize production under conservation tillage management. The first plot stayed with the crop residues and without tillage (LC), and a second plot in which a deep plough was carried out with incorporation of crop residues as they were found in its original condition (LB). Two rainfall simulation events were applied; the first one under dry soil condition during 60 min at an intensity of 140 mm h^{-1} , and the second, under wet soil condition during 30 min, 24 h after the first application. Runoff was collected in 5 min intervals to measure the concentration of sediments and the runoff volume. The difference in soil losses was bigger during the rainfall simulation in the humid run under LB than LC, probably occurred because the soil surface in LB was soft and ready to transport by runoff. On the other hand, runoff was 3.5 times larger in LC, under dry soil condition, than LB.

Keywords: Erodability, Oponguio, rainfall simulation.

Introducción

La erosión hídrica es uno de los mayores problemas de degradación de suelos. La extensión e intensidad de la erosión del suelo en México no está bien documentada ni actualizada, pero se estima que alrededor del 80% de la superficie está perdiendo suelo a una tasa mayor a la permisible (SEMARNAT-CP, 2001). La erosión del suelo en México, expresada como producción de sedimentos, se estima en $2.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Martínez y Fernández, 1983), y a nivel de cuenca hidrológica, considerando un factor de corrección por azolvamiento, es de $46.9 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Vázquez, 1986).

La labranza de conservación es la práctica más sostenible para el control de la degradación del suelo, cuando ésta se encuentra asociada principalmente con la labranza y la escorrentía de superficie. Estudios realizados en las cuencas del Lago de Pátzcuaro y de Cointzio muestran que los eventos de lluvia moderados presentan una baja eficiencia de

producción de escurrimientos bajo el sistema de labranza de conservación (Tiscareño et al., 1999; Medina et al., 2008), práctica poco adoptada por los agricultores de la región. En estudios de laboratorio, Savabi y Stott (1994) determinaron que los residuos de cosecha de maíz bajo el sistema de labranza de conservación interceptaron hasta el 29% de la lluvia. Por ello, el efecto combinado del dosel y del residuo potencialmente favorece la infiltración hasta en un 51% del agua de lluvia de un solo evento.

Existe un gran número de estudios que comparan los sistemas de labranza convencional *versus* sistemas de labranza de conservación, sin embargo, existen muy pocos trabajos que muestren información sobre el impacto al barbechar o roturar un suelo que se ha mantenido en el largo plazo sin roturación. El objetivo del presente estudio fue explorar el efecto de una roturación (barbecho) en un suelo después de siete años de manejo con labranza de conservación en términos de pérdidas de suelo y del volumen de escurrimiento producidos.

Materiales y Métodos

Descripción del Sitio. El trabajo de campo se realizó en la segunda mitad de mayo de 2007, en un predio agrícola de 2 ha ubicado en las cercanías de la comunidad de Oponguio del Municipio de Erongarícuaro, Michoacán, en la porción sureste de la Cuenca de Pátzcuaro (Figura 1). La parcela tiene una pendiente de 3 a 4%. En este predio, el productor ha usado durante siete años el sistema de labranza de conservación para producir maíz como alternativa a la agricultura tradicional. Este sistema consiste en la siembra directa sin movimiento del suelo, manteniendo al menos el 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos de cosecha después de la siembra.

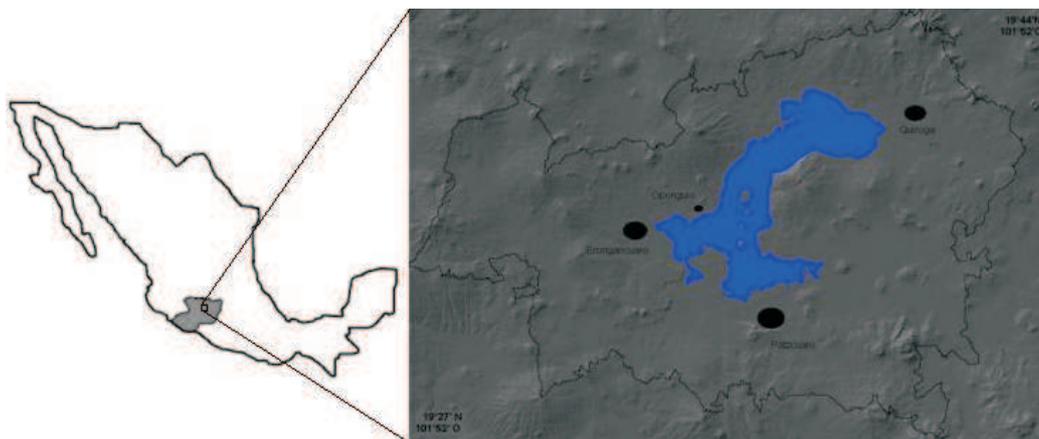


Figura 1. Localización geográfica de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Mich.

El clima zonal de acuerdo con la modificación de García (1987), es del tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, concentradas de junio a septiembre con una precipitación total anual de 880 mm, la temperatura media anual igual a 16 °C, el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano, la clave climática es C(w²)(w)b(e)g. El relieve es de lomeríos y cerros con un drenaje paralelo que se concentra en el Lago de Pátzcuaro. Los suelos se clasifican como Andosoles en el Sistema FAO-UNESCO (1974); localmente son conocidos como *Tupuri*. Son suelos derivados de ceniza volcánica de consistencia untuosa y textura de migajón-limoso a más fina en los primeros 50 cm, caracterizados por la presencia de materiales amorfos formando suelos poco desarrollados comparados con otros suelos.

Simulador de Lluvia. En este estudio se utilizó un simulador de lluvia tipo Purdue, el cual es de aspersión, programable, portátil y computarizado (Figura 2). La intensidad de lluvia se simuló a través de un juego de dos aspersores con movimiento de oscilación de 180°, conectados a un controlador electrónico, el cual gobierna el número de oscilaciones por minuto que proporciona la intensidad de la lluvia deseada, previa calibración de los aspersores. El equipo adicional incluyó un tanque externo de 1000 L equipado con una bomba de ½ HP, manómetro, un sistema de recuperación de agua y un generador de electricidad a gasolina de 4000 watts.



Figura 2. Simulador de lluvia tipo Purdue utilizado en las pruebas de campo.

Trabajo Experimental de Campo. Las parcelas de escurrimiento fueron de 2.0 m de largo por 0.8 m de ancho, delimitadas por estructuras metálicas, equipadas con un vertedor para colecta, captura y medición del escurrimiento y del sedimento (Figura 3). En la primera parcela no se realizó ninguna roturación ni remoción de los residuos de la cosecha anterior.

En la segunda de ellas se realizó un barbecho a una profundidad de 20 cm, con la incorporación de los residuos del cultivo anterior, inmediatamente antes de comenzar las simulaciones de lluvia. La primera condición se denominó sin roturar (LC) y la segunda se denominó barbecho (LB).



Figura 3. (A) Lote experimental para la condición sin roturación, y (B) Lote experimental para la condición con roturación.

En cada una de las parcelas se realizaron dos secuencias de simulación de lluvia: la primera se realizó en condiciones de suelo seco durante 60 min y la segunda por 30 min con suelo húmedo, aplicada 24 h después de la primera, ambas con una intensidad de 140 mm hr^{-1} (Figura 3). Durante estos lapsos de 60 y 30 min, se alcanzó el equilibrio en el escurrimiento, es decir, que no hubo diferencias en el volumen escurrido entre dos mediciones consecutivas de 5 min. Se realizaron mediciones del escurrimiento y del desprendimiento del suelo en condición del suelo seco y húmedo. No se realizaron repeticiones de estas pruebas por el costo y la escasa disponibilidad de agua. Adicionalmente, Nearing et al. (1999) y Boix-Fayos et al. (2006), han discutido ampliamente la variabilidad y problemática de los datos obtenidos en parcelas de escurrimiento replicadas y pseudoreplicadas, mencionando que ocurre como efecto de la variación natural del suelo, la microtopografía, reestructuración del suelo después de cada evento de lluvia, entre otros, por lo que algunos estudios de erosión se realizan sin repeticiones, siendo representativos de las condiciones actuales del suelo.

Durante las simulaciones de lluvia se validó la intensidad de lluvia aplicada en cada prueba, registrando la lluvia acumulada en intervalos de 5 min en tres pluviómetros de cuña ubicados en el área útil de mojado. Se determinó la pendiente de cada parcela. Se tomaron fotografías digitales durante todo el proceso de simulación para determinar la cobertura de los residuos de cosecha sobre el suelo de acuerdo con Medina et al (2008). El escurrimiento total de cada parcela se colectó en cubetas de 20 litros de capacidad a intervalos de 5 min. La medición del escurrimiento se realizó registrando la altura que alcanzó éste en el reci-

piente previamente calibrado. La medición del sedimento desprendido y transportado en cada intervalo, se realizó determinando la concentración de sedimento en muestras de un litro de escorrentía. Al concluir cada simulación, se tomaron muestras de suelo en cada una de las parcelas para determinar el contenido de humedad.

Análisis de la Información. Se calculó la infiltración inicial como la diferencia entre la intensidad de la lluvia (mm h^{-1}) y la tasa de escurrimiento 5 min después de que comenzó éste, mientras que la diferencia entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escurrimiento al ocurrir el equilibrio determinó la velocidad de infiltración final (Simanton y Renard, 1993). Para conocer las diferencias en la relación lluvia-escurrimiento se determinaron coeficientes de escurrimiento; estos se obtuvieron dividiendo el volumen total escurrido entre el volumen precipitado durante cada prueba de simulación.

Resultados y Discusión

Parámetros hidrológicos. La cobertura por residuos de cosecha antes de iniciar las simulaciones fue de 7% y 57.4%, para LB y LC, respectivamente. Al finalizar las pruebas, la cobertura fue de 29.6 y 57.0%, para LB y LC, respectivamente. El contenido gravimétrico de humedad del suelo al iniciar las simulaciones de lluvia fue de 9.9% en los primeros 15 cm, en las dos parcelas experimentales. Después de la primera simulación de lluvia, la humedad del suelo fue de 32.5 y 29.8% para LB y LC, respectivamente. Al finalizar la segunda prueba (30 min), los contenidos de humedad del suelo fueron de 39.6 y 30.8% para LB y LC, respectivamente. La intensidad de la lluvia aplicada en la parcela útil fue en promedio de 140 mm h^{-1} . Los valores promedio del coeficiente de escurrimiento y de las velocidades de infiltración inicial y final, para cada condición, se presentan en el Cuadro 1. El coeficiente de escurrimiento de LB en la condición seca, que tuvo un valor de 0.16, muestra el efecto de la rugosidad en la relación lluvia-escurrimiento. Es decir, de los 140 mm h^{-1} de lluvia aplicada escurrieron sólo 22.4 mm h^{-1} y se retuvieron en depresiones y/o se infiltraron 117.6 mm h^{-1} . Esta situación cambió en la condición húmeda, principalmente para LC en donde prácticamente escurrió el total de la lluvia aplicada.

CUADRO 1				
Coeficientes de escurrimiento y velocidades de infiltración.				
Tratamiento	Coeficiente de escurrimiento		Velocidad de infiltración (mm h^{-1})	
	Condición seca	Condición húmeda	Inicial	Final
Sin roturar, LC	0.75	0.88	87	71
Barbecho, LB	0.16	0.74	128	82

Esgurrimiento y erosión

El inicio del escurrimiento en la primera simulación fue a los 14 min en LC y después de 41 min en LB; el volumen total escurrido fue mayor en LC, respecto de LB (Cuadro 2). Esta respuesta fue la esperada debido a que la roturación creó rugosidad que retrasó el escurrimiento y favoreció la retención e infiltración en LB. Las tasas de escurrimiento superficial aumentaron durante la segunda simulación para ambos tratamientos; sin embargo, el volumen escurrido fue mayor con LC, posiblemente por la mayor compactación y sellado de la capa superficial creada por el pisoteo de animales y la consolidación natural debido al manejo de la LC, con lo cual se redujo la infiltración y se adelantó e incrementó el escurrimiento; estas relaciones han sido documentados por Voorhees y Lindstrom (1983). Como se mencionó anteriormente, después de la segunda simulación hubo una recarga de humedad al suelo en el sistema LB, casi 9% mayor, respecto de LC. Sin embargo, de acuerdo con estudios realizados en la cuenca de Pátzcuaro, las diferencias en el volumen escurrido entre los sistemas de labranza convencional y la labranza de conservación no tienden a ser más pronunciadas a medida que aumenta el tiempo (Tiscareño et al., 1999).

CUADRO 2				
Tasa de escurrimiento superficial y pérdidas de suelo acumuladas.				
Tratamiento	Esgurrimiento superficial ($L\ m^{-2}\ h^{-1}$)		Pérdidas de suelo ($g\ m^{-2}$)	
	Condición seca	Condición húmeda	Condición seca	Condición húmeda
Sin Roturar, LC	56.4	111.2	39.2	23.1
Barbecho, LB	15.9	92.5	40.1	84.3

Las pérdidas totales de suelo fueron de 62.3 y 124.4 $g\ m^{-2}$ para LC y LB, respectivamente (Cuadro 2). Las mayores pérdidas ocurrieron durante las pruebas en húmedo, donde la susceptibilidad del suelo a la erosión se incrementó en dos veces en la condición con barbecho. Esta diferencia es moderada, a pesar de que los volúmenes de escurrimiento hayan sido relativamente altos, pero quizás la baja pendiente del terreno bajo estudio (3 a 4%) y lo largo de las parcelas (2 m) redujo la capacidad de transporte del flujo. Además, es probable que en la parcela LB persistieron, aún después del barbecho los efectos benéficos del manejo de labranza de conservación a que ha estado sometido el terreno, como podría ser una mayor estabilidad de agregados, incremento de la materia orgánica y otros compuestos estructurantes producto de la actividad biológica (Dubroeuq et al., 2002; Subbulakshmi et al., 2009), y que esto se haya reflejado en las pérdidas de suelo moderadas aun después del barbecho.

Estudios previos realizados en la cuenca reportan pérdidas de suelo en áreas agrícolas con manejo tradicional, superiores a 30 $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ($3000\ g\ m^{-2}\ año^{-1}$) (Tiscareño et al., 1999); por su parte, Amador (1999) consignó una pérdida de suelo de 33.7 $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ($3370\ g\ m^{-2}\ año^{-1}$). Se ha reportado que para ésta región el porcentaje de lluvias que causa erosión

efectiva es solamente del 20 %, que ocurre preferentemente cuando el suelo se encuentra en estado húmedo (Medina-Orozco et al., 2008); con estos datos de pérdida de suelo y porcentaje de lluvias erosivas se obtienen valores promedio de 120 y 168 g m⁻² por cada lluvia efectiva que causa pérdida de suelo. Lo anterior confirma que los valores de pérdidas de suelo bajo LB obtenidos en el presente estudio son similares a los reportados en investigaciones previas.

Una explicación del mayor arrastre de suelo en la condición húmeda bajo LB está relacionada con los cambios en la microtopografía de este tratamiento (Figura 4); esto es, después de la primera simulación de lluvia, disminuyó la rugosidad de la parcela LB, inicialmente con mucha rugosidad, y ello ocasionó que se formara un tirante o capa de agua sobre la superficie, que ya no absorbió la energía cinética de las gotas de lluvia, lo que incrementó el desprendimiento del suelo por el impacto de la misma, así como un mayor transporte de sedimentos por la superficie más plana, provocando una mayor erosión. Estos procesos han sido observados y medidos en estudios de simulación de lluvia por otros investigadores (Auerswald et al., 1994), y además se ha destacado la necesidad de revisar el importante rol de la rugosidad (Lane, 2005) en estudios hidrológicos y de erosión.



Figura 4. Cambios en la microtopografía de la parcela LB. (A) Antes de las simulaciones; (B) después de la primera simulación de 60 min; (C) después de la segunda simulación de 30 min.

Conclusiones

Los resultados preliminares producto del presente estudio sugieren que la labranza de un suelo históricamente mantenido bajo labranza de conservación, puede generar pérdidas de suelo y agua relativamente moderadas, debido muy probablemente a que persiste el efecto benéfico de dicho manejo histórico, aún después de la roturación. Inicialmente las pérdidas de suelo y agua fueron menores por el efecto de rugosidad inducida por el barbe-

cho, pero en la segunda fase, las pérdidas se incrementaron al reducirse la rugosidad en LB, con lo cual se incrementó la erosión, respecto de LC.

Agradecimientos

Se agradece al Sr. Nino García de la comunidad de Oponguio, Mich., las facilidades que nos ofreció para realizar el presente trabajo. También se agradece el apoyo en los trabajos de campo a Crecenciano Chávez y Noé Vázquez técnicos del INIFAP. Agradecemos a los revisores anónimos por sus valiosos comentarios y sugerencias para mejorar el presente artículo.

Referencias

- Amador, G. A. 1999. Simulación dinámica del impacto ambiental por actividades agrícolas en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis de Maestro en Ciencias en Conservación y Manejo de Recursos Naturales. UMSNH. Morelia, Mich. 101pp.
- Auerswald, K., C. K. Mutchler, and K. C. McGregor. 1994. The influence of tillage-induced differences in surface moisture content of soil erosion. *Soil & Tillage Research* 32:41-50.
- Boix-Fayos, C., M. Martínez-Mena., E. Arnau-Rosalén., A. Calco-Cases., V. Castillo, and J. Albaladejo. 2006. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. *Earth Science Reviews*.78(3-4):267-285.
- Dubroeuq, D., Geissert, D., Barois, I, and, Ledru MP. 2002. Biological and mineralogical features of Andisols in the Mexican volcanic highlands. *Catena*. 49: 183– 202. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00043-7.
- FAO-UNESCO. 1974. Legend, soil map of the world. FAO. Paris, France.
- García, De M. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 217 pp. Cuarta Edición. México.
- Lane, S.L., 2005. Roughness- Time for a re-evaluation? *Earth Surf. Process. Landforms* 30:251-253
- Martínez, M.M., y V.J. Fernández, 1983. Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas. Manuscrito, DGCSA, SARH, México, 12 p.
- Medina-Orozco. L. E., M. Bravo-Espinosa., C. Prat., Martínez, M. M., Ojeda, T. E, y B. Serrato-Barajas. 2008. Pérdidas de suelo, agua y nutrientes en un acrisol bajo diferentes manejos agrícolas en Michoacán, México. *AgriculturaTécnica en México*. 34(2): 201-211.
- Nearing, MA, Govers, G. and Norton, LD (1999) Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America Journal* 63 (6): 1829–1835.

- Savabi, M.R., and D.E. Stott. 1994. Plant residue impact on rainfall interception. *Transactions of the ASAE* 37(4): 1093-1098.
- SEMARNAT-CP. 2001. Evaluación de la degradación causada por el hombre en la República Mexicana escala 1: 250 000. Memoria Nacional. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales - Colegio de Posgraduados. México.
- Simanton, J.R., and K.G. Renard, 1993. Upland erosion research on rangelands. En: *Overland Flow: Hydraulics and erosion mechanics*, (A. J. Parson and A. D. Abrahams, eds), Chapman&Hall, NY, 335-375 pp.
- Subbulakshmi, S., N. Saravanan, and P. Subbian. 2009. Conventional tillage vs conservation tillage – a review. *Agricultural Reviews*. 30(1): 56-63.
- Tiscareño, L. M., A. D. Báez -González, M. Velásquez -Valle, K. N. Potter, J. J. Stone, M. Tapia-Vargas and R. Claverán A. 1999. Agricultural research for watershed restoration in central México. *J. Soil & Water Cons.* 36: 686 – 692.
- Vázquez, V., 1986. La conservación del suelo y agua en México. DGCSA-SARH, México DF, 34 p.
- Voorhees, W.B. and M.J. Lindstrom. (1983). Soil compaction constraints on conservation tillage in the Northern Corn Belt. *J. Soil and Water Cons.* 38 (3):307-311.