

## Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de Xolotla, Puebla

Agroecological practices and their influence on soil fertility in the coffee region of Xolotla, Puebla

Andrea Contreras Cruz<sup>1</sup>, Primo Sánchez Morales<sup>1</sup>, \*Omar Romero Arenas<sup>1</sup>, José Antonio Rivera Tapia<sup>2</sup>,  
Ignacio Ocampo Fletes<sup>3</sup>, José Filomeno Conrado Parraguirre Lezama.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP); Edificio VAL 1, Km 1,7 carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, 72960, Puebla, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias (ICUAP), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

<sup>3</sup>Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Campus Puebla, Colegio de Postgraduados.

\* Autor de correspondencia.

Correo electrónico: [biol.ora@hotmail.com](mailto:biol.ora@hotmail.com)

### Resumen

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo muy importante para el desarrollo del centro y sur de México: 70% del área cultivada se encuentra bajo manejo tradicional. Por la relevancia de estos agroecosistemas el objetivo fue identificar prácticas agroecológicas (PA) y su influencia en la fertilidad del suelo en sistemas de café de Xolotla, Puebla. Para identificar PA se aplicó una encuesta a 79 productores; para determinar la fertilidad del suelo se realizaron análisis fisicoquímicos con base en la NOM-021-SEMARNAT; además, se analizó la concentración bacteriana total. Se encontró que 71% de las prácticas que se usan en el manejo del cafetal son agroecológicas, tienen relación positiva con el rendimiento y con los contenidos de nitrógeno, potasio y calcio del suelo, así como con la concentración bacteriana del suelo. Se concluye que las PA favorecen el rendimiento y la fertilidad del suelo en el sistema agroforestal café.

**Palabras clave:** Agroecosistema café; prácticas agroecológicas; fertilidad del suelo; conservación; café.

### Abstract

Coffee (*Coffea arabica* L.) is a very important crop for the development of central and southern Mexico: 70% of the cultivated area is under traditional management. Due to the relevance of these agroecosystems, the objective was to identify agroecological practices (PA) and their influence on soil fertility in coffee systems in Xolotla, Puebla. To identify PA, a survey was applied to 79 producers. To determine the fertility of the soil, physicochemical analyzes were carried out based on the NOM-021-SEMARNAT; in addition, the total bacterial concentration was analyzed. It was found that 71% of the practices used in the management of coffee plantations are agro-ecological, and they have a positive relationship with the yield and nitrogen, potassium and calcium contents of the soil, as well as with the bacterial concentration of the soil. It is concluded that PA favor soil yield and fertility in the coffee agroforestry system.

**Keywords:** Coffee Agroecosystem; agroecological practices; soil fertility; conservation; coffee.

Recibido: 29 de marzo de 2017

Aceptado: 10 de enero de 2019

Publicado: 08 de abril de 2019

**Como citar:** Contreras Cruz, A., Sánchez Morales, P., Romero Arenas, O., Rivera-Tapia, J. A., Ocampo-Fletes, I., & Parraguirre-Lezama, J. F. C. (2019). Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de Xolotla, Puebla. *Acta Universitaria* 29, e1864. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.1864>

## Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia para el desarrollo económico, político, social y cultural de los países exportadores, ocupando el segundo lugar en importancia económica mundial, además sostiene a 4 millones de pequeños productores en 14 países (Jha *et al.*, 2011), con una producción estimada para el 2014 cercana a los 145 millones de sacos (Temis-Pérez, López-Malo & Sosa-Morales, 2011). Con 30.5% de la producción total, Brasil ocupa el primer lugar seguido de Vietnam, Indonesia y Colombia con aportes de 12.4%, 8.1% y 7.8%, respectivamente. La India y México ocupan el quinto lugar al aportar 3.5% de la oferta mundial de café (Flores, 2015).

En México la producción es de 1 026 252 toneladas (t) anuales; 75% se destina a la exportación. La superficie cosechada en 2015 fue de 664 885.1 hectáreas cultivadas principalmente en 12 estados sobresaliendo Chiapas con 31%, Oaxaca con 24%, Veracruz con 19% y Puebla con 9% ocupa el cuarto lugar como productor de café, con una producción de 171 320.2 t anuales (Aragón, 2006; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2015). Para el estado de Puebla se registran 48 215 cafeticultores, poco más de la mitad (51%) de origen indígena (Benítez-García, Jaramillo-Villanueva, Escobedo-Garrido & Mora-Flores, 2015), 60% son nahuas, 34% totonacos, 4% mazatecos y 2% otomíes (Rivadeneira & Ramírez, 2006). De acuerdo con el Sistema Producto Café (SIAP, 2015), el municipio de Pahuatlán registra una superficie de 701 hectáreas cosechadas con una producción convencional de 3 435 t anuales y un rendimiento de 4.9 t ha<sup>-1</sup>.

La producción de café en México se encuentra bajo un manejo tradicional, representando entre 60% y 70% de la superficie total; la estructura y composición del dosel en este tipo de cafetales, se basa principalmente en especies como *Inga jinicuil* y *Latibracteata*, *Alnus firmifolia*, *Heliocarpus appendiculatus*, acompañados de árboles nativos y frutales (Martínez, Evangelista, Basurto, Mendoza & Cruz-Rivas 2007). Basurto (1982) registra 500 especies de flora útil, donde 300 se encuentran en huertos familiares y cafetales, albergando alta diversidad biológica que favorece el control de la erosión del suelo. La mayor parte de la producción es generada por pequeñas unidades de producción campesinas e indígenas en tierras forestales, por lo que su manejo es crucial para proteger los suelos (Jurjonas, Crossman, Solomonc & Lopez-Baezd, 2016; Martínez *et al.*, 2007), así como a la diversidad de organismos edáficos importantes en la fertilidad, reciclaje de nutrientes, evolución, estructura y conservación del suelo (Reyes & Valery, 2007).

El suelo fértil es el que tiene la capacidad de suministrar los nutrimentos suficientes al cultivo, asegurando su crecimiento y desarrollo (Beaton & Werner, 2013; García, Havlin, Ramírez & Sánchez, 2012; Samuel, Tisdale, Weil & Brady, 1990). Evaluar la calidad del suelo en campo y contrastarlo con los métodos de producción ayudarán al entendimiento de la sostenibilidad de las prácticas agroecológicas, así como para el desarrollo de estrategias de manejo que impacten positivamente en el rendimiento del cultivo (Bhardwaj, Jasrotia, Hamilton & Robertson, 2011; Garrigues, Corson, Angers, Van der Werf & Walter, 2012; Lammel *et al.*, 2015).

En los sistemas convencionales manejados con tecnología moderna se han ocasionado impactos negativos sobre el suelo mientras que los sistemas con enfoque agroecológico lo preservan o mejoran, permitiendo su perdurabilidad (Altieri, 1999). El problema con los enfoques agrícolas convencionales es que no han tomado en cuenta las enormes variaciones ecológicas, las presiones de la población, las relaciones económicas y las organizaciones sociales que existen en cada región y por consiguiente el desarrollo agrícola no ha estado acorde con las necesidades y potencialidades de los campesinos locales (Altieri & Nicholls, 2000).

Las prácticas agroecológicas en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) son necesarias para el mantenimiento y aumento de la fertilidad de los suelos, así como para el manejo sostenible de las plantaciones (Larios, Salmerón & García, 2014). Estas estrategias reducen la vulnerabilidad al fomentar la conservación de los recursos naturales como suelo, agua y bosques, mejorando así la matriz ambiental circundante y su implementación permite diseñar agroecosistemas más resilientes (Altieri, 2013).

El manejo agroecológico del suelo incide en el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua, la regulación del pH, mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) e incremento de la Materia Orgánica (MO), así como de los nutrientes disponibles (Comese, González & Conti, 2009). El nitrógeno es el elemento más limitante en la producción de café, ya que es de mayor importancia para el crecimiento óptimo de la planta, participa en la formación de aminoácidos y proteínas, presentes en la clorofila, su principal reserva en los suelos es la MO, la cual por medio de los procesos de mineralización suministra a la planta parte de sus requerimientos. El potasio ocupa el segundo lugar y sus requerimientos se incrementan con el llenado del grano, ya que participa en la formación y transporte de almidones, aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades y mantiene el nivel adecuado de agua, reduciendo su tendencia a la marchitez. El fósforo interviene en gran número de procesos metabólicos que contribuyen en el buen desarrollo radical y el crecimiento de nuevos brotes, favorece la floración y fructificación, así como la formación y calidad de los frutos. El calcio es esencial para las reacciones metabólicas y para mantener los niveles hídricos de la planta. Además, el magnesio es un constituyente esencial de la clorofila, participa en la síntesis de carbohidratos, proteínas, vitaminas y otras sustancias esenciales en el metabolismo vegetal (Capa, 2015; Khalajabadi, 2008).

El uso de prácticas agroecológicas es una estrategia adecuada para conservar y mejorar el equilibrio ecológico de sistemas productivos, en especial los cafetaleros, debido a su importancia para la preservación de la biodiversidad y el desarrollo de las comunidades indígenas de México.

Con base en lo anterior, se planteó como objetivo identificar las prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales de café de la comunidad de Xolotla, municipio de Pahuatlán, Puebla.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

La comunidad de Xolotla se localiza al sur del municipio de Pahuatlán en el estado de Puebla, México, en la porción noroeste de la Sierra Norte. Sus coordenadas geográficas son 20° 18' 00" latitud Norte y 98° 09' 00" longitud Oeste. Pertenece a la región denominada Huasteca e históricamente presenta asentamientos humanos desde la época prehispánica (Acosta, 2014). La altitud promedio es de 1240 m s.n.m. El clima es templado húmedo con lluvias todo el año, con una precipitación total anual de 2250 mm y la temperatura media anual de 19 °C (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010).

De acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu, 2013), el relieve es bastante accidentado, con un declive en dirección a los ríos San Marcos y Mamiquetla. Una buena parte de la vegetación natural del territorio ha sido eliminada; subsiste el bosque mesófilo de montaña, así como selva alta perennifolia en la ribera del río San Marcos. Xolotla tiene 2072 habitantes pertenecientes a la etnia indígena Náhuatl, que en su mayoría se dedican al cultivo de café en parcelas localizadas entre las serranías del territorio, ubicadas entre 800 m s.n.m. y 1500 m s.n.m.

## Determinación de prácticas agroecológicas

Los problemas del bajo rendimiento van articulados al manejo y prácticas agrícolas para el cultivo del café, las cuales presentan características complejas y dinámicas a través del tiempo. Se aplicó una encuesta estructurada para la recolección de información. La encuesta se estructuró de la siguiente forma: las condiciones socioeconómicas de los productores, el manejo tecnológico del sistema café, las prácticas agroecológicas, factores bióticos y abióticos del sistema agroforestal y la producción por superficie.

El tamaño de muestra de la comunidad de Xolotla se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$n = (NZ^2 p*q) / (NE^2 + Z^2 p*q)$$

donde:

N = total de productores de café (458)

Z = nivel de confianza (95% = 1.96)

p = probabilidad a favor (0.5)

q = probabilidad en contra (0.5)

E = error de estimación (5%)

n = tamaño de muestra (79)

Por la ausencia de un listado definitivo de los productores de café, la identificación de productores se realizó mediante el método Respondent-Driven Sampling, diseñado originalmente para el estudio de poblaciones ocultas o de difícil acceso (Gile, Johnston, & Salganik, 2015; Mantecón, Juan, Calafat, Becoña & Román, 2008). Se aplicó un cuestionario a 79 productores de café durante el periodo de enero a junio de 2016. Se generó información socioeconómica y sobre el conocimiento y uso de prácticas agrícolas en los cafetales de Xolotla, que influyen en el rendimiento, considerando el rango de altitud de la región.

## Análisis de la fertilidad del suelo

En la comunidad de Xolotla, Pahuatlán, se ubicaron tres áreas de muestreo bajo diferente manejo, con tres repeticiones por parcela. Los muestreos se realizaron a principios del mes de agosto de 2016. Los análisis fisicoquímicos se realizaron con base en la NOM-021-SEMARNAT (Diario Oficial de la federación [DOF], 2002). Para tomar las muestras, se realizó una pequeña zanja de 40 cm de profundidad perpendicular a la línea de plantación, de una de las paredes se retiró una porción de suelo menor a 10 cm de espesor y se retiraron 5 cm de bordes. Se tomaron cinco submuestras de 500 g en cada parcela, se colocaron en un depósito y se mezclaron vigorosamente. De esta mezcla compuesta se retiraron 2 kg para el análisis correspondiente.

A las muestras colectadas se les realizó un análisis fisicoquímico para determinar la fertilidad del suelo. El proceso se realizó en el departamento de edafología del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) para determinar los parámetros más importantes: % nitrógeno total (método de micro-Kjeldahl), fósforo extraíble (por el procedimiento de Bray y Kurtz, en mg kg<sup>-1</sup>), determinación de bases intercambiables, potasio, magnesio y calcio (con acetato de amonio 1N a pH 7, cmol(+) kg<sup>-1</sup>), materia orgánica (contenido de C orgánico por el método de Walkley y Black), capacidad de

intercambio catiónico (utilizando acetato de amonio 1N con pH 7), pH (determinación de la actividad del ion H mediante un potenciómetro sobre una suspensión de suelo y agua a proporción de 1:2) y conductividad eléctrica (CE) ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

## Determinación de la actividad biológica

La determinación de la actividad biológica se realizó mediante el conteo de bacterias totales a través del método de turbidimetría, el cual consiste en medir la biomasa bacteriana en una magnitud física; tal como la absorbancia de luz que atraviesa un tubo conteniendo el cultivo microbiano. El cambio entre la intensidad de luz que incide en el cultivo ( $I_0$ ) y la transmitida ( $I$ ) se registra en el espectrofotómetro como absorbancia ( $A$ ) o densidad óptica ( $DO$ ), valor derivado del logaritmo del cociente entre  $I_0$  y de la luz transmitida por la suspensión,  $A = \text{Log } I_0/I$ . A medida que la concentración celular aumenta, el cultivo se hace más turbio y se reduce la cantidad de luz transmitida que alcanza la célula fotoeléctrica. Esta reducción de la intensidad de luz transmitida es consecuencia de la difracción de la luz por parte de las células.

De cada una de las áreas de muestreo se pesaron 0.5 g de suelo y se colocaron en tubos de ensayo con 5 mL de caldo nutritivo, con 4 repeticiones respectivamente. Se dejaron incubar por 24 h a 37 °C, se obtuvieron las lecturas en un espectrofotómetro WHYM201, colocando 0.2 mL en celdas para su lectura a 600 nm. Posteriormente se realizó una curva de calibración para obtener la correspondencia entre la biomasa bacteriana del cultivo y la absorbancia, a partir de la siguiente ecuación:

$$Y_{\text{abs}} = 1,218 \times 10^{-9} \text{ abs /ufcxm}^{-1} \times \text{ufc/ml} + 0.094 \text{ abs}$$

Utilizando esta ecuación se puede determinar mediante medidas de absorbancia, el número de unidades formadoras de colonias totales por gramo de suelo (Díaz, 2011).

Los datos obtenidos mediante las técnicas descritas anteriormente se organizaron en una matriz de datos realizada en Excel y el paquete estadístico *Statistical Package for the Social Science* (SPSS) statistic v17 para realizar el análisis de varianza (Anova) y la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Finalmente se realizó una correlación de Pearson para determinar la relación existente entre las prácticas de manejo y las características fisicoquímicas del suelo.

## Resultados

### Caracterización de productores de café

En la comunidad de Xolotla, el 100% de los productores de café hablan náhuatl y español, sin embargo 48% son analfabetas. La unidad de producción familiar está conformada en promedio por cuatro integrantes y la edad de los productores promedia 58 años. La extensión agrícola promedio que cultivan fue de 1.7 hectáreas.

### Producción de café

De acuerdo a los resultados de la encuesta, el rendimiento promedio es de  $1.3 \text{ t ha}^{-1}$ , cercano al rendimiento medio nacional de  $1.54 \text{ t ha}^{-1}$ . No obstante, se encontraron diferentes rendimientos y prácticas agrícolas en la producción de café en Xolotla, para conocer su interacción en el sistema agroforestal café se clasificaron en tres grupos de productores de acuerdo al potencial productivo (tabla 1).

Tabla 1. Grupos de productores de acuerdo al rendimiento.

Grupo	Rendimiento por hectárea
Rendimiento bajo (Rb) $n_1=34$	$\leq 800$ kg
Rendimiento medio (Rm) $n_2=19$	801 kg a 1199 kg
Rendimiento alto (Ra) $n_3=26$	$\geq 1200$ kg

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de encuesta, 2016.

## Prácticas agrícolas

A partir de la información de campo generada por medio de las encuestas, se identificaron las prácticas de manejo implementadas en la comunidad de Xolotla, resultando las siguientes: aplicación de abonos orgánicos, fertilización química, poda de cafetos, poda de árboles de sombra, deshierbe, control químico y renovación de plantas. De acuerdo a lo anterior, 71% de las prácticas de manejo son agroecológicas y son apropiadas a los objetivos del sistema agrícola, se caracterizan por una baja dependencia de insumos externos y contribuyen a un ambiente más ecológico. El resto de prácticas (29%) se consideran como agroindustriales.

Con base en los resultados, todas las prácticas de manejo presentaron diferencias significativas entre los grupos de productores (Anova;  $F = 4.61$ ,  $p = 0.037$ ), sobresaliendo los productores que realizan las siguientes prácticas: empleo de abonos orgánicos, poda de cafetos, poda de árboles, deshierbe y renovación de plantas, lo que significa mayor número de prácticas agroecológicas en el manejo de cafetales. Los resultados también muestran la relación entre mayor rendimiento con mayor porcentaje de prácticas agroecológicas (figura 1).

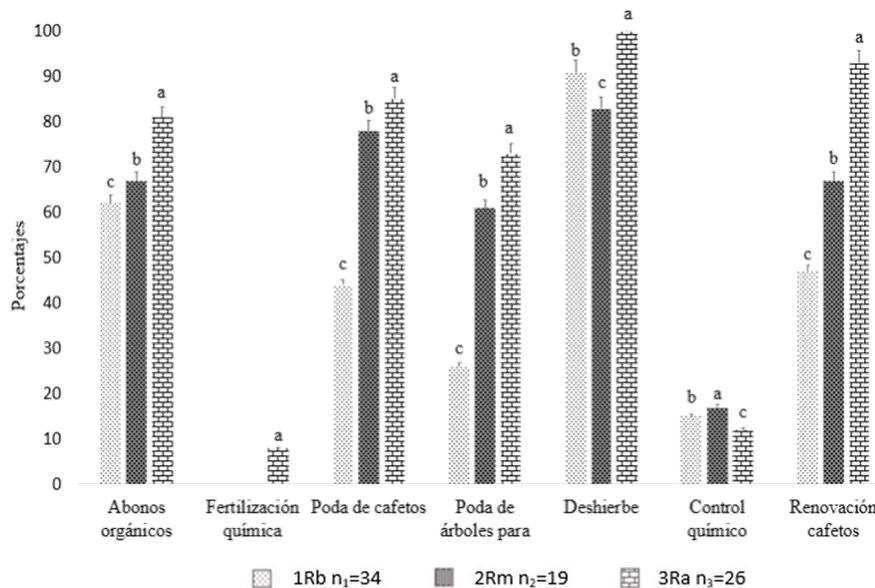


Figura 1. Porcentajes de prácticas de manejo del sistema agroforestal de café en la comunidad de Xolotla-Puebla, para los grupos de productores de acuerdo a su rendimiento.

\*Letras diferentes en la columna representan diferencias significativas en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la encuesta, 2016.

## Fertilidad del suelo

Los tipos de suelo en el área de estudio son: francos arenosos, franco arcillosos y franco arcillo arenosos. Los macro y micro elementos hallados en esos suelos presentaron diferencias significativas en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre los grupos con diferente rendimiento e implementación de prácticas agrícolas. Los resultados de la investigación muestran que el grupo de productores con mayor rendimiento presentó mayor cantidad de prácticas agroecológicas y los valores más altos de nitrógeno, potasio y calcio, no así de fósforo y magnesio (tabla 2).

**Tabla 2.** Concentración de macronutrientes presentes en la solución del suelo del cafetal.

Grupos	Macronutrientes				
	N	P	K	Mg	Ca
	( % )		( cmol (+) kg <sup>-1</sup> )		
1Rb n <sub>1</sub> = 34	0.17 ±.120 <sup>b</sup>	2.22 ±.088 <sup>c</sup>	0.13 ±0.88 <sup>b</sup>	1.82 ±.088 <sup>c</sup>	6.46 ±.057 <sup>c</sup>
2Rm n <sub>2</sub> = 19	0.13 ±.088 <sup>c</sup>	5.26 ±.088 <sup>a</sup>	0.13 ±0.88 <sup>b</sup>	2.96 ±.088 <sup>a</sup>	7.50 ±0.88 <sup>b</sup>
3Ra n <sub>3</sub> = 26	0.22. ±088 <sup>a</sup>	4.03 ±.088 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.57 <sup>a</sup>	2.60 ±.0.57 <sup>b</sup>	19.20 ±.120 <sup>a</sup>
<b>P=</b>	<b>0.009</b>	<b>0.002</b>	<b>0.008</b>	<b>0.008</b>	<b>0.006</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos, 2016. Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca). Letras diferentes en la columna representan diferencias significativas en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En la región de estudio predominan árboles de sombra *Inga* spp. Los valores de K mostraron un contenido más altos en los sistemas con mayores prácticas agroecológicas; sin embargo, en general fueron bajos de 0.13 cmol kg<sup>-1</sup> a 0.16 cmol kg<sup>-1</sup>. Así mismo, los valores de P resultaron bajos, de 2.22 cmol kg<sup>-1</sup> a 5.26 cmol kg<sup>-1</sup>. Los valores de Ca y de Mg mostraron contenidos más altos en los sistemas con mayores prácticas agroecológicas; sin embargo, también se consideran bajos en general.

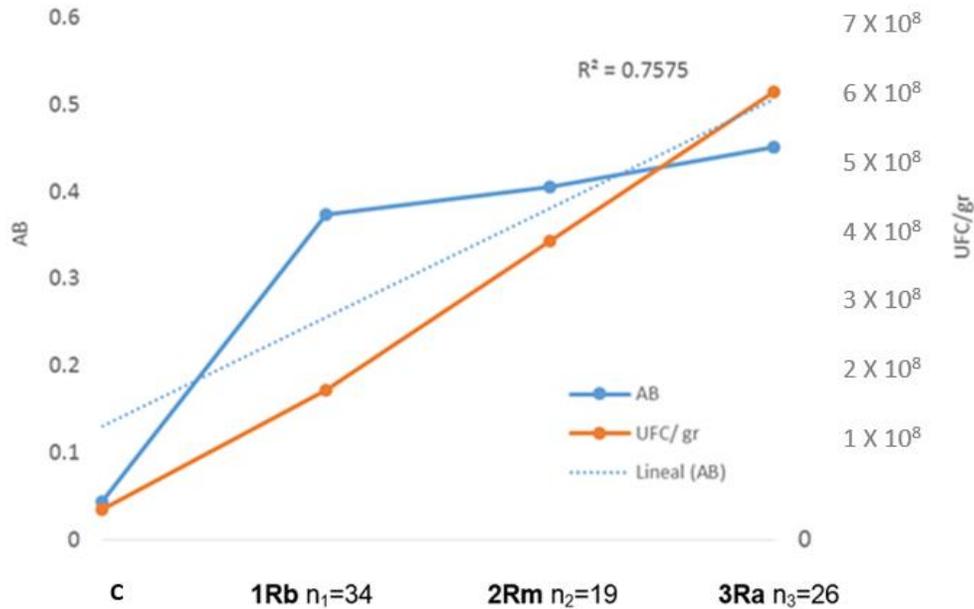
A la vez los factores fisicoquímicos también presentaron diferencias significativas entre los grupos en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los valores más altos de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica se encontraron en el grupo de productores con rendimiento alto y mayores prácticas agroecológicas (tabla 3).

**Tabla 3.** Resultados físico-químicos de los suelos del cafetal.

Grupos	MO	CIC	pH	CE
	%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>		ds/M
1Rb n <sub>1</sub> = 34	1.77 ±.057 <sup>c</sup>	9.90 ±.088 <sup>c</sup>	4.83 ±.088 <sup>b</sup>	0.80±.120 <sup>b</sup>
2Rm n <sub>2</sub> = 19	2.20 ±.088 <sup>b</sup>	13.26 ±.088 <sup>b</sup>	4.70 ±.057 <sup>b</sup>	0.34±.088 <sup>c</sup>
3Ra n <sub>3</sub> = 26	4.98 ±.088 <sup>a</sup>	18.95 ±0.57 <sup>a</sup>	6.23 ±.088 <sup>a</sup>	1.46±.088 <sup>a</sup>
<b>P=</b>	<b>0.009</b>	<b>0.005</b>	<b>0.001</b>	<b>0.009</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos, 2016. Materia orgánica (MO), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), potencial de hidrógeno (pH), Conductividad eléctrica (CE). Las diferentes letras en la columna representan diferencias significativas en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En lo que respecta a los resultados obtenidos de la absorbancia para las muestras de suelo, estos tuvieron valores entre 0.3 y 0.5, lo cual equivale a una cantidad de entre 1E8 UFC y 3E8 UFC de bacterias por gramo de suelo, la mayor cantidad corresponde al grupo de rendimiento alto y mayores prácticas agroecológicas, dichos valores tuvieron una correlación alta ( $R^2 = 0.7575$ ) (figura 2).



Figura

2. Valores de absorbancia y UFC g<sup>-1</sup> de suelo de las muestras obtenidas en Xolotla.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los estudios microbiológicos, 2016.

Se realizó una correlación de Pearson entre las prácticas de manejo y la fertilidad de suelo (tabla 4), en donde los abonos orgánicos y las UFC presentan una correlación positiva (0.962\*\*). Así mismo, los valores de pH se relacionan estrechamente con el contenido de los abonos orgánicos; ya que el pH es más bajo en la medida que disminuye la aplicación de esta práctica.

Tabla 4. Correlación de Pearson entre las prácticas de manejo y la fertilidad del suelo.

		Análisis de Fertilidad del Suelo									
		MO	N	P	K	Mg	Ca	pH	CIC	CE	UFC
Prácticas de Manejo	AO	0.991**	0.722*	NS	0.827**	-0.839**	0.982**	0.941**	0.993**	0.778*	0.962**
	FQ	NS	0.865**	NS	0.856**	-0.951**	0.997**	0.995**	0.930	0.913**	0.901**
	PC	0.719*	0.719*	0.842	NS	NS	0.683*	NS	NS	NS	NS
	PA	0.781*	0.781*	0.788*	NS	NS	0.748*	NS	0.912**	NS	0.887**
	D	0.809**	0.808**	NS	0.755*	-0.981**	0.837**	0.908**	0.996	NS	NS
	CQ	NS	0.887**	NS	-0.806**	0.996**	-0.900**	-0.953**	-0.732*	-0.997**	-0.710*
	RP	0.954**	0.845**	0.947*	0.973**	NS	NS	0.904**	NS	NS	0.728*

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la encuesta, análisis fisicoquímicos y microbiológicos, 2016. Abonos orgánicos (AO), Fertilización química (FQ), Poda de cafetos (PC), Poda de árboles (PA), Deshierbe (D), Control químico (CQ), Renovación de plantas (RP), Materia orgánica (MO), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), Potencial de hidrógeno (pH), Conductividad eléctrica (CE), Unidades formadoras de colonias (UFC). No significativo (NS). Los asteriscos representan una correlación significativa \* y altamente significativa \*\*.

## Discusión

En México, el 57% de municipios que cultivan café concentran poblaciones indígenas importantes (Mason, Hernández, Gallina & Mehlreter, 2008). Los productores indígenas se encuentran ubicados en las regiones con mayor pobreza y marginación del país (Aragón, 2006; Ramírez & González, 2006). De acuerdo a los resultados encontrados en Xolotla, Puebla, casi la mitad de productores de café entrevistados son analfabetas, cifra mucho mayor a la media nacional reportada de 5.5%; incluso por arriba de la media para el estado de Puebla de 8.3% (INEGI, 2015), situación que coincide con las condiciones de marginación y pobreza expresadas por Ramírez & González (2006) y por Aragón (2006).

La edad promedio de los campesinos de Xolotla (58 años) resulta ligeramente mayor a la que encontraron Alvarado, Juárez & Ramírez (2006) y Benítez-García *et al.* (2015) para los municipios de Cuetzalan y Huehuetla que promedia 55 años. Esta condición indica que los productores de la región son de edad madura. Con respecto a la extensión agrícola promedio hallada en Xolotla (1.7 ha) fue muy similar a la reportada por Benítez-García *et al.* (2015) de 1.6 ha, en el municipio de Cuetzalan.

El agroecosistema café brinda amplios servicios ambientales, su producción depende del manejo, así como de las condiciones edafoclimáticas y es la base de la economía campesina de la región, la cual es altamente vulnerable a desastres naturales (Noriega *et al.*, 2014). De acuerdo al SIAP (2015), el estado de Puebla es el cuarto productor de café en México con un rendimiento promedio de 2.87 t ha<sup>-1</sup>, donde la sierra norte es la principal región cafetalera con 91% de la superficie sembrada que equivale a 60 660 ha (Martínez *et al.*, 2007).

Ramírez, Jaramillo & Peña, (2013) mencionan que dependiendo de las condiciones agroecológicas, es posible obtener altos rendimientos de café por hectárea y aumentar la rentabilidad del agricultor; sin embargo es importante resaltar que los sistemas agroforestales son complejos y, como afirma Mercer (2004), su manejo requiere de amplio conocimiento. Los rendimientos encontrados en Xolotla son moderadamente bajos (tabla 1) con respecto a lo que reporta el SIAP (2015) para la producción estatal. El estado de Puebla aporta 17% de la producción total nacional y el municipio de Pahuatlán contribuye con 2% del café que se produce en el estado, siendo Xolotla una de las comunidades productoras de café más importantes de la región (SIAP, 2015).

No obstante, aquella es una zona con altos índices de marginación social, política y económica (Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol], 2014), es considerada como región de alta prioridad para la conservación del bosque mesófilo de montaña (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2010). Así mismo los cafetales de la sierra norte de Puebla están estrechamente ligados a las condiciones sociales, económicas y ecológicas en las que se inserta la producción del café (Martínez *et al.*, 2007).

La mayoría de prácticas realizadas a los cafetales en Xolotla (71%) son agroecológicas, que pueden ser nuevas, modificadas o adaptadas al sistema (Wezel *et al.*, 2009) y contrastan con el resto que son tecnologías agrícolas convencionales, planteadas originalmente para la modernización agrícola, que tienen por objetivo integrar a los productores que las usan a la economía de mercado, desplazando a la naturaleza (Altieri, 1999).

Las prácticas agroecológicas conservan y mejoran los componentes de la fertilidad del suelo debido a que fortalecen los principios de la agroecología y permiten incrementar sensiblemente los rendimientos por hectárea (Dufumier, 2014). Según Khalajabadi (2008), el uso de abonos orgánicos en el cultivo de café ha demostrado tener efectos benéficos en la cosecha. De igual manera existe una relación entre las podas

de cafetos, árboles de sombra y deshierbe, con el rendimiento (figura 1), debido probablemente a que los restos vegetales al dejarse en el suelo, permiten aumentar la materia orgánica y el mantenimiento de cobertura, evitando la erosión, aumentando su actividad biológica y mejorando su estructura, que coincide con lo reportado por Machado, Nicholls, Márquez & Turbay (2015), estas prácticas agrícolas son ideales para el cultivo del café.

El porcentaje de uso de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades fue bajo, principalmente en el grupo de rendimiento alto y mayor cantidad de prácticas agroecológicas, debido posiblemente a que el café bajo sombra regula el microclima, proporcionando refugio y hábitat para enemigos naturales, que disminuyen la abundancia de insectos plaga en el café (Frank & Penrose, 2012; Meylan, Merot, Gary & Rapidel, 2013; Souza *et al.*, 2012). Avelino *et al.* (2007) exponen que el sistema de poda afecta directamente la incidencia de enfermedades, al modificar las condiciones de humedad, por lo que es ideal mantener una sombra ligera en la plantación. En el mismo sentido, Nicholls (2013) afirma que las estrategias agroecológicas permiten guiar el desarrollo agrícola sostenible, logrando a largo plazo conservar los recursos naturales, mantener niveles continuos de producción, aumentar la biodiversidad y disminuir el uso de insumos externos.

Respecto a la fertilidad del suelo, la integran sus atributos químicos, físicos y biológicos, los cuales se asocian con su capacidad para producir cosechas sanas y abundantes o sostener una vegetación natural en condiciones cercanas a las óptimas (Astier-Calderón, Maass-Moreno & Etchevers-Barra, 2002). La textura hallada en los suelos de Xolotla es apta para el cultivo de café (Singh & Khera, 2009). Igualmente se encontró que existen diferencias importantes con respecto al contenido de macro y micronutrientes en los suelos de los tres grupos comparados, por lo que estas influyen directamente en la producción (Castellanos, Uvalle-Bueno, & Aguilar-Santelises, 2000).

A nivel internacional las dosis empleadas de nitrógeno para el café oscilan entre 80 kg ha<sup>-1</sup> y 412 kg ha<sup>-1</sup> anual y dependen fundamentalmente del rendimiento obtenido (Pérez, Bustamante, Martín & Rivera, 2014). Este elemento es de vital importancia para lograr un crecimiento vigoroso de la planta así como un buen desarrollo y fructificación, ya que interviene en la formación de compuestos orgánicos como aminoácidos y proteínas. Forma parte del protoplasma celular y consecuentemente, participa en la formación de clorofila (Capa, 2015).

Se encontró que el valor de nitrógeno total en el suelo fue de 0.22% en el grupo de productores con rendimiento alto y mayores prácticas agroecológicas. Sin embargo, son valores considerados bajos en comparación con lo reportado por Larios *et al.* (2014) que encontraron valores mayores a 0.5% en sistemas con prácticas agroecológicas y de 0.35% en sistemas convencionales. No obstante, se observó una tendencia de contenidos más altos en los sistemas con mayores prácticas agroecológicas.

Los árboles *Inga* spp. empleados para sombra en Xolotla, igualmente contribuyen con el aporte de nitrógeno al fijarlo de la atmósfera a través de mecanismos naturales de simbiosis (Ojeda Oropesa, Castañeda, Eupierre & Chirino, 2007), aumentando la descomposición de la hojarasca y la MO (Youkhana & Idol, 2009), generando cambios en los componentes químicos del suelo y mejorando la fertilidad del mismo (Murray *et al.*, 2011).

Respecto al contenido de potasio fue mayor en el grupo con más prácticas agroecológicas y mayor rendimiento (tabla 2). Para el caso del fósforo el grupo de rendimiento medio obtuvo los valores más altos; no obstante, para K y P los valores fueron bajos conforme a los requerimientos del cultivo coincidiendo con Galindo-Barrera (2013), quien reportó que casi la totalidad de los suelos pertenecientes al departamento de

Santander en Colombia, tienen niveles bajos de potasio, menores a  $0.4 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$  y 71.3% de muestras analizadas tuvieron niveles bajos de P para el cultivo de café.

La situación es similar para los valores de Ca y Mg son más altos para los grupos con prácticas agroecológicas, sin embargo, se consideran bajos en general. Los bajos contenidos encontrados se ven influenciados por el alto régimen de lluvias en la zona (Jaramillo, 2002). Los resultados muestran que la aplicación de abonos orgánicos, así como el deshierbe tienen una correlación negativa con las concentraciones de Mg, lo que indica que los residuos incorporados no suplen las deficiencias de dicho nutriente por lo que es necesario hacer adecuaciones de esa estrategia.

Posiblemente los valores más altos de MO, CIC, pH y CE (tabla 3) se debe a que en el manejo del café las prácticas agroecológicas favorecen el reciclaje de nutrientes, economizan agua, ayudan a mantener el suelo agregado, impiden su movimiento y aumentan su porosidad, favoreciendo la infiltración y absorción de agua y disminuyendo la escorrentía, lo que minimiza las pérdidas de suelo (Farfán, 2010).

En los sistemas con mayor contenido de MO, esta influye proporcionalmente en los componentes de la fertilidad física, química y biológica del suelo, de acuerdo a las cantidades presentes en él (Ferrerías *et al.*, 2007). Así mismo, Reyes & Valery (2007) afirman que el factor suelo está asociado al mantenimiento del contenido de materia orgánica; sin embargo, los valores de MO son bajos comparado con los reportados por Noriega *et al.* (2014) encontrando un promedio de materia orgánica en suelos cafetaleros de 5.14%.

El valor de pH obtenido cercano a la neutralidad concuerda con lo reportado por Larios *et al.* (2014), que reportan valores en pH de 6.05 y 5.76 en parcelas con prácticas agroecológicas. Ante esto Lozano *et al.* (2010) mencionan que la MO a niveles satisfactorios, favorece el reciclaje de nutrientes, permitiendo una reducción de la acidez del suelo. Esta condición coincide con Reyes & Valery (2007), quienes reportan que las aportaciones adicionales de abonos orgánicos, más la incorporación de la biomasa de las especies vegetales, mediante la poda, incrementan los valores de pH.

En cuanto a la CIC, Gliessman (2002) y Amberger (2006) plantean que mientras el suelo presente capacidad de retener cationes promoverá una nutrición adecuada de los cultivos, siendo un factor importante en la fertilidad del suelo. Las prácticas agroecológicas que se realizan para el manejo del suelo en los cafetales sugieren que aumenta la regulación del pH, mayor CIC, incremento de la MO y de los niveles de nutrimentos, como lo reportan Comese *et al.* (2009). También Cupull, Delgado, Cupull & Andréu (2007) señalan que las prácticas agroecológicas contribuyen al aumento del sustrato orgánico del suelo y, por tanto, al aumento de la humedad debido a la mayor disponibilidad de agua que implican los niveles altos de materia de orgánica en estos sistemas, lo cual favorece las poblaciones de bacterias en el suelo.

Para el caso estudiado, la mayor cantidad de bacterias halladas corresponde a suelos del grupo de rendimiento alto y mayores prácticas agroecológicas (figura 2). Lo anterior confirma el alto nivel de abundancia de bacterias en los suelos pertenecientes a sistemas agroforestales de café. Esto se debe a que las parcelas con rendimiento alto y mayores prácticas agroecológicas presentan mayores valores de MO, pH, CE y CIC, lo cual se ha visto que está relacionado con los microorganismos del suelo y que a su vez favorecen su fertilidad (Hernández-Flores, Munive-Hernández, Sandoval-Castro, Martínez-Carrera & Villegas-Hernández, 2013).

Labrador (2001) menciona que otro beneficio del manejo agroecológico del suelo es proveer de energía a los organismos edáficos, aumentando su actividad y diversidad, lo cual contribuye al mantenimiento de la fertilidad física, química y biológica del mismo (Comese *et al.*, 2009). Los rangos de poblaciones bacterianas en el suelo reportados por Sylvia, Hartel, Fuhrmann & Zuberer (2005) oscilan entre

$1E^6$  UFC y  $1E^8$  de UFC por gramo de suelo. Larios *et al.* (2014) reportaron valores de  $26.6E^6$  y  $18E^6$  en suelos de café en Nicaragua, con prácticas agroecológicas y de  $11.9E^6$  en suelos con prácticas convencionales. Los microorganismos son responsables de la descomposición de materia orgánica, formación del humus y de la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Mudgal *et al.*, 2010).

El control químico referente al uso de plaguicidas y herbicidas presentó una correlación negativa con K y Ca, así como con los valores de pH, CIC, CE y UFC. Los agroquímicos causan un impacto ambiental negativo en el ecosistema, ya que intervienen directamente en la reducción de la microfauna y presentan incidencia en la disminución de los procesos de nitrificación y descomposición de la celulosa, debido a que interrumpen la función de los hongos, bacterias y microartrópodos, generando un deterioro en la fertilidad del suelo (Moreno, 2016; Quinchía, Gómez, Palencia & Giraldo, 2006).

## Conclusiones

El sistema agroforestal café manejado por los productores de Xolotla, Puebla, combina prácticas agroecológicas con prácticas propuestas por la agricultura industrial. En su mayoría (71%) son prácticas agroecológicas, relacionadas con los mejores rendimientos que oscilan entre  $0.5 \text{ t ha}^{-1}$  y  $4.5 \text{ t ha}^{-1}$ , la mayor presencia de nitrógeno, potasio y calcio en el suelo, así como una alta absorbancia en el suelo, con valores de entre 0.3 y 0.5; que equivale a una cantidad de  $1E^8$  UFC a  $3E^8$  UFC de bacterias por gramo de suelo. Además, en parcelas donde se usaron insecticidas y herbicidas mostraron un efecto negativo en potasio y calcio, así como en pH, CIC, CE, y UFC. La práctica de manejo con mayor efectividad en los parámetros evaluados es la de incorporación de abonos orgánicos. Lo anterior muestra que las prácticas agroecológicas tienen un efecto positivo sobre la producción y la calidad del suelo, mientras las prácticas agroindustriales causan efectos negativos en el sistema agroforestal café. Se recomienda fortalecer el uso de prácticas agroecológicas para fortalecer los procesos ecológicos del agroecosistema.

## Referencias

- Acosta Márquez, E. (2014). Cuando el maíz es Itekontlakuali: el "dueño de la comida". Un acercamiento a la economía ritual de los nahuas de Pahuatlán, Puebla. *Cuicuilco*, 21(60), 223-238.
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología, Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Montevideo. Uruguay: Nordan-Comunidad
- Altieri, M. A. (2013). Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. En: C. I Nicholls, L. A. Ríos, & M. A. Altieri (Eds.). *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. (pp. 94-104). Medellín, Colombia: .
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. (2000). *Agroecología: Teoría y Práctica para una Agricultura Sustentable*. México, D.F: Serie: Textos Básicos para la Formación Ambiental, número 4. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Alvarado Méndez, C., Juárez Tlamani, H., & Ramírez Valverde, B. (2006). La comercialización de café en una comunidad indígena: estudio en Huehuetla, Puebla. *Ra Ximhai*, 2(2), 293-318.
- Amberger, A. (2006). *Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, International Potash Institute.
- Aragón, G. C. (2006). Cafeticultura, inequidad y pobreza. En: V. B. Ramírez, S. J. P. Juárez & V. A. Cesín (Coords.). *Productores Indígenas de Café de la Sierra Nororiente de Puebla. Problemas y Alternativas*. (pp. 13-32). México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Colegio de Postgraduados.
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.

- Avelino, J., Cabut, S., Barboza, B., Barquero, M., Alfaro, R., Esquivel, C., Durand, J. F., & Cilas, C. (2007). Topography and crop management are key factors for the development of American leaf spot epidemics on coffee in Costa Rica. *Phytopathology*, 97(12), 532-154. doi: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1532>
- Basurto, F. (1982). *Huertos familiares en dos comunidades nahuas de la Sierra Norte de Puebla: Yancuictlalpan y Cuauhtapanaloyan*. (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F, México.
- Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, C., Escobedo-Garrido, C., & Mora-Flores, S. (2015) Caracterización de la producción y del comercio de café en el municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 12(2), 181-198.
- Bhardwaj, A. K., Jasrotia, P., Hamilton, S. K., & Robertson, G. P. (2011). Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(3-4), 419-429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.005>
- Capa Mora, E. D. (2015). *Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes fases fenológicas del cultivo de café (Coffea arabica L.)*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, España.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Celaya, Guanajuato, México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Colección INCAPA.
- Comese, R. V., González, M. G., & Conti, M. E. (2009). Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de Beta vulgaris var. Cicla (I) por el uso de enmiendas orgánicas. *Ciencia del suelo*, 27(2), 271-275.
- Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (Conabio). (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México D.F: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cupull Santana, R., Delgado Pérez, Y., Cupull Santana, M., & Andréu Rodríguez, C. (2003). Efecto de dos biopreparados y micorriza en la estimulación de la germinación, el control de *Rhizoctonia solani* y el desarrollo de posturas de *Coffea arabica* L. *Centro agrícola*, 30(2), 9-13.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (31 de diciembre de 2002). NOM-021-SEMARNAT: Norma Oficial Mexicana que establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Díaz, C. (2011). *Adherencia y colonización de Pseudomonas fluorescens sobre sustratos sólidos: Influencia de la topografía y composición química de la superficie*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Química. Buenos Aires, Argentina.
- Dufumier, M. (2014). *Agriculturas familiares, fertilidad de los suelos y sostenibilidad de los agroecosistemas*. En: F. F. Hidalgo, F. Houtart, & A. P. Lizárraga (Eds.). *Agriculturas campesinas en Latinoamérica: propuestas y desafíos*. Quito, Ecuador: Editorial IAEN.
- Farfán Valencia, F. (2010). *Café orgánico al sol y bajo sombrío. Una doble posibilidad para la zona cafetera de Colombia*. Centro de investigaciones de Café. *Avances Técnicos ceni café*, (399), 2-8.
- Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., & García, F. (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 25(2), 159-172.
- Flores Vichi, F. (2015). *La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas*. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 6(7), 175-194. doi: <http://dx.doi.org/10.31644/IMASD.7.2015.a07>
- Frank, J., & Buckley C. P (2012). *Small-scale farmers and climate change. How can farmer organisations and Fairtrade build the adaptive capacity of small holders?* London, United Kingdom: International Institute for Environment and Development.
- Galindo-Barrera, H. G. (2013). Definición de las tendencias de fertilidad en suelos cafeteros de Charalá, Coromoro y Ocamonte (Santander). *Ciencia y Agricultura*, 10(2), 67-72.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

- Garrigues, E., Corson, M. S., Angers, D. A., Van der Werf, H. M., & Walter, C. (2012). Soil quality in Life Cycle Assessment: towards development of an indicator. *Ecological Indicators*, 18, 434-442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.014>
- Gile, K., Johnston, L., & Salganik, M. J. (2015). Diagnostics for respondent-driven sampling. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 118(178), 241-269. doi: <https://doi.org/10.1111/rssa.12059>
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Havlin, J., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D (2005). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. United States of America: Pearson.
- Hernández-Flores, L., Munive-Hernández, J. A., Sandoval-Castro, E., Martínez-Carrera, D., & Villegas-Hernández, M. C. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 353-365.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Recuperado el 13 de enero del 2016 de <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=zap&ent=21&mun=109>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Encuesta Intercensal* Recuperado el 23 de marzo del 2016 de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/analfabeta.aspx?tema=P>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Rice, R. A., Méndez, V. E., & Laderach, P. (2011). A review of ecosystem services, farmer livelihoods, and value chains in shade coffee agroecosystems. En: B.W. Campbell, & S. Lopez-Ortiz (Eds.). *Integrating Agriculture, Conservation, and Ecotourism: Examples from the Field*. (pp. 141-208). New York, United States of America: Springer Academic Publishers.
- Jurjonas, M., Crossman, K., Solomon, J., & Lopez-Baez, W. (2016). Potential Links Between Certified Organic Coffee and Deforestation in a Protected Area in Chiapas, Mexico. *World Development*, 78, 13-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.030>
- Khalajabadi, S. S. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Chinchiná, Colombia: Cenicafé. Boletín Técnico N° 32.
- Labrador, M. J., Guiberteau Cabanillas, A., López Benitez, L., & Reyes Pablos, J. L (2001). *La Materia orgánica en los agrosistemas. Manejo y Utilización* Madrid. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones.
- Lammel, D. R., Azevedo, L. C., Paula, A. M., Armas, R. D., Baretta, D., & Cardoso, E. J. B. N. (2015). Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), 894-905. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.02414>
- Larios-González, R. C., Salmerón-Miranda, F., & García-Centero, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *La Calera*, 14(23), 67-75. doi: <https://doi.org/10.5377/calera.v14i23.2660>
- Lozano, P. Z., Hernández, R. M., Bravo, C., Ojeda, A., Mogollón, A., Torres, A., Rivero, C., & Toro, M. (2010). Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro*, 22(2), 135-144.
- Machado Vargas, M. M., Nicholls, C. I., Márquez, S. M., & Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Idesia*, 33(1), 69-83. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000100008>
- Mantecón, A., Juan M., Calafat, A., Becoña, E., & Román, E. (2008). Respondent-Driven Sampling: un nuevo método de muestreo para el estudio de poblaciones visibles y ocultas. *Adicciones*, 20(2), 161-169. doi: <https://doi.org/10.20882/adicciones.280>
- Martínez, M. A., Evangelista, V., Basurto, F., Mendoza, M., & Cruz-Rivas, A. (2007). Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 15-40.
- Mason, R. H., Hernández, O. V., Gallina, S., & Mehlreter, K. (Eds.). (2008). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Distrito Federal, México: Instituto de Ecología A.C. e Instituto Nacional de Ecología.

- Mercer, D. E. (2004). Adoption of Agroforestry Innovations in the Tropics: A Review. *Agroforestry Systems*, 61(1-3), 311-328.
- Meylan, L., Merot, A., Gary, C., & Rapidel, B. (2013). Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agricultural Systems*, 118, 52-64. 71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.002>
- Moreno Sarmiento, N. (2016). La agricultura sostenible un reto para la microbiología del suelo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 5-6.
- Mudgal, S., Turbé, A., DeToni, A., Lavelle, P., Benito, P., Ruiz, N., & Van der Putten, W. H. (2010). *Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers*. París, Francia: Bio Intelligence Service, Institut de Recherche Pour le Développement, NIOO. Report for European Commission DG Environment.
- Murray Nuñez, R., Bojórquez Serrano, J., Hernández Jimenez, A., Orozco Benitez, M. G., García Paredes, J. D., Gómez Aguilar, R., Ontiveros Guerra, H. M., & Aguirre Ortega, J. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de nayarit, méxico. *Revista Bio Ciencias*, 1(3), 27-35. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.01.03.04>
- Nicholls, C. I. (2013). Enfoque agroecológico para incrementar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. En: E. C. I. Nicholls., O. L. A. Ríos., & M. A. Altieri, (Eds.), *Agroecología y resiliencia socioecológicas: adaptándose al cambio climático*. Medellín, Colombia: REDAGRE, CYTED, SOCLA.
- Noriega Altamirano, G., Cárcamo Rico, B., Gómez Cruz, M. A., Schwentesius Rindermann, R., Cruz Hernández, S., Leyva Baeza, J., García de la Rosa, E., López Reyes, U. I., & Martínez Hernández, A. (2014). Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1), 163-169.
- Ojeda Quintana, L., Oropesa, A. D., Castañeda, I., Eupierre, H., & Chirino, V., (2007). *Geomorfología, propiedades físicas y principales componentes de la fertilidad del suelo en un bosque semideciduoso filófilo natural y en zonas de colecciones de plantas del Jardín Botánico de Cienfuegos*. Centro Agrícola, 34(3), 21-27.
- Pérez Díaz, A., Bustamante González, C., Martín Alonso, G., & Rivera Espinosa, R. (2014). Efecto de la fertilización nitrogenada en el café conilon sobre el rendimiento y algunos indicadores de calidad de suelos cambisoles de cuba. *Holos Environment*, 14(1), 49-61. doi: <https://doi.org/10.14295/holos.v14i1.8043>
- Quinchía, A. M., Gómez, F. A., Palencia Penagos, K., & Giraldo Lopera, C. (2006). Evaluación de la resistencia de un aislado bacteriano nativo compatible con *pseudomona* sp. al insecticida lorsban 4 ec. *Revista EIA*, (5), 101-108. doi: <https://doi.org/10.24050/reia.v3i5.151>
- RamírezValverde, B., & González Romo, A. (2006). La migración como respuesta de los campesinos ante la crisis del café: estudio en tres municipios del Estado de Puebla. *Ra Ximhai*, 2(2), 319-341.
- Ramírez, H., Jaramillo, A., & Peña, J. (2013). Gestión del riesgo agroclimático: vulnerabilidad y capacidad de adaptación del sistema de producción de café. En: F. Gast., P. Benavides, J. R. Sanz, J. C. Herrera, V. H. Ramírez, M. A. Cristancho, & S. M. Márin (Eds.). *Manual del cafetero colombiano Investigación Tecnología para la sostenibilidad en la de la caficultura, Tomo I*. (pp. 91-114) Bogotá, Colombia: Ed. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Legis.
- Reyes, I., & Valery, A. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (*Zea mays* l.) Con *Azotobacter* spp. *Bioagro*, 19(3), 117-126.
- Rivadeneira Pasquel, J. I., & Ramírez Valverde, B. (2006). El comercio local del café a raíz de su crisis en la Sierra Norte de Puebla. *Revista Mexicana de Agronegocios*, X (18), 1-15-
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu). (2013). Atlas de riesgos naturales del Municipio de Pahuatlan, Puebla. Recuperado el 6 de junio del 2016 de [http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/2014/RO\\_PDZP2014\\_DOF.pdf](http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/2014/RO_PDZP2014_DOF.pdf)
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). (2014). *Reglas de Operación del Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias para el ejercicio fiscal 2014*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28/12/2013. Recuperado el 4 de junio del 2016. [http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/2014/RO\\_PDZP2014\\_DOF.pdf](http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/2014/RO_PDZP2014_DOF.pdf)
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). (2014). *Reglas de Operación del Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias para el ejercicio fiscal 2014*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28/12/2013. Recuperado el 4 de junio del 2016 de [http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/2014/RO\\_PDZP2014\\_DOF.pdf](http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/2014/RO_PDZP2014_DOF.pdf)

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). Recuperado el 3 de octubre 2016 de [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/ientidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp)
- Singh, M., & Khera, K. L. (2009). Physical Indicators of Soil Quality in Relation to Soil Erodibility Under Different Land Uses. *Arid Land Research and Management*, 23(2), 152-167. doi: <https://doi.org/10.1080/15324980902817147>
- Souza, H. N., de Goede, R. G., Brussaard, L., Cardoso, I. M., Duarte, E. M., Fernandes, R. B., Gomes, L. C., & Pulleman, L. L. (2012). Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146(1), 179-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>
- Sylvia, D. M., Hartel, P. G., Fuhrmann, J. J., & Zuberer, D. A. (2005). *Principle and applications of soil microbiology*. New Jersey, United States of America: Ed. Pearson Prentice Hall. .
- Temis-Pérez, A. L., López-Malo, A., & Sosa-Morales, M. E. (2011). Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5(2), 54-74.
- Weil, R. L., & Brady, N. C. (1990). *The nature and properties of soils*. New York, United States of America: Maxwell McMillan International Publishing Company.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and practice. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29, 503-515. doi: <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>
- Youkhana, A., & Idol, T. (2009). Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Soil Biology y Biochemistry*, 41(12), 2527-2534. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.011>