

# Labranza de conservación y asociación maíz-calabaza en el control de erosión hídrica en Chiapas, México

## Conservation tillage and corn-squash intercropping for water erosion control in Chiapas, Mexico

Carlos Ernesto Aguilar Jiménez <sup>1,3</sup>, José Galdamez <sup>1,4</sup>, Franklin Martínez <sup>1,5</sup>, Isidro Zapata Hernández <sup>1,6</sup>, Juan Francisco Zamora Natera <sup>2,7</sup>, Héctor Vázquez <sup>1,8</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas, México. <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

<sup>3</sup> ✉ [ejimenez@unach.mx](mailto:ejimenez@unach.mx); <sup>4</sup> ✉ [jose.galdamez@unach.mx](mailto:jose.galdamez@unach.mx); <sup>5</sup> ✉ [franklin.martinez@unach.mx](mailto:franklin.martinez@unach.mx);

<sup>6</sup> ✉ [chilo0602@hotmail.com](mailto:chilo0602@hotmail.com); <sup>7</sup> ✉ [jfzamoranatera@gmail.com](mailto:jfzamoranatera@gmail.com); <sup>8</sup> ✉ [hector.vazquez@unach.mx](mailto:hector.vazquez@unach.mx)



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.112540>

2024 | 73-2 p 210-219 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-01-18 Acep.: 2025-07-04

### Resumen

La erosión hídrica es uno de los principales problemas de la degradación de suelos en regiones tropicales. El uso de la mecanización en terrenos agrícolas con pendientes acelera este proceso. Con el objetivo de evaluar el efecto de la labranza y de sistemas de asociación maíz-calabaza para el control del escurrimiento superficial y la erosión hídrica, se desarrolló esta investigación en el municipio de Villaflores, estado de Chiapas (México), durante un ciclo de temporal. Se establecieron 2 sistemas de labranza (mínima y cero) y 3 sistemas de cultivo (maíz, maíz-calabaza y calabaza), lo que generó 6 tratamientos con 3 réplicas. Para evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica, se implementaron lotes de escurrimiento con una repetición para cada tratamiento. La menor pérdida de suelo se cuantificó en el sistema cero de labranza maíz-calabaza con  $1.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y una pérdida acumulada de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y MO de 10.38, 0.12, 0.48 y  $197.14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  respectivamente, mientras que la mayor pérdida de suelo se observó en el sistema labranza mínima de maíz en monocultivo con  $7.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y 36.30 (N), 1.23 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 1.80 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) y 527.02 (MO)  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La cobertura foliar de la calabaza contribuyó a reducir la pérdida de suelo en ambos sistemas de labranza, principalmente en cero labranza. El sistema de labranza mínima con asociación maíz-calabaza presentó 196 % de uso equivalente de la tierra (UET).

**Palabras clave:** degradación, ecológico, escurrimiento, manejo sustentable, suelos tropicales.

### Abstract

Water erosion is one of the main causes of soil degradation in tropical regions. The use of mechanized agriculture on sloped terrain accelerates this process. This research was conducted in the municipality of Villaflores, Chiapas, Mexico, during a rainfed growing season with the objective of evaluating the effects of different tillage and cropping association systems on surface runoff and water erosion control. Two tillage systems (minimum and zero tillage) and three cropping systems (corn, corn-pumpkin, and pumpkin) were implemented, resulting in six treatments with three replicates each. To evaluate soil loss due to water erosion, runoff plots were implemented in one replicate of each treatment. The lowest soil loss was measured in the no-tillage corn-squash system, with  $1.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , and cumulative losses of N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and OM of 10.38, 0.12, 0.48 and  $197.14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  respectively. In contrast, the highest soil loss occurred in the minimum tillage corn monoculture system, with  $7.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , and 36.30 (N), 1.23 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 1.80 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) and 527.02 (OM)  $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . The pumpkin foliar cover of pumpkin contributed to a reduction in soil loss in both tillage systems, mainly in the no-tillage system. The minimum tillage system with the corn-squash association achieved an equivalent land use (ELU) of 196 %.

**Keywords:** degradation, ecological, runoff, sustainable management, tropical soils.

## Introducción

La erosión hídrica es un proceso que consiste en el desprendimiento, arrastre y deposición del suelo por la precipitación pluvial (Somoza y Vázquez, 2023). El fenómeno ocurre debido a la exposición de la capa fértil del suelo, originado por su mal manejo. Los impactos son múltiples, ya que no solamente arrastra el suelo, sino que también se deteriora el contenido nutrimental y la materia orgánica (Matías *et al.*, 2020). En regiones tropicales con práctica de agricultura convencional, la erosión hídrica ha contribuido con la degradación sistemática de los suelos agrícolas (López *et al.*, 2022). Se estima que en México el 45 % de los suelos se encuentran degradados, y destaca la erosión por las prácticas agrícolas, el sobrepastoreo y deforestación (Anglés *et al.*, 2021). A su vez, Cotler *et al.* (2020) estiman que 16 % de las tierras agrícolas nacionales dedicadas a la agricultura de temporal están erosionadas.

Para reducir la erosión hídrica destacan los sistemas de labranza de conservación, cuyo objetivo es reducir la pérdida de suelo y restaurar progresivamente las características agronómicas (Martínez-Gamiño *et al.*, 2019). Entre estos, sobresalen la cero y mínima labranza por el nulo o bajo movimiento de la capa superficial del suelo, que contribuyen a reducir la erosión hídrica, mejorar la capacidad de retención de agua, incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar la porosidad, regular la temperatura e incrementar la actividad biótica (Gómez-Calderón y Estrada-León, 2020). En regiones tropicales su implementación en terrenos agrícolas con pendiente contribuye a reducir de manera significativa la pérdida de suelo y a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Leyva *et al.*, 2020). La mínima labranza involucra suprimir el uso del arado de discos y realizar únicamente el rastreo; mientras que con la cero labranza se suprime el uso total de la mecanización (Borbón-Gracia *et al.*, 2020).

Por otra parte, las asociaciones de cultivo son arreglos que involucran la siembra combinada de plantas en un mismo espacio y tiempo (Tamayo y Alegre, 2022). Las especies que se asocian presentan diferentes características fisiológicas. Las asociaciones, también conocidas como policultivos, tienen como principal propósito mejorar el uso equivalente de la tierra (UET) (Castillo *et al.*, 2022); estos sistemas contribuyen con la conservación del suelo y del agua (Rivière *et al.*, 2022), reducen la presencia de plagas y enfermedades (León *et al.*, 2000), ayudan con el control de la flora arvense y mejoran el paisaje agrícola. La siembra del maíz asociado con calabaza constituye un sistema agrícola milenario de la cultura mesoamericana, el cual tiene efectos positivos sobre la fertilidad del suelo debido a las interacciones ecológicas que ocurren en el agroecosistema (Aguilar *et al.*, 2020). La reducción de la pérdida de suelo es uno de los principales

beneficios de los cultivos de cobertura (Capurro y Montico, 2020); en este caso, el cubrimiento foliar de la calabaza disminuye el impacto directo de las gotas de lluvia, lo que reduce la erosión.

Con el propósito de evaluar el efecto de los sistemas de labranza de conservación y la asociación maíz-calabaza para el control del escurrimiento superficial y la erosión hídrica, así como su impacto en la UET de los cultivos básicos, se desarrolló la presente investigación.

## Materiales y métodos

### Descripción del sitio experimental

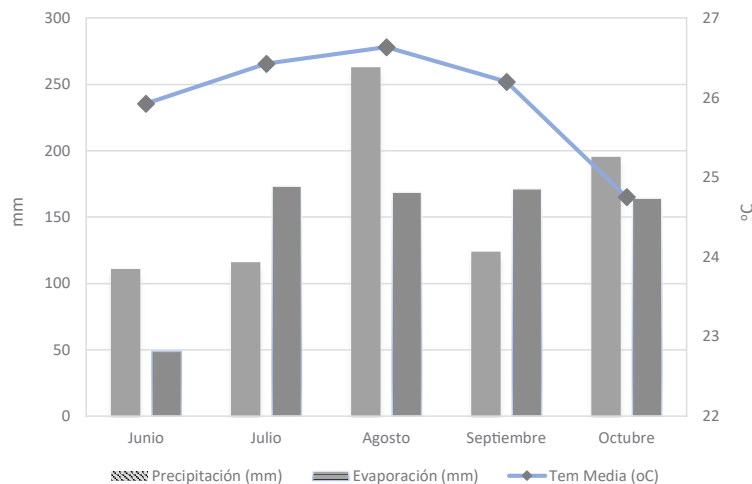
La investigación se desarrolló durante el ciclo agrícola de temporal en Villaflores, estado de Chiapas (México), con coordenadas geográficas latitud 16° 15' N y longitud 93° 14' W, altitud de 610 m.s.n.m. Clima cálido subhúmedo, temperatura media de 22 °C y precipitación pluvial de 1200 mm anuales. Se acumularon durante el ciclo experimental (19 de junio al 30 de octubre), 817.3 mm, con temperatura media de 25.9 °C (Figura 1). La lluvia se distribuyó en 47 % de la siembra hasta el inicio de la antesis del maíz, y casi el 50 % en la etapa de llenado de grano. Los datos indican un ciclo de temporal atípico con lluvias limitadas, originado por el fenómeno de sequía intraestival, conocido regionalmente como canícula y que se caracteriza por un periodo de intensidad variable en la ausencia de lluvias durante el ciclo del temporal (Fonseca-Flores *et al.*, 2023).

### Caracterización edáfica del sitio experimental

El suelo del sitio experimental fue luvisol, con pendiente media de 8 %, típico para el cultivo de maíz en la región Frailesca; para su caracterización se tomó una muestra compuesta (0-20 cm). El resultado representó un suelo típico con aparente degradación de interés agronómico (Tabla 1).

### Diseño del experimento

Se utilizó diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas en parcelas grandes de 33 m de largo por 2.5 m de ancho, y se expusieron 2 sistemas de labranza (cero y mínima); a su vez, en las parcelas chicas, de 10 m de largo y 2.5 m de ancho, se ubicaron los 3 sistemas de cultivo (maíz, maíz-calabaza y calabaza), dejando calles de 2.5 m entre unidades experimentales. En total, el ensayo ocupó 891 m<sup>2</sup>. La combinación generó los tratamientos: labranza mínima maíz-calabaza (LMMC), labranza mínima maíz (LMM), labranza mínima calabaza (LMC), cero labranza maíz-calabaza (CLMC), cero labranza maíz (CLM) y cero labranza calabaza (CLC), los cuales estuvieron representados en tres réplicas, 18 unidades experimentales.



**Figura 1.** Precipitación, evaporación y temperatura media en el sitio experimental durante la fase de la investigación, Villaflores, estado de Chiapas (México).

**Tabla 1.** Características físicas y químicas del suelo del sitio experimental

| Característica               | Método            | Resultado              |
|------------------------------|-------------------|------------------------|
| pH                           | CaCl <sub>2</sub> | 4.6                    |
| Materia orgánica (%)         | Walkley and Black | 2.08                   |
| N total (%)                  | Kjeldahl          | 0.21                   |
| P (mg kg <sup>-1</sup> )     | Olsen             | 29.4                   |
| K (meq <sub>c</sub> 100 g)   | Emisión atómica   | 0.27                   |
| Ca (meq <sub>c</sub> 100 g)  | Absorción atómica | 4.90                   |
| Mg (meq <sub>c</sub> 100 g)  | Absorción atómica | 0.92                   |
| Na (meq <sub>c</sub> 100 g)  | Emisión atómica   | 0.00                   |
| ClC (meq <sub>c</sub> 100 g) | Absorción atómica | 6.09                   |
| CC (%)                       | Columna de Colman | 17.53                  |
| Pmp (%)                      | Cc/1.84           | 9.52                   |
| Da (t m <sup>-3</sup> )      | De probeta        | 1.30                   |
| Arena (%)                    | Bouyoucos         | 62.04                  |
| Limo (%)                     | Bouyoucos         | 16.0                   |
| Arcilla (%)                  | Bouyoucos         | 21.96                  |
| Clasificación textural       |                   | Franco-arcillo-arenoso |

## Lotes de escurrimiento

Para estimar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo se utilizaron lotes de escurrimiento de 2.5 m x 2.5 m (6.25 m<sup>2</sup>), los cuales se confinaron con espalderas de madera de 40 cm de altura. Aguas abajo se enterraron recipientes metálicos con capacidad de 200 l. El lote se conectó con el depósito con tubos PVC para conducir agua y sedimentos; en la entrada de cada recipiente se colocaron bolsas plásticas

para capturar el sedimento grueso (grava), el cual se cuantificó al final del ciclo del cultivo. Después de cada evento de lluvia se removía el volumen de agua recibido y el sedimento captado; se medía el volumen de escurrimiento recolectado y se tomaba una muestra de 1 l de solución para llevar al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Las muestras se depositaron en vasos de precipitado, agregando 50 gotas de ácido clorhídrico (0.6 N) para promover la precipitación de la muestra de suelo durante 24 horas. Después se decantó el suelo y se colocó en botes de aluminio para su secado en la estufa de circulación de aire a 120 °C durante 24 horas. Al final del ciclo agrícola se cuantificó el peso total de sedimento captado en cada tratamiento evaluado. El escurrimiento superficial por muestreo se obtuvo dividiendo el volumen captado en el tambo ( ) entre la superficie del lote de escurrimiento (6.25 m<sup>2</sup>).

## Preparación del terreno

La preparación del suelo consistió en 2 pasos de rastra para la labranza mínima, mientras que en la cero labranza únicamente se eliminaron las malezas de forma manual.

## Siembra

La semilla de maíz fue una variedad nativa de la raza tuxpeño (Coutiño *et al.*, 2021); de la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) se usó semilla criolla común de la región de estudio. La siembra del maíz se realizó en forma manual, 0.80 m entre filas y 0.40 m entre plantas, depositando 2 semillas por punto de siembra. La calabaza en monocultivo se sembró a 1.0 m entre filas y plantas, con 2 semillas por punto. Para la asociación maíz-calabaza, la siembra fue imbricada.

## Manejo del cultivo

El maíz se fertilizó con la fórmula 160-60-00 usando nitrato de amonio y el fosfato diamónico; se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno a los 10 días después de la siembra (DDS), el restante del nitrógeno se aplicó a los 45 DDS. El control de la flora arvense se realizó de forma manual durante 3 tiempos del ciclo; en este predominaron *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Digitaria horizontalis* Will, *Melampodium divaricatum* e *Ipomoea* sp. En maíz se presentaron los lepidópteros *Spodoptera frugiperda* Smit. y *Mocis latipes* (Guenée), por lo que se realizaron 2 aplicaciones de Clorpirifos ( $0.36 \text{ l ha}^{-1}$ ). La cosecha del maíz se realizó a los 134 DDS (14 % humedad) y la calabaza se cosechó cuando los frutos estuvieron maduros y secos (144 DDS).

## Humedad del suelo

Cada 5 días se cuantificó la humedad del suelo con el método termogravimétrico; se obtuvieron en campo muestras (0-20 cm), posteriormente en laboratorio se determinó el peso de suelo húmedo (PSH, g), y se secaron durante 48 horas a  $120^\circ\text{C}$  en una estufa de circulación de aire (GCA corporación modelo 17). Con el peso de suelo seco (PSS, g) se estimó el contenido de humedad (HA, %) mediante la Ecuación 1.

$$HA = \left( \frac{PHS - PSS}{PSS} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

## Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Mediante el método de doble cilindro se estimó la velocidad de infiltración (VI) e infiltración acumulada (Z) del agua en el suelo, en ambos sistemas de labranza antes de la siembra y después de la cosecha. La tasa de infiltración fue calculada mediante la Ecuación 2.

$$I = K T^n \quad (\text{Ec. 2})$$

Para la lámina de agua acumulada se utilizó la Ecuación 3.

$$Z = \frac{K t^{n+1}}{60(n+1)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde I: infiltración (cm.h), K: infiltración inicial, t: tiempo, n: pendiente de la curva y Z: infiltración acumulada (cm.h).

## Cobertura foliar

El porcentaje de cobertura foliar de la calabaza se calculó de forma directa (Rangel *et al.*, 1997), con la ayuda de un cuadrado ( $1 \text{ m}^2$ ) dividido en cuadrantes

pequeños ( $10 \times 10 \text{ cm}$ ); este se lanzó al azar cuantificando en cada caso el número de cuadrantes ocupados por la cobertura de la cucurbitácea.

## Variables agronómicas en maíz y calabaza

En maíz se cuantificó el rendimiento del grano y en calabaza se midió el rendimiento de los frutos, para lo cual se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey ( $p \geq 0.05$ ), utilizando el paquete estadístico SPSS versión 24.

## Uso equivalente de la tierra

Para conocer el uso equivalente de la tierra (UET) o la eficiencia del uso del suelo (Willey, 1979), se utilizó la Ecuación 4.

$$UET = La + Lb = \frac{Ma}{Sa} + \frac{Mb}{Sb} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde: La y Lb = rendimientos relativos para los cultivos individuales. Ma y Mb = rendimientos de los cultivos en policultivos. Y Sa y Sb = rendimientos de los cultivos solos.

## Resultados y discusión

### Humedad del suelo

Se presentó un comportamiento irregular de los contenidos de humedad (Tabla 2), sin que se presentara un efecto en los sistemas de labranza y en los patrones de cultivo. Se destacó el mayor contenido medio de agua en cero labranza en cultivo de calabaza. Por otro lado, la cobertura que originó la calabaza en su crecimiento horizontal, además de los residuos vegetales, favorecieron la retención de humedad. Aguilar-Jiménez *et al.* (2020) señalan beneficios de la calabaza cuando se asocia al maíz, debido a que su cobertura foliar favorece la regulación de la temperatura y, como consecuencia, se reduce la evaporación, lo cual mejora la retención de la humedad en el suelo. Esto favorece a los agroecosistemas dependientes del temporal de lluvias cuando las condiciones meteorológicas son atípicas, como ocurrió en esta investigación.

### Escurrimiento superficial

En labranza mínima escurrió un total de 3053.85 mm; y la cero labranza acumuló 2681.42 mm, esto señala un efecto positivo de la no remoción del suelo en la reducción del escurrimiento, lo cual disminuyó la erosión hídrica laminar (Tabla 3). Crespo *et al.* (2010) destacan el efecto protector de la cobertura vegetal en detener el impacto de la lluvia, ya que limita el escurrimiento y la pérdida de suelo. En la

**Tabla 2.** Contenido de humedad del suelo (%) en los tratamientos experimentales

| DDS         | LMMC         | LMM          | LMC          | CLMC         | CLM          | CLC          |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0           | 12.96        | 15.18        | 15.15        | 16.58        | 11.47        | 17.87        |
| 5           | 15.49        | 15.76        | 11.02        | 12.56        | 13.97        | 18.27        |
| 10          | 19.10        | 24.95        | 21.12        | 22.90        | 16.52        | 17.27        |
| 15          | 11.34        | 11.36        | 12.28        | 12.21        | 11.67        | 17.63        |
| 20          | 12.83        | 16.26        | 12.80        | 16.76        | 12.97        | 12.33        |
| 25          | 14.49        | 13.73        | 12.04        | 10.39        | 12.40        | 18.08        |
| 30          | 12.45        | 14.94        | 11.02        | 13.39        | 11.35        | 17.91        |
| 35          | 14.12        | 14.22        | 10.97        | 11.63        | 13.02        | 16.06        |
| 40          | 10.75        | 12.30        | 11.86        | 9.53         | 9.10         | 15.42        |
| 45          | 20.88        | 17.64        | 13.40        | 13.77        | 17.66        | 24.68        |
| 50          | 12.58        | 12.46        | 11.17        | 15.77        | 11.77        | 18.12        |
| 55          | 14.38        | 12.06        | 12.33        | 11.00        | 13.96        | 17.65        |
| 60          | 10.80        | 11.29        | 10.82        | 13.75        | 11.12        | 15.53        |
| 65          | 22.40        | 22.43        | 19.11        | 19.96        | 20.07        | 25.12        |
| 70          | 19.66        | 15.70        | 10.69        | 10.71        | 13.48        | 16.86        |
| 75          | 15.40        | 16.38        | 19.12        | 14.72        | 11.75        | 15.79        |
| 80          | 18.27        | 15.14        | 19.07        | 20.77        | 14.28        | 15.88        |
| 85          | 15.49        | 17.41        | 17.91        | 15.80        | 16.51        | 19.43        |
| 90          | 18.35        | 24.19        | 19.48        | 18.65        | 19.82        | 17.80        |
| 95          | 18.30        | 14.31        | 16.63        | 16.21        | 15.69        | 15.36        |
| 100         | 10.06        | 15.55        | 15.23        | 12.71        | 11.59        | 16.46        |
| 105         | 17.31        | 17.24        | 18.00        | 18.71        | 15.13        | 17.29        |
| 110         | 17.63        | 16.88        | 21.80        | 23.10        | 18.91        | 17.04        |
| 115         | 14.45        | 22.75        | 19.39        | 13.91        | 19.18        | 17.65        |
| 120         | 14.86        | 11.21        | 22.93        | 17.86        | 18.10        | 16.02        |
| 125         | 14.27        | 11.64        | 7.10         | 10.47        | 9.04         | 17.41        |
| 130         | 11.30        | 13.81        | 13.60        | 17.14        | 10.76        | 9.94         |
| <b>X̄ =</b> | <b>15.18</b> | <b>15.81</b> | <b>15.04</b> | <b>15.22</b> | <b>14.16</b> | <b>17.22</b> |

\*LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

asociación maíz-calabaza el total escurrido fue de 1234.66 mm, para maíz 2308.91 mm y para calabaza 2191.17 mm; esto representa una reducción del escurrimiento superficial con la asociación en comparación a monocultivos; Huerta-Olague *et al.* (2018) reconocen el papel de la cobertura vegetal y las raíces de los cultivos para proveer protección a los terrenos agrícolas, al reducir el impacto de la precipitación y disminuir la fricción del escurrimiento superficial. En el sistema CLMC se produjo reducción del escurrimiento superficial, lo que evidenció que la siembra directa y la asociación disminuyen el volumen de escorrentía.

## Erosión hídrica

El mayor volumen erosionado se registró en labranza mínima, ya que acumuló 21.01 y 1.87 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de suelo y de grava respectivamente. En cero labranza se perdieron 11.43 y 2.63 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Tabla 4). Esto quiere decir que se redujo la erosión en casi 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en siembra directa, por la no perturbación del

suelo y de los residuos vegetales, que permiten mayor infiltración y reducen la erodabilidad. Turrent *et al.* (2017) argumentan que la erosión hídrica ha sido un factor central de degradación de los suelos agrícolas en tierras de ladera en México, por ello la labranza de conservación constituye una estrategia agronómica pertinente. En la asociación de maíz-calabaza se perdieron 7.71 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de suelo y grava; en maíz 16.65 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y en calabaza 13.58 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Con la asociación de cultivos, los volúmenes erosionados disminuyeron en casi 100 %, lo que indica que la cobertura contribuye a reducir la erosión hídrica por salpicamiento. Castelán *et al.* (2017) reportaron menores volúmenes de sedimento en la asociación maíz-calabaza con respecto al monocultivo. Con el tratamiento CLC se acumuló la menor pérdida de suelo, lo cual evidenció que ambas prácticas contribuyen a reducir la erosión hídrica en la región Frailesca de Chiapas, donde se cultivan de forma anual aproximadamente 60 000 ha de maíz (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023).

## Lámina erosionada y pérdida de macronutrientes

La mayor lámina se perdió en labranza mínima, debido a que la remoción incrementa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. El sistema cero labranza redujo la lámina erosionada, y fue el tratamiento CLMC el que menor capa de suelo perdió (Tabla 5), lo cual evidenció una reducción de erosión laminar por efecto de siembra directa. Las mayores pérdidas de materia orgánica sucedieron en labranza mínima en monocultivos, que se redujo en CLMC; además, la siembra directa con cultivo de cobertura redujo el detrimento. Las pérdidas de Nt (nitrógeno total), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido de fósforo) y K<sub>2</sub>O (óxido de potasio) fueron mayores en los sistemas de labranza mínima en monocultivos, y menores con CLMC. Castelán *et al.* (2017) señalan que la asociación maíz-calabaza es eficiente para disminuir el arrastre de las partículas de suelo, pero no así para evitar la disolución de nutrientes como nitrógeno y fósforo en el agua de escorrentía. La pérdida anual y gradual de la fertilidad del suelo significa una fuerte inversión con respecto al precio comercial actual de las diversas fuentes de fertilizantes inorgánicos de N-NO<sub>3</sub>, P y K.

## Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Para cero labranza la velocidad de infiltración e infiltración acumulada de agua aumentó después de la cosecha (Figura 2), lo que fue promovido por los residuos orgánicos en siembra directa. Al evaluar el impacto acumulado de la agricultura de conservación Martínez-Gamiño *et al.* (2019) concluyeron que la infiltración inicial más siembra directa afecta favorablemente la porosidad y densidad aparente en



**Tabla 3.** Escurrimiento superficial (mm)

| Muestreo (DDS)       | LMMC          | LMM           | LMC            | CLMC          | CLM            | CLC           |
|----------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 0                    | 20.41         | 19.50         | 27.09          | 2.55          | 35.72          | 28.06         |
| 1                    | 68.89         | 100.98        | 179.79         | 140.34        | 188.63         | 160.76        |
| 2                    | 20.41         | 0.00          | 6.15           | 0.00          | 8.93           | 3.82          |
| 7                    | 33.17         | 21.20         | 24.63          | 0.00          | 22.96          | 12.75         |
| 10                   | 45.93         | 18.47         | 19.70          | 0.00          | 26.79          | 12.75         |
| 20                   | 33.17         | 12.31         | 36.94          | 0.00          | 28.06          | 15.31         |
| 36                   | 15.31         | 12.31         | 41.87          | 6.37          | 74.00          | 15.31         |
| 45                   | 7.65          | 4.92          | 20.93          | 0.00          | 21.68          | 20.41         |
| 48                   | 178.62        | 177.33        | 174.87         | 58.69         | 178.62         | 181.17        |
| 49                   | 0.00          | 6.15          | 17.24          | 0.00          | 0.00           | 10.20         |
| 66                   | 0.00          | 4.92          | 2.46           | 0.00          | 5.10           | 17.86         |
| 67                   | 0.00          | 14.77         | 7.38           | 0.00          | 22.96          | 12.75         |
| 70                   | 0.00          | 4.92          | 3.69           | 0.00          | 8.93           | 10.20         |
| 71                   | 0.00          | 4.92          | 4.92           | 0.00          | 8.93           | 7.65          |
| 83                   | 0.00          | 7.38          | 3.69           | 0.00          | 19.13          | 12.75         |
| 88                   | 22.96         | 17.24         | 64.03          | 56.13         | 30.62          | 30.62         |
| 89                   | 30.62         | 56.64         | 105.9          | 10.2          | 122.48         | 94.41         |
| 123                  | 7.65          | 4.92          | 27.09          | 22.96         | 10.20          | 7.65          |
| 139                  | 17.86         | 22.16         | 19.04          | 0.00          | 35.72          | 25.51         |
| 143                  | 35.72         | 147.78        | 86.20          | 12.75         | 114.82         | 71.44         |
| 144                  | 75.00         | 174.87        | 179.79         | 12.75         | 127.58         | 76.55         |
| $\Sigma(\text{mm}):$ | <b>613.37</b> | <b>866.11</b> | <b>1053.40</b> | <b>322.74</b> | <b>1091.86</b> | <b>827.93</b> |

\*LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

**Tabla 4.** Erosión hídrica total de suelo y grava

| Tratamiento | Suelo                                | Grava | Total |
|-------------|--------------------------------------|-------|-------|
|             | t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> |       |       |
| LMMC        | 5.50                                 | 1.01  | 6.51  |
| LMM         | 7.83                                 | 0.52  | 8.30  |
| LMC         | 7.68                                 | 0.34  | 8.05  |
| CLMC        | 1.08                                 | 0.12  | 1.20  |
| CLM         | 5.37                                 | 1.97  | 7.35  |
| CLC         | 4.98                                 | 0.54  | 5.53  |

\*LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

**Tabla 5.** Lámina erosionada, pérdida de materia orgánica y macronutrientes

| Tratamiento | Lámina Erosionada<br>(mm ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | M.O                                   | Nt    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>1</sup> | K <sub>2</sub> O <sup>2</sup> |
|-------------|---|---------------------------------------|-------|--|-------------------------------|
|             |   | Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> |       |  |                               |
| LMMC        | 0.4546  | 346.59                                | 15.56 | 0.50                                       | 0.53                          |
| LMM         | 0.5928  | 527.20                                | 36.30 | 1.23                                       | 1.80                          |
| LMC         | 0.6097  | 484.10                                | 28.43 | 0.72                                       | 2.27                          |
| CLMC        | 0.0833  | 197.14                                | 10.83 | 0.11                                       | 0.48                          |
| CLM         | 0.4302  | 430.25                                | 24.04 | 1.18                                       | 1.50                          |
| CLC         | 0.3988  | 224.33                                | 12.31 | 0.62                                       | 1.06                          |

<sup>\*1</sup>= P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\*0.437 = P; <sup>2</sup>= K<sub>2</sub>O\* 0.83 =K. LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

comparación con labranza convencional. En labranza mínima la velocidad de infiltración e infiltración acumulada fueron mayores después de la cosecha (Figura 3); los sistemas de labranza de conservación favorecen la solución del suelo, así mismo, pueden contribuir a solucionar el problema generalizado de la compactación superficial y del subsuelo en la región de estudio, López Báez et al. (2018) reportan el

efecto del “enclavamiento” que reduce la emergencia de las plántulas y disminuye la infiltración del agua en el suelo, lo cual origina encharcamientos, escurrimientos y erosión, reduciendo la capacidad de conservación de humedad y provocando que el rendimiento del maíz se reduzca hasta 58 % en periodos críticos de sequía.

**Tabla 6.** Rendimientos y uso equivalente de la tierra en los sistemas asociados

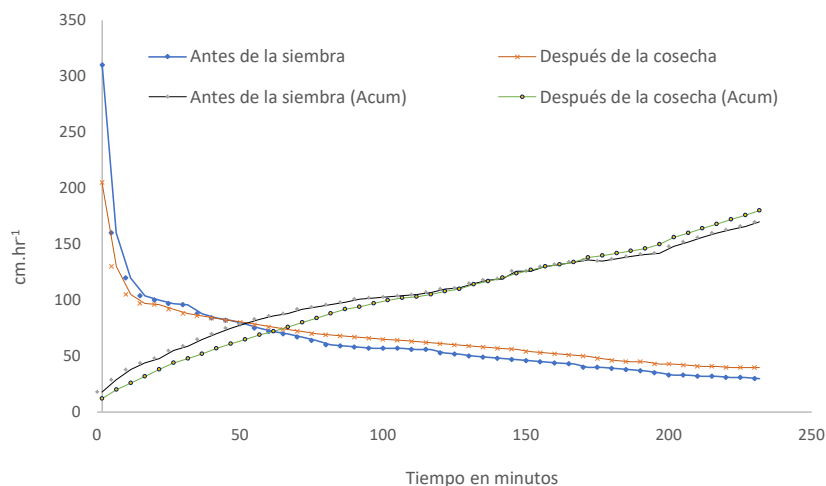
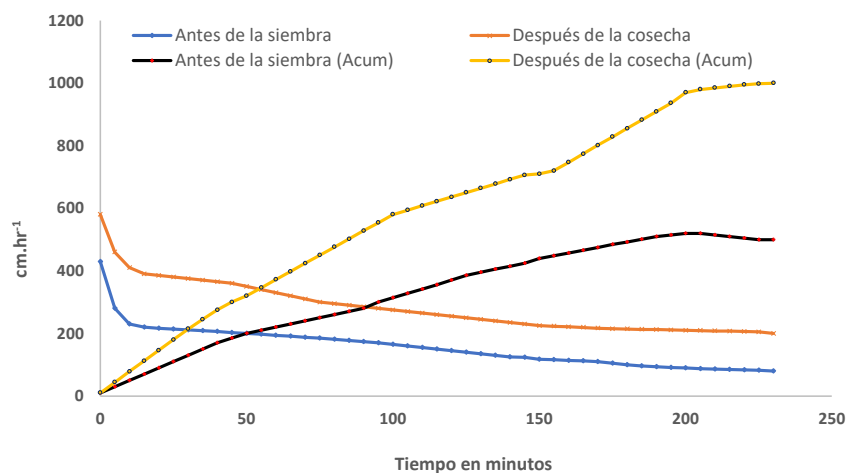
| Tratamiento | Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) |          | Rendimientos relativos (%) |          | UET |
|-------------|-----------------------------------|----------|----------------------------|----------|-----|
|             | Maíz                              | Calabaza | Maíz                       | Calabaza |     |
| LMMC        | 2.09 b                            | 13.60    | 84                         | 212      | 296 |
| LMM         | 2.48 a                            | -        | 100                        | -        | 100 |
| LMC         | -                                 | 6.40     | -                          | 100      | 100 |
| CLMC        | 1.98 b                            | 4.13     | 79                         | 16       | 95  |
| CLM         | 2.51 a                            | -        | 100                        | -        | 100 |
| CLC         | -                                 | 25.20    | -                          | 100      | 100 |
| P-Valor     | 0.050*                            | ns       |                            |          |     |

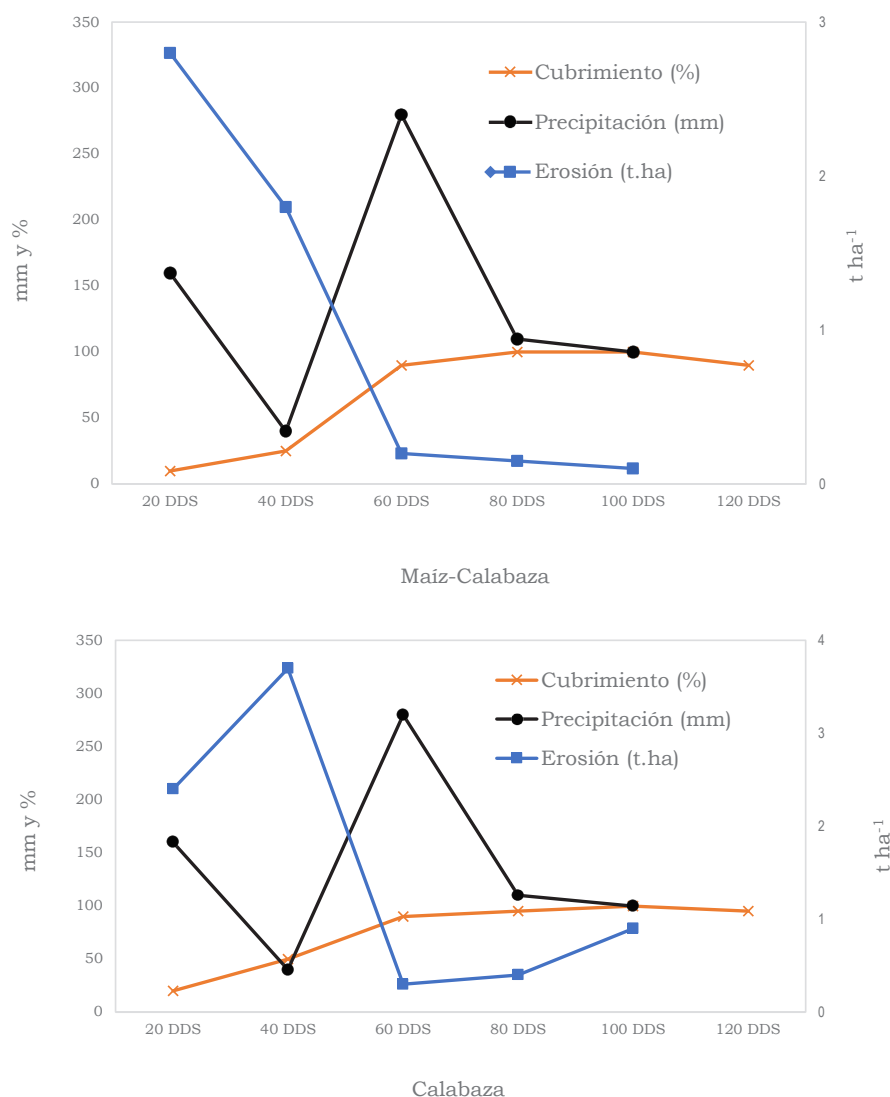
\*Letras diferentes en la misma columna señalan diferencias estadísticas entre tratamientos. \* Diferencia significativa (Tukey  $\leq 0.05$ ), ns: no significativo. LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

## Cobertura foliar y pérdida de suelo

La LMMC a 20 DDS con cobertura foliar de 10 % y precipitación de 160 mm provocó mayor pérdida de suelo. A los 60 DDS, con una cobertura foliar de 90 %, y mayor precipitación, la pérdida de suelo fue menor (0.2 t ha<sup>-1</sup>) (Figura 4) y se redujo la erosión conforme se incrementó la cobertura de la calabaza; esto es un efecto positivo de la imbricación que representa el agroecosistema denominado *milpa* (Mariaca, 2023).

La cobertura vegetal originada por las asociaciones de cultivo y el laboreo mínimo contribuyen a reducir los niveles de pérdida de suelo en terrenos montañosos (Blanco *et al.*, 2023). La CLMC a 40 DDS con cobertura foliar de 40 % y precipitación de 40 mm, provocó menor pérdida de suelo (0.05 t ha<sup>-1</sup>). A los 60 DDS, con 70 % de cobertura y precipitación de 280 mm, se tuvo una pérdida de suelo (0.15 t ha<sup>-1</sup>). A los 80 DDS el maíz se encontraba en R1, con cobertura

**Figura 2.** Velocidad de infiltración e infiltración acumulada en cero labranza, Villaflores, Estado de Chiapas (México).**Figura 3.** Velocidad de infiltración e infiltración acumulada en labranza mínima Villaflores, Estado de Chiapas (México).



**Figura 4.** Cobertura foliar y pérdida de suelo en labranza mínima, Villaflores, Estado de Chiapas (México).

foliar de 90 % y precipitación de 110 mm, se tuvo una pérdida de suelo de  $0.8 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 5). El incremento de la cobertura en 20 % redujo la pérdida de suelo en 50 %. En CLC el cubrimiento foliar fue más rápido: a los 40 DDS hubo 85 % y a los 70 DDS alcanzó el 100 %, lo que muestra la menor pérdida de suelo. De tal manera, el efecto combinado de la cobertura foliar con la siembra directa es viable en los procesos de manejo ecológico del suelo (Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota, 2001).

### Rendimientos y uso equivalente de la tierra (UET)

Los tratamientos de monocultivo de maíz fueron superiores estadísticamente en ambos sistemas de labranza. En calabaza no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Tabla 6). El

UET en LMMC produjo 196 % más por unidad de superficie en comparación con los monocultivos. Una mayor eficiencia del uso del suelo al realizar la asociación favorece también la conservación del suelo, debido a la cobertura que reduce la erosión hídrica. La asociación maíz-calabaza es un sistema que contribuye con la conservación del suelo, aun cuando los rendimientos relativos sean inferiores a los monocultivos. La mayor producción combinada de los policultivos básicos Mesoamericanos se atribuye a efectos de selección en los que prospera la especie dominante y a la complementariedad de nicho de las asociaciones (Ebel *et al.*, 2017). Igualmente, las arquitecturas del maíz y la calabaza benefician las condiciones ecológicas del sistema de cultivos (Postma y Lynch, 2012).



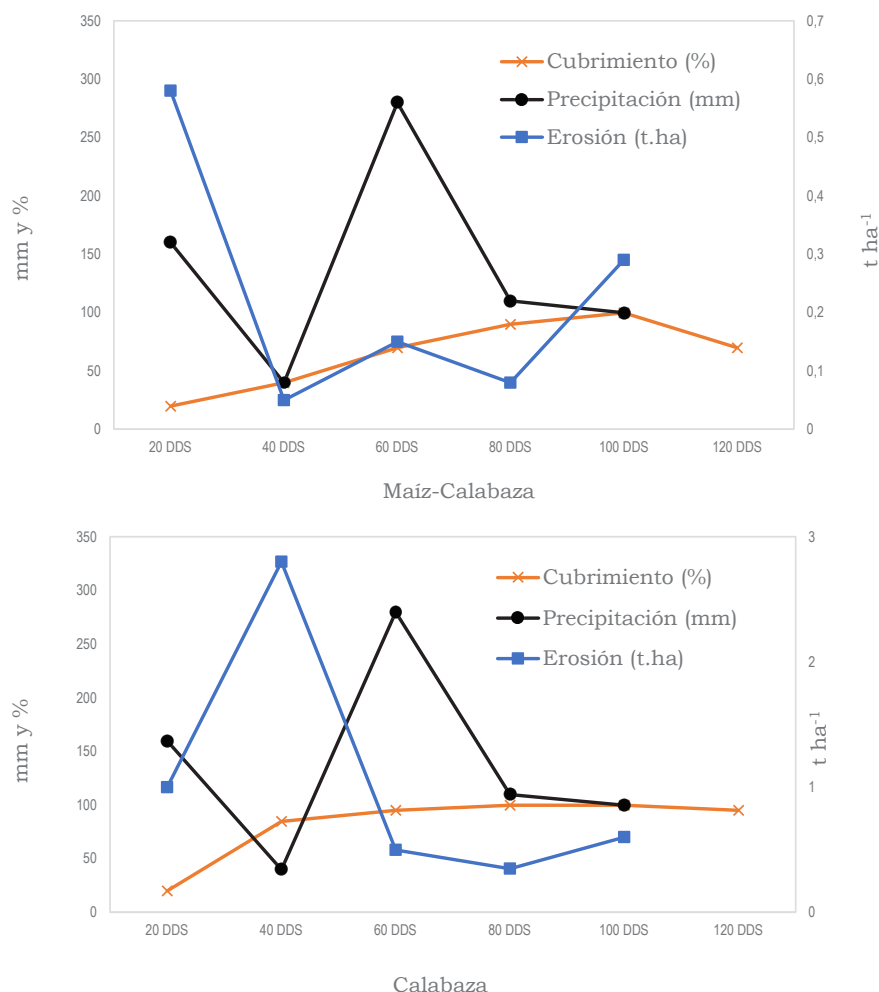


Figura 5. Cobertura foliar y pérdida de suelo en cero labranza, Villaflores, Estado de Chiapas (México).

## Conclusiones

Se cuantificó menor escurrimiento superficial en cero labranza con respecto a labranza mínima. La menor pérdida de suelo y grava por erosión hídrica se cuantificó en la asociación cero labranza maíz-calabaza. En el sistema cero labranza maíz-calabaza las pérdidas de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio fueron menores. Las mayores láminas de suelo erosionadas ocurrieron en labranza mínima de maíz y calabaza.

## Referencias

- Aguilar Jiménez, C. E.; Galdámez Galdámez, J.; Martínez Aguilar, F. B.; Guevara Hernández, F. y Vázquez Solís, H. (2020). Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 64-72. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/318>
- Anglés, M.; Bocco, G.; Cotler, H.; Cram, S.; Lee, W. H.; Ortiz, S.; Prado, B.; Reyes, L. B.; Saniger, J. M. y Siebe, Ch. (2021). Por una gestión sostenible del suelo que promueva su reconocimiento, recuperación, preservación y gobernanza. Vol. 2. Pronunciamento: gestión sostenible del suelo. <https://pueis.unam.mx/wp-content/uploads/2022/03/Pronunciamento-PUEIS.pdf>
- Blanco Sepúlveda, R.; Lima, F. J.; Gómez Moreno, M. L.; Enríquez Narváez, F. y Aguilar Carrillo, A. (2023). Buenas prácticas agrícolas para el control de la erosión hídrica del suelo en los cultivos anuales de las montañas de Guatemala y Nicaragua. *Ikara - Revista de Geografías Iberoamericanas*, 3. <https://doi.org/10.18239/Ikara.3319>
- Borbón-Gracia, A.; Lugo-García, G. A.; Reyes-Olivas, Á.; Valenzuela-Herrera, V. y Saucedo-Acosta, C. P. (2020). Rotación de trigo, maíz y cártamo en labranza de conservación vs. labranza tradicional. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 371-378. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/43-4/2a.pdf>
- Capurro, J. y Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del CURIHAM*, 26, 41-47. <https://doi.org/10.35305/curiham.v26i0.147>
- Castelán Vega, R.; López Teloxa, L. C.; Tamariz Flores, J. V.; Linares Fleites, G. y Cruz Montalvo, A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *Terra Latinoamericana*, 35(3), 229-235. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i3.134>

- Castillo Gómez, M. J.; Morejón García, M.; Suárez Venero, G. M. y Acuña Velázquez, I. R. (2022). Diversificación de cultivos en un sistema agroforestal cacaotero en el macizo del jamal, municipio Baracoa. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(3), 364-379. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/754>
- Cotler, H.; Corona, J. A. y Galeana-Pizaña, J. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59976>
- Coutiño Estrada, B.; Cruz Vázquez, C.; Gómez Montiel, N. O.; Hernández Casillas, J. M.; Cruz Chávez, F. J.; Vidal Martínez, V. A. y Aguilar Jiménez, C. E. (2021). *Diversidad fenotípica de razas de maíz cultivadas en Chiapas, México*. Libro Técnico Núm. 14. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP.
- Crespo, R. J.; Ares, G.; Sfeir, A.; Wingeyer, A. B. y Usunoff, E. (2010). Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 93-106. <https://bdigital.uncu.edu.ar/app/navegador/?idobjeto=3508>
- Ebel, R.; Pozas Cárdenas, J. G.; Soria Miranda F. y Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35, 149-160. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es)
- Fonseca-Flores, A. M.; Hernández, F. G.; García, A. G.; Rosano, C. M. y Vázquez, M. R. P. (2023). Diversidad de maíces locales en ejidos de la Frailesca chiapaneca de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1). <http://doi.org/10.56369/tsaes.4397>
- Gómez-Calderón, N. y Estrada-León, R. J. (2020). Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: un caso en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 123-139. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.7>
- Huerta-Olague, J. D. J.; Oropeza Mota, J. L.; Guevara Gutiérrez, R. D.; Ríos Berber, J. D.; Martínez Menes, M. R.; Barreto García, O. A.; Olguín López, J. L. y Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- León, A.; Pino, M. A.; González, C. y Del Pozo, E. (2000). Evaluación comparativa de densidades de fitófagos y enemigos naturales en policultivo tomate-maíz. *Cultivos Tropicales*, 21(1), 53-60. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/726>
- Leyva, R. S. L.; Espinosa, B. Z.; Ruz, R. R. y Gutiérrez, G. O. (2020). Propiedades de los suelos en diferentes sistemas de labranza. *Ojeando la Agenda*, 65, 1. <https://ojeandolaagenda.com/2020/05/31/propiedades-de-los-suelos-en-diferentes-sistemas-de-labranza/>
- López Báez, W.; Reynoso Santos, R.; López Martínez, J.; Camas Gómez, R. y Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 65-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>
- López, D. E. L.; López, E. J. L.; Acevedo, T. R. y Flores-Pacheco, J. A. (2022). Riesgos de degradación hídrica del suelo posterior al fuego en el trópico húmedo. *Wani*, 76, 54-69. <https://doi.org/10.5377/wani.v38i76.14402>
- Mariaca, M. R. (2023). El milenar sistema de la milpa maya bajo roza-tumba-quema de Yucatán, México en los últimos años. En N. E. M. Costa y F. L. Silveira (orgs), *Prácticas investigativas em etnobotânica: distintos olhares, afins encontros* (pp. 261-308). Editora Zarte.
- Martínez-Gamiño, M. Á.; Osuna Ceja, E. S. y Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 765-778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- Matías Ramos, M.; Gómez Díaz, J. D.; Monterroso Rivas, A. I.; Uribe Gómez, M.; Villar Hernández, B. D. J.; Ruiz García, P. y Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 51-71. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.673>
- Postma, J. A. y Lynch, J. P. (2012). Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Annals of Botany*, 110, 521-534. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs082>
- Rangel, O., Lowy, P. D. y Aguilar, M. (1997). *Colombia diversidad biótica II*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81934>
- Ramírez-Cruz, M. E. y Oropeza-Mota, J. L. (2001). Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. *Agrociencia*, 35(5), 489-495. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30235502.pdf>
- Rivière, C.; Béthinger, A. y Bergez, J. E. (2022). The effects of cover crops on multiple environmental sustainability indicators. A review. *Agronomy*, 12(9), 2011. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092011>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. SAGARPA. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Somoza, A. y Vázquez, P. (2023). Erosión hídrica e intensificación agrícola considerando unidades ambientales. El caso de Tandil, región Pampeana Argentina. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 62(1), 273-299. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.24561>
- Tamayo Ortiz, C. V. y Alegre Orihuela, J. C. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1), e3287. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3287>
- Turrent Fernández, A.; Cortés Flores, J. I.; Espinosa Calderón, A.; Hernández Romero, E.; Camas Gómez, R.; Torres Zambrano, J. P. y Zambada Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>
- Wiley, R. (1979). Intercropping-its importance and research needs part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts*, 32(1), 1-10.