

EFECTO DE TRES PRACTICAS AGRONOMICAS SOBRE LA CONSERVACION Y PRODUCTIVIDAD DE SUELOS DE LADERA DE LA FRAYLESCA, CHIAPAS*

Jaime LOPEZ MARTINEZ¹
Manuel ANAYA GARDUÑO²

RESUMEN

De 1985 a 1991, en la región de La Fraylesca, Chiapas, en un suelo Cambisol mólico de textura migajón arcillo arenosa con 65% de pendiente, menos de 15 cm de profundidad y regímenes de humedad y temperatura údico e iso-hipertérmico, respectivamente, en condiciones de temporal estricto se evaluó el efecto de tres prácticas agronómicas sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica en la productividad de maíz. Los factores, a dos niveles cada uno, que se estudiaron bajo un arreglo de tratamientos de parcelas subdivididas y tres repeticiones, consistieron en el pastoreo de bovinos, la quema de residuos de cosecha y la siembra de frijol terciopelo (*Mucuna deeringianum* Bort.) en relevo del cultivo de maíz, como cobertura superficial del suelo. En 1991 la no quema de residuos fue la práctica más eficiente al reducir en 84% las pérdidas de suelo y en 57% el volumen de agua escurrido. La cobertura superficial de los residuos protegió al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia y propició condiciones para una mejor disponibilidad de agua para el cultivo, lo cual favoreció una mayor cobertura del follaje y un incremento en el rendimiento. La pérdida de suelo se relacionó inversamente con el rendimiento de maíz, debido a que causó una declinación lineal de la materia orgánica (3.50-4.82%), el potasio intercambiable (0.43-0.64 cmol/kg), el nitrógeno total (0.16-0.23%) y la conductividad hidráulica a saturación (0.09-0.17 cm/hr). En todos los ciclos, en el tratamiento que no incluyó pastoreo de bovinos, ni quema de residuos, pero si la siembra de frijol terciopelo, los rendimientos de maíz variaron de 3.4 a 5.2 ton/ha; mientras que en el testigo (pastoreo, quema, sin frijol terciopelo), fluctuaron de 1.8 a 4.4 ton/ha. Con el primer tratamiento se obtuvieron los mayores rendimientos relativos de maíz, lo cual indicó que con este sistema de manejo se logró un incremento sostenido de la productividad del suelo.

* *Este artículo, enviado para su publicación el 3 de diciembre de 1993, es parte de la tesis con la que el primer autor obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.*

¹ M.C., Investigador del Programa de Manejo y Conservación de Recursos Naturales del Campo Experimental "Centro de Chiapas". CIRPS, INIFAP.

² Ph.D., Profesor Investigador del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

INTRODUCCION

Las regiones tropicales están distribuidas a nivel mundial entre el Trópico de Cáncer, (23° de latitud norte) y el Trópico de Capricornio (23° de latitud sur). Por su localización geográfica, disponen de gran cantidad de energía solar, lluvia y temperatura durante la mayor parte del año, lo que favorece el desarrollo de una exuberante vegetación que mantiene en equilibrio los ecosistemas; sin embargo, la remoción de la cubierta vegetal expone al suelo al efecto erosivo de la lluvia.

En México, tales regiones ocupan una vasta extensión en el sur y sureste del territorio nacional, con alrededor de 4.2 millones de hectáreas a lo largo de la zona costera del Golfo de México y la vertiente del Pacífico. Los suelos en esas condiciones presentan alta susceptibilidad a la erosión, sobre todo cuando se incorporan a la agricultura teniendo pendientes pronunciadas. Específicamente en Chiapas, el 35% de los suelos muestran cierto grado de erosión. Al respecto, un estudio sobre la caracterización de la erosión hídrica a nivel estatal, cuyos resultados fueron publicados por Villar (16) en 1989, señala que en la Depresión Central la erosión se clasificó como severa. Dentro de esta región se ubica la subregión de La Fraylesca que abarca una extensión de 830 000 hectáreas, de las cuales 140 000 hectáreas se cultivan con maíz y de éstas un 25% se localiza en terrenos con más de 15% de pendiente. En los terrenos que tienen pocos años de haberse abierto a la agricultura se siembra frijol en relevo al cultivo del maíz, patrón de cultivos que ocupa alrededor de 12 000 hectáreas.

En el período de estiaje se realiza un pastoreo extensivo de bovinos en el rastrojo de maíz. Antes del establecimiento del temporal, el agricultor quema los residuos de la cosecha para dejar limpio el terreno para la siembra del cultivo. Esta práctica en terrenos con pendientes pronunciadas propicia que el proceso de erosión se intensifique, debido a que el suelo queda expuesto a las lluvias de alta erosividad que ocurren con mucha frecuencia en el trópico.

El efecto de la erosión del suelo se manifiesta en una disminución paulatina del potencial productivo de los sistemas de producción, por lo que el campesino, para mantener el nivel de rendimiento del cultivo, opta en primera instancia por aumentar la dosis de fertilizante hasta que la actividad le resulta incosteable. Los terrenos en donde la agricultura deja de ser redituable, se convierten en praderas, la mayoría cubiertos con pastos nativos, en los cuales el proceso degradativo continúa debido al sobrepastoreo, a tal grado que el

daño a la fertilidad del suelo se hace irreversible en muchos de los casos, lo que repercute en un deterioro de los recursos naturales.

A consecuencia de lo anterior, en los últimos años ha habido gran interés por la sustentación de la agricultura para proveer de alimentos a una población cada vez mayor. En este sentido, según lo especificó el CAT (2) en 1991, la agricultura sustentable implica el manejo apropiado de los recursos para así satisfacer las cambiantes necesidades humanas y, al mismo tiempo, mantener o mejorar la calidad del medio y conservar los recursos naturales. En esta definición se reconoce los aspectos dinámicos del problema, pero también se explicita la protección de los recursos naturales.

Dentro de los sistemas de protección al suelo, el uso de coberturas vegetales se considera la práctica con mayores posibilidades de éxito, por que amortigua la agresividad de los agentes erosivos e incrementa a la vez la productividad del suelo; asimismo, su instrumentación es de bajo costo y, con frecuencia, se pueden reducir costos de producción. Por su parte, Ríos (14) en 1987 y Lal (10) en 1988a, plantearon que es necesario conocer la dinámica de la cobertura de los cultivos, así como el manejo de los residuos de cosecha, en función de la protección que proporcionen al suelo.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres prácticas agronómicas sobre las pérdidas de suelo y agua y la sustentación de la productividad en terrenos cultivados en condiciones de ladera.

REVISION DE LITERATURA

La erosión del suelo en el trópico

Muchos investigadores coinciden en señalar que el problema de degradación del suelo reviste mayor peligro en las regiones tropicales, debido a la alta erosividad de la lluvia; Cook (3), en 1987 confirmó lo anterior al indicar que la intensidad de las tormentas tropicales es más alta que la de las lluvias en la mayoría de las regiones templadas.

Greenland y Lal (5), en 1979 refirieron a que la erosión no es simplemente una función del suelo expuesto a los agentes causales, sino que depende también de las propiedades intrínsecas al mismo, de su pendiente, manejo y

cobertura, y también del clima, factores de los cuales depende la relación agua escurrida-agua infiltrada.

Existe consenso entre los investigadores en señalar que las principales causas que aceleran la erosión del suelo en el trópico se relacionan con ciertas prácticas de uso y manejo de los recursos naturales, que implican una alteración de la vegetación original, como son: la deforestación, el sobrepastoreo y el manejo inadecuado (disminución del período de descanso de la tierra para que el suelo recupere su fertilidad) de la agricultura migratoria (roza-tumba-quema).

La práctica intensiva e indiscriminada de estas actividades acelera el proceso erosivo del suelo, principalmente en áreas con alta precipitación pluvial y pendientes pronunciadas. Entre los pocos estudios que se han realizado para cuantificar sistemáticamente las implicaciones de la deforestación destaca el de Lal (8), quien en 1986 señaló que a nivel local ésta incide sobre el microclima, el balance de agua y energía, el estado de nutrimentos y la actividad y composición de la flora y fauna.

Nieuwkoop *et al.* (12), en 1992 mencionaron que entre las principales causas de la deforestación en La Fraylesca, Chiapas, se encuentran los incendios, la incorporación de nuevas tierras a la agricultura y la inadecuada explotación de los bosques.

Anaya (1), en 1991 mencionó que un 80% de las áreas ganaderas de América Latina están degradadas principalmente a causa de la eliminación de cubierta vegetal por efecto de la alta carga animal a que son sometidas (sobrepastoreo), con la consecuente erosión que reduce la productividad de la capa superficial del suelo.

El sistema roza-tumba-quema es de alta adaptabilidad y no rompe con el equilibrio ecológico cuando los períodos de descanso son lo suficientemente largos para que se recupere la fertilidad del suelo y se mantengan los rendimientos, según afirmaron Pool y Hernández (13) en 1991. El tiempo necesario para que el terreno vuelva a ser fértil depende de la duración de las fases de cultivo y de descanso. Al respecto, Lal (8) citó en 1986 que para que se restablezca la vegetación, la relación entre el tiempo de cultivo y el tiempo de descanso del terreno debe ser de 1:5; o sea, tres años de cultivo seguido por 15 años de descanso. Sin embargo, el crecimiento demográfico y la necesidad de obtener más alimentos conducen a la intensificación del uso de la tierra con los consecuentes efectos degradativos del recurso suelo.

Proceso y mecanismo de la erosión hídrica

Hudson (6), en 1977 definió a la erosión hídrica como el proceso físico de desprendimiento, transporte y depósito de las partículas del suelo por el agua de lluvia.

La severidad de la erosión hídrica depende de la cantidad de material que se aporte a través del desprendimiento y de la capacidad del agente erosivo para transportarlo. El conocimiento de estos dos factores es importante porque el éxito o falla de los sistemas de conservación depende de las medidas de control adecuadas para limitar el factor dominante, según explicó la SARH (15) en 1991.

Para determinar la capacidad erosiva de la lluvia se ha optado por utilizar el índice de erosividad EI_{30} , el cual fue definido por Wischmeier (17) en 1959 como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}).

La importancia de la cobertura vegetal en la reducción de la erosión ha sido demostrada en estudios en los que se ha evaluado el efecto de diferentes tipos de cobertura sobre la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial, tal como lo indicó Hudson (6) en 1977. El follaje de la vegetación intercepta las gotas de lluvia y disipa su energía cinética antes que lleguen al suelo, de tal manera que se reduce, en primera instancia, el efecto de salpicado del suelo. Para un control efectivo de la erosión se requiere reducir el impacto directo de las gotas de lluvia, posibilitar una adecuada infiltración y disminuir la velocidad y capacidad de transporte del flujo superficial. De acuerdo con lo expresado por Lal (7) en 1982 esas medidas de control se pueden lograr mediante una adecuada disposición de los residuos de cosecha en la superficie del suelo.

El factor C de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) es el cociente que se obtiene de dividir las pérdidas de suelo en un terreno con cierto tipo de manejo, entre las obtenidas en el mismo terreno bajo suelo desnudo y con barbecho continuo. Al respecto, Wischmeier y Smith (18) en 1978 y la SARH (5) en 1991, mencionaron que el valor de C depende de la combinación de la cobertura, secuencia de cultivos y prácticas de manejo, así como del estado de crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal, en el momento en que actúa el agente erosivo.

Erosión y productividad del suelo en el trópico

Lal (11), en 1988b comentó que cuantificar los efectos de la erosión del suelo sobre el rendimiento de los cultivos es un trabajo muy difícil, porque involucra la estimación de una serie de interacciones acerca de las propiedades del suelo, características del cultivo y del clima prevaleciente. Los efectos son también acumulativos y a menudo se observan hasta que la erosión comienza a tener niveles severos. Además, la magnitud de los efectos de la erosión sobre el rendimiento del cultivo depende de las características del perfil del suelo y de los sistemas de manejo. La erosión progresiva incrementa la magnitud de las restricciones de la producción relativas al suelo. Entre las restricciones físicas inducidas por la erosión se encuentran: la reducción de la profundidad radical efectiva, la pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, el encostramiento y la compactación. Las restricciones químicas del suelo y desórdenes nutrimentales se relacionan con la disminución del intercambio catiónico, la deficiencia de elementos mayores (N, P, K) y menores (Zn, Ca), el aumento de elementos tóxicos (Al, Mn) y la elevación de la acidez del suelo. Alteraciones inducidas por la erosión afectan las propiedades biológicas del suelo, como ocurre con la materia orgánica y la actividad de la macrofauna, según lo comprobaron Follet y Stewart (4) en 1985 y Lal (9), en 1987.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la subregión de La Fraylesca, ubicada en la Depresión Central de Chiapas que se localiza entre los 92° 30' - 94° 0' de longitud oeste y 15° 30' - 16° 30' de latitud norte, y su altitud media es de aproximadamente 600 msnm (Figura 1). El clima predominante es el cálido subhúmedo; la precipitación anual fluctúa entre 800 y 1,500 mm, de los cuales el 80% ocurre de junio a octubre; las mayores temperaturas se presentan de abril a mayo, la temperatura media anual es de 25° C y la diferencia entre las temperaturas medias del verano y del invierno es menor que 5°C. En general, la subregión se caracteriza por un régimen de humedad údico y un régimen de temperatura isohipertérmico.

En la Figura 2 se muestra la distribución decenal de precipitación y evaporación registrada en una estación climatológica cercana al sitio experimental. La probabilidad de tener un déficit de agua durante la temporada de lluvia es reducida, excepto en la parte noroeste de la subregión donde se presentan

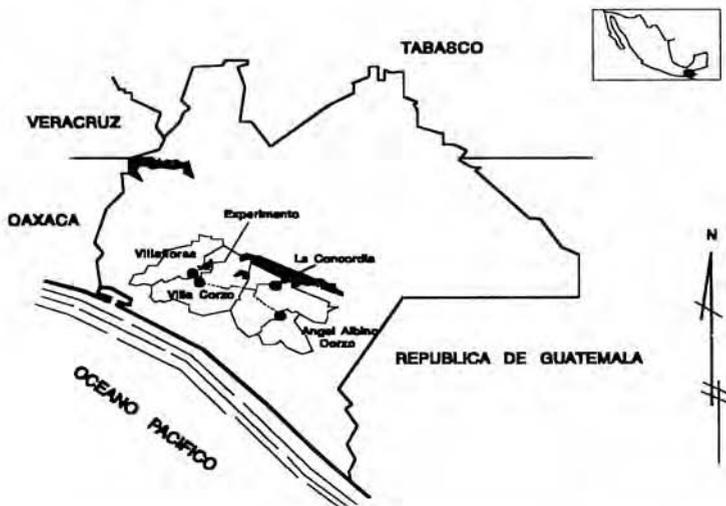


Figura 1. Localización del sitio experimental. La Fraylesca, Chiapas. INIFAP. 1991

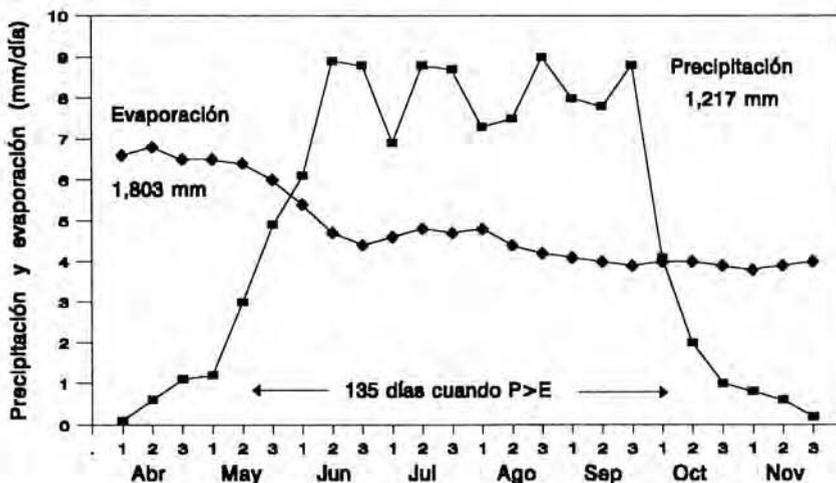


Figura 2. Precipitación y evaporación por período de 10 días. Estación: Villaflores, Chiapas. INIFAP. 1953-1989.

períodos con riesgo de sequía intraestival. A nivel global, en toda el área de La Fraylesca la probabilidad de sequía durante la etapa de floración de maíz es del 10%, según especificaron Nieuwkoop *et al.* (12) en 1992.

El experimento se estableció sobre una ladera de forma convexa en dirección noreste, con 65% de pendiente y una altitud de 750 msnm. El suelo se clasifica como Cambisol mólico de textura migajón arcillo arenoso, presenta un contacto paralítico a menos de 15 cm de profundidad y descansa sobre lecho endurecido o rocoso de materiales ígneos.

El experimento se inició en 1985, en una ladera que hasta esa fecha tenía siete años de cultivarse con maíz de temporal (primera semana de junio) y frijol de relevo (siembra en septiembre), e incluía un manejo tradicional del suelo; o sea, pastoreo extensivo de bovinos durante la época seca en el rastrojo de maíz y quema de los residuos de cosecha antes de la siembra.

De 1985 a 1991, excepto en 1990, se evaluó la pérdida de suelo en lotes de escurrimiento de 1.6 x 2.0 m ubicados en el centro de la parcela experimental y se midió la precipitación con un pluviómetro de cuña. En 1991 se instaló un pluviógrafo que permitió medir intensidad de la lluvia, por lo que fue posible obtener información para estimar la erosividad de la lluvia. Asimismo, en este ciclo se incluyó un lote de escurrimiento con suelo desnudo, de tal manera que se obtuvieron datos para evaluar las pérdidas de suelo relativas y estimar el factor C de cobertura y manejo de la EUPS.

Las prácticas agronómicas de conservación estudiadas consistieron en el pastoreo de bovinos, la quema de residuos de cosecha y la siembra de frijol terciopelo en relevo al maíz. Estos factores se evaluaron a dos niveles cada uno (con y sin), bajo un arreglo de tratamientos de parcelas subdivididas y un diseño de bloques al azar con tres repeticiones.

En las parcelas grande (PG), mediana (PM) y chica (PCh), se ubicaron los factores pastoreo, quema y frijol terciopelo, respectivamente. La descripción de tratamientos se presenta en el Cuadro 1.

La parcela experimental estuvo constituida por seis hileras de maíz de 8 m de largo separados a 0.8 m; y como parcela útil se consideraron los dos surcos centrales.

En todos los ciclos se sembró la variedad de maíz V-524 (proporcionada por el agricultor cooperante); la siembra se realizó en forma manual con

espeque, en sentido de la pendiente durante la primera semana de junio, bajo un arreglo de dos plantas por mata cada 0.5 m, para tener una densidad de población de 50 mil plantas/ha. El frijol común (de mata, variedad del agricultor) y el frijol terciopelo (de guía, colectado en la subregión) se sembraron en los primeros 10 días de septiembre, una vez efectuada la dobla de maíz. Ambas especies se sembraron también con espeque a doble hilera entre las de maíz, a una distancia entre matas de 0.4 m, depositando dos plantas/mata de frijol terciopelo y cuatro plantas/mata de frijol común, con lo que se obtuvieron densidades de 250 mil y 125 mil plantas/ha, respectivamente.

CUADRO 1. DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS ESTUDIADOS. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1991.

Parcela Grande	Tratamiento		Denominación en el texto
	Parcela Mediana	Parcela Chica	
1. Con pastoreo	con quema	sin terciopelo	P-Q-SC
2. Con pastoreo	con quema	con terciopelo	P-Q-C
3. Con pastoreo	sin quema	sin terciopelo	P-SQ-SC
4. Con pastoreo	sin quema	con terciopelo	P-SQ-C
5. Sin pastoreo	con quema	sin terciopelo	SP-Q-SC
6. Sin pastoreo	con quema	con terciopelo	SP-Q-C
7. Sin pastoreo	sin quema	sin terciopelo	SP-SQ-SC
8. Sin pastoreo	sin quema	con terciopelo	SP-SQ-C

De acuerdo con el sistema de uso de los esquilmos de maíz en la región, el pastoreo de bovinos (812 cabezas) en las parcelas respectivas se efectuó de febrero a mayo, o sea, durante la época seca del año. Asimismo, la quema de residuos de cosecha se realizó a finales de mayo.

En 1991, desde la siembra a la cosecha, cada 15 días se midió la cobertura por follaje utilizando el procedimiento descrito por Ríos (14) en 1987. Con el propósito de analizar el efecto acumulado de la erosión sobre las características del suelo y su relación con la productividad, de cada tratamiento se tomaron

muestras compuestas a 10 cm de profundidad del suelo y se efectuaron las determinaciones siguientes: textura (Bouyoucos); densidad aparente, Da (terron); conductividad hidráulica a saturación, Ks (carga constante), pH (potenciómetro), materia orgánica, MO (Walkley y Black), N total (semimicro-Kjeldahl), P extraíble (Olsen); K, Ca, Mg y Na intercambiables (acetato de amonio); y capacidad de intercambio catiónico, CIC (acetato de amonio).

RESULTADOS Y DISCUSION

Determinación de erosividad de lluvias y factor C de manejo y cobertura

La precipitación en 1991 fue de 831 mm, la cual, de acuerdo con un análisis de los datos de lluvia registrados durante 35 años en la estación climatológica de Villaflores, Chiapas (ubicada a 10 km del sitio experimental), resultó con una probabilidad de presentarse en dos de cada 10 años. Por lo anterior, este ciclo fue excepcionalmente seco en cuanto a lámina precipitada. Sin embargo, la influencia de la lluvia en el proceso erosivo se relaciona más estrechamente con el número de eventos individuales con capacidad suficiente para causar erosión, que con el total anual.

En el Cuadro 2 se observa que el 35% del total de eventos lluviosos, correspondientes a la clase de 0-5 mm, sólo aportaron el 3.5% de la precipitación anual y apenas el 0.24% de la erosividad total y, además, no causaron escurrimiento. En cambio, el 16% de los eventos lluviosos, cuya magnitud fue mayor de 40.1 mm, contribuyeron con el 48% de lámina precipitada, generaron el 63% del EI_{30} y causaron más de la mitad de las pérdidas de suelo en el lote desnudo. Por otro lado, cabe destacar que el 93% del EI_{30} anual se presentó de junio a octubre y el 37% de éste se concentró en junio.

Los resultados anteriores confirman que en las regiones tropicales son comunes las lluvias excesivas con alta capacidad para causar erosión.

A partir de las pérdidas de suelo relativas (PSR) y la erosividad obtenidas en el ciclo 1991, se determinó el factor C para cada tratamiento, mediante el procedimiento descrito por Wischmeier y Smith (17) en 1978.

CUADRO 2. DISTRIBUCION DEL NUMERO DE EVENTOS LLUVIOSOS Y SU INDICE DE EROSIDAD (EI_{30}) DE ACUERDO A SU MAGNITUD EN LADERAS DE LA FRAYLESCA, CHIAPAS. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1991.

Magnitud (mm)	Núm. de eventos	Lámina		EI_{30}	
		(mm)	%	Mega Joule mm ha hr	%
0.0 - 5.0	15	29.0	3.50	12.85	0.24
5.1- 10.0	4	35.5	4.28	81.52	1.51
10.1- 15.0	4	50.7	6.11	74.21	1.37
15.1- 20.0	5	88.9	10.84	401.21	7.42
20.1- 25.0	3	64.5	7.78	364.01	6.73
25.1- 30.0	2	57.0	6.87	371.95	6.88
30.1- 35.0	2	63.0	7.6	371.73	6.87
35.1- 40.0	1	40.0	4.82	338.53	6.26
> 40.1	7	400.9	48.33	3,392.74	62.72

La cobertura por follaje como factor atenuante de la erosividad de la lluvia se confirmó, ya que en las primeras etapas, antes de que el cultivo proveyera el 50% de cobertura, se produjeron las mayores proporciones de PSR, lo cual se manifestó en el hecho de que entre el 62 y 92% del factor C se registrara en el mismo período.

Al analizar el efecto de las prácticas sobre los valores del factor C, se notó la influencia positiva de la no quema de residuos. En el Cuadro 3 se aprecia que, en promedio sobre los otros factores, el tratamiento sin quema presentó un valor de C de 0.047, seis veces menor al estimado donde hubo la quema de residuos de cosecha, que fue de 0.297. Los residuos redujeron la energía cinética de las gotas de lluvia y propiciaron condiciones favorables para el cultivo, el cual alcanzó, en menos tiempo, mayores porcentajes de cobertura, sobre todo en las primeras etapas de crecimiento, período en el que se presentan lluvias de alta intensidad.

El valor del factor C anual estimado en el tratamiento con frijol terciopelo fue, en promedio, de 0.135, inferior en un 37% al que se obtuvo con el tratamiento que no incluyó a esta leguminosa. La eficacia del frijol terciopelo en la reducción

de la erosión se puede atribuir a que la acumulación de su sistema radical ejerció un efecto sujetador de las partículas de suelo.

Con el tratamiento que incluyó la práctica de pastoreo se obtuvo un valor promedio de C de 0.203, en cambio, donde no se tuvo la influencia del pisoteo del ganado este valor se redujo un 28%.

CUADRO 3. VALORES DEL FACTOR C ANUAL POR TRATAMIENTO ESTIMADOS A PARTIR DE LAS PERDIDAS DE SUELO RELATIVAS EN LA FRAYLESCA, CHIAPAS. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1991.

Tratamiento*	Factor C
1. P-Q-SC	0.4575
2. P-Q-C	0.2400
3. P-SQ-SC	0.0613
4. P-SQ-C	0.0552
5. SP-Q-SC	0.2948
6. SP-Q-C	0.2034
7. SP-SQ-SC	0.0452
8. SP-SQ-C	0.0426

* P = con pastoreo, SP = sin pastoreo; Q = quema, SQ = sin quema; C = con frijol terciopelo, SC = sin frijol terciopelo.

Pérdida de suelo y agua

En el Cuadro 4 se observa que en el lote desnudo se registraron las mayores pérdidas de suelo y de agua (116 ton/ha/año y 458 l/m²/año, respectivamente). Estas pérdidas de suelo y de volumen escurrido se redujeron diferencialmente en función del efecto que ejercieron los tratamientos de cobertura del suelo, tanto por el follaje de los cultivos, como por los residuos dejados en la superficie del terreno.

En promedio, donde se efectuó la quema de residuos de cosecha, se registraron 31.8 ton/ha/año de suelo erosionado del horizonte superficial del perfil; en cambio, donde no hubo quema de residuos, las pérdidas de suelo

fueron de 5.1 ton/ha/año. Los datos anteriores muestran que con el simple hecho de evitar la quema, la erosión se redujo en más de seis veces, lo cual indica que esta práctica puede ser una alternativa para mantener la erosión a niveles no degradativos del recurso suelo. Esta práctica también influyó significativamente en el escurrimiento superficial: sin la quema de residuos se registró un promedio de volumen escurrido de 131 l/m²/año, en comparación con 307 donde sí se efectuó la quema. Los residuos de cosecha protegieron al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, sobre todo de los eventos erosivos que se presentaron al inicio del temporal, cuando todavía el follaje del cultivo no proporcionaba una suficiente cobertura. También ejercieron una acción favorable al disminuir la velocidad del flujo superficial e incrementar la infiltración, lo que propició una mejor disponibilidad de agua para el cultivo.

En promedio, con la siembra de frijol terciopelo en relevo al maíz, las pérdidas de suelo fueron de 13.9 ton/ha/año; por el contrario, donde no se sembró esta leguminosa se perdieron 22.9 ton/ha/año, lo que significó una reducción de la erosión del 40%. El escurrimiento superficial disminuyó de 289 a 209 l/m²/año con la siembra de frijol terciopelo.

CUADRO 4. PERDIDA DE SUELO, VOLUMEN ESCURRIDO Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO EN TERRENOS DE LADERA DE LA FRAYLESCA, CHIAPAS. CECECH. CIRPS. INIFAP. 1991.

Tratamiento	Pérdida de suelo (ton/ha/año)	Volumen escurrido (l/m ² /año)	Coefficiente de escurrimiento
1. P-Q-SC	49.67	405.53	0.435
2. P-Q-C	24.17	303.24	0.351
3. P-SQ-SC	6.01	114.32	0.139
4. P-SQ-C	5.57	129.16	0.165
5. SP-Q-SC	31.63	253.11	0.278
6. SP-Q-C	21.84	267.41	0.312
7. SP-SQ-SC	4.59	142.21	0.181
8. SP-SQ-C	3.92	137.95	0.174
9. Testigo	116.03	457.91	0.497

P=con pastoreo; SP=sin pastoreo; Q=con quema; SQ=sin quema; C=con frijol terciopelo; SC=sin frijol terciopelo; Testigo=lote desnudo.

Por otra parte, en las parcelas donde se efectuó el pastoreo, el pisoteo del ganado provocó pérdidas de suelo de 21.4 ton/ha/año y un escurrimiento de 238 l/m²/año; en cambio, donde no hubo pastoreo estas cantidades se redujeron en 28 y 16%, respectivamente.

La erosión y productividad del suelo

El efecto de la erosión en el rendimiento del cultivo se manifiesta en función el deterioro de las propiedades del suelo, aunado a las condiciones prevalecientes del clima que más influyen en la respuesta de la planta. La precipitación en 1991 fue menor a la registrada en los demás ciclos del estudio, lo cual propició un efecto más determinante de las prácticas evaluadas sobre el rendimiento del cultivo.

Mediante análisis de regresión se determinó la relación entre el rendimiento de maíz y las pérdidas de suelo obtenidas por tratamiento durante 1991. Los datos se ajustaron ($r^2=0.72$) al modelo lineal que se anota a continuación:

$$Y = 3.0792 - 0.0024 (PS)$$

Donde: Y = rendimiento de maíz en ton/ha
PS = pérdidas de suelo en ton/ha/año

En la Figura 3, que muestra gráficamente los valores de la ecuación ajustada, se observa una clara tendencia del efecto adverso de la pérdida de suelo por erosión hídrica sobre el rendimiento de maíz.

Con el fin de evaluar el efecto de las prácticas sobre el control de la erosión y su influencia en el rendimiento del cultivo, se efectuó un análisis de regresión entre las pérdidas de suelo acumuladas (de 1985 a 1991) y los rendimientos de maíz por cada tratamiento. De manera similar al caso anterior, las relaciones entre variables mostraron que a medida que se incrementaron las pérdidas de suelo, los rendimientos de maíz disminuyeron.

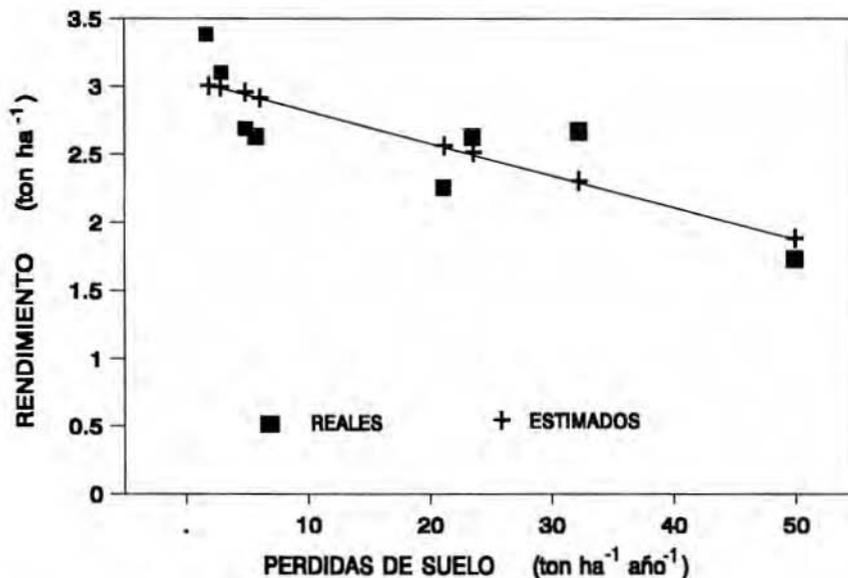


Figura 3. Relación entre el rendimiento de maíz y las pérdidas de suelo en terrenos de ladera de La Fraylesca, Chiapas. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1991.

Sin embargo, la variación observada en los valores de los coeficientes de determinación (r^2) indicó que el grado de ajuste entre variables estuvo afectado por las condiciones del clima (precipitación) y por la influencia de las prácticas evaluadas. Por ejemplo, con el manejo tradicional del suelo (pastoreo-quema-sin frijol terciopelo) se obtuvo la siguiente ecuación de regresión:

$$Y = 5.4495 - 0.0231 (\text{PSA}); \text{ con un } r^2 = 0.64$$

Donde: PSA = pérdidas de suelo acumuladas en ton/ha/año.

En cambio, con el tratamiento sin pastoreo-sin quema-con frijol terciopelo se generó la ecuación:

$$Y = 5.467 - 0.0977 (\text{PSA}); \quad \text{con un } r^2 = 0.45$$

En el primer caso, el mayor ajuste entre variables resulta lógico, pues bajo esas condiciones de manejo del suelo se registraron las mayores pérdidas de suelo acumulado, lo cual influyó negativamente en el rendimiento de maíz en el transcurso de los años. En el segundo, la menor correlación se puede atribuir a que el efecto benéfico de las prácticas (no quema y frijol terciopelo, principalmente) propició mejores condiciones para el cultivo, de tal manera que la influencia de la erosión acumulada no causó una disminución significativa del rendimiento.

El efecto de la erosión sobre la productividad del suelo se manifestó en el deterioro de las características del suelo que más influyeron en la respuesta del cultivo. Del total de características evaluadas (13), las que se relacionaron más estrechamente con las pérdidas de suelo fueron: el K intercambiable, con valores que variaron de 0.43 a 0.64 cmol/kg; la MO, con porcentajes de 3.50 a 4.82; el N total, que fluctuó entre 0.16-0.23%; la densidad aparente (D_a), que registró cantidades de 1.48 a 1.58 g/cm³; y la conductividad hidráulica a saturación (K_s), con tasas de infiltración de 0.09 a 0.17 cm/hr. Las ecuaciones de regresión del Cuadro 5 muestran una declinación lineal de las características edáficas con el incremento de las pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Rendimiento relativo de maíz en el tiempo

Los rendimientos de maíz obtenidos en los años de estudio que se presentan en el Cuadro 6, muestran que la magnitud del efecto diferencial de las prácticas agronómicas evaluadas sobre la respuesta del cultivo, estuvo influenciada por las condiciones de clima que prevalecieron en los ciclos de experimentación. En este sentido, la cantidad y, principalmente, la distribución de la precipitación pluvial fueron los parámetros que determinaron el efecto de los tratamientos en el rendimiento de maíz. Por ejemplo, el factor manejo de residuos como cobertura del suelo fue determinante en los ciclos que registraron un déficit de humedad en agosto, período que coincide con las etapas de floración y llenado

de grano del cultivo. Así, en los años con menor precipitación en agosto, 1985, 1987 y 1991, los incrementos en rendimiento de grano de maíz por efecto de la no quema de residuos fueron, en promedio, de 0.1, 0.6 y 0.7 ton/ha, respectivamente.

CUADRO 5. RELACION ENTRE CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO Y LAS PERDIDAS EDAFICAS POR EROSION HIDRICA. LA FRAYLESCA, CHIAPAS. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1993.

Ecuacion de regresión		Coefficiente de correlación
MO (%)	= 4.2685 - 0.0186 (PS)	- 0.63
N total (%)	= 0.2042 - 0.0009 (PS)	- 0.62
K+ (cmol/kg)	= 0.5803 - 0.0030 (PS)	- 0.71
Da (g/cm ³)	= 1.4993 + 0.0040 (PS)	0.63
Ks cm/hr)	= 0.1307 - 0.0011 (PS)	- 0.62

PS = Pérdidas de suelo en ton/ha/año.

Por otra parte, con los rendimientos del Cuadro 6 se estimaron los rendimientos relativos de maíz para cada tratamiento, en función del tratamiento testigo de manejo tradicional del suelo: con pastoreo, con quema de residuos y sin frijol terciopelo (P-Q-SC). En la Figura 4, que muestra la distribución de los rendimientos relativos en el tiempo, destaca el caso del tratamiento sin pastoreo, sin quema de residuos y con frijol terciopelo (SP-SQ-C), el cual en todos los ciclos mantuvo un nivel de rendimiento superior al resto de los tratamientos.

El efecto benéfico de estas tres prácticas se manifestó más claramente en los últimos tres ciclos, en los que se nota un incremento sostenido de los rendimientos relativos. Por el contrario, las prácticas agronómicas con manejo tradicional del suelo que propiciaron las mayores pérdidas edáficas, influyeron negativamente en el rendimiento de maíz, pues a partir del ciclo 1989 todos los tratamientos tuvieron rendimientos relativos mayores que la unidad. Lo anterior indica que a partir de este ciclo se empezó a manifestar más claramente una declinación de la productividad, causada por la degradación acumulada del suelo.

CUADRO 6. RENDIMIENTOS DE MAIZ (ton/ha) POR TRATAMIENTO Y PRECIPITACION (pp, en mm) EN LOS AÑOS 1985-1991. LA FRAYLESCA, CHIAPAS. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1991.

Tratamiento*	Años							\bar{X}
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
1. P-Q-SC	4.0	4.4	3.1	4.3	3.9	3.5	1.8	3.6
2. P-Q-C	3.8	4.9	3.6	4.5	3.9	4.0	2.6	3.9
3. P-SQ-SC	3.9	4.3	3.9	4.0	4.5	3.8	2.7	3.9
4. P-SQ-C	4.2	4.3	4.0	4.0	4.4	4.6	2.7	4.0
5. SP-Q-SC	4.1	3.9	3.6	4.1	4.4	3.5	2.6	3.7
6. SP-Q-C	4.1	4.2	3.5	4.8	4.8	4.5	2.2	3.9
7. SP-SQ-SC	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.3	3.0	4.0
8. SP-SQ-C	4.4	5.1	4.2	4.5	5.2	4.8	3.4	4.5
\bar{X}	4.1	4.4	3.7	4.2	4.4	4.1	2.6	
pp anual	1,180	1,086	1,173	1,140	1,102	1,001	830	
pp agosto	168	323	160	222	379	288	153	

*P = con pastoreo, SP = sin pastoreo; Q = con quema, SQ = sin quema; C = con frijol terciopelo; SC = sin frijol terciopelo.

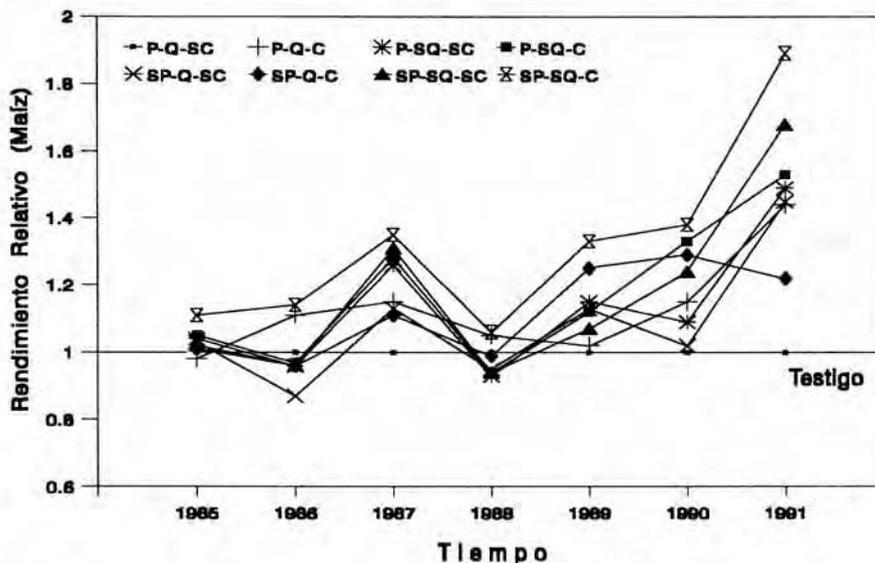


Figura 4. Variación de los rendimientos relativos de maíz a través del tiempo con respecto al testigo en terrenos de ladera de La Fraylesca, Chiapas. CECECH, CIRPS, INIFAP. 1991.

CONCLUSIONES

1. La práctica de conservación más eficiente fue la no quema de residuos de cosecha, al reducir en un 84% las pérdidas de suelo por erosión hídrica y en un 57% el volumen de agua perdido por escurrimiento superficial.
2. Los valores del factor C, estimados a partir de las pérdidas de suelo relativas y el porcentaje de erosividad anual en las etapas de crecimiento del cultivo, se redujeron por el efecto diferencial de las prácticas agronómicas evaluadas.
3. El rendimiento de maíz se relacionó inversamente con la pérdida de suelo, debido a que la erosión hídrica acumulada causó un deterioro de las características edáficas que más influyeron en la respuesta del cultivo.
4. Con el tratamiento de no pastoreo de bovinos, sin la quema de residuos de cosecha y con la siembra de frijol terciopelo en relevo al maíz, se obtuvieron los mayores rendimientos relativos de maíz, en todos los ciclos evaluados, lo cual indica que con este sistema de manejo fue posible lograr un incremento sostenido de la productividad del suelo.

LITERATURA CITADA

1. Anaya, G. M. 1991. *La desertificación, sus causas y consecuencias: medidas preventivas y correctivas para su control. (Conferencia Magistral). En: Memorias del Primer Seminario sobre Manejo de Suelos Tropicales en Chiapas.* Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México. p. 1- 8.
2. Comité Asesor Técnico. (CAT). 1991. *Producción agrícola sostenible: consecuencias para la investigación agraria internacional.* FAO. Roma. 131 p. (Estudio FAO de Investigación y Tecnología Núm. 4).
3. Cook, H. L. 1987. *Soil conservation on steep lands in the tropics.* In: Hall Swach, E.G. (ed.). "Anatomy, physiology and psychology of erosion". Great Britain. ISIAS. JohnWileyand Sons. p. 19-22.
4. Follet, R. F. and B.A. Stewart. 1985. *Soil erosion and crop productivity.* Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. 533 p.
5. Greenland, D.J. and Lal, R. 1979. *The magnitud and importance of the problem.* In: Greenland, D.J. and Lal, R. (eds.). "Soil conservation and management in the humid tropics". Great Britain. John Wiley and Sons. p. 37.

6. Hudson, N.W. 1977. *Soil conservation*. Ithaca, New York. Cornell University Press. 319 p.
7. Lal, R. 1982. *Effective conservation farming systems for the humid tropics*. In: ElSwaify, S.A. (ed.). "Soil erosion and conservation in the tropics". Madison. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. p. 5776. Special Publication Number 43
8. _____. 1986. Conversion of tropical rainforest: agronomic potential and ecological consequences. *Advances in Agronomy*. Vol. 39, p. 173 - 264.
9. _____. 1987. Effects of soil erosion on crop productivity. *CRC. Critical Review in Plant Sciences*. 5(4): 303-308.
10. _____. 1988a. *Soil erosion research on steep lands*. In: Moldenhauer, W.C., and N.W. Hudson. (eds.). "Conservation farming on steep lands". Ankeny, Iowa. Soil and Water Conservation Society. World Association of Soil and Water Conservation. p. 45-53.
11. _____. 1988b. *Monitoring soil erosion's impact on crop productivity*. In: R. Lal. (ed.). "Soil erosion research methods". Ankeny, Iowa. Soil and Water Conservation Society. p. 187-200.
12. Nieuwkoop, M. Van., W. López Báez, A. Zamarrípa Morán, P. Cadena Iñiguez, B. Villar Sánchez R. De La Piedra Constantino. 1992. *Uso y evaluación de los recursos naturales en La Fraylesca, Chiapas: Un diagnóstico*. México, D.F. CIMMYT. 47 p.
13. Pool, N.L. y Hernández, X.E. 1991. *El sistema agrícola roza-tumba-quema: fundamentos, funciones y perspectivas*. En: Memorias del Primer Seminario sobre Manejo de Suelos Tropicales en Chiapas. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. p. 11-15.
14. Ríos, B., J.D. 1987. *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo*. Tesis M. C. Chapingo, México. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. 244 p.
15. SARH, Subsecretaría de Agricultura, Dirección de Política Agrícola. 1991. *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. México. Colegio de Postgraduados. Centro para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. 150 p.
16. Villar, S., B. 1989. *Caracterización de la erosión hídrica en Chiapas. Informe de labores*. Ocozocoautla, Chiapas. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. p. 198-202. (Mimeografiado).
17. Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for an universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Proc.* 23(3): 246-249.
18. _____. and D.D. SMITH. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Washington, D.C. Sci. and Educ. Admin. USDA. 59 p. (Agr. Handbook Núm. 537)