

## CHARACTERIZATION OF SOILS CULTIVATED WITH COFFEE (*Coffea* L.) IN SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MEXICO

## CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON CAFÉ (*Coffea* L.) EN LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MÉXICO

López-Báez W.<sup>1\*</sup>; Reynoso-Santos R.<sup>1</sup>; Camas Gómez R.<sup>1</sup>; Santos-Clemente E. C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, km 3, A. P. Núm. 1, C. P. 29140. Ocozocoautla, Chiapas. Tel: 01 96 86 88 29 11. <sup>2</sup>Prestador de servicios profesionales independiente.

\*Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** To study the physical and chemical characteristics of soils cultivated with coffee (*Coffea* sp.) in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico.

**Design/methodology/approximation:** 100 plots were analyzed, in which a composite sample of soil at 0-30 cm was obtained. The determinations of pH, organic matter (MO), interchangeable cations (CIC), texture, phosphorus and micronutrients were analyzed and interpreted according to NOM-021-SEMARNAT-2000.

**Results:** The pH of 5.7 ( $\pm 0.43$ ) indicates a generalized acidity. The average MO was 10.3% ( $\pm 5.33$ ). The CIC value was 14.67 ( $\pm 7.10$ ) meq/100g and is influenced by the pH ( $R^2=0.2843$ ). 60% of the cases were below the critical limit of 15 mg kg<sup>-1</sup> phosphorus. The 18, 14 and 19% of the analyzed sites were located in the classes of low and very low content for Ca, Mg and K respectively. 100, 97 and 81% of the cases presented adequate levels of Fe, Cu and Zn respectively. Boron was deficient in 87% of the cases.

**Limitations of the study/implications:** It is important to evaluate alternative solutions to the limitations found and to carry out studies of extraction of nutrients by the crop.

**Findings/conclusions:** The acidity could be limiting the mineralization of the MO and the CIC. In 67, 60 and 87% of the cases there could be a response from coffee to the application of nitrogen, phosphorus and boron. In 22%, 9% and 63% of the cases are required to raise the saturation level of the CIC by Ca, Mg and K respectively, to optimum levels.

**Keywords:** Services ecosystem, protected natural area, livelihoods



## RESUMEN

**Objetivo:** Estudiar las características físicas y químicas de los suelos cultivados con café (*Coffea* sp.) en la Sierra Madre de Chiapas, México.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se analizaron 100 parcelas, en las cuales se obtuvo una muestra compuesta de suelo a 0-30 cm. Las determinaciones de pH, materia orgánica (MO), cationes intercambiables (CIC), textura, fósforo y micronutrientes se analizaron e interpretaron según la NOM-021-SEMARNAT-2000.

**Resultados:** El pH de 5.7 ( $\pm 0.43$ ) indica una acidez generalizada. El promedio de MO fue de 10.3 % ( $\pm 5.33$ ). El valor de CIC fue de 14.67 ( $\pm 7.10$ ) meq/100g y es influenciada por el pH ( $R^2=0.2843$ ). El 60% de los casos estuvo por debajo del límite crítico de 15 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo. El 18, 14 y 19% de los sitios analizados se ubicaron en las clases de bajo y muy bajo contenido para Ca, Mg y K respectivamente. El 100, 97 y 81% de los casos presentaron niveles adecuados de Fe, Cu y Zn respectivamente. El Boro resultó deficiente en 87% de los casos.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Es importante evaluar alternativas de solución a las limitantes encontradas y realizar estudios de extracción de nutrientes por el cultivo.

**Hallazgos/conclusiones:** La acidez podría estar limitando la mineralización de la MO y la CIC. En el 67, 60 y 87% de los casos podría haber respuesta del café a la aplicación de nitrógeno, fósforo y boro. En el 22%, 9 y 63% de los casos se requiere elevar a niveles óptimos el % de saturación de la CIC por Ca, Mg y K respectivamente.

**Palabras claves:** Servicios ecosistémicos, área natural protegida, medios de vida

de la roya en los últimos años, han incentivado a los productores a mejorar sus prácticas de manejo, especialmente la fertilización (Castiaux *et al.*, 2014). El objetivo de este estudio fue analizar las principales características físicas y químicas de los suelos cafetaleros como un primer insumo para diseñar un programa de nutrición que coadyuve a mejorar de manera sustentables los niveles de productividad y rentabilidad en la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características del área de estudio

Los suelos cafetaleros analizados se ubican en las localidades de Toluca, Río Negro, Monte Virgen, Puerto Rico y Vista Alegre, Reforma, Palenque y Nuevo Palenque, todas pertenecientes al municipio de Montecristo de Guerrero (Figura 1. Ubicación de las localidades estudiadas (Elaboración propia, 2018) y ubicadas dentro del polígono de la REBITRI. La precipitación oscila entre 2,300-2,600 mm anuales en altitudes de entre 1000 a 2600 m (Palacios, 2012). El café es el principal medio de vida de la población y representa más del 95% del ingreso familiar. De acuerdo a la información edafológica de la serie II, 1: 250,000 (INEGI, 2006), en el área predominan los suelos clasificados como Leptosoles del tipo mólico (producto de material calcáreo meteorizado), caracterizados por ser muy someros sobre roca continua y extremadamente gravillosos y/o pedregosos con menos de 20% (en volumen) de tierra fina y con alta susceptibilidad a la erosión (FAO, 2014).

### Toma de muestras

En 100 parcelas de café se analizaron los suelos a una profundidad de 0-30 cm, estrato en el que se

## INTRODUCCIÓN

**El café** (*Coffea* sp.) en Chiapas, México, es un cultivo muy importante en términos económicos, sociales, culturales y ambientales. Se cultiva en 83 de los 118 municipios de la entidad con alrededor de 186 mil productores en una superficie de 260,129.43 ha y una producción de 402,099.78 t de café cereza (SAGARPA, 2014). Con aproximadamente 12,000 ha, es la principal actividad económica dentro del polígono de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) ubicada en la Sierra Madre de Chiapas en donde representa la principal fuente de ingresos de la población y también la principal amenaza de la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a esta área natural protegida (López *et al.*, 2011).

El café dentro de la REBITRI se cultiva en pequeñas áreas (80% de los productores tienen superficies menores a 2 ha) con pendientes mayores de 30 grados. Las plantaciones se caracterizan por edad avanzada, variedades susceptibles al ataque de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), pocas prácticas de manejo y rendimientos bajos y variables con una media de 12 Qq ha<sup>-1</sup> ( $\pm 7.7$ ) y totalmente dependientes de la fertilidad natural complementada con la humificación y mineralización de la materia orgánica de la hojarasca proveniente de las mismas plantas de café y árboles de sombra. La minoría de productores que fertilizan, carecen de sustento técnico para determinar los nutrientes, cantidades, épocas y las fuentes adecuadas. Los daños severos

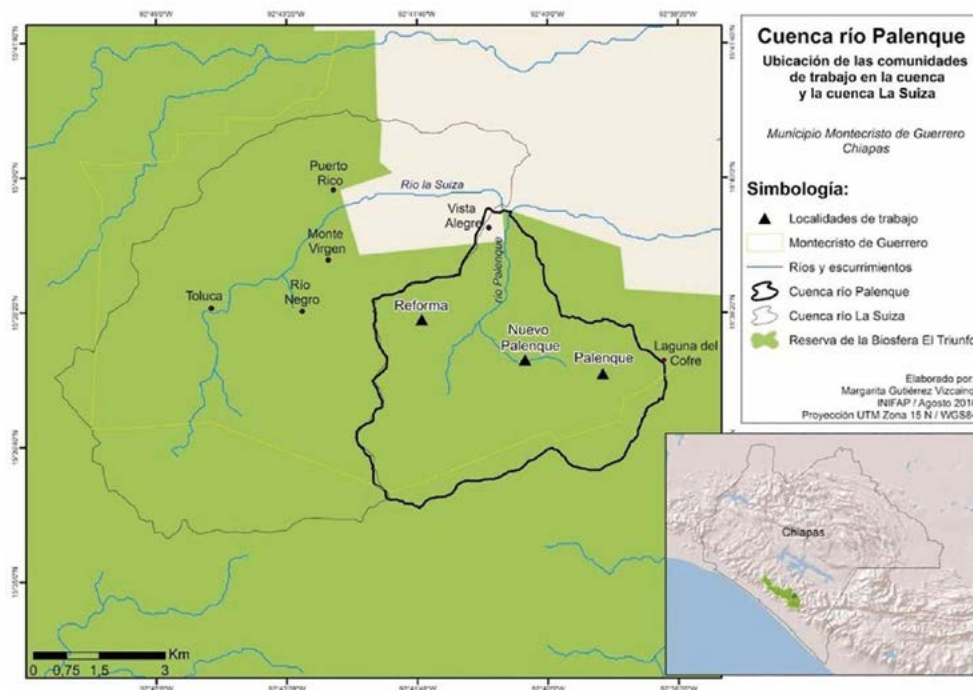


Figura 1. Ubicación de las localidades estudiadas (Elaboración propia, 2018).

encuentra el 86% de las raíces absorbentes de la especie (Carvajal et al., 1969). En cada predio se obtuvo una muestra compuesta de suelo a partir de la mezcla de cinco submuestras.

### Métodos analíticos

Se determinaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT 2000 (DOF, 2002), las siguientes propiedades: % de arena, limo y arcilla (Bouyoucus), pH en agua (1:2), % de materia orgánica y carbono total (Walkley-Black), P Bray (colorimetría Olsen), capacidad relativa de fijación de fósforo (P) (saturación del suelo con 24 mg P 100 ml<sup>-1</sup>, colorimetría con amarillo de vanadato), K, Ca, Na, Mg (NH<sub>4</sub>OAc 1 N pH 7) y acidez intercambiable (Volumetría-KCl 1N) en cmoles+Kg<sup>-1</sup> y micronutrientes B, Zn, Mn, Cu y Fe en mg kg<sup>-1</sup> por DTPA. La interpretación de las propiedades de los suelos de manera general se realizó de acuerdo a lo señalado a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) y en específico para el café en IPNI (1990), Bertsch (1998) y Valencia (1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 presenta un resumen de las estadísticas básicas de cada una de las variables analizadas. Se observa que el pH y componentes de la textura del suelo son las determinaciones que presentaron menor variabilidad entre los suelos estudiados; por el contrario, el contenido de P, Na, Zn, Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> presentaron alta

variabilidad entre sitios con coeficientes de variación superiores al 100%.

### Acidez del suelo

El valor promedio de pH fue 5.7 (±0.43) con un valor mínimo de 4.4 y un máximo de 6.8. El bajo coeficiente de variación indica una acidez generalizada en los suelos. En el 16% de los casos el pH fue inferior a 5.3, considerado como idóneo para la presencia de Al<sup>3+</sup> en la solución del suelo (Espinosa y Molina, 1999). De acuerdo a NOM-021-SEMARNAT-2000, el 99% de los sitios presentan problemas de acidez, y de éstos, 8% fueron fuertemente ácidos

con valores inferiores a 5.0, y el 91% como moderadamente ácidos.

Los suelos ácidos, especialmente cuando el pH es menor de 5.3, pueden presentar problemas de infertilidad debido a toxicidad por Al<sup>3+</sup>, manganeso, y deficiencia de Ca<sup>+2</sup> o Mg<sup>+2</sup> (Espinosa y Molina, 1999). Según Molina (1988), el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez es el porcentaje del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup>. Aunque cada cultivo tiene su grado de tolerancia, generalmente ningún cultivo soporta más de 60% y el valor deseable para la mayoría de plantas oscila entre 10 y 25%. Aunque 61% de las parcelas presentaron acidez intercambiable, el porcentaje promedio de saturación de la CIC sólo fue 6.39% (±9.9) y; sólo en cinco de ellas la saturación de Al<sup>3+</sup> superó el 25%, considerado como el límite crítico para el cultivo de café (Espinosa y Molina, 1999) y (Bertsch, 1998). El bajo valor de saturación indica que la principal causa de la acidez es el H<sup>+</sup> en la solución del suelo producto de la descomposición de la MO.

Valencia (1998), señala que si la fuente de la acidez es solamente el H<sup>+</sup> en la solución del suelo, las plantas de café pueden crecer normalmente en pH relativamente bajos entre 3.5 y 4.0. Sin embargo, aunque los iones H<sup>+</sup> sólo son tóxicos para las plantas en concentraciones extremadamente altas, hay que tener presente el efecto negativo debido a la influencia del pH ácido en

**Cuadro 1.** Estadísticas básicas de las determinaciones realizadas en los suelos.

Determinación	Casos	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Est.	Coefficiente de variación (%)
Ph	100	5.7	4.4	6.8	0.43	7.45
Materia Orgánica (%)	100	10.30	2.61	23.19	5.33	51.77
P Bray (mg kg <sup>-1</sup> )	100	20.00	0.00	140.60	23.36	116.80
K (meq/100 g)	100	0.58	0.11	1.80	0.31	53.11
Ca (meq/100 g)	100	11.34	1.71	38.79	6.46	57.01
Mg (meq/100 g)	100	2.40	0.28	6.66	1.18	49.37
Na (meq/100 g)	100	0.09	-0.03	0.99	0.13	144.51
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	100	68.39	10.72	230.55	37.62	55.01
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	100	0.98	0.07	3.63	0.65	66.69
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	100	2.85	0.10	20.30	3.34	117.12
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	100	42.70	42.70	211.00	39.70	92.96
B (mg kg <sup>-1</sup> )	100	0.46	0.00	1.50	0.29	61.91
Arena (%)	71	41.22	12.88	72.52	11.11	26.95
Limo (%)	71	29.23	9.28	45.08	5.82	19.90
Arcilla (%)	71	29.53	13.12	54.40	7.74	26.22
Acidez Interc. (meq/100 g)	100	0.26	0.00	2.33	0.44	168.04
Al interc. (meq/100 g)	44	0.19	0.00	1.32	0.25	130.24
H interc. (meq/100 g)	44	0.15	0.00	1.01	0.23	149.08
CIC (meq/100 g)	100	14.67	4.11	46.97	7.10	48.42
Retención de fosforo (t ha <sup>-1</sup> )	93	8.56	0.00	17.20	3.63	42.40

la disponibilidad de los nutrientes minerales y actividad microbiana en el suelo (Anzorena, 1995) y (López *et al.*, 2018).

**Materia orgánica**

El contenido promedio de materia orgánica (MO) fue de 10.30 (±5.33). De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000 y considerando que los suelos del área son de origen volcánico (DOF, 2016), sólo el 22% de los sitios se ubican en las clases bajo y muy bajo con contenido inferiores a 4%, mientras que 44% se ubicó en las clases medio (6.1-10.9 %), el 13% en alto (11-16 %) y el 21% en muy alto (>16%). En las parcelas con contenidos medios y altos de MO, la acidez podría estar limitando el desarrollo de las bacterias y abatiendo el proceso de mineralización (Noriega *et al.*, 2014). En particular para el cultivo de café se esperaría una respuesta a la aplicación de nitrógeno en el 67% de las parcelas que presentan menos de 11.4% de MO considerado valor mínimo para este cultivo (Valencia, 1998). La MO proviene de la hojarasca del cultivo de café y los árboles de sombra en cantidades estimadas de 1 kg planta<sup>-1</sup> de café y de 1.5 kg árbol<sup>-1</sup> de los árboles de sombra (Farfán y Urrego, 2007).

**La capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

El valor promedio de la CIC en los 100 sitios analizados fue de 14.67 (±7.10) meq/100g, con una variabilidad 48.42%. De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, el 57% de los sitios se ubicó en las categorías de bajo y muy bajo con valores menores a 15 meq/100 g, el 39% en la categoría media (15-25 meq/100 g), 3% en el alta (25-40 meq/100 g) y 1% en la de muy alta (>40 meq/100 g).

Debido a que la CIC es uno de los parámetros más importante de la fertilidad del suelo debido a su papel como almacén de K, Mg y Ca fácilmente disponibles, pero protegidos contra el proceso de lixiviación (Chavez, 2012; Benzing, 2001; Arcila y Farfán, 2010), se deduce que los sitios con baja y muy baja CIC tienen limitaciones para retener e intercambiar cationes (Foth y Ellis (1996).

Se observó que el pH (R<sup>2</sup>=0.2843) es la variable que tiene mayor influencia sobre la CIC en comparación con el contenido de arcilla (R<sup>2</sup>=0.1022) y de MO (R<sup>2</sup>=0.00001).

Conforme aumenta el pH se generan nuevas cargas negativas en el complejo de cambio y es reportada por

Anzorena (1995) y Benzing (2001), como CIC variable, la cual es más común en la CIC proveniente de la MO, que, en los suelos minerales con bajo contenido de MO, en donde la influencia del pH sobre la CIC es mínima. El 53.5% (n=38) de los sitios analizados se ubican en el rango de MO entre 6.1-10.9% y de arcilla entre 25-35%, en los cuales la CIC oscila entre 15.3-16.4 meq/100g.

### El contenido de Fósforo (P)

El promedio general fue de 20 mg kg<sup>-1</sup> (±23.36), con un coeficiente de variación de 51.77%. Considerado los criterios de NOM-021-SEMARNAT-2000 e International Plant Nutrition Institute (2017), en el 60% de los casos se podría esperar respuesta a la aplicación de fertilizante fosfatado al presentar contenidos inferiores del límite crítico de 15 mg kg<sup>-1</sup>; el 40% restante presentó niveles medios (15-30 mg kg<sup>-1</sup>) y altos de P (>30 mg kg<sup>-1</sup>). Se observó que el contenido de MO (R<sup>2</sup>=0.586) tiene una marcada influencia sobre la retención del fósforo en el suelo y en una menor proporción la acidez intercambiable (R<sup>2</sup>=0.3055) y el pH (R<sup>2</sup>=0.1224); la influencia de estos factores ha sido reconocida desde hace tiempo por Sanguino (1961).

### Los cationes básicos

El Cuadro 1 presenta las estadísticas de los cationes básicos en donde resalta la alta variabilidad de los contenidos entre los suelos analizados, con coeficientes de variación de 57, 53, 49 y 144% para el Ca, K, Mg y Na. De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, sólo el 18, 14 y 19% de los sitios analizados se ubicaron en las clases de bajo y muy bajo contenido para Ca, Mg y K respectivamente. Considerando los criterios del IPNI (1990) y Valencia (1998), 19% de los sitios presentaron un porcentaje óptimo de saturación de la CIC por Ca con valores entre 65-75% y el 59% superiores a 65%. Esta alta saturación de la CIC por Ca tiene una marcada influencia en la baja presencia de iones H y Al en los coloides del suelo, y mayor presencia de cationes metálicos (FAO, 2014). Sólo en 22% de los casos se requiere la aplicación de cal agrícola para elevar a 65% la participación del Ca en la CIC. De igual manera en el 9 y 63% de los casos se requieren tratamientos para elevar a niveles óptimos el % de saturación del Mg y K respectivamente. De acuerdo a Chávez (2012), las relaciones catiónicas es otro criterio de apoyo en la interpretación de análisis de suelos, particularmente entre las bases. En este contexto y con base a los criterios sugeridos por Bertsch (1998) se realizó un análisis de las proporciones entre las bases intercambiables:

- La relación Ca/Mg se encuentra en óptimas condiciones en el 71% de los casos con valores entre 2 y 6. En un 25% de los sitios el valor de la relación es mayor que 6, resaltando el alto contenido de Ca.
- En la relación Ca/K, el 61% de los sitios son superiores al rango óptimo (10-15), debido al alto contenido de Ca que está ocupando la mayoría de cargas en la CIC.
- En la relación Mg/K, el 72% de los casos es superior al rango óptimo (2-3), resaltando el bajo porcentaje de saturación de la CIC por el K.
- Con respecto a la relación Ca+Mg/K, en el 41% de los sitios el valor es mayor al óptimo (20-30).

### Los micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn y Zn)

El 100, 97 y 81% de los casos presentaron niveles adecuados de Fe (>4.5 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (>0.2 mg kg<sup>-1</sup>) y Zn (>1.0 mg kg<sup>-1</sup>) respectivamente. El Zinc se registró deficiente en 19% de los casos. Sin embargo, el micronutriente en mayor deficiencia fue el Boro, ya que el 87% de los casos analizados, se ubicaron en las categorías de bajo contenido con valores menores a 0.79 mg kg<sup>-1</sup>, inclusive, en el 43% de los sitios el valor fue menor a los 0.39 mg kg<sup>-1</sup>. La deficiencia de B en los suelos en gran parte puede ser debida a la formación de los suelos sobre rocas ígneas y lixiviación por la lluvia especialmente en suelos ácidos y de textura gruesa (Violic, 2001). La deficiencia de B provoca en las plantas de café la presencia de entrenudos cortos, hojas pecunias y deformadas, muerte de las yemas terminales y súper brotación (IPNI, 2012).

## CONCLUSIONES

Aunque los suelos presentan una acidez generalizada, sólo en cinco casos el % de saturación de la CIC por Al superó el límite crítico de 25% establecido para el cultivo de café, evidenciando que la principal causa de acidez es el H<sup>+</sup> de cambio en la solución del suelo producto de la descomposición de la MO. En las parcelas con contenidos elevados de MO, las condiciones de acidez podrían estar restringiendo el proceso de mineralización. Es posible que el cultivo de café responda a la aplicación de nitrógeno en el 67% de las parcelas que presentan contenidos menores a 11.4% de MO considerado valor mínimo para este cultivo. En el 60% de los casos se podría esperar respuesta a la aplicación de fertilizante fosfatado al presentar contenidos por debajo del límite crítico de 15 mg kg<sup>-1</sup>. La baja capacidad para retener nutrientes en alrededor del 50% de los sitios podría estar influenciada por la acidez presente en el suelo. En el 22%, 9 y 63% de los casos se

requieren tratamientos para elevar a niveles óptimos el % de saturación de la CIC por Ca, Mg y K respectivamente. El exceso de Ca en 59% de los sitios podría estar limitando la relación con los cationes K y Mg. El micronutriente más deficiente en 87% de los casos fue el Boro.

## LITERATURA CITADA

- Arcila P. J., Farfán, V. F. 2010. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en la producción de la finca. En Sistema de producción de café en Colombia. Capítulo 9. Pp. 202-232.
- Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica. Fundamentos para la región Andina. Neckar-Verlag. Villingen-Schwenningen. Alemania. 682 p.
- Bertsch. F. 1998. Potasio, calcio y magnesio en el sistema suelo-café. Curso regional sobre nutrición mineral del café. San José Costa Rica. Programa Cooperativo para la Producción y Modernización de la Cafecultura (PROMECAFE). Pp. 83-88.
- Castiaux M., Crossman K., Jurjonas M., Mondragón R. L. 2014. Diagnóstico participativo para la planeación de la producción de café en la microcuenca la Suiza de Chiapas, México. Resumen Ejecutivo. 26 p.
- Foth D. N., Ellis B. G. 1996. Soil Fertility. Second edition. CRC Press LLC. 282 p.
- IPNI 1990. Manual de fertilidad de suelo: porcentaje de saturación de bases intercambiables. The postash and phosphate institute. Pp12.
- López B. W., Salinas C. E., Santos R. R. 2011. Conectividad hídrica entre municipios, cuencas y Reserva de la Biósfera El Triunfo. Potencial para la creación de un mercado local de agua. Libro Técnico No. 10. Campo Experimental Centro Chiapas, INIFAP. 80 p.
- Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.
- Palacios, B. 2012. Análisis participativo de la oferta, amenazas y estrategias de conservación de los servicios ecosistémicos (SE) en áreas prioritarias de la subcuenca "La Suiza"-Chiapas México. Tesis de Maestría en Ciencias. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 118 p.
- Farfán V. F., Urrego J. B. 2007. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. CENICAFE 58(1):20-39.
- Carvajal, J. F.; Acevedo, A. and López, C. A. 1969. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. Turrialba. 19 (1):13-20.
- Anzorena M. N. 1995. El suelo en la agricultura y el medio ambiente. Fertilidad del suelo: acidez y complejo de cambio. Revista Sustrai, 36 (1er. Trimestre): 40-44.
- Chavez S. M. 2012. Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura. Revista Ventana Lechera. 18:11-20
- Espinosa J., Molina E. 1999. La acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 42 p.
- López B. W., Urbina H. L., Reynoso S. R., Martínez S. J. 2018. Efecto del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Agroproduktiv. Vol. 11. No. 4. Pp. 55-60.
- Noriega A. G., Cárcamo R. B, Gómez C. M. A., Schwentesius R. R., Cruz H. S., Leyva B. J., García de la R. E., López R. U. I y Martínez Hernández1 2014. Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.5 Núm.1 1 de enero - 14 de febrero, 2014. Pp. 163-169.
- Sanguino S. E. 1961. Influencia del pH sobre la fijación de Fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. Acta Agronómica. Vol. XI. No. 3 y 4. Julio-diciembre de 1961. Pp. 187-209.
- International Plant Nutrition Institute. 2017. Características del suelo y sus Interpretaciones. En: [http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/\\$webindex/article=69FC4C5285256E1B001455BC6500B0](http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/$webindex/article=69FC4C5285256E1B001455BC6500B0). Instituto Internacional de Nutrición de las Plantas.
- SAGARPA. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. En: <http://www.siap.gob.mx/>
- FAO 2014. Propiedades del suelo. Propiedades químicas. Consultado el 7/11/2018 en <http://fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-químicas/es/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006. Edafología; conjunto de datos vectorial edafológica escala 1:2500 serie II. Disponible en [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial\\_serieii.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx)
- Violic A. D. 2001. Manejo integrado del Cultivo. En el maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. FAO. Roma. Consultado el 01/11/2017 en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm#toc>
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación del 31/12/2002. En: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&). Consultado el 06/11/2017.
- DOF. 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. Diario Oficial de la Federación del 27/04/2016. En: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5434780&](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5434780&). Consultado el 27/04/2018
- IPNI. 2012. Nutri-verdades. Información agronómica sobre nutrientes para los cultivos. Consultado el 7/11/2018 en: <http://nla.ipni.net/article/NLA-3009>