

LA TERRAZA DE MURO VIVO, TECNOLOGIA PARA LA EXPLOTACION PROSOSTENIBLE DE LADERAS ROTURADAS DEL TROPICO SUBHUMEDO DE MEXICO*

THE LIVING WALL TERRACE TECHNOLOGY FOR PROSUSTAINABLE FARMING OF TILLED HILLSLOPES IN THE SUBHUMIDID TROPICS OF MEXICO

Antonio Turrent Fernández¹
Néstor Francisco Nicolás²
Sergio Uribe Gómez³
René Camacho Castro³

RESUMEN

Desde el ciclo Primavera-Verano 1988 se conduce un experimento de largo plazo en una ladera roturada con 14.5 % de pendientes de un Typic Tropofluvents, para cotejar la hipótesis de que es factible desarrollar terrazas de Muro Vivo (TMV) estables a bajo costo, a través de la interacción de los siguientes elementos: la roturación vertiendo hacia abajo, la lluvia, la pendiente, los setos y un filtro de sedimentos elaborado a partir de los residuos de cosecha. Se comparan cinco tratamientos de TMV que involucran 0.75m y 1 m de distancia vertical entre setos, dos intensidades de roturación y dos especies arbóreas: *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, más un testigo en el que se rotura sin proteger contra la erosión. Los setos son rozados a 30 cm de altura dos veces al año. Se practica el cultivo doble de maíz de temporal bajo un plan agronómico constante entre tratamientos y cambiante entre ciclos de cultivo. En el sexto año, los tratamientos de TMV habían causado la reducción de la pendiente original hasta 6.1 %, como pendiente promedio de las terrazas. El ciclo erosivo 1 (CE-1 junio-octubre de 1988) no interaccionó con los tratamientos. Las dos terceras partes del decremento total de pendiente ocurrió durante CE-2 (1989). En promedio, las TMV retuvieron 27 cm de sedimentos, medidos en el extremo inferior de las terrazas, con muros vivos que promediaron 50.6 cm, y un espacio cultivable de 92.1 %. En el proceso de formación de las TMV se perdió el 4 % del

* Artículo enviado al Comité Editorial del INIFAP-Area Agrícola el 18 de mayo de 1998.

¹ Ph. D. Investigador del Campo Experimental Valle de México. CIRCE-INIFAP.

² M.C. Investigador de la Brigada de Investigación San Andrés Tuxtla, Ver. CAE Papaloapan. INIFAP.

³ Ph. D. Investigadores de la Brigada de Investigación San Andrés Tuxtla, Ver. CAE Papaloapan. INIFAP.

contenido original de arcilla y el 11 % de la capacidad de intercambio de cationes de la capa arable donante. Las tasas de sobrevivencia de *G. sepium* y de *L. leucocephala* fueron 93 y 58 %, respectivamente. El tratamiento con 1 m de caída, roturado ligeramente y con setos de *G. sepium*, rindió 0.5 Mg ha⁻¹ (P<0.05) más que el testigo en el ciclo Otoño-Invierno (ciclo seco) y no hubo diferencia en el ciclo Primavera-Verano (lluvias abundantes).

Palabras clave: Cultivo doble temporal, desarrollo gradual de terrazas, tecnología prosostenible, *Zea mays* L., *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*..

SUMMARY

A long term field experiment is conducted in a plow-tilled 14.5 % hillslope typic tropofluent since the summer of 1988 in order to test the hypothesis that inexpensive living wall terraces (LWT) may be developed from the interaction between the following elements; downslope plowing, rainfall, hillslope, a hedgerow of a native, seed reproduced legume tree, and a filter of sediments, namely, a ridge of crop residue parallel and adjacent upslope to the hedgerow. Five LWT treatments are compared involving 0.75m and 1 m vertical distances between hedgerows, two plowing intensities and two legume tree species: *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*, plus a check that is plow-tilled unprotected against erosion. Rainfed maize is double cropped under constant agronomic plans across treatments for the summer and the winter growing seasons. Hedgerows are slashed 30 cm above the terrace level twice a year. Average terrace slopes became 6.1 % by the sixth year. The first erosion cycle (EC-1) June through October 1988) did not interact with the terrace elements since hedgerows were being developed. Two thirds of total terrace slope decrement took place in EC-2 (1989). On the average, LWT had a maximum sediment accumulation of 27 cm as measured in the lower terrace section, 50.6 cm living walls, and a 92.1 % farmable space. The process of terrace development was associated to a 4% loss of clay in the original topsoil and 11% loss in its cation exchange capacity. Survival rates were 93 % for *G. sepium* and 58 % for *L. leucocephala*. LWT treatment that had 1 m vertical distance, shallow plowing and *G. sepium* hedgerows outyielded the check by 0.5 Mg ha⁻¹ (P<0.05) only in the winter: "dry" growing season.

Key words: Rainfed double cropping, gradual terrace development, prosustainable technology, *Zeamay* L.; *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*.

INTRODUCCION

Históricamente, la erosión hídrica ha sido el factor central de insostenibilidad de la explotación agrícola de laderas roturadas de México. Se ha estimado que más de 60 % de las tierras de labor de México tienen pendientes mayores al 4 % (Turrent, 1986). Varios autores señalan la alta frecuencia de tasas de erosión hídrica que rebasan lo permisible en laderas roturadas de México (Arias y Figueroa, 1992; Barrón *et al.*, 1989; y Martínez y Lasso, 1991). El gobierno de México realizó un programa altamente subsidiado para combatir la erosión hídrica en el período de 1947 a 1982. Con este programa, basado en el desarrollo gradual de terrazas a través de costosos medios mecánicos, se alcanzó a proteger 3.3 millones de ha (Vázquez, 1987). El alto costo de ejecución y la resistencia de los productores a su adopción fueron las razones centrales de abandono del programa. Los pequeños productores argumentaban reducción del espacio laborable, menores rendimientos y problemas de operación. Desafortunadamente, hasta ahora no ha emergido otro programa de combate a la erosión en gran escala. Por ello, se decidió desarrollar una tecnología de bajo costo para controlar la erosión en laderas roturadas del trópico subhúmedo, que habría de ser aceptable y accesible para los productores tradicionales. Cabe aclarar que en este artículo se usa la expresión "manejo prosostenible de laderas" en el sentido de que el acento en el combate de la erosión no garantiza necesariamente la sostenibilidad ecológica. Se describe aquí la experiencia de seis años en el desarrollo de terrazas de muro vivo con especies arbóreas leguminosas y el cultivo doble de maíz de temporal en una localidad del trópico subhúmedo de México.

Hay evidencias de que el sistema conocido como "Cultivo de Callejones" (CC) es eficiente para controlar la erosión hídrica de laderas roturadas (Celestino, 1985; Lundgren and Nair, 1985; Pacardo, 1984; y Paningbatan, 1990). De la misma manera, se sabe que la "Tecnología del Pasto Vetiveria" (TPV) ha sido eficaz para combatir la erosión en una amplia gama de condiciones ecológicas (World Bank, 1987). Sin

embargo, a pesar de su mérito técnico, el CC ha enfrentado problemas de adopción, debido a que incrementa en 25 a 37 % la demanda de mano de obra respecto al sistema tradicional, y también reduce el espacio de cultivo (Juo *et al.*, 1994). Por su parte, la adopción de la TPV por los productores tradicionales de México enfrentaría problemas con la multiplicación vegetativa del germoplasma en gran escala y la alta demanda de mano de obra para la instalación de los setos.

Se decidió combinar algunos de los principios involucrados en el CC y la TPV con la experiencia del Departamento de Agricultura de los EEUU para derivar una nueva tecnología de desarrollo gradual de terrazas que fuera adecuada al trópico subhúmedo de México. Se formuló la hipótesis de que sería factible desarrollar gradualmente terrazas permanentes que mejorarán la productividad de la tierra a través de la acción conjunta de: (1) la fuerza erosiva de la lluvia, (2) la labranza convencional aguas abajo, (3) setos de árboles nativos reproducibles por semilla, y (4) un filtro de sedimentos compuesto por residuos de cosecha y material de podado de los setos. Se conjeturó que el desarrollo de las terrazas resultaría del transporte local de sedimentos, su deposición en el filtro de sedimentos (FS) y su estabilización posterior por el sistema radical del seto. Se esperaba que hubiera dos mecanismos involucrados en el transporte de materiales del suelo aguas abajo: el asociado con la labranza vertiendo aguas abajo (con arado reversible) y la erosión local provocada por el agua de lluvia y su escurrimiento superficial. Cada seto habría de ser reforzado aguas arriba por un camellón adyacente de residuos de cosecha y material de poda, para armar un obstáculo continuo y a nivel, que al reducir la velocidad del agua de escurrimiento, provocara la precipitación de los sedimentos de mayor tamaño en suspensión. Parecería inevitable la pérdida de sedimentos finos en este proceso. Sin embargo, Alberts *et al.*, (1980) observaron que la mayor parte de la arcilla perdida por erosión era normalmente transportada por el agua de escurrimiento, como componente de agregados y no como partículas primarias. Si este fenómeno fuera universal, cuanto mayor fuera el tamaño de los agregados

en suspensión y mayor su contenido de arcilla, menor sería la pérdida de arcilla durante el proceso de formación de la TMV. Era de esperarse que el efecto conjunto del FS y del seto, reprodujera el efecto observado en la TPV por cuanto a la retención de sedimentos (Grimshaw, 1994; National Research Council, 1993). La selección de especies para hacer el seto habría de cumplir con los criterios del CC (Kang, 1993).

En el ámbito de la productividad de la TMV, se tomó en cuenta que los productores mexicanos desaprobarían la formación de una tira de tierra adyacente aguas arriba del seto donde el agua de escurrimiento se estancara, porque eso reduciría el rendimiento; también se pensó que desaprobarían que la fracción cultivable de la ladera se redujera apreciablemente. El funcionamiento del sistema FS-seto arriba descrito, eludiría tales limitaciones.

MATERIALES Y METODOS

Se estableció un experimento de larga duración en el ciclo Primavera-Verano (P-V) de 1988 sobre una ladera erosionada de un típico tropofluvent, en el ejido Vistahermosa, municipio San Andrés Tuxtla, estado de Veracruz, cuya temperatura y precipitación anuales promedio son 25 °C y 1,500 mm, respectivamente. Más del 80 % de la precipitación total ocurre en los meses de junio a octubre. Las pendientes predominantes en la ladera experimental varían entre 8 y 28 %, con media de 14.5 %. El perfil del suelo (0 a 190 cm) tiene textura arenosa, es bajo en materia orgánica (2.22 % en la capa arable, hasta 0.10 % en el estrato 170-190 cm); es ligeramente ácido (el pH en agua varía de 5.34 a 6.19); tiene mediana a baja capacidad de intercambio de cationes (15.6 a 3.5 cmol kg⁻¹); y alta saturación de bases (más de 98 %).

La ladera experimental había sido manejada bajo un sistema de cuatro años de cultivo alternados con cuatro años de descanso por más de 30 años. La actividad principal había sido el "cultivo doble de maíz" (*Zea mays* L.) bajo temporal. Los dos ciclos de cultivo son el Otoño-

Invierno (O-I) que cubre de noviembre a abril, y el Primavera-Verano (P-V) de mayo a octubre. El productor había planeado iniciar en P-V 1988 el período de cuatro años de descanso en la ladera experimental.

Diseño experimental y arreglo de tratamientos

El experimento tiene un diseño sistemático con muestreo, con seis tratamientos no repetidos. La parcela experimental es de 20 m de ancho por cinco a siete terrazas en formación "aguas abajo". Cuatro de los tratamientos integran un factorial 2² en el que los dos niveles de caída entre setos son 0.75 m y 1 m y las especies leguminosas son *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*. La labranza primaria de estos tratamientos consiste de un paso de arado reversible de reja y un paso de rastra de discos, ambos tirados por yunta; la profundidad de roturación es de 10 cm. Esta labranza es aquí considerada como "ligera" (LL). El quinto tratamiento consiste en la caída de 1 m entre setos de *G. sepium* con labranza "intensa" (LI) consistente en un paso de arado reversible de discos a 20 cm de profundidad más un paso de rastra de discos, ambos tirados por tractor. El sexto tratamiento es el testigo, caracterizado por LI y sin setos, con tamaño de parcela igual que los tratamientos anteriores.

Establecimiento y mantenimiento de los setos

Los setos se sembraron "a chorrillo" en el fondo de surcos a nivel en junio de 1988, al inicio de la temporada de lluvias; se depositaron de 40 a 50 semillas por metro lineal, cubriéndolas con una capa de suelo de 0.5 a 1 cm de espesor. La semilla de *L. leucocephala* había sido sumergida previamente durante 2 minutos en agua "justo antes de hervir"; ambas especies fueron tratadas con el insecticida Semevin 350 en dosis de 2 g por kg de semilla. Los setos fueron deshierbados con azadón a los 30, 60 y 120 días después de la siembra, solamente en 1988; desde entonces no se los deshierba. Se fertilizó, por única vez, en banda con 44 g de superfosfato de calcio triple (46 % de P₂O₅ para la separación de 6.9 m entre setos)

y se arrojó inmediatamente después del primer deshierbe. Los setos fueron rozados 30 cm arriba del nivel de la terraza, después de la siembra de maíz en el ciclo P-V 1989. A partir de entonces, los setos se han rozado dos veces por año, siempre inmediatamente después de la siembra del maíz en ambos ciclos, P-V y O-I. El material de roza de los setos es depositado en el filtro de sedimentos. El rastrojo de maíz del ciclo O-I de tres hileras contiguas al seto es acomodado en camellón aguas arriba y descansando sobre el seto, inmediatamente antes de realizar la labranza en el mes de mayo. El camellón tiene una sección de 50 cm de base por 40 cm de alto. Este es el filtro de sedimentos (FS). El resto del rastrojo de maíz del ciclo O-I y del P-V es incorporado al suelo durante la labranza primaria.

Establecimiento del cultivo del maíz.

Se siembra maíz dos veces al año bajo planes agronómicos constantes dentro de cada ciclo de cultivo. En el ciclo P-V, se siembra una variedad de ciclo largo a la densidad de 45 mil plantas ha⁻¹ y se fertiliza con el tratamiento 120-60-00 de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente. El plan del ciclo O-I incluye una variedad de maíz de ciclo corto y el tratamiento de fertilización 100-40-00. Las arvenses son controladas con la aplicación preemergente de atrazina, con aplicaciones postemergentes de paraquat y cultivos con implementos jalados con tracción animal. Se hacen dos aplicaciones de Lorsban 480 E para proteger a las plántulas de maíz contra *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith).

Mediciones en terrazas

Durante mayo de 1990 y 1994 se realizaron varias mediciones del desarrollo de las terrazas y de la respuesta de ambas especies leguminosas a su manejo como setos. En 1990 sólo se evaluó la pendiente de las terrazas en algunos tratamientos de TMV, mientras que en 1994 se midieron las distancias verticales y horizontales de las terrazas, las profundidades máximas de deposición de sedimentos, las alturas de los muros vivos y el

espacio no cultivable de las terrazas. Estas lecturas se tomaron en dos transectos de todos los tratamientos y terrazas. La base original de todos los árboles se mantiene visible, lo que ayuda a la caracterización del desarrollo de las terrazas. En 1994, también se midió la sobrevivencia de árboles en los setos, la distancia media entre árboles vivos y su diámetro máximo promedio por tratamiento, después de 10 eventos de roza a lo largo de cinco años. Estas lecturas fueron tomadas de todos los árboles de dos tramos de 1 m en todos los tratamientos y terrazas.

Muestreo del suelo

Se colectaron muestras compuestas de la capa arable (0 a 20 cm) en tres secciones de terraza: donante, receptora y enterrada, en seis terrazas y tres tratamientos. La sección donante de sedimentos (SDS) ocupa la mitad más alta de la terraza, mientras que la sección receptora de sedimentos (SRS) ocupa la mitad inferior, según se muestra en la Figura 1. La capa arable enterrada (CAE) se ubica por debajo de la SRS. Uno de los supuestos de este estudio es que la CAE se aproxima razonablemente a la capa arable original del inicio del experimento. Desafortunadamente, no se recolectaron muestras de la capa arable original a los niveles de terraza y tratamiento. Cada muestra compuesta estuvo integrada por diez submuestras colectadas con barrena tipo "saca bocado" de 2.54 cm de diámetro a intervalos de 1 m sobre una línea paralela al seto. Para las muestras de SRS la línea se ubicó a 1 m aguas arriba del seto más alto de la terraza, y 1 m aguas abajo para la SDS. Las submuestras de la CAE se obtuvieron de la base de los tallos del seto bajo la terraza, justo al inicio del talud. Se remuestrearon las SRS por el procedimiento de obtener una submuestra desplazada 0.50 cm de cada sitio de la submuestra original. Los juegos de 18 muestras compuestas de capa arable de SRS proporcionarían 18 grados de libertad para estimar el error de muestreo. Se recolectaron también seis muestras compuestas del testigo a lo largo de líneas que prolongaban a las líneas de SRS en sus seis terrazas. Todas las muestras compuestas fueron homogeneizadas, secadas al

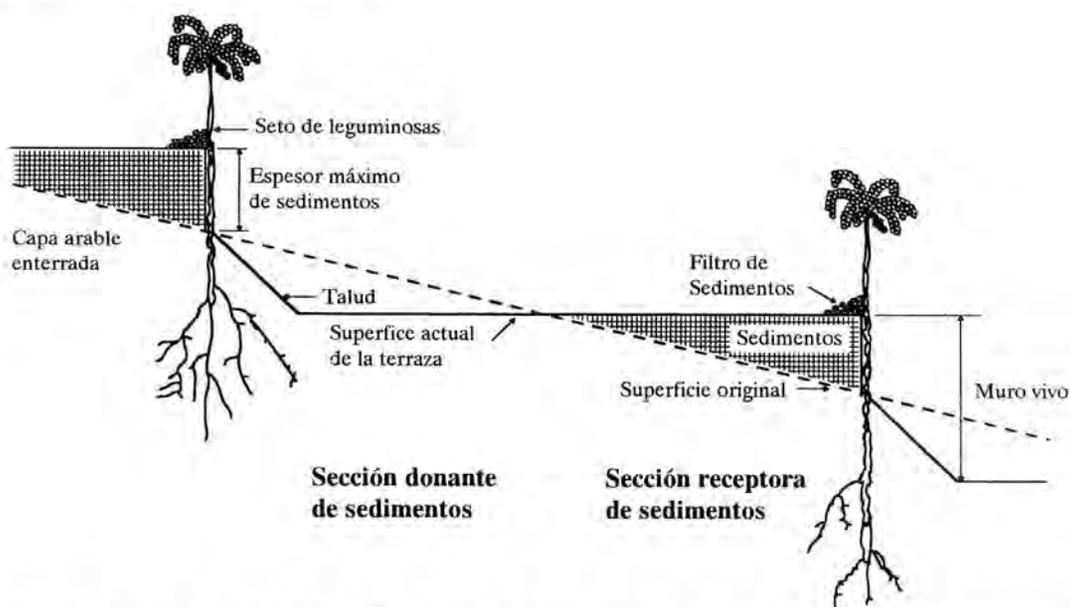


Figura 1. Sección simplificada de la terraza de muro vivo en un estadio intermedio de desarrollo.

aire, molidas y pasadas por un tamiz de 2 mm de apertura. La textura se evaluó por el método de Bouyoucos (1951); la materia orgánica por el método Walkley-Black (Peech *et al.*, 1947); el pH se midió en suspensión agua:suelo relación 2:1 con electrodo de vidrio (Peech *et al.*, 1947); el nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl (AOAC, 1950); el fósforo aprovechable por Bray-P1 (Bray and Kurtz, 1945); y cationes intercambiables (calcio, magnesio y potasio) según Peech *et al.*, (1947).

Cosecha de maíz

Se obtuvieron los rendimientos de grano de maíz de los tres tratamientos de TMV asociados con *G. sepium* y con el testigo, a partir de hileras de 5 m de largo, en ambos ciclos O-I y P-V de los años 1991, 1992 y 1993; los rendimientos se expresaron en Mg ha⁻¹ con 14 % de humedad, a los niveles de hilera y de terraza. Además, en 1990 se tomaron datos de rendimientos de grano a los niveles de hilera y de terraza para dos de los tres tratamientos de TMV y al nivel global para el testigo. No se registraron los rendimientos de maíz asociados con los tratamientos de TMV de *L. leucocephala*. Sólo se registró la cosecha de cinco de seis a ocho posibles hileras de cada

terrace. La hilera 1 es la contigua aguas arriba al seto bajo de la terraza; la hilera 2 es contigua a la 1; la hilera 3 representa las dos o las cuatro hileras centrales, según que la terraza tuviera espacio para seis o para ocho hileras. La hilera 4 es vecina de la cinco, la cual queda contigua aguas abajo del seto alto de la terraza. Los rendimientos de grano de maíz de las hileras 1 y 5 fueron ajustados para incluir el espacio ocupado por el seto. Las comparaciones de rendimientos de grano de maíz que involucran al testigo, se realizaron al nivel de terraza (ignorando hileras). Cuando estas comparaciones involucraban sólo tratamientos de TMV, los niveles fueron de hilera y de terraza. Se usó el factor terraza como factor *proxy* al factor repeticiones, para derivar estimaciones del error experimental, a partir de las interacciones con otros factores en los análisis combinados de varianza. La precipitación fue registrada a diario.

RESULTADOS

Evolución de las terrazas en seis años

En el Cuadro 1 se muestran las pendientes promedio de las terrazas en los años 1988, 1990 y 1994; el espesor máximo de sedimentos (EMS),

la altura del muro vivo (AMV) y el espacio cultivable de la terraza (ECT). El talud es la parte del muro vivo que no es cultivable. El espacio ocupado por el talud equivale a la mayor parte del espacio no cultivable de la terraza. En el estadio final de desarrollo de la terraza, su pendiente será de cero, la caída entre setos será de 0.75 m o de 1 m y el espesor máximo de sedimentos será la mitad de esa caída. Como se aprecia en el Cuadro 1, la evolución de las TMV estuvo afectada por los tratamientos. La labranza intensa en relación con la labranza ligera, se asoció con: (i) un mayor decremento en la pendiente promedio de las terrazas, (ii) un mayor espesor de sedimentos retenidos y (iii) un menor espacio cultivable. Se hizo el cálculo del equivalente de lámina de suelo retenido en las terrazas, suponiendo secciones triangulares homogéneas. Este cálculo indica que para los TMV tratados con labranza ligera (10 cm de profundidad, tracción animal) el valor promedio es de 7 cm y para el TMV tratado con labranza intensa (20 cm de profundidad, tractor) la lámina es de 8.9 cm.

En el Cuadro 2, se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la capa arable de las secciones donante (SDS) y receptora (SRS), y de la enterrada (CAE). Se desprende de este Cuadro 2 que el desarrollo de las TMV se asoció con algunos cambios en las propiedades de los sedimentos retenidos, respecto del material de suelo de la capa arable original. Estos cambios son: (i) pequeños en cuanto a la textura; (ii) un decremento del pH en media unidad; (iii) la pérdida del 11 % de la capacidad de intercambio de cationes y de los cationes intercambiables de acompañamiento; (iv) leve decremento en el porcentaje de saturación de bases; y (v) incremento sustantivo en la disponibilidad de fósforo.

Comportamiento de los setos

Las especies *G. sepium* y *L. leucocephala* respondieron de manera diferente a la roza severa y frecuente durante cinco años. *G. sepium* mostró

Cuadro 1. Evolución de cuatro características de las terrazas de muro vivo, según cinco tratamientos, en los años 1988, 1990 y 1994.

Tratamientos	Año	Pendiente media (%)	Espesor de sedimentos (cm)	Caída vertical (cm)	Espacio cultivable (%)
1.0-LL-Gs	1988	13.1 (1.41)	19.4 (4.1)	41.4 (4.2)	93.4 (1.3)
	1994	8.5			
1.0-LL-LI	1988	15.3	26.2	47.3	93.3
	1990	10.9			
0.75-LLGs	1994	8.9	28.3	51.4	90.6
	1988	16.1			
0.75-LL-LI	1988	12.0	24.2	45.4	92.4
	1990	7.2			
1.0-LI-Gs	1994	3.9	35.6	65.7	90.9
	1988	16.2			
	1990	6.9			
Media	1994	5.3	27.0	50.6	92.1
	1988	14.6 (0.63)			
	1990	8.5			

1.0-LI-Gs significa caída vertical de 1 m entre setos, labranza ligera (con tracción animal); Gs es *G. sepium* en el seto.

LI es labranza intensa a 20 cm de profundidad y con tractor; LI significa seto de *L. leucocephala*.

Entre paréntesis, la diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad. El valor 1.41% se aplica a las comparaciones entre pendientes de la interacción Años * Tratamientos, mientras que 0.63% es la DMS 5% para la comparaciones entre años. Los demás valores entre paréntesis son también DMS 5% para comparaciones dentro la misma columna.

Cuadro 2. Propiedades del suelo en la capa arable en relación con su posición en la terraza, después de cinco años de desarrollo.

Propiedades del suelo [§]	Posición			DMS 5%
	Enterrada	Donadora	Receptora	
Arcilla (%)	21.6	20.9	20.7	1.01
Limo (%)	11.1	10.1	11.8	0.94
Arena (%)	67.3	69.0	67.5	1.59
pH	6.23	6.12	5.77	0.47
Materia orgánica (%)	2.62	2.24	2.70	0.208
N Total (%)	0.13	0.122	0.14	0.0082
P aprovechable (ppm)	5.8	9.5	23.3	1.76
K ⁺ intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0.39	0.32	0.37	0.015
Ca ⁺⁺ intercamb. (cmol kg ⁻¹)	7.85	7.41	7.03	0.54
Mg ⁺⁺ intercamb. (cmol kg ⁻¹)	5.20	4.76	4.58	0.11
Na ⁺ intercamb. (cmol kg ⁻¹)	0.05	0.05	0.05	0.005
H ⁺ intercamb. (cmol kg ⁻¹)	0.16	0.16	0.22	0.028
CIC (cmol kg ⁻¹)	13.6	12.7	12.2	0.580
PSB (%)	98.8	98.7	98.5	0.30

§ Los valores son promedio de tres tratamientos de TMV; 1.0-LL-Gs, 0.75-LL-Gs y 1.0-LL-Ll) y de seis terrazas
DMS 5% es la diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad, basada en el error de muestreo, el que fue estimado con 18 gl para cada propiedad del suelo

tasa de sobrevivencia de 93 %, distancia media entre árboles vivos de 15.4 cm, y diámetro promedio de tallos igual a 24.9 cm. Los valores homólogos de *L. leucocephala* fueron 58 % de tasa de sobrevivencia, 39.6 cm de distancia promedio entre árboles vivos y diámetro promedio de 21.1 cm.

Rendimientos de grano de maíz

En el Cuadro 3 se muestran dos interacciones de dos factores que resultaron significativas en el análisis combinado de varianzas; (i) tratamientos de TMV x ciclo de cultivo; (ii) años x ciclo de cultivo. Los rendimientos de maíz cubren el período 1991 a 1993. En el Cuadro 4 se presentan los rendimientos promedio de maíz en los años 1990 a 1993, comparando a los tratamientos 1.0-LL-Gs (1 m de caída, labranza ligera, *G. sepium*) con el testigo (sin setos). En el Cuadro 5 se documentan las relaciones entre los rendimientos de maíz al nivel de hilera y la interacción ciclo de cultivo x tratamiento de TMV x posición en la hilera. La información sobre los rendimientos de grano de maíz denota

diferencias asociadas a los factores estudiados: año, ciclo de cultivo, tratamientos de TMV y posición en la hilera. Los efectos de estos factores no son aditivos.

Se realizó el análisis financiero de los datos experimentales, sobre la base del período de seis años de observación y las diferencias actualizadas en costos y en rendimientos de maíz asociados a los tratamientos de TMV respecto del testigo. Este ejercicio sugiere que el tratamiento 1.0-LL-*G. sepium* es rentable. Su relación Beneficio/Costo es igual a 1.20. Los tratamientos 0.75-LL-*G. sepium* y 1.0-LI-*G. sepium* se asocian con relaciones Beneficio/Costo inferiores a la unidad.

DISCUSION

Evolución de las terrazas

Normalmente la precipitación del período 16 de junio al 31 de julio se asocia con la mayor parte de la erosión anual en las laderas roturadas, puesto que en ese tiempo la cubierta vegetal tiene un desarrollo incipiente. Las precipitaciones

Cuadro 3. Relaciones entre el rendimiento de grano de maíz y las interacciones Tratamiento de TMV x Ciclo de cultivo y Años x Ciclo de cultivo.

Factor	Rendimiento de grano en el ciclo de cultivo:		Promedio anual (Mg ha ⁻¹)
	Otoño-Invierno (Mg ha ⁻¹)	Primavera-Verano (Mg ha ⁻¹)	
Tratamientos de TMV [§] :			
0.75-LL-Gs	2.06 (0.27)	3.32	2.69 (0.19)
1.00-LL-Gs	2.07	3.64	2.86
1.00-LI-Gs	1.76	3.29	2.53
Testigo	1.56	3.75	2.65
Años :			
1991	1.27 (0.34)	3.42	2.35
1992	2.79	3.56	3.18
1993	1.53	3.52	2.52
Promedios	1.86 (0.20)	3.50	2.68

§ 0.75-LL-Gs significa 0.75 m de caída vertical entre setos, labranza ligera, *G. sepium*; LI es labranza intensa. Entre paréntesis la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad.

Cuadro 4. Relaciones entre el rendimiento de maíz y la precipitación, con dos tratamientos, en dos ciclos de cultivo y cuatro años agrícolas.

Factor	Año Agrícola [§]				DMS 5%
	1990	1991	1992	1993	
Ciclo Otoño-Invierno:					
Rendimiento de maíz (Mg ha ⁻¹)					
1.0-LL-Gs [§]	2.05	1.44	3.22	1.55	0.46
Testigo	1.20	1.09	2.33	1.25	
Precipitación (mm)					
Noviembre-enero	110	369	158	172	
Febrero	60	6	58	15	
Diciembre-febrero	159	176	111	85	
Ciclo Primavera-Verano					
Rendimiento de maíz (Mg ha ⁻¹)					
1.00-LL-Gs	4.01	3.83	3.63	3.47	0.46
Testigo	2.10	3.35	4.12	3.79	
Precipitación (mm)					
Julio-septiembre	916	1 031	1 296	1 433	

§ 1.0-LL-Gs significa 1 m de caída entre setos, labranza ligera, *G. sepium*

DMS5% es la Diferencia Mínima Significativa al 5% para las comparaciones dentro de la interacción Tratamiento x Año x Ciclo de cultivo

observadas en ese período fueron de 359, 475, 378, 435 y 313 mm en 1989, 1990, 1991, 1992 y 1993, respectivamente. La mayor actividad constructiva de las terrazas (desprendimiento, transporte y deposición de sedimentos) ocurrió en dicho período. Sin embargo, la máxima intensidad de lluvia no ocurre entonces, sino que en la segunda quincena de septiembre, cuando el

índice de área foliar del cultivo del maíz está cercano a su máximo valor. Las estrategias para controlar la erosión en laderas roturadas enfrentan su máximo riesgo de desastre en este período, no tanto por el proceso erosivo en sí, como por el excesivo escurrimiento superficial. Las precipitaciones observadas en la segunda quincena de septiembre fueron 691, 183, 558, 436

Cuadro 5. Relaciones entre el rendimiento de grano de maíz y la interacción Ciclo de cultivo x Tratamiento de TMV x Número de la hilera.

Ciclo de cultivo	Tratamiento de TMV [§]	Rendimiento de maíz (Mg ha ⁻¹) en la hilera:				
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Otoño-Invierno	0.75-LL-Gs	2.46 (0.27)	2.23	1.99	1.93	2.57
	1.00-LL-Gs	2.15	2.20	2.17	2.14	1.43
	1.00-LI-Gs	1.82	1.98	1.93	1.51	1.05
Primavera-Verano	0.75-LL-Gs	3.11	3.92	3.75	3.54	2.12
	1.00-LL-Gs	3.20	3.60	3.86	4.41	2.44
	1.00-LI-Gs	3.27	3.90	3.54	2.91	1.82
Otoño-Invierno	2.14 (0.16)	2.13	2.03	1.86	1.35	
Primavera-Verano		3.19	3.80	3.72	3.62	2.12
	0.75-LL-Gs	2.79 (0.19)	3.07	2.87	2.74	1.84
	1.00-LL-Gs	2.67	2.90	3.02	3.28	1.92
	1.00-LI-Gs	2.54	2.94	2.73	2.21	1.44
Media gral.		2.67 (0.11)	2.97	2.87	2.74	1.73

§ 0.75-LL-Gs significa 0.75 m de caída, labranza ligera, *G. sepium* LI es labranza intensa
Entre paréntesis la DMS 5% de probabilidad.

y 817 mm en 1989, 1990, 1991, 1992 y 1993, respectivamente. Todos los tratamientos de TMV resistieron esta prueba, sufriendo solamente daños de tipo local, fácilmente reparables.

Es claro que la erosión local es el motor del desarrollo de la TMV, como lo son también el filtro de sedimentos y el seto, este último en su labor de retener y estabilizar los sedimentos. La pendiente local varió entre y dentro de las terrazas en 1988, debido al microrelieve de la ladera; el ámbito absoluto de la variación era de 8.36 a 27.77 %. La pendiente media de cada terraza decreció cada año en respuesta a la acción conjunta de la pérdida de material de suelo en la parte alta, y de su deposición en la parte baja de la misma terraza. Se evaluaron las pendientes medias de las terrazas en mayo de 1990 y de 1994. La lectura de 1990 se tomó después del primer año completo de interacción de los tratamientos de TMV, esto es, desde mayo de 1989 hasta mayo de 1990. Este fue sin embargo, el segundo ciclo de erosión (CE) desde el inicio del experimento. El CE-1 (junio a octubre de 1988) coincidió con el período de establecimiento de los setos. No hubo

retención de sedimentos en este primer ciclo. El primer filtro de sedimentos (FS) fue instalado en mayo de 1989, mientras que la primera roza de los setos se realizó en junio del mismo año. Entre las lecturas de mayo de 1990 (CE-2) y mayo de 1994 (CE-6) hubo cuatro ciclos consecutivos de erosión. La dinámica del proceso de decremento de la pendiente es de amplio contraste entre el CE-2 y los CE-3 a CE-6. La interacción entre CE-2 y los tratamientos de TMV se asoció con: (1) el 69 % de la reducción total de la pendiente para el período de seis años observada en el tratamiento 1.0-LL-Gs, (2) el 59 % para el tratamiento 0.75-LL-Gs, y (3) el 85 % para el tratamiento 1.0-LI-Gs. Los ciclos de erosión números 3 (junio a octubre de 1990) a 6 (junio a octubre de 1993) se asociaron con el resto del decrecimiento en las pendientes. Aparentemente las funciones pendientes vs tiempo son del tipo asintóticas.

Propiedades físicas y químicas de la capa arable

Si el supuesto de que el "material de suelo enterrado aproxima razonablemente bien a la

capa arable original" es válido, entonces ese material enterrado habría de ser el mismo que el material de la capa arable de la sección receptora de sedimentos, excepto por el impacto de los procesos de desprendimiento, transporte, deposición, lavado y roturación, que se asociaron con la lluvia, el escurrimiento superficial y el laboreo con arado reversible.

Durante el desarrollo de las terrazas, el proceso de erosión entre canalillos fue probablemente responsable del desprendimiento de arcilla en forma de partículas primarias, que podría representar el 5 % del total de arcilla transportada (Alberts *et al.*, 1980; Levy *et al.*, 1994). El flujo de los canalillos transportaría la mayor parte de los sedimentos generados en el proceso erosivo. Cualquier arcilla en forma de partícula primaria más los solutos que formaban parte de los sedimentos originales transportados en los canalillos tendrían mínima interacción con el dispositivo FS-seto, perdiéndose inevitablemente con el agua de escurrimiento. En el Cuadro 2 se muestra hasta qué punto operó este proceso de pérdida de materiales de la capa arable de la sección donante de sedimentos, durante el desarrollo de las terrazas. En este período se perdió: (1) el 4 % del contenido de arcilla de la capa arable de la sección donante (21.6 % en la capa arable enterrada vs 20.9 % en la capa arable de la sección receptora); (2) el 11 % de la capacidad de intercambio de cationes (columna A/E). Cabe insistir en que la capa arable de la sección receptora de sedimentos (que en 1994 fue muestreada como capa arable enterrada) no experimentaría las pérdidas atrás señaladas; más bien, recibió la adición de sedimentos de manera acumulada.

La pérdida de CIC fue acompañada por la pérdida de acompañamiento de bases intercambiables. Esta última pérdida puede estimarse a partir de la diferencia en CIC de la capa arable (CA) enterrada y la CA de la sección receptora y del perfil de bases intercambiables de la CA enterrada. Para una CA de 18 cm de espesor en la sección donante de sedimentos con densidad aparente de 1.46 g cm^{-3} y un

espacio ocupado por la sección donante del 50 % de la terraza, la pérdida acumulada fue igual a 210 kg de calcio, 95 kg de magnesio y 20 kg de potasio por hectárea. Las pérdidas anuales promediarían 42 kg de calcio, 19 kg de magnesio y 4 kg de potasio por hectárea.

La falta de diferencia en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total entre las CA enterrada y receptora, reflejarían el impacto de cinco años de adiciones de residuos de cosecha en el proceso de construcción del filtro de sedimentos y de lavado de materia orgánica asociado con los escurrimientos superficiales.

El contenido de fósforo aprovechable de la CA receptora sufrió un incremento de cuatro veces respecto del contenido de la CA enterrada, como efecto de la interacción entre el plan anual de fertilización y el proceso de desarrollo de la terraza.

La CA enterrada y la CA actual de la sección donante de sedimentos reflejan la secuencia suelo-subsuelo. En las condiciones originales, la capa arable de la sección donante de sedimentos era la misma que la de la actual sección receptora. Esta última es en 1994, la capa arable enterrada. Durante seis años, material del suelo de la CA de la sección donante fue truncado, transportado y depositado sobre la CA original de la sección receptora. La CA de la sección donante muestreada en 1994 era el subsuelo de la misma sección en las condiciones originales. Esto explica los más bajos contenidos de materia orgánica y de nitrógeno total de la CA actual de la sección donante en relación a la enterrada. De la misma manera, la menor CIC sería consecuencia de los menores contenidos de arcilla y de materia orgánica.

Lal (1989) señala que la pérdida media anual de calcio, magnesio y potasio resultó ser 11.5, 1.0 y 13 kg ha⁻¹ respectivamente para su Testigo como labranza convencional y de 3.3, 0.34 y 1.35 kg ha⁻¹ para el sistema de cultivo en callejones de 4 m con *G. sepium* en un paleustalf oxico, con 7 % de pendiente.

Al comparar las pérdidas de nutrimentos minerales estimadas en este trabajo con los estimados en otros casos, conviene tomar en cuenta que esas pérdidas durante el desarrollo de la TMV podrían no ser las mismas que en el estadio maduro de la terraza. Por tanto es necesario cotejar la hipótesis de que tales pérdidas decrecen a partir del primer año de funcionamiento pleno de las TMV, de la misma forma en que progresa la formación de las terrazas. Es muy probable que durante los dos primeros años de establecimiento de los árboles de *G. sepium* para el sistema de cultivo en callejones, Lal (1989) haya encontrado pérdidas de nutrimentos de la misma magnitud que en el testigo roturado.

Rendimiento de grano de maíz

El promedio anual de rendimiento de maíz asociado con el tratamiento 1.0-LL-Gs (1 m de caída, labranza ligera, *G. sepium*) fue el más alto de los rendimientos medios observados en el período de tres años, según el Cuadro 3. Sin embargo, al desagregar los rendimientos al nivel de ciclo de cultivo, se aprecia la nula diferencia con el testigo en el ciclo P-V, en tanto que los tratamientos de TMV (0.75-LL-Gs y 1.0-LI-Gs) se asociaron con rendimientos significativamente menores. En cambio, en el ciclo O-I, el rendimiento del testigo fue significativamente inferior que los logrados con TMV de labranza ligera: 1.0-LL-Gs y 0.75-LL-Gs.

El alto rendimiento asociado con el testigo en el ciclo P-V puede ser entendido en términos de un drenaje rápido en el ciclo en que hay abundancia y hasta excesos de lluvia y de la sustitución técnica que la lluvia abundante y el fertilizante hacen de la capa arable erosionada, según ha sido observado por varios autores (Arce-Díaz *et al.*, 1993; Rasmussen *et al.*, 1991; y Swan *et al.*, 1987). A la vez que el suelo del tratamiento testigo sufría una pérdida de suelo, proporcionaba un drenaje superficial rápido. Mientras este efecto sería favorable en el ciclo P-V, era desfavorable en el ciclo O-I, porque no propiciaba el almacenamiento de agua en el subsuelo.

Los datos del Cuadro 4 dan indicio de que las precipitaciones inferiores a 1,296 mm en el período julio-septiembre, serían insuficientes para el maíz cultivado bajo el tratamiento testigo. Por el contrario, cualquier precipitación mayor a 916 mm en el mismo período sería excesiva para maíz cultivado bajo el tratamiento 1.0-LL-Gs.

La explicación del bajo rendimiento asociado con el tratamiento 1.0-LI-Gs en ambos ciclos podría deberse a un proceso demasiado rápido de formación de las terrazas, según se aprecia en el Cuadro 1. Además, en el Cuadro 6 se muestra evidencia de que la pérdida de arcilla, materia orgánica, potasio y magnesio de la CA de la sección donante fue comparativamente mayor para el tratamiento de TMV y 1.0-LI-Gs que para 1.0-LL-Gs en casi todas las terrazas. El espacio cultivable es 91 % del espacio original en las TMV tratadas con 1.0-LI-Gs en tanto que para el tratamiento 1.0-LL-Gs, el espacio cultivable es 93.3 % del original. Esta diferencia se debe a que la tracción animal (labranza ligera) permitió desarrollar taludes más empinados que la tracción motorizada (labranza intensa).

El rendimiento de grano asociado con 0.75-LL-Gs no difiere significativamente del asociado con 1.0-LL-Gs en el ciclo O-I, mientras que en el ciclo P-V, el rendimiento fue tan bajo como el asociado con el 1.0-LI-Gs. Una manera de entender este comportamiento involucra a la tasa de truncado de la CA de la sección donante medida en términos del espesor máximo de sedimentos (EMS), en relación al decremento de la pendiente media de las terrazas. Mientras el valor de EMS es intermedio para el tratamiento 0.75-LL-Gs entre 1.0-LI-Gs, el decremento en pendiente en el año de 1994 fue el mayor de los tres, debido a la menor distancia horizontal planeada entre setos. La menor pendiente sugiere una mayor retención de humedad en el subsuelo durante el ciclo P-V y su correspondiente mayor disponibilidad en el ciclo O-I; a la vez, la menor pendiente sería factor de mayor exceso de agua en el ciclo P-V. Desafortunadamente, no se dio seguimiento a la variable humedad en el suelo.

Algunos de los rendimientos de grano presentados en el Cuadro 5 se expresan de manera

Cuadro 6. Relaciones de el tratamiento 1.0-LI-Gs al 1.0-LL-Gs respecto a seis propiedades de la capa arable del suelo según la posición donante (d) o enterrada (e) en las terrazas, después de cinco años de desarrollo.

Propiedad del suelo	Posición [§] en la terraza	Relación 1.0-LI-Gs a 1.0-LL-Gs en la terraza número :						Medias
		1	2	3	4	5	6	
Arcilla	Donante	0.64	0.45	0.50	0.92	0.92	1.00	0.59
	Enterrada	0.60	0.70	0.73	0.85	1.09	0.93	0.82
pH	Donante	1.03	0.96	0.95	0.99	1.01	1.08	1.00
	Enterrada	0.99	1.00	0.95	1.02	1.04	0.99	1.00
M. org.	Donante	0.62	0.71	0.74	1.07	0.81	0.95	0.82
	Enterrada	0.72	0.65	1.24	1.13	0.90	0.90	0.92
K ⁺ interc.	Donante	0.91	0.80	1.62	1.10	1.04	0.90	1.07
	Enterrada	1.40	1.47	1.23	0.97	1.15	1.24	1.24
Ca ⁺⁺ interc.	Donante	0.60	0.45	0.82	1.03	0.69	0.81	0.73
	Enterrada	0.44	0.70	0.99	0.89	0.80	0.79	0.77
Mg ⁺⁺ interc.	Donante	0.47	0.36	0.53	0.78	0.76	1.05	0.66
	Enterrada	0.40	0.56	0.84	0.81	0.99	0.89	0.75

§ El valor R. = 0.60 asociada a la primera terraza en su posición "enterrada", es la relación entre el contenido de arcilla de la capa arable (CA) asociada con el tratamiento 1.0-LI-Gs y el contenido de arcilla asociado con el tratamiento 1.0-LL-Gs, ambos en condición inalterada. Esto es, desde el principio había mayor contenido de arcilla en la tira de terreno asignada al tratamiento 1.0-LL-Gs. Si R es igual para ambas CA donante y enterrada (ejemplo arcilla-primer terraza), entonces no hay diferencia relativa en los efectos de ambos tratamientos de TMV sobre el contenido de arcilla en la sección donante, durante el proceso de formación de la terraza. Si R para la posición donante es menor a R para la posición enterrada (ejemplo arcilla-terrazas 2 y 3) entonces en el proceso de formación de la terraza el tratamiento 1.0-LI-Gs se asoció con una mayor pérdida relativa de arcilla que el tratamiento 1.0-LL-Gs.

Las terrazas 1 a 6 son la más alta y más baja, respectivamente, en la ladera experimental.

relativa en el Cuadro 7, usando al rendimiento de la hilera número 2 como referencia. La tendencia de los pendientes relativos promediando sobre los ciclos de cultivo es consistente con: (i) una mejor calidad de suelo en la sección receptora de la terraza (acumulación de materiales de la capa arable (Ca) de la sección donante, más la CA original enterrada); (ii) un gradiente de truncado de la capa arable original en la sección donante, con máximo truncado en la parte más alta de la terraza; (iii) la competencia maíz-seto y el factor de ajuste por el espacio no-cultivado en las hileras extremas, 1 y 5.

Como se aprecia en la Figura 1, las posiciones relativas de los sistemas radicales del seto y del maíz que lo flanquean (1 y 5), si bien no provocan

competencia intensa, tampoco la impiden. Claramente, la interacción seto-hilera 1 difiere de la interacción seto-hilera 5. En el primer caso, el seto más el filtro de sedimentos (FS) son factores de (1) la formación de una capa gruesa de sedimentos, sobre la que se ubica la hilera 1; y de (2) el incremento de la infiltración del agua de lluvia. El plan de roza del seto le restringe la ventaja competitiva a éste sobre la intersección de la radiación solar. En el caso de la interacción seto-hilera 5, el plan de roza del seto ayuda menos que en caso de la hilera 1, porque la hilera 5 ubica cada vez más abajo de la talla del seto, en la medida en que se desarrolla la terraza. El seto no pareciera ser fuente de humedad para la hilera 5, excepto que, cualquier escurrimiento de agua vierte directamente sobre la hilera 5.

Cuadro 7. Rendimientos relativos de maíz en promedio de seis terrazas y tres años, según la posición de la hilera en la terraza y el ciclo de cultivo.

Ciclo de cultivo	Rendimientos relativos en las hileras:				
	Primera [§]	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Otoño-Invierno	1.005	1.000	0.953	0.873	0.633
Primavera-Verano	0.839	1.000	0.979	0.953	0.558
Año agrícola	0.900	1.000	0.966	0.923	0.582
FPA	0.958	1.000	1.000	1.000	0.958

§ La primera hilera es contigua aguas arriba, al seto de la parte baja de la terraza; la quinta hilera es contigua aguas abajo, al seto de arriba. Los rendimientos de las hileras primera y quinta fueron ajustados para tomar en cuenta al espacio que no se cultiva.

FPA es el factor promedio de ajuste por el espacio no cultivado

Al desagregar las medias de rendimiento al nivel del ciclo de cultivo, se devela que el efecto neto de la interacción seto-hilera 1 difiere marcadamente de la interacción seto-hilera 5. En el ciclo O-I, ciclo de humedad escasa, el efecto neto de la interacción seto-hilera 1 es positivo para el rendimiento de maíz y hasta sugiere que el seto actúa como fuente de humedad, que prevalece sobre el efecto negativo de la competencia seto-hilera. Este efecto es suficientemente grande como para contrarrestar el factor de espacio no-cultivado. En cambio, en el ciclo P-V, ciclo de humedad abundante, el mecanismo descrito para la interacción seto-hilera 1 no pareciera ayudar: el rendimiento relativo de la hilera 1 es inferior al de la hilera 2. La interacción seto-hilera 5 parece funcionar en la misma dirección que la interacción seto-hilera 1 en ambos ciclos de cultivo, si bien con menores rendimientos relativos.

CONCLUSIONES

1. Se desarrollaron gradualmente terrazas de muro vivo (TMV) en una ladera de 14.5 % de pendiente de un *Typic Tropofluvents*, a través de los efectos combinados de: (i) la lluvia; (ii) la roturación unidireccional; (iii) el seto; y (iv) el filtro de sedimentos compuesto por residuos de cosecha y material de poda de los setos. La pendiente original evolucionó a 6.5 % en seis años.

2. Para las condiciones experimentales de la pendiente original, la tasa de formación de las terrazas de muro vivo dependió, de la intensidad del laboreo y la distancia vertical entre los setos.
3. Los materiales de suelos desprendidos y transportados desde la sección donante hasta la sección receptora de cada terraza, experimentaron pérdidas acumuladas de 4 % del contenido original de arcilla, 11 % de la capacidad de intercambio de cationes y de las bases intercambiables de acompañamiento. Las pérdidas anuales de calcio, magnesio y potasio fueron 42, 19 y 4 kg ha⁻¹, respectivamente, durante el período de cinco años (no se incluye la pérdida del primer ciclo erosivo).
4. La especie *G. sepium* mostró, después de 10 rozas severas y cinco años de manejo como seto vivo: (i) sobrevivencia de 93 %; (ii) distancia de 15.4 cm entre plantas vivas; y (iii) 2.5 cm de diámetro máximo; su desempeño fue mejor que el de *L. leucocephala*.
5. El rendimiento de maíz asociado con el mejor tratamiento de TMV (1 m de caída vertical, labranza ligera, *G. sepium*) fue superior en 0.5 Mg ha⁻¹ al rendimiento asociado con el testigo en el ciclo Otoño-Invierno, el que se caracteriza por su humedad limitativa para el maíz. No hubo diferencia entre los rendimientos asociados a los mismos tratamientos en el ciclo Primavera-Verano. Se entiende el alto rendimiento del Testigo en el ciclo P-V, como respuesta al drenaje rápido en reflejo de la

pendiente del terreno y a la amplia disponibilidad de humedad y la fertilización, como sustitutos técnicos del suelo perdido por erosión.

6. La segunda hilera de maíz aguas arriba del seto se asoció con el máximo rendimiento relativo en la terraza; las siguientes hileras hacia arriba mostraron un gradiente negativo hasta la última hilera. Las interacciones entre el seto y sus dos hileras de maíz flanqueantes se reflejaron en mayores rendimientos relativos de las hileras 1 (primeras aguas arriba del seto) y 5 (la primera aguas abajo) en el ciclo Otoño-Invierno (humedad deficiente), en comparación con el ciclo Primavera-Verano.

LITERATURA CITADA

- Alberts E.E., Moldenhauer W.C., and Foster G.R. 1980. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:509-595.
- Association of Official Agricultural Chemists. 1950. *Official Methods of Analysis of the A.O.A.C.* 7th Ed. p.13. Washington, D.C. U.S.A.
- Arce-Díaz E., Featherstone A.M., William J.R., and Tanaka D.L. 1993. Substitutability of fertilizer and rainfall for erosion in spring wheat erosion. *J. Prod. Agric.* 6:72-76.
- Arias H.M. y Figueroa B. 1992. La ecuación Universal de Pérdidas de Suelo en la Cuenca del Río Texcoco, Terra, Vol 10(2):257-261.
- Barrón J.A., Figueroa B., y Osuna E.S. 1989. Efecto del laboreo en la producción de maíz y la erosión en cuatro suelos del sur de Jalisco. *Memorias del XXII Congreso Nacional del Suelo. SMCS.Chapingo, México.* p.23.
- Bouyoucos G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron. J.* 43:434-437.
- Bray R.H. and Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil. Sci.* 59:39-45.
- Celestino A.F. 1985. Farming systems approach to soil erosion control and management. In: Caswell E.T., Remenyi J.V., and Nallana N.G. eds. *Soil erosion management.* pp 64-70. ACIAR. Proceeding series No.6. Canberra Australia.
- Draper N.R. and Smith H. 1966. *Applied Regression Analysis.* John Wiley & Sons Inc. New York, U.S.A.
- Grimshaw R.J. 1994. The role of vetiver grass in sustaining agricultural productivity. *Trnas. 15th Int. Soil Sci. Soc. Congress.* Vol 7a:87-97. Acapulco. México.
- Jou A.S.R., Caldwell J.D. and Kang B.T. 1994. Place for alley cropping in sustainable agriculture in the humid tropics. *Trans. Int. Soil Sci. Soc. Congress.* Vol. 7a:98-109. Acapulco, México.
- Kang B.T. 1993. Alley cropping: Past achievements and future directions. *Agroforestry Syst. J.* 6:63-69.
- Lal R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. II. Water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agroforestry Syst. J.* 8:97-111.
- Levy G.J., Levin J. and Shainberg, Y. 1994. Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:203-209.
- Lundgren B. and Nair P.K.R. 1985. Agroforestry for soil conservation. In: ElSwify S.A. Moldenhauer W.C. and Andrew L.O., eds. *Soil Erosion and Conservation.* p. 703-717. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa, U.S.A.
- Martínez L.M. and Lasso L.M. 1991. Efecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de la erosión en el cultivo del maíz. *Terra* 9(1):97-103.
- National Research Council. 1993. *A thin greenline against erosion.* National Academy Press. 99169. Washington, D.C. U.S.A.
- Pacardo E.P. 1984. Soil erosion and ecological stability. In: *Soil Erosion Management.* Eds. Craswell E.T., Remenyi J.V. and Nallana L.G. *Proceedings of a Workshop held at PCARRD. Los Baños, Philippines.* Pp. 82-85.
- Paningbatan Jr E.P. 1990. Alley cropping for managing soil erosion in sloping lands. *Trans. Int. Soil Sci. Soc. Congress.* Vol. VII;376-377. Kyoto, Japan.
- Peech M., Alexander L.T., Dean L.A. and Reed J.F. 1947. *Methods of soil analysis for soil fertility investigation.* U.S. Dept. Of Agriculture Circular 757. Washington D.C. U.S.A.
- Ramírez R.J. Figueroa Sandoval B., Alcalde Blanco S. y Turrent Fernández A. 1985. Efecto de tres métodos de labranza sobre la humedad y la erosión del suelo en un cultivo de maíz bajo condiciones de temporal. *Terra* 2(2):164-171.
- Rasmussen P.E. 1991. Efecto of rill erosion during vegetative growth in winter wheat yield. *Agron J.* 83:729-732.
- Swan J.B. 1987. Effects of soil depth and climatic factors on corn yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1025-1032.
- Turrent Fernández A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la Republica Mexicana. *Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.*
- Vázquez V. 1987. La erosión y conservación del suelo en México: realidades y perspectivas. Pp35. Mimeógrafo. Documento de circulación interna. Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal SARH. México, D.F.
- Wischmeir W.H.N. and Smith D.C. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agric. Handbook 537. US Government Printing Office. Washington D.C., U.S.A.
- World Bank. 1987. *Vetiver grass (Vetiveria zizanioides), a method of vegetative soil and moisture conservation.* Pp72. 2nd Ed. Press Services PVT. Ltd. New Delhi, India.