

# LEGUMINOSAS DE COBERTURA PARA REDUCIR LA EROSIÓN Y MEJORAR LA FERTILIDAD DE SUELO DE LADERA

## Reducing Erosion and Improving Fertility of Hillside Soils Using Legume Cover Crops

Víctor Serrano Altamirano<sup>1†</sup> y Miguel Ángel Cano García<sup>2</sup>

### RESUMEN

Cuando la agricultura intensiva en laderas no se realiza de manera adecuada, generalmente propicia el deterioro de la fertilidad del suelo y la pérdida por erosión, y hace necesario buscar alternativas de producción que minimicen estos riesgos y permitan recuperar la fertilidad de los suelos. Esta investigación se desarrolló en condiciones de temporal durante los años de 1999 y 2000, en un suelo de lomería con 35% de pendiente cultivado con maíz de temporal. Los tratamientos fueron: siembra tradicional con quema de residuos, siembra intercalada de canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) sin quema de residuos y siembra intercalada de mucuna (*Mucuna pruriens* L.) sin quema de residuos. Para evaluar el efecto de los tratamientos se realizaron análisis de suelos, se midió el rendimiento y se establecieron tres lotes de escurrimiento. El análisis de suelo indica que la quema de residuos de cosecha redujo la fertilidad y el pH del suelo, la materia orgánica disminuyó 25%, el nitrógeno total bajó 16%, el fósforo se redujo 80%, el potasio perdió 25% y el pH se hizo más ácido. La mayor producción de grano, por superficie y por planta, y la menor cantidad de grano podrido correspondieron a la siembra con mucuna sin quema de residuos que, con 1076 kg ha<sup>-1</sup>, superó en casi el doble al testigo. El uso de mucuna también produjo mejores resultados en la conservación del suelo y agua, pues en la siembra tradicional se perdió casi tres veces más agua por escurrimiento superficial que en el tratamiento con mucuna. La lluvia escurrida también arrastró 11 veces más suelo en canavalia y 17 veces más en la siembra tradicional con respecto

al sedimento arrastrado en el tratamiento con mucuna. En cuanto a erosión total, la siembra tradicional tuvo una pérdida de 3.2 Mg ha<sup>-1</sup>, cantidad 33 veces mayor que en mucuna.

**Palabras clave:** erosión hídrica, maíz de temporal, mucuna, canavalia.

### SUMMARY

Intensive use of hillside soils can cause soil loss and soil fertility making it necessary to consider alternative practices to reduce these effects. This study was conducted under rainfed conditions during 1999 and 2000 in a soil with 35% slope planted with maize. The study compared the effect of either intercropping mucuna (*Mucuna pruriens* L.) or intercropping canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) with maize, against traditional peasant management that consists of planting only maize after burning crop residues. In contrast, both mucuna and canavalia treatments were planted on crop residues. In order to evaluate the effects of the treatments, soil samples were analyzed, yields were estimated, and runoff plots were established. The results indicated that when crop residues were burned, soil fertility and pH decreased. Organic matter content, total nitrogen, phosphorus and potassium were 25, 16, 80, and 25% less, respectively, than treatments without burning. The mucuna treatment yielded almost twice (1076 kg ha<sup>-1</sup>) the reference treatment and also retained considerably more water and, consequently, soil than the reference treatment where three times more water was lost. Runoff transported 11 and 17 times more sediments in the reference and the canavalia treatments, respectively, than in the mucuna treatment. Total soil loss in the reference treatment was 3.2 Mg ha<sup>-1</sup>, which was 33 times the soil loss in the mucuna treatment.

**Index words:** water soil erosion, rainfed maize, mucuna, canavalia.

<sup>1</sup> INIFAP-Campo Valles Centrales de Oaxaca. Melchor Ocampo 7, Santo Domingo Barrio Bajo, 68200 Etlá, Oaxaca.

<sup>†</sup> Autor responsable (serranoav.victor@inifap.gob.mx)

<sup>2</sup> INIFAP-Dirección de Coordinación y Vinculación en el Estado de Oaxaca. Manuel Doblado 1010, esquina Periférico, 068000 Oaxaca.

## INTRODUCCIÓN

La realización de actividades agropecuarias y forestales, sin considerar prácticas adecuadas de conservación de suelos, puede ocasionar deterioro de los recursos naturales y generar impactos negativos sobre el medio ambiente y la infraestructura para el desarrollo, como pérdida de la fertilidad del suelo, erosión, obstrucción de caminos y asolve de depósitos acuíferos. La pérdida de suelo por erosión hídrica está bien documentada; a este respecto, Vázquez (1986) menciona que, de manera general, en la cuenca de la Costa Chica de Oaxaca, la erosión media es de 5089 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, superior al promedio nacional que alcanza niveles de 2.8 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Este problema hace necesario contar con alternativas de producción que conserven y mejoren el suelo y su fertilidad, pero sobre todo que contribuyan a disminuir las pérdidas de tierra por arrastre de los escurrimientos superficiales.

En suelos de ladera de La Fraylesca, Chiapas, Villar *et al.* (2003) encontraron que la pendiente pronunciada y los suelos con poca retención de humedad son los factores que más influyen en los escurrimientos, siendo la pendiente el factor de mayor impacto: suelos con pendiente de 5% permiten una longevidad de 99 años y aquéllos con más de 15% sólo 22 años. Chambers *et al.* (2000) indican que, en suelos mecanizados, los tres factores principales asociados con erosión hídrica son cobertura escasa del cultivo (15%), presencia de áreas que concentran los escurrimientos y líneas compactadas por rodamientos de llantas; por esta razón, en un suelo de ladera, desnudo por efecto de la quema de residuos, los escurrimientos superficiales son la causa de las pérdidas de la capa superficial del suelo y de los nutrimentos. En suelos de lomerío, con pendiente de 41%, previamente cubiertos con vegetación nativa, Maass *et al.* (1988) reportan pérdidas de suelo de más de 100 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en el primer año del experimento, con una lluvia anual de 820 mm, pero esta cantidad se redujo a menos de 40 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en el segundo año del experimento, en el cual se registraron 670 mm de lluvia anual. Según estos autores, la diferencia en pérdida de suelo se debió a la menor cantidad de lluvia y a la mayor cobertura vegetal que se presentaron en el segundo año. Con relación a los nutrimentos, sólo en fósforo, las cantidades recobradas de los escurrimientos después de una lluvia variaron de 1 a 11 mg m<sup>-2</sup>; sin embargo, las pérdidas potenciales en cada evento erosivo se calcularon en 25-49 mg de fósforo (Le Bayon y Binet, 1999).

Para contrarrestar esta situación, la primera defensa en contra de la erosión hídrica es el manejo de los residuos de cosecha, a través de labranza reducida y sistemas de cultivo sin laboreo del suelo (Papendick, 1996).

En un sistema de agricultura de laderas, en el que las condiciones topográficas generan pendientes del terreno muy pronunciadas, es importante que la labranza del suelo se mantenga en un nivel mínimo, para que no ocurran pérdidas considerables de suelo cuando se presenten escurrimientos superficiales. En estas condiciones, el manejo de los residuos de cosecha y de los aportados por leguminosas de cobertura cobra especial importancia. Entre las leguminosas comúnmente empleadas se encuentran la mucuna (*Mucuna pruriens* L.) y la canavalia (*Canavalia ensiformis* L.). La mucuna se conoce ampliamente por su rápido crecimiento, los aportes de nutrimentos al suelo y su mayor adaptación a zonas de alta precipitación, mientras que la canavalia se adapta a condiciones desfavorables de suelo, sequía y clima adverso, pero es susceptible a la baja fertilidad del suelo, principalmente bajas concentraciones de fósforo, los cuales limitan su crecimiento (Lynd y Ansman, 1989).

Pool *et al.* (1998) mencionan que la roza-tumba y quema es un sistema que consiste en un ciclo de uno o dos años de cultivo y seis o menos años de descanso cuando desarrolla la vegetación secundaria para recuperar la fertilidad del suelo y las condiciones para volver a cultivar este terreno nuevamente. La base fundamental es el período de descanso con vegetación secundaria, mediante el cual se mantiene la fertilidad del suelo al regenerarse la vegetación. Sin embargo, cuando la presión por la tierra es alta, los períodos de descanso se reducen y el suelo no tiene el tiempo suficiente para recuperar su fertilidad. De manera adicional, la quema de los residuos, como una forma de preparar el terreno para la siembra, ocasiona que el agotamiento del suelo sea más crítico. El uso de leguminosas como cultivos de cobertura representa una alternativa de solución a este problema, pues además de proteger al suelo de la erosión, estas plantas aportan nutrimentos al suelo (Coultas *et al.*, 1996), ya sea incorporadas como abonos verdes (Steinmaier y Ngoliya, 2001) o como cultivos en rotación (Carsky *et al.*, 1996) o intercalados (Kirchhof y Salako, 2000), pudiendo abastecer completa o parcialmente las necesidades del cultivo comercial (Griffin *et al.*, 2000; Muraoka *et al.*, 2002).

En la costa de Oaxaca se cultivan, cada año, aproximadamente 86 000 ha con maíz de temporal y se estima que, de esta superficie, cerca de 50 000 ha

se ubican en suelos de ladera con pendientes del suelo que sobrepasan de 30%, se utiliza el sistema de roza, tumba y quema, y se obtiene un rendimiento medio de  $1.1 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grano. Debido a que la práctica inadecuada de la roza-tumba y quema se ha señalado como una de las causantes de la pérdida gradual de la capa superficial del suelo, es imperativo contar con prácticas de cultivo que minimicen el riesgo de erosión y pérdida de la fertilidad de los suelos.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la no quema de residuos de cosecha y el uso de leguminosas de cobertura sobre la erosión hídrica, la fertilidad del suelo y el rendimiento de grano del maíz de temporal en suelos de ladera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en condiciones de temporal, durante los años 1999 y 2000, en un suelo de lomerío con 35% de pendiente, cultivado con maíz de temporal en la comunidad de Santa Cruz, municipio de Villa de Tututepec, Oaxaca, que posee un clima  $Aw_1$ . Los tratamientos evaluados fueron: 1) siembra tradicional de maíz con quema de residuos; 2) siembra de maíz con canavalia intercalada, sin quema de residuos; y 3) siembra de maíz con mucuna intercalada, sin quema de residuos. Los tratamientos se establecieron en dos predios contiguos que en el ciclo inmediato anterior (1998) se habían cultivado con maíz pero, en uno de ellos, el productor realizó la quema de residuos de la cosecha y, en el otro predio, los residuos de cosecha se mantuvieron. El tratamiento tradicional se estableció en el primer predio y los tratamientos de leguminosas sin quema de residuos se establecieron en el segundo predio; cada tratamiento ocupó una superficie de  $600 \text{ m}^2$ . Las leguminosas se sembraron en los tratamientos correspondientes, un mes después del maíz, depositando tres granos entre las matas de maíz dentro de cada hilera. El manejo del cultivo lo realizó el productor, sin aplicación de plaguicidas ni fertilizantes. Durante la cosecha, se tomaron al azar tres muestras por tratamiento, cada una consistió de un surco de 5 m de longitud, para estimar el rendimiento promedio por hectárea.

En el experimento del año 1999, la siembra del maíz se realizó el 25 de junio, como lo acostumbra el productor, con el criollo regional, denominado "Condensado", depositando tres a cuatro granos cada 100 cm, en hileras a 120 cm de separación. Las malas hierbas se controlaron manualmente mediante dos limpiezas: la primera se realizó

a 30 días y la segunda a 52 días después de la siembra (DDS), respectivamente. Antes de la siembra, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm, para su análisis físico (porcentaje de arena, limo y arcilla), concentración de materia orgánica (MO) y elementos mayores, en una parcela con quema de residuos de cosecha del ciclo anterior; en otra parcela contigua, en la que los residuos de cosecha se mantuvieron sobre la superficie desde la cosecha del ciclo anterior, las muestras estuvieron compuestas con submuestras provenientes de tres puntos localizados en las partes alta, media y baja del terreno.

Durante el temporal del año 2000, la siembra del maíz se realizó el 22 de mayo, preparando el terreno con una limpia manual o chapona 15 días antes de la siembra; en el tratamiento tradicional se quemaron los residuos de cosecha y maleza. Para controlar maleza en el tratamiento con frijol nescafé o mucuna, se aplicó  $1.0 \text{ L ha}^{-1}$  de 2,4-D amina para eliminar las plantas de mucuna que nacieron de semilla del año anterior. En todos los lotes se realizó una limpia manual a 49 DDS y en todos los tratamientos se aplicó  $1.0 \text{ L ha}^{-1}$  de paraquat, a 75 DDS. No se fertilizó, ni se usaron productos químicos para el control de plagas de la raíz y follaje. Sólo se realizó la liberación de, aproximadamente, 1000 insectos  $\text{ha}^{-1}$  de Bracon, para el control de gusano cogollero, a 68 DDS. La dobla se realizó a 120 DDS, para reducir la pudrición de mazorcas por entrada de humedad.

Para estimar el rendimiento, en la cosecha se tomaron al azar tres muestras por parcela (parte alta, parte media y parte baja) de 5 m lineales ( $10 \text{ m}^2$ ), en cada una de las cuales se registró ancho de surcos, número de matas, número de plantas, total de mazorcas, mazorcas podridas, peso de grano limpio y peso de grano podrido.

Al inicio de la siembra, en cada uno de los tratamientos, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm para su análisis físico (porcentajes de arena, limo y arcilla), concentración de MO y elementos mayores (N, P y K). Adicionalmente, en cada tratamiento, se estableció un lote de escurrimiento de 10 m de ancho por 20 m de largo ( $200 \text{ m}^2$ ) y, en la parte baja del terreno, se colocaron tambos de 200 L para coleccionar los escurrimientos de agua y suelo. Diariamente se registró la precipitación pluvial y, cuando ocurrieron eventos de lluvia, se registró la altura del agua escurrida en el tambo y, previa agitación, se colectó una muestra de 2 L de agua con sedimentos.

Submuestras del agua colectada se pesaron y se secaron a una temperatura de 70 °C, para evaporar el agua y determinar, por diferencia de peso, la cantidad de suelo en la muestra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del análisis de laboratorio practicado a muestras de suelo obtenidas en los predios con quema y sin quema de residuos de cosecha, antes del establecimiento de los tratamientos; la clasificación de los valores de las propiedades se basó en la NOM-021-RECNAT-200 (SEMARNAT, 2002). El efecto de dejar los residuos de la cosecha sobre la superficie del suelo durante un año, se refleja en variables como la textura y la concentración de MO y fósforo (P). En el caso de la textura, la proporción de partículas finas (limo + arcilla) se redujo en el predio con quema de residuos, debido principalmente a que la lluvia ocurrida durante el período de evaluación arrastró las partículas finas de la capa superficial del suelo. El contenido de MO también fue menor en el predio con quema de residuos, por el efecto combinado de arrastre de partículas finas por la lluvia en este predio y por la MO aportada por los residuos de cosecha en el predio sin quema de residuos. Otra variable que muestra valores diferentes es el P, el cual aparece más alto en el predio sin quema de residuos, condición debida probablemente más al efecto físico de arrastre de partículas finas que contienen algunos compuestos de P, fuera del predio con quema de residuos, más que a procesos químicos de solubilización de P. Le Bayon y Binet (1999) reportaron valores similares de reducción en la concentración de P en suelos sin residuos de cosecha. En lo que respecta a nitrógeno (N) total y concentración de potasio (K) no se observan diferencias considerables entre los dos predios. El pH con valores tendientes hacia moderadamente ácido es una condición normal en suelos con perfil poco desarrollado, por su posición en pendientes fuertes y

expuestos a lluvias de moderadas a altas. Estos resultados de empobrecimiento del suelo concuerdan, en general, con lo señalado por Tapia *et al.* (2002), quienes encontraron que en suelos de ladera la cobertura vegetal redujo las pérdidas de MO y N recobrado de los sedimentos en más de 80% y aumentó las concentraciones de MO en la capa superficial del suelo. Zérega *et al.* (2001) también reportan que la labranza reducida provoca cambios químicos favorables en el suelo. Durante el primer ciclo (1999) no se pudo evaluar el rendimiento del maíz, porque el productor cosechó y revolvió la mazorca de los tratamientos antes de que se realizaran los muestreos de rendimiento que se tenían planeados.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados del análisis de muestras de suelo colectadas antes de la siembra del cultivo en el año 2000. En el momento del muestreo, el lote con quema de residuos tenía al menos dos años (1998 y 1999) de cultivo de maíz con quema de residuos de cosecha y los lotes donde se sembró maíz con leguminosa tenían dos años sin quema de residuos de cosecha (1998 y 1999) y un año (1999) con la siembra de las leguminosas de cobertera. Al comparar los análisis de suelos del lote con quema de residuos se observa que no hay diferencias considerables en las variables. En el caso del lote sin quema de residuos tampoco aparecen diferencias considerables entre los valores encontrados en 1999 y en 2000. Se muestran pequeñas diferencias en los valores de las variables analizadas en 2000, entre los lotes con quema y sin quema de residuos, la concentración de MO pasó de media a alta, la distribución del tamaño de partículas presentó un valor de partículas finas (limo + arcilla) más bajo en el lote con quema de residuos.

Los datos de lluvia registrada, escurrimiento superficial y concentración de sedimentos, obtenidos en los lotes de escurrimiento en cada tratamiento, y los coeficientes estimados de escurrimiento y de erosión de suelo correspondientes se presentan en el Cuadro 3. El coeficiente de escurrimiento varió de 2.8 a 15.5%, valores

**Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo antes de establecer los tratamientos de leguminosas de cobertera. Santa Cruz Tututepec, Oaxaca. 1999.**

| Tratamiento           | Arena                 | Limo | Arcilla | Textura        | pH <sup>†</sup> | MO <sup>‡</sup>       | N total <sup>§</sup> | P <sup>¶</sup>      | K <sup>#</sup>          |
|-----------------------|-----------------------|------|---------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
|                       | - - - - - % - - - - - |      |         |                |                 | - - - - - % - - - - - |                      | mg kg <sup>-1</sup> | meq 100 g <sup>-1</sup> |
| Quema de residuos     | 71.4                  | 17.5 | 11.1    | Franco arenoso | 5.85 (ma)       | 2.436 (m)             | 0.169 (a)            | 9.50 (b)            | 0.427 (m)               |
| Sin quema de residuos | 69.2                  | 18.9 | 11.9    | Franco arenoso | 6.02 (ma)       | 3.228 (m)             | 0.202 (a)            | 49.65 (a)           | 0.569 (m)               |

Clasificación de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

<sup>†</sup> pH: ma = moderadamente ácido; <sup>‡</sup> Materia orgánica: m = medio; <sup>§</sup> Nitrógeno total: a = alto; <sup>¶</sup> Fósforo total (Bray): a = alto; b = bajo; <sup>#</sup> Potasio extractable con acetato de amonio: m = medio.

**Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo antes de establecer los tratamientos de leguminosas de cobertera. Santa Cruz Tututepec, Oaxaca. 2000.**

| Tratamiento              | Arena             | Limo | Arcilla | Textura        | pH <sup>†</sup> | MO <sup>‡</sup>   | N total <sup>§</sup> | P <sup>¶</sup>      | K <sup>#</sup>          |
|--------------------------|-------------------|------|---------|----------------|-----------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
|                          | - - - - % - - - - |      |         |                |                 | - - - - % - - - - |                      | mg kg <sup>-1</sup> | meq 100 g <sup>-1</sup> |
| Quema de residuos        | 72.6              | 17.3 | 10.1    | Franco arenoso | 5.70 (ma)       | 3.13 (m)          | 0.156 (a)            | 16.7 (m)            | 0.300 (m)               |
| Sin quema, con canavalia | 68.6              | 19.3 | 12.1    | Franco arenoso | 5.83 (ma)       | 3.57 (a)          | 0.179 (a)            | 20.1 (m)            | 0.698 (a)               |
| Sin quema, con mucuna    | 66.6              | 16.1 | 17.3    | Franco arenoso | 6.22 (ma)       | 4.08 (a)          | 0.204 (a)            | 29.5 (m)            | 0.568 (m)               |

Clasificación de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

<sup>†</sup> pH: ma = moderadamente ácido; <sup>‡</sup> Materia orgánica: a = alto, m = medio; <sup>§</sup> Nitrógeno total: a = alto; <sup>¶</sup> Fósforo total (Bray): m = medio; <sup>#</sup> Potasio extractable con acetato de amonio: a = alto, m = medio.

similares a los reportados por Silva (2001), quien trabajó en tierras con pendiente promedio de 35%, suelos de textura franco arenosa y lluvia marcadamente estacional (precipitación anual de 1000 a 1200 mm), y encontró escurrimientos con respecto a la precipitación de 11.1, 3.9 y 7.3%, para el suelo desnudo, sabana y bosque, respectivamente. También se observa que entre leguminosas no hay diferencias considerables entre el coeficiente de escurrimiento, pero la cubierta del suelo proporcionada por las leguminosas redujo considerablemente la cantidad de agua que escurrió fuera del lote, en comparación con el suelo sin leguminosas (Cuadro 3).

El efecto más impactante de las leguminosas se muestra en la cantidad de suelo que se perdió por erosión y, de manera particular, sobresale la mucuna, pues en el lote establecido con esta leguminosa sólo se perdieron

96.42 kg ha<sup>-1</sup> de suelo durante el ciclo, mientras que en el lote con canavalia la pérdida fue casi 10 veces mayor y en el lote sin leguminosas la pérdida de suelo fue más de 30 veces la ocurrida en el lote con mucuna. Esto se debe a que mucuna tiene un crecimiento rastrero, muy rápido, y produce bastante follaje y cubre totalmente el suelo; en tanto que canavalia crece con mayor lentitud y sus hojas no cubren el suelo, en contacto directo. El efecto de la cobertura del suelo sobre la disminución de las pérdidas de suelo ya lo habían reportado Maass *et al.* (1988), quienes lograron, en el segundo año, una reducción del suelo perdido de más de 60 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, debido a la menor cantidad de lluvias y la mayor cobertura del suelo, con respecto al primer año del estudio realizado en Jalisco, México.

Los valores mínimos, máximos y medios, por evento de lluvia, en los lotes de escurrimiento, siempre fueron

**Cuadro 3. Datos mensuales de precipitación, escurrimiento superficial de agua y pérdida de suelo en los lotes de escurrimiento en maíz de temporal. Santa Cruz, Tututepec, Oaxaca, durante el año 2000.**

| Variable   | Junio | Julio   | Agosto | Septiembre | Octubre | Total   |
|--|-------|---------|--------|------------|---------|---------|
| Lluvia registrada (mm)                           | 33.0  | 331.0   | 193.0  | 584.0      | 138.5   | 1279.5  |
| Escurrecimiento (L ha <sup>-1</sup> )            |       |         |        |            |         |         |
| -Mucuna  |       | 46 527  | 54 446 | 248 472    | 66 325  | 415 770 |
| -Canavalia                                       |       | 55 436  | 71 275 | 354 395    | 95 231  | 576 337 |
| -Tradicional                                     |       | 86 124  | 88 104 | 789 963    | 230 653 | 576 337 |
| Coefficiente de escurrimiento (%)                |       |         |        |            |         |         |
| -Mucuna  |       | 2.8     | 2.8    | 4.6        | 4.6     | 3.7     |
| -Canavalia                                       |       | 3.6     | 3.7    | 6.2        | 6.4     | 5       |
| -Tradicional                                     |       | 6.2     | 4.7    | 13.9       | 15.5    | 10.1    |
| Concentración de sedimentos (g L <sup>-1</sup> ) |       |         |        |            |         |         |
| -Mucuna  |       | 0.843   | 0.346  | 0.204      | 0.155   | 0.387   |
| -Canavalia                                       |       | 12.165  | 1.247  | 1.597      | 2.225   | 4.306   |
| -Tradicional                                     |       | 20.001  | 2.225  | 1.52       | 2.91    | 6.664   |
| Erosión (kg ha <sup>-1</sup> )                   |       |         |        |            |         |         |
| -Mucuna  |       | 41.67   | 16.25  | 29.67      | 8.83    | 96.42   |
| -Canavalia                                       |       | 396.92  | 84.75  | 290.42     | 134.17  | 906.26  |
| -Tradicional                                     |       | 1658.73 | 211.5  | 872.75     | 484.92  | 3227.89 |

mayores y con más variación cuando se quemaron los residuos de cosecha y no se usó leguminosa de cobertura (Cuadro 4). En el coeficiente de escurrimiento, por ejemplo, se tuvo un mínimo de 0.04, un máximo de 0.35 y un promedio de 0.11 por evento de lluvia, mientras que con mucuna y sin quema los valores fueron: mínimo de 0.01, máximo de 0.12 y medio de 0.11. La concentración de sedimentos alcanzó un máximo de 53.3 g de suelo por litro de agua en el tratamiento testigo, mientras que con el uso de mucuna el valor máximo no rebasó los 29 g L<sup>-1</sup> de agua. La pérdida de suelo mantuvo un valor promedio de 140.3 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que con el uso de mucuna el valor promedio por evento de lluvia no rebasó de 4.2 kg ha<sup>-1</sup>.

En el año 2000, las lluvias se iniciaron durante el mes de mayo, pero los datos se empezaron a registrar a partir del 12 de junio; se registraron 1730 mm de junio a diciembre. La lluvia fue escasa durante la etapa de

desarrollo vegetativo (70 mm del 12 de junio al 11 de julio), lo que afectó al maíz sembrado de manera tradicional, sin leguminosas y con quema de residuos. Las plantas en este tratamiento presentaban una coloración verde pálido, tallos delgados y baja altura, en comparación con las plantas establecidas en donde se sembró mucuna o frijol nescafé, las cuales mostraban un color verde normal, tallos gruesos y mayor altura de planta. Aunque al ocurrir lluvia suficiente, a partir de finales de julio, las diferencias en color y vigor entre tratamientos se fueron haciendo menos notorias; el tratamiento testigo siempre presentó plantas menos vigorosas y el tamaño de los elotes fue menor.

Los resultados que se presentan en el Cuadro 5 muestran que el testigo tuvo menor densidad de población, en la etapa de cosecha, debido a que, por los escurrimientos y el arrastre de suelo que ocurrieron en este tratamiento, la densidad de población original

**Cuadro 4. Escurrimientos mínimos, medios y máximos en tres lotes de escurrimiento en un suelo de ladera en Santa Cruz, Tututepec, Oaxaca.**

| Variable                                | Mínimo    | Máximo     | Promedio  | Desviación estándar |
|---|-----------|------------|-----------|---------------------|
| Lluvia (mm)                             | 20        | 93         | 45.7      | 19.4                |
| Escurrimiento (L ha <sup>-1</sup> )     |           |            |           |                     |
| -Con quema de residuos y sin leguminosa | 14 849.00 | 149 479.00 | 51 950.00 | 41 430.00           |
| -Sin quema de residuos y con canavalia  | 4 949.64  | 85 133.89  | 25 058.11 | 20 974.93           |
| -Sin quema y con mucuna                 | 3 959.72  | 49 496.45  | 18 076.96 | 12 289.11           |
| Coefficiente de escurrimiento           |           |            |           |                     |
| -Con quema de residuos y sin leguminosa | 0.04      | 0.35       | 0.11      | 0.07                |
| -Sin quema de residuos y con canavalia  | 0.01      | 0.15       | 0.05      | 0.03                |
| -Sin quema de residuos y con canavalia  | 0.01      | 0.15       | 0.05      | 0.03                |
| Sedimentos (g L <sup>-1</sup> )         |           |            |           |                     |
| -Con quema de residuos y sin leguminosa | 0.09      | 53.35      | 4.29      | 10.86               |
| -Sin quema de residuos y con canavalia  | 0.20      | 33.24      | 3.02      | 6.79                |
| -Sin quema y con mucuna                 | 0.01      | 1.12       | 0.30      | 0.34                |
| Erosión (kg ha <sup>-1</sup> )          |           |            |           |                     |
| -Con quema de residuos y sin leguminosa | 3.30      | 1 478.70   | 140.30    | 298.40              |
| -Sin quema de residuos y con canavalia  | 3.00      | 329.01     | 39.40     | 66.17               |
| -Sin quema y con mucuna                 | 0.33      | 28.70      | 4.19      | 6.13                |

**Cuadro 5. Rendimiento de los tratamientos en los lotes de escurrimiento en maíz de temporal establecidos en Santa Cruz, Tututepec, Oaxaca, durante el año 2000.**

| Tratamiento                 | Cosecha<br>plantas ha <sup>-1</sup> | Rendimiento de grano          |                                | Desgrane<br>% |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------|
|                             |                                     | Limpio<br>kg ha <sup>-1</sup> | Podrido<br>kg ha <sup>-1</sup> |               |
| Sin quema y con mucuna      | 23 333                              | 1076                          | 248                            | 45.2          |
| Sin quema y con canavalia   | 22 667                              | 586                           | 414                            | 24.7          |
| Con quema y sin leguminosas | 15 333                              | 579                           | 477                            | 38.6          |

se redujo. En cuanto a rendimiento, la mayor producción de grano por unidad de superficie y por planta, así como la menor cantidad de grano podrido, correspondieron a la siembra sin quema de residuos de cosecha con uso de frijol nescafé que, con 1076 kg ha<sup>-1</sup>, superó en aproximadamente 500 kg al uso de canavalia y al testigo, lo que representa un incremento de 84 y 86%, respectivamente. Pool *et al.* (1998) también obtuvieron información mediante entrevistas a productores de Tuliija, Chis., en el sentido de que, al aumentar los años de uso de la cobertura de frijol terciopelo, la biomasa de arvenses y el rendimiento se incrementaron. Aunque no se evaluó la población de malas hierbas, no se observaron efectos importantes, excepto que en el tratamiento con mucuna se requieren de dos podas para evitar que la leguminosa envuelva completamente a las plantas de maíz.

Comparando el rendimiento obtenido entre los tratamientos con leguminosa y con base en los datos obtenidos en los lotes de escurrimiento, se puede inferir que uno de los factores principales fue la humedad del suelo; en el tratamiento con mucuna, una cantidad considerablemente menor de agua escurrió fuera del lote y, en consecuencia, se infiltró hacia el perfil del suelo. Otro factor importante lo constituyó la cantidad de grano podrido: en el caso del tratamiento con canavalia fue el doble que en el de mucuna.

Se presentó un problema generalizado de pudrición de la mazorca. Por esta razón, en el momento de la cosecha, se separó y cuantificó el grano podrido: éste fue menor en el tratamiento con mucuna. En la siembra tradicional la cantidad de grano podrido casi alcanzó 500 kg ha<sup>-1</sup>. Se suponía que, por el hábito de crecimiento de la mucuna, ésta enredaría a las plantas de maíz y provocaría un microclima propicio para la pudrición de la mazorca y para el daño por roedores. Sin embargo, el uso de mucuna con un buen manejo de podas redujo la pudrición de grano en 40%, con relación al uso de canavalia, y 48%, con respecto a la siembra tradicional. La presencia de grano podrido fue la causa de que el porcentaje de desgrane fuera muy bajo, ya que normalmente es superior a 70% y su evaluación arrojó una tendencia similar al rendimiento, es decir, el uso de mucuna presentó el mayor porcentaje de grano en las mazorcas (64.6%), cantidad que fue superior en 38% a la siembra con canavalia y 47% a la siembra tradicional con quema de residuos.

De acuerdo con el análisis de beneficio/costo realizado (Cuadro 6), con la producción obtenida de grano limpio, ninguno de los tratamientos alcanzó a recuperar

los costos de producción, aunque la mayor recuperación y, por lo tanto, la menor pérdida se obtuvo con el uso de mucuna, no obstante que fue el tratamiento más costoso. Sin embargo, si se considera el costo ecológico, poniendo precio a la pérdida de suelo, la no quema de residuos y el uso de mucuna son una de las mejores alternativas, además de que el uso de leguminosas tiene un efecto positivo adicional sobre la fertilidad del suelo, a través de los años. De acuerdo con las experiencias de Vieira y Wambeke (2002), en El Salvador, después de manejar óptimamente los residuos de cultivos durante 25 años, algunos agricultores están aplicando menos fertilizantes en el cultivo de maíz, en comparación con cómo lo hacían cuando quemar los residuos era una práctica común.

Finalmente, aunque se ha demostrado la bondad del uso de leguminosas de cobertura (Maass *et al.*, 1988; Papendick, 1996; Griffin *et al.*, 2000), principalmente el mucuna en las regiones tropicales y subtropicales, no está por demás señalar que cuando se introducen especies exóticas, dependiendo de las características y la adaptación al nuevo ambiente, algunas veces se salen de control, invaden el hábitat natural de las plantas nativas y las desplazan o son portadoras de nuevas plagas y enfermedades, provocando situaciones que son difíciles de controlar o predecir; por lo que esto debe hacerse con sumo cuidado. Por fortuna, no ha sido el caso de las leguminosas motivo de esta investigación.

## CONCLUSIONES

- La no quema de residuos de cosecha y el uso de frijol nescafé o mucuna en maíz de temporal, al proteger al suelo de pérdidas por arrastre del agua de las lluvias, permitió obtener un rendimiento de 1076 kg ha<sup>-1</sup>, el cual superó en 86% el obtenido con la siembra tradicional con quema.
- Con el uso de mucuna en el cultivo de maíz se redujeron los escurrimientos superficiales del agua de lluvia a 3.7%, tres veces menos con respecto a la siembra tradicional.
- Con el uso de mucuna y sin la quema de los residuos de cosecha, también se redujo la concentración promedio de sedimentos en el agua escurrida, ya que se tuvieron 0.387 g L<sup>-1</sup>, 17 veces menor que en la siembra tradicional de maíz con quema de residuos de cosecha.
- Con la presencia de mucuna se tuvo una pérdida de menos de 100 kg ha<sup>-1</sup> de suelo, cantidad que fue 33 veces menor que el suelo perdido en la siembra tradicional del maíz, donde, para la preparación del suelo, se queman los residuos de cosecha junto con la maleza.

**Cuadro 6. Análisis económico de los tratamientos en los lotes de escurrimiento en maíz de temporal establecidos en Santa Cruz, Tututepec, Oaxaca, durante el año 2000.**

| Actividad realizada                        | Costo de la actividad por tratamiento |           |           |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|
|  | ----- \$ ha <sup>-1</sup> -----       |           |           |
|  | Mucuna                                | Canavalia | Con quema |
| <b>1 Preparación del suelo</b>             | 400.00                                | 400.00    | 600.00    |
| Chapona (jornales)                         | 400.00                                | 400.00    | 400.00    |
| Quema y requema (jornales)                 |                                       |           | 200.00    |
| <b>2 Siembra</b>                           | 640.00                                | 640.00    | 280.00    |
| Semilla maíz (kg ha <sup>-1</sup> )        | 80.00                                 | 80.00     | 80.00     |
| Siembra manual (jornales)                  | 200.00                                | 200.00    | 200.00    |
| Semilla leguminosa (kg ha <sup>-1</sup> )  | 160.00                                | 160.00    |           |
| Siembra leguminosa(jornales)               | 200.00                                | 200.00    |           |
| <b>4 Control de maleza</b>                 | 910.00                                | 300.00    | 300.00    |
| Esterón (L ha <sup>-1</sup> )              | 70.00                                 | 140.00    |           |
| Aplicación de esterón (jornales)           | 50.00                                 | 200.00    |           |
| Chapona (jornales)                         | 300.00                                | 300.00    | 300.00    |
| Gramoxone (L ha <sup>-1</sup> )            | 70.00                                 |           |           |
| Aplicación de gramoxone (jornales)         | 200.00                                |           |           |
| <b>5 Control de plagas</b>                 | 25.00                                 | 25.00     | 25.00     |
| Liberación Bracon (bolsas)                 | 25.00                                 | 25.00     | 25.00     |
| <b>6 Cosecha</b>                           | 1120.00                               | 1120.00   | 1120.00   |
| Dobla                                      | 280.00                                | 280.00    | 280.00    |
| Pizca de mazorca (jornales)                | 560.00                                | 560.00    | 560.00    |
| Desgrane manual (jornales)                 | 280.00                                | 280.00    | 280.00    |
| <b>Costo de producción total</b>           | 3095.00                               | 2485.00   | 2325.00   |
| Producción estimada (kg ha <sup>-1</sup> ) | 1076.00                               | 586.00    | 579.00    |
| Valor de la producción (\$)                | 2690.00                               | 1465.00   | 1447.50   |
| Ganancia por hectárea (\$)                 | -405.00                               | -1020.00  | -877.50   |
| Relación beneficio/costo                   | 0.87                                  | 0.59      | 0.62      |

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema de Investigación Benito Juárez (SIBEJ) del CONACYT, por el financiamiento otorgado y al personal del Campo Experimental Costa Oaxaqueña que, con su valiosa ayuda, hicieron posible la realización de este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Carsky, R. J., B. Oyewole, and G. Tian. 1996. Integrated soil management for the savanna zone of W. Africa: legume rotation and fertilizer N. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 55: 95-105.
- Chambers, B. J., T. W. D. Garwood, and R. J. Unwin. 2000. Controlling soil water erosion and phosphorus losses from arable land in England and Wales. *J. Environ. Qual.* 29: 145-150.
- Coultas, C. L., T. J. Post, J. B. Jones Jr, and Y. P. Hsieh. 1996. Use of velvet bean to improve soil fertility and weed control in corn production in Northern Belize. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 2171-2196.
- Griffin, T., M. Liebman, and J. Jemison Jr. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agron. J.* 92: 144-151.
- Kirchhof, G. and F. K. Salako. 2000. Residual tillage and bush-fallow effects on soil properties and maize intercropped with legumes on a tropical Alfisol. *Soil Use Manage.* 16: 183-188.
- Le Bayon, R. C. and G. Binet. 1999. Rainfall effects on erosion of earthworm casts and phosphorus transfers by water runoff. *Biol. Fertil. Soils* 30: 7-13.
- Lynd, J. Q. and T. R. Ansman. 1989. Soil fertility effects on growth, nodulation, nitrogenase and seed lectin components of jack beans (*Canavalia ensiformis* (L)DC). *J. Plant Nutr.* 12: 563-579.
- Maass, J. M., C. F. Jordan, and J. Sarukan. 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agrosystems under various management techniques. *J. Appl. Ecol.* 25: 595-607.
- Muraoka, T., E. J. Ambrosano, F. Zapata, N. Bortoletto, A. L. M. Martins, P. C. O. Trivelin, A. E. Boaretto y W. B. Scivittaro. 2002. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria y mucuna*) y urea,



- aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra* 20: 17-23.
- Papendick, R. I. 1996. Farming systems and conservation needs in the Northwest wheat region. *Am. J. Alternative Agric.* 11: 52-57.
- Pool N., L., N. S. León M., C. González S. y P. Figueroa F. 1998. Frijol terciopelo, cultivo de cobertura en la agricultura Chol del Valle del Tulija, Chiapas, México. *Terra* 16: 359-369.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2002. Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial 31 de diciembre de 2002. México, D.F.
- Silva, E. O. 2001. Evaluación del escurrimiento y la erosión en condiciones de sabana y bosque claro de altas pendientes. Caso Macapo, estado Cojedes. *Venesuelos* 2: 81-85.
- Steinmaier, N. and A. Ngoliya. 2001. Potential of pasture legumes in low-external-input and sustainable agriculture (LEISA). 1. Results from green manure research in Luapula Province, Zambia. *Exp. Agric.* 37: 297-307.
- Tapia V., L. M., M. Tiscareño L., J. Salinas R., M. Velázquez V., A. Vega P. y H. Guillén A. 2002. Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo, en laderas agrícolas. *Terra* 20: 449-457.
- Vázquez A., V. 1986. La erosión y conservación del suelo en México: Realidades y perspectivas. *Terra* 4: 158-172.
- Vieira, M. y J. van Wambeke. 2002. Experiencias en El Salvador. Agricultura de conservación y desarrollo rural. *LEISA Rev. Agroecología* 18: 11-12.
- Villar S., B., J. López M., J. Pérez N. y R. Camas G. 2003. Aplicación del modelo de simulación EPIC a la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo. *Terra* 21: 381-388.
- Zérega, M. L., T. Hernández y J. Valladares. 1998. Efectos de la labranza sobre el suelo y en el cultivo de la caña de azúcar. I. A corto plazo. *Agronomía Trop.* 48: 501-513.