

## Fertilidad del suelo en sistemas de producción agrícola en La Frailesca, Chiapas, México

### Soil fertility of agricultural production systems in La Frailesca, Chiapas, México

#### Como citar el artículo

Pérez González, O. S., Reynoso Santos, R., Gayosso Barragán, O., & Chávez Aguilar, G. Fertilidad del suelo en sistemas de producción agrícola en La Frailesca, Chiapas, México. Revista Naturaleza, Sociedad Y Ambiente, 9(1). <https://doi.org/10.37533/cunsurori.v9i1.71>

Olai S. Pérez González, Roberto Reynoso Santos, Odilon Gayosso Barragán, Griselda Chávez Aguilar

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Agricultura Familiar/INIFAP

Recibido: 22 de Noviembre de 2021 / Aceptado: 16 de mayo de 2022

Disponible en internet el 12 de Septiembre de 2022

\*Autor para correspondencia, correo electrónico: [grischaguilar@gmail.com](mailto:grischaguilar@gmail.com)

#### Resumen

La productividad de los suelos se ve influenciada por sus propiedades físicas y químicas, mismas que se afectan por diversos factores derivados del tipo de uso de suelo, por lo tanto, integrar leguminosas en los sistemas de producción de maíz resulta una alternativa ante dicha problemática. El objetivo de esta investigación fue evaluar la fertilidad del suelo a través de los parámetros físicos y químicos considerados como indicadores de la calidad del suelo; de sistemas de producción (SP) combinados con maíz-*Inga vera* (M-I) y maíz-*Canavalia ensiformis* (M-C), comparados con dos ecosistemas naturales de la región: bosque de pino-encino (BOS) y selva baja caducifolia (SEL).

Se consideró la clase textural y se cuantificaron los siguientes parámetros: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, aluminio y capacidad de intercambio catiónico. De acuerdo con los resultados, no se encontraron diferencias significativas entre los SP y los ecosistemas naturales para ninguna de las propiedades del suelo; por lo que se puede deducir que los SP pueden llegar a mantener las condiciones físicas y químicas del suelo de manera similar a un ecosistema de vegetación natural al haber utilizado especies de leguminosas.

**Palabras clave:** nódulos, micorrizas, suelo, *Canavalia ensiformis*, *Inga vera*.

#### Abstract

Soil physical and chemical properties are greatly influence about their productivity, which are affected by various factors derived from their over exploitation, and consequently, soil quality is compromised, mainly in the availability of nutrients; therefore, integrating legumes in maize production systems is an alternative to these problems. Our objective was to evaluate soil fertility using physical and chemical parameters considered as indicators of soil quality; this in production systems (SP) of maize in combination with *Inga vera* (M-I) and *Canavalia ensiformis* (M-C), compared with two natural ecosystems in the study region: pine-oak forest (BOS) and deciduous forest (SEL).

The parameters that quantified were soil textural class, field capacity, permanent wilting point, pH, soil organic matter, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, aluminum, and cation exchange capacity. According to the results, no significant differences were found between the PS and natural ecosystems for any of the soil properties; therefore, our conclusions were that the SP can support the physical and chemical conditions of the soil as well as in a natural vegetation ecosystem by using leguminous species.

**Keywords:** nodules, mycorrhizae, soil, *Canavalia ensiformis*, *Inga vera*.

## 1. Introducción

El cambio climático repercute de manera considerable en el suelo, y los cambios en el uso de este recurso, puede acelerar o disminuir el cambio climático de manera significativa (Malhi et al., 2008), dado su rol como regulador del flujo de CO<sub>2</sub> (bióxido de carbono) atmosférico, que es uno de los gases de mayor importancia desde el punto de vista del calentamiento global, debido a las altas concentraciones producidas anualmente, y su tiempo de residencia en la atmósfera (Ibrahim et al., 2007).

Cuando el suelo se modifica, los servicios ecosistémicos que proporciona también se alteran, ejemplo de ello es el ciclo de nutrientes (reciclaje, retención y disposición), indispensable para el establecimiento de las especies vegetales (Mendoza et al., 2015); con efectos significativos sobre la fertilidad del suelo. En este sentido se buscan alternativas productivas, ecológicas y económicamente sustentables, que permitan el mantenimiento, y de ser posible, el aumento de la fertilidad, pues paralelamente participan otras problemáticas que deterioran paulatinamente el suelo, como es el caso del uso excesivo de fertilizantes químicos en terrenos agrícolas.

Las alternativas para mejorar el rendimiento de la producción de cultivos básicos consideran el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) y diversos sistemas de producción (SP) que integran especies de herbáceas, principalmente leguminosas, pues distintos autores reconocen que “la integración de árboles o arbustos con otros elementos de la agricultura (cultivos y ganado) puede aumentar la fertilidad del suelo” (Montagnini et al., citado en Casanova, 2016: 270).

De esta forma, los SAF son formas de uso del suelo, donde los árboles o arbustos interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con cultivos y/o animales asociados de forma simultánea o secuencial (Nair, 2004), con la finalidad de diversificar y optimizar la producción para un manejo sustentable (Schroth et al., 2001).

Los SAF se han establecido en distintas partes del mundo desde la Edad Media donde se seleccionaban los árboles más funcionales para las comunidades sociales, los cuales se establecían en combinación con cultivos básicos de interés alimentario (Mendieta y Rocha, 2007). En México, a pesar de la cantidad de investigación que se ha realizado en el área de agroforestería y sus diversas modalidades, el conocimiento sobre el potencial de los SAF para mantener y generar servicios ecosistémicos es variable, ya que es una técnica en constante cambio (Moreno et al., 2013).

Adicionalmente, la integración de nuevas y buenas prácticas para el manejo de SP principalmente de carácter agrícola, es fundamental para disminuir las prácticas que se realizan tradicionalmente, como es el caso de la roza, tumba y quema, que es común de observar en el trópico húmedo mexicano. De acuerdo con Mapa y Gunasena (1995), estas prácticas provocan la pérdida de propiedades físicas y químicas del suelo lo que se resume en su deterioro, provocando un déficit de nutrientes en el suelo.

Estas propiedades físicas y químicas del suelo, que constituyen parámetros importantes de la calidad del suelo (Figueroa-Jáuregui et al., 2018), dependen en gran medida de los factores de formación del suelo, entre ellos la vegetación, que es la que aporta la

mayor cantidad de residuos orgánicos, determinando la cantidad de materia orgánica contenida en el suelo, el tipo y la calidad de los nutrientes, el pH, o incluso la cantidad y estabilidad de los agregados del suelo a través del sistema radical de las plantas (Buol et al., 1989).

Las especies vegetales establecidas en los SAF ofrecen múltiples beneficios, que no sólo favorecen las propiedades físicas y químicas del suelo; por ejemplo, el fruto de *Inga vera* es comestible, ya que las semillas presentan una cubierta dulce, al ser una especie de rápida germinación y crecimiento es utilizada en el establecimiento de SAF en callejones; es una especie forestal tolerante a suelos pobres en nutrientes, inhibe el crecimiento de malezas, y establece simbiosis con bacterias nitrificantes y hongos micorrízicos. Adicionalmente, su capacidad de producir follaje le confiere ventaja sobre otras especies forestales, para ser establecida con cultivos de cacao y café (Valle, 2010).

A diferencia de las especies forestales como *I. vera*, las leguminosas como *Canavalia ensiformis*, son utilizadas principalmente por su valor forrajero para el consumo de ovinos y porcinos, posee una raíz pivotante que penetra el suelo y lo descompacta paulatinamente, ya que se asocia con bacterias del género *Rhizobium*. Además, por su abundante follaje es una fuente importante de materia orgánica al suelo por lo que se considera abono verde. Además, *C. ensiformis* es una especie que puede generar un efecto alelopático reduciendo el crecimiento de maleza (Salinas, 2016).

Actualmente, como consecuencia de la expansión de las tierras para los monocultivos, lo que se busca en la actividad agrícola

es la incorporación de especies forestales nativas en terrenos de cultivos con el fin de lograr una reducción de la degradación del suelo de tal manera que se pueda llegar a una similitud con ecosistemas de vegetación natural que se encuentren alrededor de las parcelas de cultivo, en términos de calidad del suelo. De acuerdo con esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la fertilidad del suelo a través de los parámetros físicos y químicos en sistemas de producción de maíz combinados con *Inga vera* y *Canavalia ensiformis*, comparados con dos ecosistemas naturales de la región: bosque de pino-encino y selva baja caducifolia.

## 2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en los municipios de Villaflores y Ocozocoautla de Espinosa, los cuales pertenecen a la región La Frailesca en el estado de Chiapas, México (Fig. 1). Esta región se localiza entre la sierra sur de Chiapas y la depresión central, se caracteriza por presentar climas de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2009). Los tipos de suelo que se encuentran son leptosol, acrisol, luvisol, regosol, cambisol y fluvisol (INEGI, 2007), la vegetación predominante consiste en bosques de pino, pino-encino y selva baja caducifolia (Villalobos, 2013).

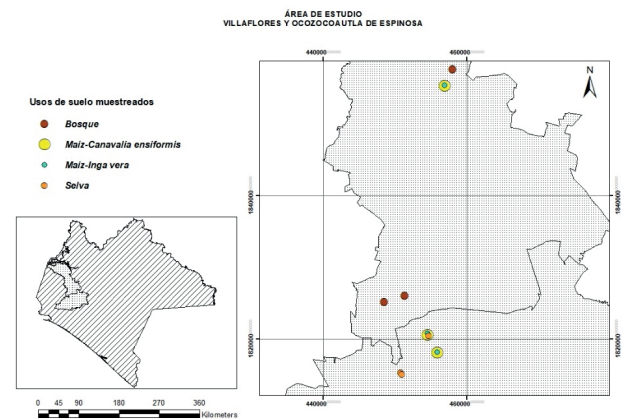


Fig. 1 Sitio de estudio en La Frailesca, Chiapas, México. Elaboración propia.

### 2.1. Diseño experimental

Se seleccionaron dos SP, los cuales se consideraron como tratamientos de condición mixta, y dos ecosistemas de vegetación natural. De los dos SP, el primero correspondió a un SAF, donde la especie leñosa establecida fue *I. vera*.

Este sistema tiene cuatro años de haberse establecido, la clasificación de este SAF es en callejones en el cual las especies leñosas se encuentran en hileras monoespecíficas a una distancia de 1 m entre cada individuo y 4 m entre cada hilera donde se siembra el maíz (M-I). En el segundo SP la especie utilizada fue *C. ensiformis* la cual se siembra anualmente intercalada con el maíz (M-C), en ambos casos, la variedad de maíz (*Zea mays*) utilizada fue D-kalb 390.

Los dos sitios con vegetación establecida de forma natural, fueron: bosque de pino-encino (BOS) y selva baja caducifolia (SEL); el primero constituido por *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae* y *Quercus* sp.; en cuanto a la SEL se caracteriza por presentar pérdida de follaje donde predominan ejemplares del género *Bursera*, y especies como *Ceiba acuminata*, *Sideroxylon tempisque* entre otras, estos sitios se encuentran ubicados a una altitud aproximada de 900 a 1000 m (Mallén et al., 2006).

De cada tratamiento se seleccionaron tres unidades experimentales (UE) distribuidas en dos municipios del estado de Chiapas (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de sistemas de producción en la región La Frailesca, Chiapas, México.

Tratamiento	UE	Localidad	Municipio
M-I	1	Nuevo México	Villaflores
	2	Nuevo México	Villaflores
	3	Ocozocoautla	Ocozocoautla de Espinosa
M-C	1	Nuevo México	Villaflores
	2	Nuevo México	Villaflores
	3	Ocozocoautla	Ocozocoautla de Espinosa
BOS	1	Campamento orión	Villaflores
	2	Los rocaliyos	Villaflores
	3	Ocozocoautla	Ocozocoautla de Espinosa
SEL	1	Cristóbal Obregón	Villaflores
	2	Cristóbal Obregón	Villaflores
	3	Nuevo México	Villaflores

## 2.2. Muestreo de suelo

De cada UE se extrajeron cuatro muestras de suelo distribuidos aleatoriamente con un nucleador metálico de 5 cm de diámetro a una profundidad de 0-15 cm, debido a que es donde se encuentra el mayor contenido de materia orgánica y actividad biológica (Payán et al., 2009). Con las cuatro muestras de suelo se conformó una muestra compuesta por cada UE, las cuales se trasladaron al laboratorio (Fertilab®) en bolsas herméticas de polipropileno para ser almacenadas en un refrigerador a 4 °C hasta la evaluación de las variables físicas y químicas del suelo.

## 2.3. Evaluación de variables químicas y físicas del suelo

En México, el análisis de suelo se debe realizar bajo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana 021, donde se establecen las metodologías autorizadas para cada variable física y química por tipo de suelo. La humedad del suelo se determinó a través de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitamiento permanente (PMP).

La clase textural fue determinada a través del método de Bouyoucos. La materia orgánica del suelo (MOS) se determinó a través del método de Walkley y Black (1934), basado en la oxidación del carbono orgánico que se encuentra en el suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y la reacción al mezclarlo con ácido sulfúrico.

El contenido de fósforo (P) se obtuvo por el método de Bray 1, que consiste de una combinación de ácido clorhídrico (HCl) y Fluoruro de amonio (NH<sub>4</sub>F), la cual remueve compuestos de P ácido solubles como los fosfatos de calcio y una porción de fosfatos de aluminio y hierro (SEMARNAT, 2002).

Los micronutrientes como hierro (Fe) y manganeso (Mn), se determinaron por el método DTPA (ácido del dietileno-triamino-pentaacético), que permite recuperar elementos metálicos intercambiables asociados a la materia orgánica, ya que este ácido tiene la capacidad de formar compuestos estables. La determinación de las bases intercambiables como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), se realizó a través del método de Acetato de Amonio 1N, pH 7 como solución saturante, que permite saturar la superficie de intercambio con un ion amonio. Finalmente, la acidez intercambiable se midió a través de dos parámetros: pH y aluminio (Al).

## 2.4. Análisis estadístico

Para realizar una comparación entre los valores de la CC, PMP, MOS, P, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na, Al, pH y CIC entre UE, los resultados de éstas en los suelos estudiados se procesaron a través del Software Infostat (versión 2020), utilizando como estadístico un análisis de varianza (ANOVA) de un factor y una prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

## 3. Resultados y discusión

Debido a que sólo se contó con una muestra compuesta de suelo de cada UE, se procedió a realizar la descripción y variación de los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo entre las UE; con la finalidad de conocer la cantidad de nutrientes contenidos en los SP de M-I y M-C en relación con los sistemas de vegetación natural BOS y SEL.

La UE 2 de BOS presentó alto porcentaje de CC, PMP y MOS (Tabla 3), mientras que los valores más bajos para las mismas variables

se presentaron en M-C 3 (Tabla 2), BOS 3 con 8.4 % de PMP y M-C 2 con 1.1 % de MOS; en general, el bajo contenido de MOS se debe a que el origen de los suelos es de tipo volcánico por encontrarse cercanos a la Sierra Madre de Chiapas (DOF, 2016).

Con respecto a los macronutrientes, la UE M-C 3 presentó alto contenido de P con 136.0 ppm, contrastando con 3.9 ppm correspondiente a BOS 3 (Tabla 3); de acuerdo con la Tabla 4 los BOS y SEL presentaron mayor contenido de P que el resto de los SP agrícola. De acuerdo con la NOM-021-REC-NAT-2000, estos resultados se clasifican como altos para el caso de BOS y SEL y, medio para M-I y M-C; por lo que para evitar las pérdidas de este y otros macronutrientes es importante establecer obras de conservación de suelo en los SP agrícola (Martínez et al., 2020).

Para el caso del K, el valor más alto registrado fue para M-C 2 mientras que el más bajo para M-C 1 (Tabla 2). Por su parte, el valor más alto para el Ca se presentó en el BOS 3 con 2330.0 ppm, mientras que en SEL 2 se registró el valor más bajo (Tabla 3); mientras que para Mg y Fe, el BOS 2 fue donde se mostraron las más altas cantidades para ambos elementos (Tabla 3), en M-I 3 se obtuvo el valor más bajo para el Mg (Tabla 2) y la SEL 2 el más bajo para Fe (Tabla 3) en el caso del Mn y Al, los valores más altos se obtuvieron en M-C 2 (Tabla 2) mientras que los valores más bajos obtenidos para estos elementos se registraron en SEL 2 (Tabla 3) para Mn; mientras en BOS 3 (Tabla 3) fue para Al. Estas diferencias se debieron al distanciamiento que se presentó entre las UE (Fig. 1), pese a encontrarse dentro de la misma región y compartir las mismas características geológicas y ambientales.

Finalmente, la CIC fue más alta fue de 14.4 cmol/kg en BOS 3 y más baja en SEL 2 con un valor de 4.1 cmol/kg, aunque en general, los sistemas de vegetación natural presentaron una CIC más alta que los SP agrícola, lo cual se encuentra estrechamente relacionado con que el suelo de estos sistemas contiene menor cantidad de arenas y mayor porcentaje de MOS. De manera general las UE de M-I y M-C se encuentran en un punto intermedio en comparación con las condiciones de fertilidad del BOS y la SEL.

Tabla 2. Variables físicas y químicas evaluadas en las UE de los SP agrícola en la región La Frailesca, Chiapas, México.

VARIABLE	UE					
	M-I 1	M-I 2	M-I 3	M-C 1	M-C 2	M-C 3
Clase textural	Fr.a.A <sup>1</sup>	Fr.a.A	Fr.a.A	Fr.a.A	Fr.a.A	Fr.a.A
CC (%)	17.5	18.0	16.9	22.3	15.8	14.7
PMP (%)	10.4	10.7	10.1	13.3	9.4	8.7
pH	5.7	5.2	5.8	5.7	4.7	5.8
MOS (%)	2.2	1.2	1.9	2.0	1.1	1.5
P (ppm)	31.9	76.5	134.0	4.8	48.5	136.0
K (ppm)	157.0	219.0	162.0	61.2	265.0	120.0
Ca (ppm)	815.0	850.0	699.0	862.0	752.0	830.0
Mg(ppm)	112.0	155.0	56.8	235.0	147.0	76.7
Fe (ppm)	76.0	67.4	63.1	49.5	75.0	73.4
Mn(ppm)	45.5	48.4	10.2	33.7	62.1	13.3
Al (ppm)	41.1	124.0	2.4	56.6	142.0	.
CIC (cmol/kg)	6.0	8.0	4.4	7.3	7.7	5.1

<sup>1</sup>Franco arcillo arenoso, <sup>2</sup>Franco arcilloso, <sup>3</sup>Franco, <sup>4</sup>Franco arenoso

Tabla 3. Variables físicas y químicas evaluadas en las UE de los sistemas de vegetación natural en la región La Frailesca, Chiapas, México.

VARIABLE	UE					
	BOS 1	BOS 2	BOS 3	SEL 1	SEL 2	SEL 3
Clase textural	Fr.a <sup>2</sup>	Fr <sup>3</sup>	Fr.A <sup>4</sup>	Fr.a.A <sup>1</sup>	Fr.a.A	Fr
CC (%)	25.1	31.6	14.2	15.8	18.5	24.5
PMP (%)	14.9	18.8	8.4	9.4	11.0	14.6
pH	5.8	5.4	6.4	6.0	6.0	5.8
MOS (%)	2.6	8.5	3.5	3.0	2.6	7.5
P (ppm)	18.7	8.5	3.9	17.5	8.1	6.6
K (ppm)	76.8	134.0	105.0	125.0	100.0	141.0
Ca (ppm)	1083.0	1376.0	2330.0	1094.0	616.0	2402.0
Mg(ppm)	221.0	422.0	298.0	121.0	74.8	373.0
Fe (ppm)	27.3	108.0	34.0	25.2	15.1	68.9
Mn(ppm)	17.9	23.3	17.1	19.6	8.6	18.8
Al (ppm)	6.0	8.0	0.8	1.4	11.0	1.4
CIC (cmol/kg)	7.5	10.9	14.4	6.8	4.1	15.5

<sup>1</sup>Franco arcillo arenoso, <sup>2</sup>Franco arcilloso, <sup>3</sup>Franco, <sup>4</sup>Franco arenoso

Al combinar diferentes especies en un SP se pueden mantener e incluso aumentar, las reservas de carbono en la vegetación y en los suelos, ya que además se promueve el uso de insumos orgánicos con lo cual se busca mejorar los suelos a través del reciclaje de nutrimentos (Kursten y Burschel, 1993), por lo que al compararlos con los bosques naturales este reciclaje resulta ser eficiente ya que en ambos casos los nutrimentos provienen de la atmósfera y son fijados por acción biológica; además de mantener un equilibrio con las pérdidas por lixiviación, desnitrificación y escorrentía.

Existe un periodo de retorno en el que los nutrimentos regresan al suelo por descomposición de la hojarasca y demás restos orgánicos (Alegre et al., 2015). Lo anterior, se ve reflejado en los resultados obtenidos en el presente estudio, pues los SP M-I y M-C se mantuvieron con valores aceptables en las variables de fertilidad con relación a los sistemas de vegetación natural.

No hay diferencias significativas entre los diferentes sistemas de producción establecidos (Tabla 4). Al respecto, Castellanos (2014) menciona que los cultivos de alto rendimiento como el maíz pueden ocasionar acidez en los suelos al liberar iones hidrógeno cuando absorben cationes (Ca, Mg y K); sin embargo, al existir una relación entre los cultivos de maíz y especies leguminosas se aminora dicha problemática.

De acuerdo con los criterios de interpretación de Ca, Mg y K que se estipulan en la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos; estas variables se clasificaron con contenido bajo para los SP agrícola, pero medio para los sistemas de

vegetación natural, además de que el pH indica que los suelos son moderadamente ácidos en los cuatro tratamientos lo que coincide con lo registrado por López y colaboradores (2019).

El SP de M-C mostró mejores resultados que el SAF de M-I, aunque ambas especies complementarias en los SP son especies leguminosas, la *C. ensiformis* es una especie que ha tomado importancia en los cultivos agrícolas ya que se utiliza como abono verde para favorecer la fertilidad del suelo (García et al., 2002).

Las leguminosas no sólo son capaces de asociarse con bacterias nitrificantes para incorporar nitrógeno (N) al suelo, sino que también facilitan los procesos de reciclaje de nutrimentos (Martín y Rivera, 2004). En el caso de la especie *I. vera* comparada con una especie de *I. edulis*, mostró mayor porcentaje de Ca y K contenido en las hojas (Alvarado et al., 2020), lo cual permite entender por qué no se encontraron diferencias entre las propiedades físicas y químicas del suelo de los sistemas combinados con especies leguminosas.

Tabla 4. Varianza en parámetros físicos y químicos del suelo de las UE de la región La Frailesca, Chiapas, México.

VARIABLE	M-I	M-C	SEL	BOS
CC (%)	17.4 a	17.6 a	19.6 a	23.6 a
PMP (%)	10.4 a	10.4 a	11.6 a	14.0 a
pH	5.6 a	5.4 a	5.98 a	5.95 a
MOS (%)	1.5 a	1.7 a	4.3 a	4.9 a
P (ppm)	10.3 a	10.7 a	63.1 a	80.8 a
K (ppm)	105.2 a	122.0 a	148.7 a	179.3 a
Ca (ppm)	788.0 a	814.6 a	1370.6 a	1596.3 a
Mg (ppm)	107.9 a	152.9 a	189.6 a	313.6 a
Fe (ppm)	36.4 a	56.4 a	65.9 a	68.8 a
Mn (ppm)	15.7 a	19.4 a	34.7 a	36.3 a
Al (ppm)	4.6 a	4.9 a	55.8 a	99.3 a
CIC (meq/100 g)	6.1 a	6.7 a	8.8 a	10.9 a

alfa=0.05, DMS=9.45286

Con base en las estadísticas descriptivas de las variables consideradas para determinar la fertilidad en suelos de los sistemas de estudio (Tabla 5), se realizó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov; sin embargo, no todos los datos resultaron normales por lo que se hizo un ajuste, de acuerdo con el registro se puede observar que la CC y el K tuvieron menor variabilidad entre los cuatros sistemas de producción con un coeficiente de variación (C.V.) de 8.8 y 8.4 % respectivamente, mientras que las propiedades químicas presentaron C.V. altos, resaltando el contenido de P con un valor de 34.4 % y Al con 62.0 %. Lo anterior coincide con el hecho de no haberse encontrado diferencias significativas entre los SP evaluados en el presente estudio.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas de las variables físicas y químicas del suelo en sistema de producción en la región La Frailesca, Chiapas, México.

Variable	n <sup>1</sup>	Min <sup>2</sup>	Máx <sup>3</sup>	Media	D.E <sup>4</sup>	E.E <sup>5</sup>	C.V. <sup>6</sup>
CC (%)	12	14.2	31.6	19.5	5.2	1.5	8.8
PMP (%)	12	8.4	18.8	11.6	3.1	0.9	10.5
pH	12	4.7	6.4	5.7	0.4	0.1	7.4
MOS (%)	12	1.1	8.5	3.1	2.3	0.6	49.4
P (ppm)	12	3.9	136.0	41.2	48.7	14.0	34.4
K (ppm)	12	61.2	265.0	138.8	57.4	16.5	8.4
Ca (ppm)	12	616.0	2402.0	1142.4	606.9	175.2	5.7
Mg (ppm)	12	56.8	422.0	191.0	120.5	34.7	11.6
Fe (ppm)	12	15.1	108.0	56.9	27.1	7.8	14.0
Mn (ppm)	12	8.7	62.1	26.5	17.0	4.9	20.4
Al (ppm)	11	0.8	142.0	35.9	51.4	15.5	62.4
CIC (meq/100)	12	4.1	15.5	8.1	3.6	1.0	20.4

<sup>1</sup>Número de muestras, <sup>2</sup>Valor mínimo, <sup>3</sup>Valor máximo, <sup>4</sup>Desviación estándar,

<sup>5</sup>Error estándar, <sup>6</sup>Coefficiente de variación

#### 4. Conclusiones

Los sistemas de producción M-I y M-C demostraron ser eficientes por ser sistemas mixtos, con una condición calidad del suelo similar al de ecosistemas de vegetación natural. Además, esto predice que las condiciones físicas y químicas del suelo pueden mejorar a mediano y largo plazo, ya que las especies vegetales como *I. vera*, que es una especie forestal, permite la retención de

humedad con mayor eficiencia y tiempo de retención en el suelo. En el caso de *C. ensiformis*, es conveniente que los residuos vegetales de esta especie se reincorpore al suelo y pueda cumplir con su función de abono verde, lo que permitirá incrementar la materia orgánica y su incorporación al suelo, a su vez que aumenta la concentración de los nutrimentos y por ende, mejora la fertilidad del suelo.

#### 5. Agradecimientos

A los dueños de las parcelas de los municipios de Villaflores y Ocozocoautla de Espinosa, Chis; al personal que labora en el INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas por el apoyo en campo; a The Nature Conservancy por el financiamiento del proyecto “Caracterización de los microorganismos del suelo con potencial como inóculos vegetales para la recuperación de suelos degradados en la Frailesca, Chiapas” derivado del megaproyecto “Desarrollo de la Evaluación del sistema Agroforestal Maíz-Inga como alternativa de recuperación de suelos degradados en la Frailesca, Chiapas”.

#### 6. Referencias bibliográficas

- Alegre, J., Vega, R., y Arévalo, Y. (2015). Manual reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales. Wold Agroforestry Centre, 25 p. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/323839692\\_MANUAL\\_RECICLAJE\\_DE\\_NUTRIENTES\\_EN\\_SISTEMAS\\_AGROFORESTALES](https://www.researchgate.net/publication/323839692_MANUAL_RECICLAJE_DE_NUTRIENTES_EN_SISTEMAS_AGROFORESTALES)
- Alvarado, A., Pilaloo, W., Carrera, B., y Carrera, D. (2020). Desarrollo comparativo de dos especies Inga en base a su potencial agroforestal. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 4(12):186-199. Disponible en:



- [http://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v4n12/v4n12\\_a02.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v4n12/v4n12_a02.pdf)
- Buol, S., Hole, F.D., y McCracken, R. J. (1989). *Soil genesis and classification*. 3a ed. Iowa State University Press, Ames. USA. 446 p.
- Casanova, F., Ramírez, Luis, D., Caamal, A., Piñeiro, T., y Díaz, V. (2016). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(3):269-284. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62946911002.pdf>
- Castellanos, J. (2014). *Acidez del Suelo y su Corrección*. Hojas Técnicas de Fertilab, México. 4 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-su>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2016). Resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Frailesca, clave 0706, en el estado de Chiapas, región hidrológico-administrativa Frontera sur. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5434780&fecha=27/04/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5434780&fecha=27/04/2016)
- Figuroa-Jáuregui, M. L., Martínez-Menez, M. R., Ortiz-Solorio, C. A., y Fernández Reynoso, D. S. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 36:287-299.
- García, M., Álvarez, M., y Treto, E. (2002). Estudio comparativo de diferentes especies de abonos verdes y su influencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, 23(3):19-30. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218120003>
- Ibrahim, M.; Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45:27-36.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). Conjunto de datos vectoriales Edafología. Serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Villaflores, Chiapas.
- Kursten, E., y Burschel, P. (1993). CO<sub>2</sub>-mitigation by agroforestry. *Water, Air and Soil Pollution*, 70:533-544.
- López, W., Reynoso, R., López, J., Villar, B., Camas, R., y García, J. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4):897-910. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319:169-172.
- Mallén, C., Castillo, J., y Vite, T. (2006). Diagnóstico ambiental y forestal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 31-37. Disponible en: [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2576/Technical/DIAGNOSTICO%20AMBIENTAL%20Y%20FORESTAL%20DEL%20ESTADO%20ODE%20CHIAPAS.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2576/Technical/DIAGNOSTICO%20AMBIENTAL%20Y%20FORESTAL%20DEL%20ESTADO%20ODE%20CHIAPAS.pdf)

- Mapa, R., y Gunasena, H. (1995). Effect of alley cropping on soil aggregate stability of a tropical Alfisol. *Agroforest Systems*, 32:237–245.
- Martín, G., y Rivera, R. (2004). Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos tropicales*, 25(3):89-96. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217916013>
- Martínez, A. F. B., Guevara, H. F., Aguilar, J. C., Rodríguez, L. L., Reyes, S. M., y La O-Arias, M. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Tierra Latinoamericana*, 38(4):871-881. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v38n4/2395-8030-tl-38-04-871.pdf>
- Mendieta, M., y Rocha, L. (2007). Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Agraria. 117 p. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/1\\_RENF08M538.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf)
- Mendoza, J., Huerta, E., Kú, V., y Pool, L. (2015). Imprescindibles servicios ecosistémicos de los suelos. *Ecofronteras*, 19(35):10-13. Disponible en: <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/e-co/article/view/1599>
- Moreno, A., Toledo, V., y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4):375-398. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v91n4/v91n4a1.pdf>
- Nair, P. K. (2004). Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: Hillel, H., Rosenzweig, C., Powlson, D., Scow, K., Singer, M.; Sparks, D. (eds). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. pp. 35-44.
- Payán, F., Jones, D. L., Beer, J., y Harmand, J. M. (2009). Soil characteristics below *Erythrina poeppigiana* in organic and conventional Costa Rican coffee plantations. *Agroforestry Systems*, 76, 81-93. Disponible en: <https://agritrop.cirad.fr/552541/>
- Salinas, J. (2016). Utilidades de la canavalia. (Ed.) AZETA S.A. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresasuplementos/abc-rural/utilidades-de-la-canavalia---ing-agr-msc-jose-a-salinas-daiub--1538246.html>
- Schroth, G., Lehmann, J., Rodriguez, M. R., Barros, E., Macedo, J. L. (2001). Plant-soil interactions in multi state agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems*, 53(2):85-102.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. 85 p. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Valle, G. (2010). Manual agroforestal del Inga (*Inga edulis*). Rainforest saber. Honduras. Disponible en: <https://www.rainforest-saver.org/es/manual-agroforestal-del-inga>
- Villalobos, S. G. (2013). El contexto físico y su importancia para la preservación de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 27-40.

Walkley, A., y Black, I. (1934). An examination of the Degthareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic acid titration Method: Soil Science, 3, 29-38. Disponible en : <http://dx.doi.org/>

## Sobre autor

---

### Olai Sarai Pérez González

Ingeniera en Restauración Forestal egresada de la Universidad Autónoma Chapingo. México. Colaboradora en el tema de investigación “Diagnóstico de la fertilidad del suelo en un sistema agroforestal establecido con tres componentes vegetales en el Altiplano Central Mexicano” en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Agricultura Familiar/INIFAP. Ponente y asistente de congresos forestales en México, Ecuador y Costa Rica. Cuenta con formación adicional en manejo del fuego y en el establecimiento de plantaciones de Agave.

## Sobre autor

---

### Roberto Reynoso Santos

Lic. En Biología por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, M. C. Forestales por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, investigador del INIFAP en el programa de investigación en manejo forestal sustentable y servicios ambientales. Actualmente Investigador (2008-2021) del INIFAP dentro del Programa de investigación “Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales”, con adscripción al Campo Experimental Centro de Chiapas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Colaborador en: Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009; Modelos de la Dinámica de Perturbaciones en Bosques de Pino provocadas por Insectos Descortezadores en el Sur de México Conafor-CONACYT; y Red de Monitoreo de prácticas silvícolas en las plantaciones forestales comerciales para los Estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas. Conafor-CONACYT. Autor y coautor de más de 18 artículos publicados en revistas nacionales e internacionales; autor y coautor de más de 50 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales.

## Sobre autor

---

### Dr. Odilon Gayosso Barragán

Investigador titular de tiempo completo, adscrito al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar del INIFAP, en Ojuelos de Jalisco, Jal. Es Ingeniero Agrónomo en Horticultura con Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento y Doctorado en Ciencias Agrarias por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Cuenta con publicaciones científicas en revistas indexadas en JCR (Journal Citation Reports) y en el índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica del CONACYT, ponencias en congresos nacionales e internacionales; además con participación como asesor en trabajos de tesis a nivel licenciatura y posgrado. Actualmente, con proyectos de investigación sobre estrategias de adaptación de los cultivos al cambio climático, mediante la modificación y adopción de técnicas agronómicas como la utilización de variedades resistentes a la sequía, diversificación y asociación de cultivos y aprovechamiento eficiente del agua de lluvia. Además, con evaluaciones en campo para rendimiento de grano y rastrojo de cultivos forrajeros adaptados a climas áridos y semiáridos del centro y norte de México.

## Sobre autor

---

### Dra. Griselda Chávez Aguilar

Licenciada en Biología por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizó la maestría y doctorado en Ciencias Forestales en el Colegio de Postgraduados. Además, realizó dos estancias posdoctorales, en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAMex). Cuenta con experiencia en docencia, dirección de tesis de licenciatura y publicaciones de artículos de investigación en revistas indexadas en JCR (Journal of Citation Reports) y en el índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica del CONACyT. Actualmente, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel Candidato desde el 2018. Ha participado en diversos proyectos de investigación con instituciones como el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICyT) en San Luis Potosí, y en la UAEMex, en Toluca. Actualmente se desempeña como investigadora titular B en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Agricultura Familiar (CENID-AF), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Es colaboradora en el proyecto de investigación: “Evaluación del sistema agroforestal Maíz-Inga como alternativa de recuperación de suelos degradados del municipio de Villaflores, Chiapas”, financiado por The Nature Conservancy e INIFAP. En este proyecto coadyuva en la identificación de los grupos funcionales de microorganismos del suelo que permitan la recuperación de suelos degradados de la región.

Copyright (c) 2022 Olai Sarai Pérez González, Roberto Reynoso Santos, Odilon Gayosso Barragán, Griselda Chávez Aguilar



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Textocompletodela licencia](#)