

La etnoedafología como instrumento para la caracterización de agroecosistemas a nivel local, el caso de un ejido cafetalero del centro de Veracruz

Ethnopedology as a Tool for the Characterization of Agroecosystems at the Local Level: The Case of a Coffee Ejido in Central Veracruz

Geovanni Fidel Aguilar-Orea,* Octavio Ruiz Rosado,** Carlos Alberto Ortiz Solorio*** y Liliana Armida Alcudia****

Recibido: 31/01/2019. Aprobado: 31/05/2019. Publicado en línea (e-print): 24/07/2019.

Resumen. En la actualidad se necesita contar con instrumentos que consideren el conocimiento local para la caracterización de agroecosistemas (AES). Ante tal contexto, la clasificación campesina de tierras de Ortiz-Solorio, Pájaro y Ordaz (1991), como parte de la disciplina etnoedafológica, complementa el conocimiento local con el conocimiento técnico. Esta combinación suministra información detallada para la cartografía, clasificación, descripción de uso, manejo y aprovechamiento no solo de tierras sino de los componentes de cualquier AES. A partir de esto, se pueden obtener insumos para describir a nivel de ejido y de finca la estructura de AES con información actualizada y de primera mano. Se aplicó este método en el ejido Mafafas, ubicado en el municipio de Tepetlán, Veracruz, que presenta problemas de disminución de la productividad de café. Se realizó una clasificación campesina de tierras y también se empleó el método etnoedafológico para recopilar información y caracterizar la estructura de agroecosistemas cafetaleros. Se

obtuvo un mapa a escala 1:10 000 y en total se representan ocho clases de tierra con cuatro tipos predominantes de uso del suelo. Además, se analizaron once fincas que mostraron distintas estructuras, aunque muestran patrones en común. Se mostrará una alternativa para caracterizar AES con un método sistémico que se vale del conocimiento local y que resulta de fácil aplicación. Los resultados obtenidos de este procedimiento respaldan la idea de que todos los ejidos requieren un estudio con este enfoque, que sirva como base para la planeación local y el desarrollo del campo mexicano.

Palabras clave: conocimiento local, agroecosistemas, cafetales, etnoedafología, cartografía de suelos.

Abstract. Through time and across space, the growth of human populations has produced profound and irreversible

* Estudiante de posgrado. Programa de Postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates. C.P. 91690, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2893-2443>. Email: aguilar.geovanni@colpos.mx

** Profesor Investigador Titular. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Posgrado en Agroecosistemas Tropicales. Km. 88.5 Carretera Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates. C.P. 91690. Veracruz, México. Email: octavior@colpos.mx (autor de correspondencia)

*** Profesor Investigador Titular, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Posgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados - campus Montecillo. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco C.P. 56230, Montecillo, Texcoco Estado de México, México. Email: ortiz@colpos.mx

**** Cátedras CONACYT. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Posgrado en Agroecosistemas Tropicales. Km. 88.5 Carretera Xalapa - Veracruz, Predio Tepetates. C.P. 91690. Veracruz, México. Email: alcudial@colpos.mx

marks on natural landscapes. The consequences of human activities include deforestation and pollution, which show an ever-increasing intensity and expansion. In addition, conventional farming systems are amongst the major causes of the degradation of natural resources.

The characterization of these resources at the local level is fundamental in Mexico in order to optimize the sustainable use of agroecosystems (AES), which provide food while preserving biodiversity and ecological processes. Some of the most important AESs in tropical areas are agro-silvo-pastoral systems, cornfields interspersed with fruit trees and shade coffee plantations.

Sustainability can only be achieved with planning as an essential element, and the latter requires the characterization of the territory and its formation processes since it is there where productive activities take place. In particular, soil is a natural component with extremely slow development and is considered a non-renewable natural resource, as it can be degraded and removed over a short time. Therefore, the geographic distribution and genesis of soil should be investigated to achieve efficient uses and conservation.

In addition, there is a methodological gap within the topic of AES that restrains an in-depth characterization of these productive systems; hence, it is necessary to consider methodological approaches that have been developed in the past. In this context, the peasant classification of land developed by Ortiz *et al.* (1991) as part of ethnopedology, complements the local knowledge of farmers with the technical expertise of scientists. This combination provides detailed information for mapping, classification, description of use, management, and exploitation of land and the components of any AES. From this, data can be obtained to describe the structure of AES at the "ejido" and farm levels with updated and first-hand information.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas incluyen a los organismos vivos y el ambiente físico en un solo sistema natural y abierto (Tansley, 1935). En cambio, los agroecosistemas (AES) se diferencian de aquellos porque incluyen un factor social, que a partir de decisiones controla los flujos de materia y energía (Conway, 1987). Ruiz-Rosado (1995) considera a los AES como unidades agrícolas donde interactúan factores ecológicos, económicos, sociales y tecnológicos que promueven ciertos niveles de sustentabilidad, y su comprensión solo ocurre cuando se estudian globalmente (Altieri, 1995; Gliessman, 1990).

Los AES cafetaleros pueden lograr ciertos niveles de autosuficiencia ya que tienden a coexistir con una parte del ecosistema natural (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982). El cultivo de café es im-

The above arguments underline the need to characterize the land and structure of coffee AES of the Mafafas ejido, seeking to identify constraints and potentials to formulate sustainable local planning options. This approach was applied in the ejido of Mafafas, located in the municipality of Tepetlan, Veracruz. This ejido shows a significant decrease in coffee productivity as a result of the increasing frequency of pests in addition to other socioeconomic causes.

It is considered that the local knowledge of producers provided comprehensive information of AESs. This can be complemented with scientific knowledge to yield information for the integral characterization of coffee AES at the local level; this is applicable for decision-making, contribute to building communication bridges between both types of knowledge, and is useful to formulate strategies for improved management of local natural resources.

A map at 1:10 000 scale was constructed that depicts eight land classes where the predominant pedogenetic processes include the accumulation of clays, melanization, and colluviation; four land uses were identified in these classes. Also, the analysis of 11 farms showed various components and structures, but share common patterns. These overview of the characteristics of soils and the coffee plantations in the Mafafas ejido will set the basis to formulate proposals for improving agricultural productivity in the locality.

This study illustrates a feasible alternative to characterize AESs through a systemic and transdisciplinary method that uses local knowledge and it is easy to apply; the results from this procedure support the idea that all ejidos require a study with this approach, to support local planning and development in the Mexican countryside.

Keywords: Local knowledge, agroecosystems, coffee plantations, ethnopedology, soil mapping.

portante en países megadiversos como Colombia, Brasil y México (Mittermeier, Myers, Thomsen y Olivieri, 1998). Moguel y Toledo (1996) mencionan que las principales áreas cafetaleras coinciden con áreas prioritarias para la conservación. Sin embargo, en México los AES cafetaleros se enfrentan a la caída de la producción ocasionada por la roya *Hemileia vastatrix* (Escamilla y Landeros-Sánchez, 2016).

Cada país cuenta con su propio acervo de recursos naturales, los que, a su vez determinan su economía. Por lo tanto, se tiene que partir del conocimiento detallado de dichos recursos para tomar decisiones precisas (Christian y Stewart, 1968). Tradicionalmente se emplea el levantamiento de suelos, para la caracterización, clasificación y mapeo de dicho recurso, y esto ayuda a ordenar el conocimiento sistemáticamente (Brady y Weil, 1999).

Por otra parte, de acuerdo con Barrera-Bassols y Zinck (2002), el enfoque etnoedafológico integra el conocimiento de los campesinos y el conocimiento técnico por medio de disciplinas como la geografía, edafología, agronomía, agroecología, antropología social y etnoecología para la clasificación, cartografía y manejo de tierras. Como parte de este enfoque, Ortiz-Solorio *et al.* (1991) realizan primero una clasificación campesina de tierras con los productos de la zona y, posteriormente, la complementan con una clasificación taxonómica (Soil Survey Staff, 2014; IUSS Working Group WRB, 2014).

La clasificación campesina de tierras propuesta, por Williams y Ortiz-Solorio (1981), es empleada como una técnica que forma un puente de comunicación entre dos formas de pensamiento (Ortiz-Solorio *et al.* 1991; Ortiz-Solorio, 1993), además posibilita un intercambio de conocimiento con otras regiones, es económica de implementar y sus mapas pueden tener mayor precisión en comparación con la cartografía derivada de un levantamiento convencional de suelos (Ortiz-Solorio *et al.*, 1991; González, Solorio y Gutiérrez-Castorena, 2000; Pájaro, 2015).

Por otra parte, la clasificación de tierras y la caracterización de AES pueden servir como línea base para desarrollar un sistema de planeación local (Krasilnikov y Tabor, 2003) que impulse el desarrollo sustentable; entre ellos destacan: las evaluaciones agroecológicas (De la Rosa, 2008), el diseño de agroecosistemas (Lovell *et al.*, 2010) y los ordenamientos territoriales comunitarios (Barrera-Bassols, Del Campo y Hernández, 2012).

En las últimas décadas la revolución digital suministró herramientas, como los sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de posicionamiento global (GPS) (Miller y Schatzl, 2014), así como los modelos digitales de elevación (MDE) e imágenes de satélite que se encuentran disponibles en distintas resoluciones espaciales, espectrales y temporales (Ren, Liang y Sun, 2011). Debido a la evolución de estas herramientas, el conocimiento local de los agricultores llegó a ser subestimado, aunque Pájaro y Tello (2014) afirman que la mente de los agricultores posee un conocimiento categórico y espacial de sus recursos para ubicar con precisión los tipos de tierra, por

lo tanto, esto es útil para los técnicos, ya que se pueden construir mapas de suelos más cercanos a la realidad.

En nuestro país, los procesos de formación de los suelos y el conocimiento local son muy pocas veces tomados en cuenta, comúnmente se promueve la conservación, restauración, aprovechamiento y transferencia de tecnologías en agroecosistemas, sin considerar ambos elementos, debido a una falta de métodos que permitan la caracterización integral de los AES a nivel local.

De los argumentos anteriores surge la necesidad de caracterizar las tierras y la estructura de los AES cafetaleros del ejido de Mafafas, con el fin de identificar limitantes y potencialidades que ayuden en la formulación de ejercicios de planeación local sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Mafafas, un ejido cafetalero del municipio de Tepetlán, ubicado en el centro del estado de Veracruz (Figura 1). El núcleo poblacional se encuentra en la coordenada central 19.65° de latitud este y de -96.75° de longitud oeste, a una altitud entre 1300 y 1500 m s.n.m. El basamento geológico está constituido predominantemente por depósitos de origen volcánico, de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (2002), y consiste en brecha volcánica dacítica y toba andesítica. Según INEGI, el clima es semicálido húmedo con temperatura media anual entre 18° C y 22° C, con una precipitación anual entre 2000 y 3000 mm.

Este ejido pertenece a la cuenca del río Jamapa y a la región hidrológica del Papaloapan. Los suelos más comunes se clasifican como Andosol, Phaeozem y Vertisol (SERIE II, INEGI 2006). Las especies vegetales identificadas en el ejido Mafafas son: *Quercus spp.*, *Heliocarpus spp.*, *Diospyros digyna*, *Ficus cotinifolia*, *Cupressus lusitánica*, *Inga vera*, *Croton draco*, *Eysenhardtia polystachya*, *Platanus mexicana*, *Clethra mexicana*, *Acacia farnesiana*, *Pinus patula*, *Erythrina americana*, *Oreopanax spp.*, *Anona spp.*, y *Yucca spp.*, de acuerdo con información propia.

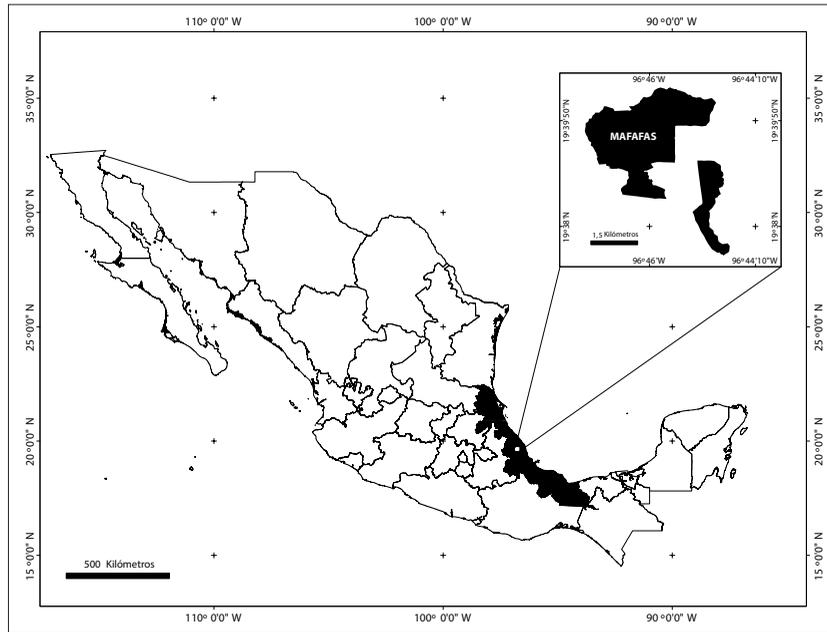


Figura 1. Localización del área de estudio.

Primero se realizó una clasificación campesina de tierras con base en la metodología de Ortiz-Solorio *et al.* (1991), que comienza con un análisis del relieve para delimitar unidades de fotointerpretación (UFI), cuya característica principal es la homogeneidad de textura y formas del terreno. Para delimitar estas UFI, y el posterior mapa de tierras, se realizó un modelo de sombreado con una resolución espacial de 10 m, que se derivó de una nube de puntos LIDAR (INEGI, 2013).

Las UFI ayudaron a identificar unidades homogéneas, las cuales, posteriormente, fueron

recorridas a pie con los informantes, elegidos por haber representado al ejido con algún cargo. En este caso se seleccionaron cuatro informantes para realizar los recorridos: el Sr. Israel Armenta, el Sr. Cruz Estrada, la Sra. Carmen Salazar y el Sr. José Salazar (Figura 2).

Los recorridos se alternaron por las veredas y a través de las fincas, y se asistieron con un sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin Etrex20° (Figura 3, derecha) y una cámara Garmin Virb Elite® que proporciona fotografías con georreferencia (Figura 3, izquierda).



Figura 2. Informantes clave. De izquierda a derecha: Sr. Israel Armenta, Sr. Cruz Estrada, Sra. Carmen Salazar y Sr. José Salazar.

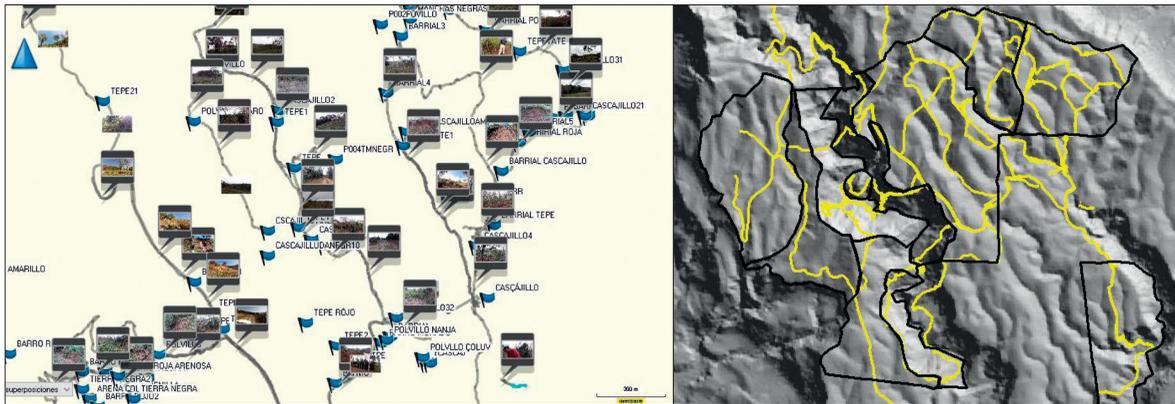


Figura 3. Recorridos fotografiados y georreferenciados con los informantes clave.

A partir de los recorridos, se procedió con la construcción del mapa de tierras, cuya nomenclatura se basó en lo aportado por los informantes. Este mapa se construyó en el sistema de información geográfica (SIG) ArcMap 10.2 ESRI®. Además, las fotografías con georreferencia sirvieron como puntos de control para realizar una clasificación supervisada a la imagen óptica Sentinel 2, con fecha 10-01-2018; con esto se obtuvo el uso del suelo y la cobertura vegetal del ejido (Figura 4).

Después de identificar y espacializar las clases representativas de tierra y su uso, se procedió a la descripción morfológica y muestreo en cada clase de tierra, con base en los manuales para la descripción de perfiles de suelo en campo (Cuñano, 1975; Schoeneberger, Wysocki, Benham y Broderson, 2002).

En la siguiente fase se realizaron los análisis de las propiedades físicas y químicas de las muestras secas al aire; para ello se tomó como base en el manual para la clasificación y correlación de suelos de Van Reeuwijk (1995). Las propiedades físicas consistieron en densidad aparente con el método del terrón parafinado, textura con el método de la pipeta, color en seco y en húmedo de acuerdo con la carta de colores de Munsell y mineralogía de arcillas por difracción de rayos X.

Por otro lado, las propiedades químicas fueron carbono orgánico (CO), con el método de Walkley y Black, pH 1:2 en agua, bases intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} (calcio, magnesio, sodio y potasio), las cuales se extrajeron con acetato de

amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$). De estos extractos, Na^{+} y K^{+} se midieron con un espectrofotómetro de emisión de flama (EEF) y, por otro lado, Ca^{2+} y Mg^{2+} se midieron con un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA); la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó con ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$), el fósforo (P) con el método de Olsen y el nitrógeno (N) con el método semi micro-Kjeldhal. Consecutivamente, se clasificaron las tierras taxonómicamente utilizando la base referencial del recurso suelo (IUSS Working Group WRB, 2014) y las claves para la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2014).

Para finalizar, se realizaron entrevistas semiestructuradas en once fincas. Los requisitos fueron que el productor debería ser propietario de al menos una finca y tener más de 35 años. Las entrevistas se detuvieron cuando las respuestas se volvieron repetitivas, y tenían que ver con el conocimiento local de las tierras, al manejo del cultivo de café, de la sombra, de las arvenses, plagas y a la estructura de la finca; así mismo, en esta etapa se evaluó el mapa de tierras con puntos tomados en campo al azar, y con ellos se calculó el porcentaje de precisión del mapa, que consta del nivel en que cada clase de tierra representada en el mapa coincide con la realidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó, se procedió a construir el mapa de tierras. Las unidades resultantes fueron

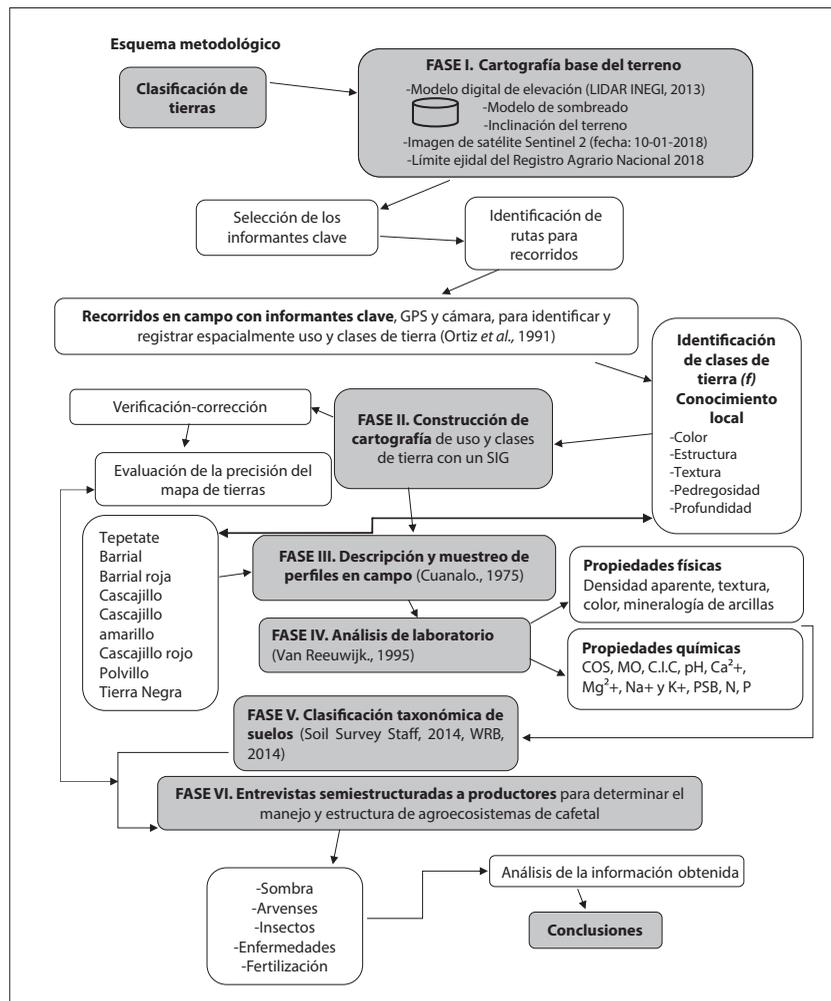


Figura 4. Esquema metodológico.

nombradas y descritas por los mismos informantes. Por otra parte, se realizó un mapa de cobertura vegetal y uso del suelo a partir de la clasificación supervisada de una imagen de satélite Sentinel 2.

La evaluación de la precisión del mapa de tierras consiste en determinar el número de aciertos y errores en el contenido de las unidades de mapeo. Para ello se hizo un muestreo durante las visitas a las fincas de los productores (independiente de los recorridos con los informantes clave de la primera etapa) y consistió en verificar si las unidades de tierra representadas en el mapa coinciden en el campo o no. Se considera que para una escala 1:10 000 se necesita realizar una observación por cada 3,5 hectáreas de mapa; la superficie total que se representa en el mapa de tierras es de 793 ha.

El resultado anterior consiste en el número máximo de sitios de muestreo, de los cuales se eligió el 15% al azar, por lo tanto, la cantidad mínima de observaciones necesarias para evaluar la precisión del mapa fue de 34 puntos. Las unidades de tierra representadas en el mapa (Figura 5) corresponden en un 91.17% a los puntos muestreados en campo, por lo tanto, se puede considerar como un mapa preciso (Figura 6).

Como se podrá observar, las identificación de tierras representativas se basó en características físicas, las cuales son reconocidas a simple vista por los informantes (Figura 7): estructura, textura, pedregosidad, profundidad y color. A partir de esto se identificaron las clases de tierra Cascajillo (a), Cascajillo rojo (b), Cascajillo amarillo (c),

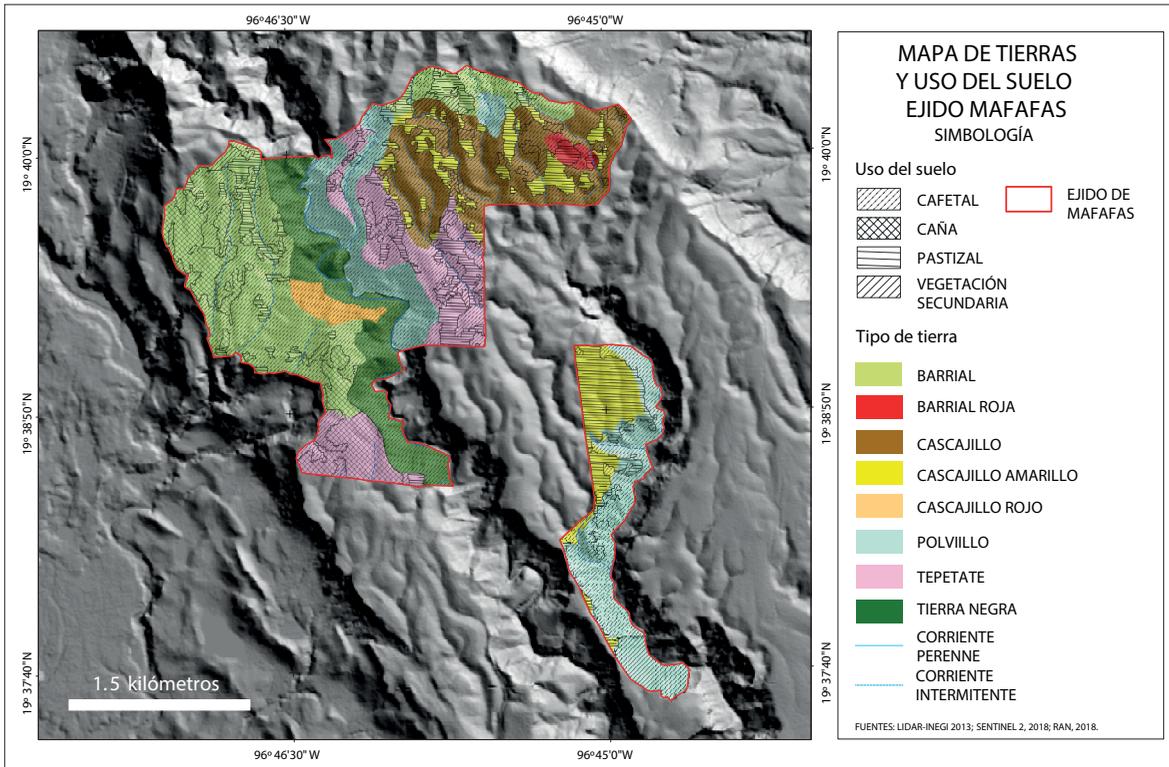


Figura 5. Mapa de tierras y uso del suelo y cobertura vegetal.

Barrial (d), Barrial roja (e), Polvillo (f), Tepetate (g) y Negra (h); todas pueden presentar variantes y también algunas combinaciones que son poco representativas. Cabe resaltar que todas las clases sirven para producir café y otros productos agrícolas; sin embargo, algunas necesitan más trabajo que otras.

Posteriormente, se realizaron perfiles edafológicos en cada clase identificada. En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resultados de las propiedades químicas y físicas, insumos necesarios para la clasificación taxonómica, que fueron determinadas en el laboratorio de génesis y clasificación de suelos del Colegio de Postgraduados.

Por otro lado, se caracterizaron once AES cafetaleros mediante entrevistas semiestructuradas a propietarios en las fincas. La información indica que se trata de pequeños productores de café de sombra, con un rango de edad amplio, que oscila entre 35 y 86 años; el tiempo que llevan produciendo café de sombra varía de ocho a 64 años. Ocho de



Figura 6. Puntos de muestreo para evaluación de la precisión del mapa.

Cuadro 1. Propiedades químicas: CO%, MO%, Na, Ca, Mg, CIC, P, N y SB.

Clase de tierra	Horizonte genético	Profundidad (cm)	CO%	MO%	pH H ₂ O	Na cmol kg ⁻¹	K cmol kg ⁻¹	Ca cmol kg ⁻¹	Mg cmol kg ⁻¹	Ca/Mg	CIC cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N%	SB%
Cascajillo	A	0-7	4.68	8.14	6.80	0.59	0.83	11.35	58.17	0.20	23.28	24.49	0.63	304.76
	ABt	7-35/38	1.64	2.85	6.70	0.54	0.44	6.38	32.04	0.20	19.98	7.29	0.29	197.19
	CBt	35-38/80	0.31	0.54	6.90	0.65	0.18	4.30	33.31	0.13	31.31	5.30	0.10	122.77
Barrial roja	A	0-19	2.18	3.80	6.90	0.43	0.73	6.97	33.44	0.21	20.19	3.98	0.28	205.94
	Bt1	19-40	1.25	2.17	6.70	0.74	0.59	7.62	34.86	0.22	25.54	4.64	0.17	171.52
	Bt2	40-57	0.62	1.09	6.90	1.20	0.17	6.94	35.33	0.20	37.08	15.23	0.09	117.70
	Bt3	57-120	0.78	1.36	7.40	1.76	0.08	9.04	67.12	0.13	45.11	35.74	0.03	172.89
	BtC	120-135	0.70	1.22	7.40	1.49	0.07	11.17	71.62	0.16	33.17	30.44	0.01	254.33
Barrial	A	0-10	8.58	14.93	6.70	0.61	0.89	14.03	70.64	0.20	48.82	71.47	0.87	176.49
	Bt1	10-25	1.87	3.26	7.10	0.56	0.60	6.26	62.14	0.10	21.63	11.92	0.31	321.63
	Bt2	25-44	2.03	3.53	6.80	0.56	0.46	4.15	33.69	0.12	26.37	9.93	0.23	147.40
	Bt3	44-67	0.62	1.09	6.50	0.70	0.30	2.56	28.64	0.09	40.17	33.09	0.13	80.15
	Bt4	67-100	0.62	1.09	6.50	0.70	0.12	0.97	22.74	0.04	54.18	40.37	0.04	45.27
Cascajillo amarillo	Bt5	100-140	0.31	0.54	6.70	0.72	0.07	0.72	33.98	0.02	55.62	21.84	0.01	63.81
	A	0-9	2.42	4.21	7.00	0.65	0.83	13.00	35.82	0.36	34.20	37.72	0.61	147.11
	Bt1	9-30	1.33	2.31	6.60	0.45	0.27	6.40	28.13	0.23	36.05	3.98	0.25	97.81
	Bt2	30-51	1.09	1.90	6.70	0.63	0.20	7.40	28.00	0.26	30.08	9.27	0.24	120.45
	Bt3	51-78	0.78	1.36	7.00	0.50	0.12	6.65	30.60	0.22	52.94	3.32	0.16	71.52
Tierra negra	CBt	78-110	0.62	1.09	6.80	0.63	0.10	5.07	33.11	0.15	41.20	2.65	0.08	94.43
	A	0-14/24	3.90	6.79	6.50	0.67	0.63	15.33	36.20	0.42	30.28	19.20	0.45	174.47
	ABw	14/24-37/59	1.95	3.39	7.20	0.50	0.24	17.83	36.37	0.49	29.05	71.47	0.34	189.12
Polvillo	C	37/59-95	1.48	2.58	6.90	0.48	0.18	10.60	30.16	0.35	17.92	49.63	0.19	231.12
	A	0-15	8.27	14.39	7.40	0.56	1.72	28.26	71.66	0.39	40.79	79.41	1.07	250.57
Cascajillo rojo	CB	15-27	3.43	5.97	7.10	0.70	0.83	22.10	66.46	0.33	35.64	51.62	0.26	252.79
	A	0-11	4.99	8.69	7.00	0.50	0.56	14.10	62.46	0.23	39.55	25.81	0.76	196.25
	Bt1	11-41	0.31	0.54	7.40	0.70	0.12	10.90	64.46	0.17	30.28	15.89	0.17	251.58
Tépetate	Bt2	41-77	1.01	1.76	7.00	1.18	0.17	17.73	69.82	0.25	39.55	2.65	0.15	224.77
	BtC	77-110	0.86	1.49	7.50	1.27	0.24	17.00	68.40	0.25	33.58	11.26	0.09	258.80
	A	0-19	3.59	6.24	6.10	0.59	1.34	6.86	59.74	0.11	44.50	7.95	0.66	154.01
Tépetate	ABt	19-29/36	1.56	2.71	6.50	0.98	0.55	3.96	33.31	0.12	23.69	2.65	0.20	163.84
	Crt	29/36-55	1.09	1.90	6.60	0.83	0.10	2.10	30.62	0.07	23.90	0.44	0.04	140.77

Cuadro 2. Propiedades físicas: arena, limo, arcilla.

Clase de tierra	Horizonte genético	Densidad aparente gr cm ⁻³	Rango de pedregosidad %	A%	L%	R%	Clase textural	Mineralogía
Cascajillo	A	1.49	0	27.1	42.2	30.7	Franco arcilloso	Esmectítica, mezclada con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.
	ABr	1.58	20-50	24.9	38.1	37.0	Franco arcilloso	
	CBr	1.44	50-75	20.0	47.7	32.3	Franco limo-arcilloso	
Barrial roja	A	1.61	1	36.4	45.0	18.5	Franco	Esmectítica, mezclada con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.
	Bt1	1.50	1	16.6	35.1	48.3	Arcilloso	
	Bt2	1.42	1-5	14.8	31.9	53.2	Arcilloso	
	Bt3	1.64	20-50	23.9	32.2	43.8	Arcilloso	
	BtC	1.43	20-50	27.5	21.2	51.3	Arcilloso	
	A	1.61	0	5.0	42.3	52.7	Arcillo limoso	
Barrial	Bt1	1.59	0	12.5	41.2	46.3	Arcillo limoso	Esmectítica, mezclada con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.
	Bt2	1.62	0	9.9	37.4	52.7	Arcilloso	
	Bt3	1.70	0	7.4	32.7	59.9	Arcilloso	
	Bt4	1.68	0	6.5	33.7	59.7	Arcilloso	
	Bt5	1.64	0	2.0	33.9	64.1	Arcilloso	
	A	1.51	0	36.5	29.6	33.9	Franco arcilloso	
Cascajillo amarillo	Bt1	1.63	0	23.5	48.8	27.7	Franco arcilloso	Esmectítica, mezclada con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.
	Bt2	1.63	20-50	18.8	54.0	27.2	Franco limo-arcilloso	
	Bt3	1.43	20-50	20.8	48.8	30.4	Franco arcilloso	
	CBt	1.65	50-75	23.7	47.5	28.9	Franco arcilloso	
	A	1.55	5-20	47.6	29.9	22.5	Franco	
Tierra negra	ABw	1.65	20-50	38.8	40.0	21.2	Franco	n/d
	C	1.19	50-75	50.8	35.3	13.8	Franco	
Polvillo	A	1.43	5-20	43.3	36.9	19.9	Franco	n/d
	CB	0.96	20-50	29.9	37.6	32.5	Franco arcilloso	
Cascajillo rojo	A	1.28	20-50	13.9	61.1	25.0	Franco limo-arcilloso	Esmectítica, mezclada con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.
	Bt1	1.56	20-50	11.7	53.9	34.4	Franco limo-arcilloso	
	Bt2	1.55	20-50	11.0	33.6	55.4	Arcilloso	
	BtC	1.41	50-75	12.0	23.6	64.4	Arcilloso	
Tepetate	A	1.61	1-5	15.5	54.8	29.7	Franco limo-arcilloso	Esmectítica, mezclada con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.
	ABr	1.57	1-5	14.9	43.0	42.0	Arcillo limoso	
	Cr	1.64	0	30.0	41.3	28.7	Franco arcilloso	

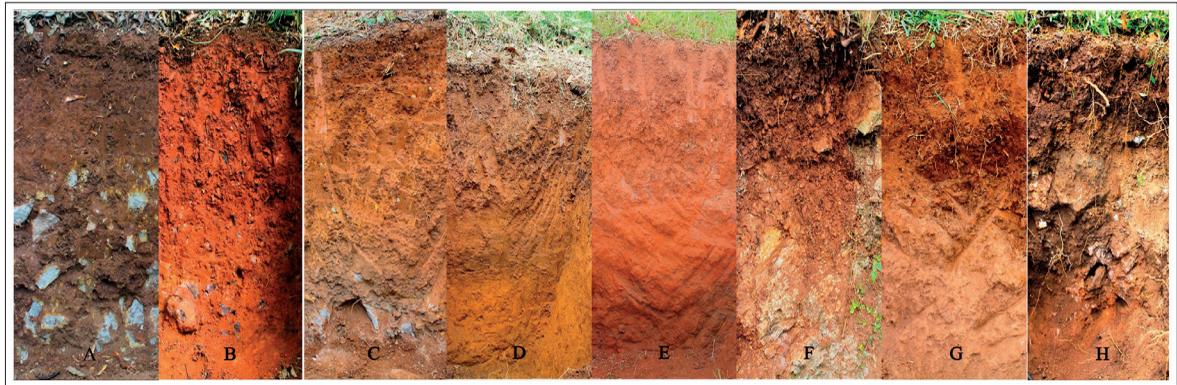


Figura 7. Tipos de tierra representativas identificadas por los informantes clave.

ellos aprendieron bajo la enseñanza de su familia, padres o abuelos, y tres lo hicieron empíricamente. Todos los productores hacen sus viveros y producen su propia planta. Los productores cuentan con un bajo nivel escolar, solo la mitad sabe leer y escribir.

El tamaño de las fincas oscila entre $\frac{3}{4}$ y tres ha; de las once fincas, en seis los productores usan fertilizantes como sulfatos, ureas, triple 16 y 17, que se emplean en la temporada de lluvias, y la frecuencia de su uso varía de acuerdo con la edad de la planta. Mencionan que, cuando la planta de café ya está grande, se usa una vez anualmente y cuando la planta se encuentra en pleno crecimiento requiere fertilizante cada cuatro meses. Los otros cinco productores prefieren no usar este tipo de productos, sino que utilizan abonos orgánicos como estiércol de equinos y bóvidos, además de la hojarasca de la sombra.

La mitad de las fincas visitadas tienen plantaciones de dos a siete años y presenta una variedad de especies de café mezclada, las variedades más mencionadas fueron: Costa rica, Caturra, Catimor y Borbón, y su uso se debe a que resisten más a la enfermedad de la roya, estas fincas son relativamente más jóvenes debido a la renovación que se hizo después de que comenzó a causar daños dicha enfermedad. La otra mitad de fincas tienen plantaciones mayores a 20 años y en donde aún se producen las plantas de la variedad de café Criollo (*Coffea arabica*).

En los resultados destacan el rango de pH, que varía de ligeramente de ácido a ligeramente

alcalino, con un mínimo de 6.1 y un máximo de 7.5; sin embargo, el 68% de las muestras resultaron con la categoría neutro. De acuerdo con Valencia (1998), el rango óptimo de pH para cafetales es de 5 a 5.5, los suelos requieren una corrección de pH (encalado) cuando los valores son inferiores a cuatro, debido a que podría representar toxicidad por aluminio; por lo tanto, los suelos de Mafafas podrían considerarse sin problemas de pH.

Por otro lado, el porcentaje de carbono orgánico (CO) resultó ser alto en el horizonte A de las tierras Barrial y Polvillo, en el resto de los perfiles este porcentaje descende en función de la profundidad.

Por otra parte, el nitrógeno (N) varía de alto a medio en el horizonte superficial, mientras que todos los tipos de tierra presentaron un contenido bajo de este elemento en los horizontes subsuperficiales. Los contenidos de sodio (Na), calcio (Ca) y potasio (K) son altos en el horizonte A de todos los perfiles, cabe resaltar que en todas las profundidades el Na se encuentra en cantidades altas, mientras que el K descende en función de la profundidad de todas las clases de tierra, este caso es parecido para Ca, excepto en los tipos de tierra Negra, Polvillo y Cascajillo rojo, en los cuales se encontró una cantidad alta en todos los horizontes.

Uno de los resultados más inesperados fue el contenido alto de magnesio (Mg) en todas las muestras, lo cual podría deberse a la disminución de la humedad ambiental que los productores mencionan en las entrevistas. El fósforo (P) se presenta de dos formas, por un lado, en las clases

de tierra Cascajillo, Cascajillo amarillo, Cascajillo rojo y Tepetate este elemento disminuye en función de la profundidad, mientras que en el resto de las tierras se mantiene en la categoría alta.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) varía de media a muy alta en el horizonte superficial de todos los perfiles, mientras que tiende a aumentar o mantenerse alta en los horizontes más profundos. Esto solo aplica para los perfiles en los que se identificó migración de arcillas con las pruebas de textura (Alfisol/Luvisol). Las excepciones son la Tierra Negra y Polvillo, esto se podría explicar porque no presentan migración de materiales al subsuelo. Por un lado, los bajos contenidos de N en las fincas podrían compensarse con la diversificación de la sombra y con la implementación de cercos vivos con especies fijadoras de nitrógeno (Munroe, Soto, Fulthorpe y Isaac, 2015).

Por otro lado, se sabe que el resto de las propiedades biogeoquímicas pueden ser mejoradas; un ejemplo es el de Sauvadet *et al.* (2019), quienes encontraron que dichas propiedades pueden cambiarse significativamente después de 17 años, al adaptar estrategias de manejo contrastantes a las convencionales.

Con respecto a los procesos pedogenéticos predominantes en el ejido Mafafas, se identificó migración de arcillas de los horizontes superficiales a horizontes subsuperficiales de seis tipos de tierra, excepto Phaeozem/Molisol y Leptosol/Entisol; esta migración es reconocida por el aumento del contenido de arcilla en función de la profundidad. Este proceso predomina, ya que en total suman 589.18 ha, lo que equivale al 74.29% de la extensión total del ejido Mafafas. Este proceso se puede derivar de un régimen de humedad údico y del amortiguamiento de la cobertura vegetal (Brady y Weil, 1999), estas migraciones se pueden reconocer por los revestimientos arcillosos, las concentraciones de hierro y manganeso que se encontraron en el subsuelo durante la fase de campo, aunados a una alta capacidad de intercambio catiónico y una elevada saturación de bases en la zona de acumulación de arcillas, que da como origen al orden de suelo Alfisol, de acuerdo con Soil Survey Staff (2014) o el equivalente Luvisol, de acuerdo con el IUSS Working Group WRB (2014). Este orden corres-

ponde a seis de los ocho tipos de tierra analizados en el ejido, los calificadores secundarios varían de Leptic (poco profundos), Rhodic (rojizos, altamente intemperizados), Ferric (con presencia de >5% de Mn) a Skeletic (con alto contenido de rocas); de acuerdo con los informantes en estos suelos la erosión o pérdida de suelo es un factor común.

Otro proceso identificado fue es el transporte y depósito de material coluvial o rocas angulosas procedentes de las partes más altas de la región, típico de zonas volcánicas escarpadas. Esto se logra identificar en las clases de tierra que caen dentro de los Cascajillos y la Tierra negra. Por otro lado, la adición constante de material orgánico por parte de la vegetación de sombra en las clases de tierra Cascajillo y Negra le imprimen su color pardo y oscuro, respectivamente.

Por otra parte, algunas propiedades del suelo que solamente se pueden conocer a través de métodos y dispositivos complejos, es posible inferirlas por medio del conocimiento local (Rajaram y Das 2010). Un ejemplo son los comentarios de los informantes clave, los cuales señalan que el tipo de tierra Barrial se hincha después de las lluvias, por lo tanto, algunos informantes resaltan la capacidad de estas tierras para el almacenamiento de agua, comportamiento característico de las arcillas 2:1, las cuales fueron identificadas por difracción de rayos X, en las cuales predominan las Esmectitas y confirmaron los comentarios de los productores.

Por otro lado, los resultados de laboratorio concuerdan con los reportados por Pincus, Ryan, Huertas y Alvarado (2017), en los que aseguran que los suelos con arcillas 2:1 de origen esméctico poseen una capacidad de intercambio catiónico alta y aseguran que esta se reduce en función de la edad del suelo. Así mismo, durante la realización de los perfiles con la ayuda de los informantes, quienes indicaron que las tierras contienen mucho barro (arcillas) en las profundidades del suelo, por eso es más difícil realizar el perfil de muestreo, también estas tierras pueden obstruir el crecimiento de las plantas jóvenes de café cuando éstas son recién trasplantadas en la tierra.

Otro ejemplo es la característica de la Tierra negra, que los informantes aseguran que no necesitan de abono ni fertilización para tener buenos

rendimientos, características que concuerdan con el tipo de suelo Phaeozem (IUSS Working Group WRB, 2014) o Molisol (Soil Survey Staff, 2014). En términos generales, se podría considerar que el conocimiento local de las tierras en Mafafas brindó una aproximación sobre la distribución, uso, propiedades y procesos de este recurso en el ejido, así mismo este coincide con las clasificaciones taxonómicas.

Como se había mencionado anteriormente, la localidad no cuenta con estudios previos que ayuden a contrastar la información edafológica obtenida, por lo tanto, se consultó la cartografía edafológica de la Serie II de INEGI (2006). De acuerdo con esta fuente, el tipo de suelo que predomina en el ejido Mafafas es el Andosol; se deduce que esta inferencia fue hecha debido a la naturaleza volcánica del paisaje, que es típica de los andosoles. Este tipo de suelo es muy susceptible a la erosión y se considera por algunos como el mejor tipo de suelo para la producción de café por su alto contenido de vidrio volcánico y materiales amorfos (Ramos, Vallejo y Aguilera, 1982); sin embargo, de acuerdo a los recorridos hechos durante la fase de campo, los andosoles son derivados de cenizas volcánicas (Shoji, Nanzyo y Dahlgren, 1993), solo se encontraron en una pequeña porción con superficie concava y ubicada en el fondo de la barranca Loma alta, por lo tanto, es una unidad de tierra poco representativa para el ejido. También se realizó un recorrido fuera del ejido para buscar los andosoles reportados por INEGI; no obstante, se encontraron suelos rojos que corresponden a Rhodic Luvisol (IUSS Working Group WRB, 2014). Por lo tanto, si se considerará la información oficial de INEGI para la formulación de propuestas encaminadas a mejorar la productividad de cafetales en esta región, se estaría cometiendo un grave error, que podría acarrear efectos negativos en el futuro, ya que no solo se trata de desajustes derivados de la escala, sino de la deficiente aplicación del levantamiento de suelos.

Con respecto al patrón de uso y cobertura de las tierras en el ejido Mafafas, se identificaron cuatro categorías predominantes (Cuadro 3): cafetal, vegetación secundaria, pastizal y cañaveral, los cuales ocupan el 65.5%, 7.1%, 18.2% y 9.2% del

territorio ejidal, respectivamente; las asociaciones de suelo y vegetación ayudaron a mejorar el mapa de tierras, debido a que los productores mencionan que el Cascajillo amarillo es común de pastizales y el Cascajillo se encuentra donde hay cafetal con sombra, esto ayudó a dividir la clase Cascajillo entre dos unidades distintas.

Por otra parte, se encontró que algunos ejidatarios de Mafafas vendieron las tierras a los ejidatarios vecinos de Alto tío Diego, ubicado al sur. Ellos se dedican a la caña de azúcar, estas tierras son las que quedan más alejadas del núcleo poblacional de Mafafas (UFI Rancho Viejo), de acuerdo con los informantes esto se debe a que los productores de Mafafas tienen edad muy avanzada o ya no quieren seguir trabajando, lo anterior ha provocado que el uso de suelo de la caña de azúcar tenga una presencia en el 9.2% del ejido, con posibilidades de incrementarse.

Como se vio en los resultados, con respecto a la sombra de los cafetales, los productores utilizan las especies nativas de la región; sin embargo, en muchas ocasiones estas especies no tienen un aprovechamiento comercial extra. Así mismo, la mayoría de los productores no podan con frecuencia sus cafetos, ni la sombra y no usan linderos vivos, esto puede reducir los aportes de materia orgánica en el suelo. Una de las posibles mejoras sería la diversificación de la sombra, la implementación de cercos vivos y promover la poda frecuente en los agroecosistemas cafetaleros de Mafafas. Unas referencias importantes son de Youkhana e Idol y Nzeyimana, Hartemink, Ritsema, Stroosnijder, Lwanga y Geissen, (2017) quienes encontraron que el matillo derivado de la poda de la sombra puede compensar las pérdidas de carbono y esto puede promover una mayor disponibilidad de nitrógeno en suelos con cafetales.

En cuanto a las arvenses, los productores mencionan que no existen problemas graves, ya que con trabajo constante todo se resuelve. Sin embargo, Salazar Gutiérrez e Hincapié Gómez (2005) aseguran que las pérdidas por el manejo inapropiado e inoportuno de las arvenses son mayores que aquellas causadas por las plagas y las enfermedades, además, pueden causar disminución del rendimiento del cafetal hasta del 66.5%.

Cuadro 3. Clases de tierra, tipos de suelo y usos para el área de estudio.

Clase de tierra	Superficie ha	Serie	Tipos de suelo (IUSS Working Group WRB 2014)	Tipos de suelo (Soil Taxonomy 2014)	Uso de suelo y cobertura vegetal	Superficie ha
Tierra negra	86.63	La Barranca	Skeletal Leptic Phaeozem (loamic, coluvic, humic, raptic)	Lithic Hapludoll, Familia: limosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Cafetal de sombra	86.63
Barrial	210.56	Loma Alta	Ferric Luvisol (clayic, cutanic hipereutric, humic, magnesian, profundic)	Typic Hapludalf, Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Vegetación secundaria	10.5
Barrial roja	7.82	La Cruz	Rhodic Luvisol (clayic, cutanic hipereutric, humic, magnesian, profundic)	Typic Rhodudalf, Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Pastizal	3.94
Cascajillo	118.53	El Tanque	Skeletal Luvisol (loamic, coluvic, cutanic, hipereutric, humic, magnesian)	Typic Hapludalf, Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica	Cafetal de sombra	3.87
Cascajillo amarillo	81.53	El Potrero	Ferric Luvisol (loamic, coluvic, cutanic hipereutric, humic, magnesian)	Typic Hapludalf, Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica	Vegetación secundaria	19.37
Cascajillo rojo	13.72	La Cumbre	Rhodic Luvisol (clayic, coluvic, cutanic hipereutric, humic, magnesian, profundic)	Typic Rhodudalf, Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Cafetal de sombra	99.16
Polvillo	155.18	Barranca del Salto	Eutric Cambic Skeletic Leptosol (loamic, humic)	Lithic Udorthent, Familia: limosa, superactiva, isotérmica	Pastizal	81.53
Teperate	119.03	Los Carriles	Leptic Luvisol (loamic, cutanic, densic, diferentic, hipereutric, humic, magnesian)	Lithic Hapludalf, Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica	Cafetal de sombra	13.72
					Vegetación secundaria	22.44
					Cafetal de sombra	131.5
					Vegetación secundaria	3.74
					Cafetal de sombra	55.13
					Pastizal	30.1
					Caña	30.06

Esto contrasta con los resultados, ya que solamente un productor mencionó que al combatir las arvenses en temporada de lluvias usa machete y en temporada de secas usa el azadón, así mismo mencionó que en las pendientes el azadón no se puede usar porque aumenta la erosión, el resto de los productores no mencionaron estas diferencias de manejo. En general, una solución sería realizar talleres con los productores para que puedan identificar y elegir entre las arvenses que obstruyen la productividad del café y las que ayudan a proteger la tierra de la erosión. Ya que de acuerdo con Martins, Araujo-Junior, Miyazawa, Vieira y Milori, (2015) el control integrado de arvenses en las plantaciones de café puede ayudar a aumentar la calidad y mejorar las propiedades del suelo y el funcionamiento de los agroecosistemas.

Por otra parte, Nesper, Kueffer, Krishnan, Kushalappa y Ghazoul (2017) muestran que la pérdida de biodiversidad y la intensificación agrícola debilitan las complejas interacciones multitróficas que resultan en una reducción de la polinización y los servicios de control de plagas. De acuerdo con las entrevistas, los productores mencionan que una plaga común en el sector cafetalero es la broca (*Hypothenemus hampei*), la cual afectó al cultivo de café durante el pasado, pero en la actualidad esta incidencia ha disminuido. Sin embargo, de acuerdo con los informantes aún existen especies de sombra susceptibles a la broca en el tronco: el chalahuite (*Inga vera*) que es comúnmente ocupado para sombra puede generar buenos aportes de nitrógeno en el suelo (Peeters, Soto-Pinto, Perales, Montoya y Ishiki, 2003); sin embargo, debido a la broca se ha reducido el uso de dicha especie.

Otra de las asociaciones entre planta e insectos en estos cafetales es la presencia de *Zaya orbigera* en forma de larva. De acuerdo con algunos productores de café, esta larva es depredada por la hormiga, por lo tanto, es común ver la planta con estas asociaciones. De acuerdo con los productores, un indicador de esta interacción es la presencia de manchas negras en la parte superficial de las hojas de los cafetos. Cabe resaltar que esta asociación al parecer no afecta la planta, porque de acuerdo con los productores, la mancha negra se puede retirar de la hoja manualmente. En esta parte destaca el

papel de las hormigas como controladores biológicos de insectos potencialmente dañinos para la cafecultura, así mismo, estas pueden representar un peligro para el café si en las fincas existe una reducción marcada de la biodiversidad (Velasco, Roper y Armbrecht, 2010). Por otro lado, durante los recorridos con los informantes clave, se logró distinguir una percepción de un cambio climático; entre sus comentarios sobre la tierra resaltaban aquellos relacionados con el clima, y hay un consenso con la idea de que antes era más húmedo y frío, y comentaron que ahora es más seco y cálido; también piensan que esta situación es factor para que las plagas aumenten.

Por otra parte, los pequeños mamíferos de la región también pueden representar un problema para los productores, ya que mencionan que las ardillas, zorros y ratones se comen el café cuando está maduro. Por eso, los cafetales de Mafafas aún pueden ser importantes para la conservación de pequeños mamíferos (Calderón, 2016).

Existe evidencia de que el aumento de las temperaturas y el cambio de los patrones de lluvia afectan el rendimiento agrícola, la calidad de los productos, e inducen el aumento de plagas y enfermedades del café, lo que representa una amenaza para muchas regiones productoras de este grano (Turabay, Nates, Jaramillo, Vélez y Ocampo, 2014). Como se sabe, la enfermedad que ha provocado mayor impacto es la roya (*Hemileia vastatrix*). De acuerdo con los resultados obtenidos, en diez fincas el decremento de la productividad estuvo por encima del 50%, solamente en una se encontró una reducción del 28%, lo anterior concuerda con diversos autores, quienes mencionan que dicho hongo ha devastado al cultivo y a su economía, lo que ha provocado su reconfiguración dinámica a nivel local y global (Pérez-Fernández *et al.*, 2016; Escamilla y Landeros-Sánchez, 2016).

Con respecto a la fertilización de las fincas, la mayor parte de productores usan insumos como el sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y la urea (CON_2H_4) , comúnmente utilizados antes de la época de lluvias y en distintas cantidades, dependiendo de la edad de la planta, a pesar que se ha reportado que el buen uso de estos fertilizantes mejora las propiedades productivas de los suelos. Una

de las desventajas es su costo comercial, a pesar de ser relativamente barato, muchas veces el productor no puede comprarlo. Una de las alternativas de enmiendas en suelos y cultivos es la simbiosis con micorrizas arbusculares, estos hongos tienen el potencial de reducir los costos de producción de cultivos, mientras que la promoción agroecológica se nota mediante la mejora de la calidad del suelo y reducción del uso de fertilizantes comerciales (Cobb, Wilson, Goad y Grusak, 2018).

Otra de las alternativas agroecológicas en el manejo de nutrientes es el uso de lombricompostaje, método que permite aprovechar los residuos orgánicos del café, como la pulpa y el estiércol de los animales de carga y ganado, y le imprime calidad y un valor agregado al producto final (Janissen y Huynh, 2018).

Como se ha visto, la baja productividad de los agroecosistemas actuales puede deberse a una compleja suma de distintos factores, como el cambio climático local y regional, la edad avanzada de la mayoría de los productores y los bajos precios del café por la falta de valor agregado.

De acuerdo con las entrevistas, hay evidencia de que existió asesoría técnica en los últimos años en Mafafas, que se basó en difundir prácticas agroecológicas; como es de notarse durante el intercambio entre técnicos y productores hubo poca comunicación, algo muy común y un grave proble-

ma del campo mexicano. Por lo tanto, es necesario promover estas prácticas mediante la transferencia de tecnologías y conocimientos, principalmente de productor a productor, lo que, sin duda, podría aumentar la productividad de los cafetales.

El mapa de las clases de tierra y uso del suelo junto con la información de la estructura de los agroecosistemas cafetaleros (Figura 8) servirán como insumos para llevar a cabo otros estudios locales y holísticos. Entre ellos se encuentra un diagnóstico rural participativo, evaluaciones agroecológicas, un ordenamiento territorial comunitario, modelos de aptitud de tierras, entre otros. Estas herramientas de planeación local pueden marcar la diferencia a la hora de gestionar, manejar y proteger a los recursos naturales y al territorio en el que se encuentran.

CONCLUSIONES

El conocimiento local fue complementado con el conocimiento científico para obtener información que fue capaz de caracterizar integralmente los AES cafetaleros a nivel local, esto implicó un ahorro de tiempo y esfuerzo, además de establecer un puente entre ambos conocimientos.

Se obtuvo un mapa con escala 1:10 000, en el cual se representan ocho clases de tierra que

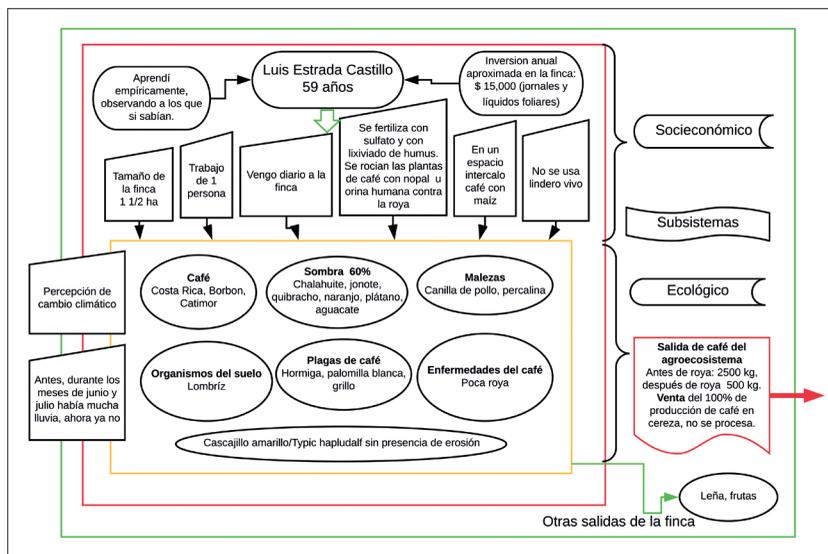


Figura 8. Estructura de uno de los 11 agroecosistemas evaluados, agroecosistema (línea roja), ecosistema (línea verde), con un arreglo de elementos en el sistema finca (línea amarilla).

corresponden a cinco tipos de suelo para Soil Survey Satff y seis para el IUSS Working Group WRB, con cuatro tipos predominantes de uso del suelo. Además, las once fincas analizadas mostraron distintos elementos y estructuras, pero presentan patrones en común.

Ahora que se cuenta con una visión general de las características de los suelos y de los cafetales del ejido Mafafas, se podrán formular propuestas para mejorar la productividad agrícola en la localidad.

El método etnoedafológico resultó un procedimiento sencillo, de fácil aplicación y accesible a cualquier investigador, aún sin ser un especialista en suelos. En este método sobresalen los resultados obtenidos y respaldan la idea de que todos los ejidos en México requieren de un estudio con este enfoque, ya que cada uno cuenta con una naturaleza y recursos únicos. Esto, sin duda, ayudará a construir una visión global a partir de cuestiones locales y no construir una visión local desde lo global, como comúnmente se realiza.

También se mostrará una alternativa viable para caracterizar AES con un método sistémico y transdisciplinar que se vale del conocimiento local y que resulta de fácil aplicación. Los resultados obtenidos respaldan la idea de que todos los ejidos requieren un estudio con este enfoque, que sirva como línea base para la planeación local y el desarrollo del campo mexicano.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology. The science of sustainable agriculture* (2a. ed.). Boulder-Londres: Westview Press-Intermediate Technology Publications.
- Barrera-Bassols, N. y Zinck, J. (2002). Etnopedology in a worldwide perspective, an annotated bibliography. *Geoderma*, 105(77), 153-155. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00091-X)
- Barrera-Bassols, N., Del Campo, C. y Hernández, G. (2012). La red en acción: de la lucha por la tierra a la defensa de los territorios bioculturales. *Etnoecológica*, 9(1), 85-88.
- Brady, N. C. y Weil, R. R. (1999). *The Nature and Properties of Soils* (12ava. ed.). Londres: Prentice.
- Calderón, J. (2016). El estudio de los mamíferos en cafetales de México: tendencias y resultados. En A. Ramírez-Bautista y R. Pineda López, *Fauna Nativa en Ambientes Antropizados* (pp. 180-187). México: Conacyt y Universidad Autónoma de Querétaro.
- Cobb, A. B., Wilson, G. W., Goad, C. L. y Grusak, M. A. (2018). Influence of alternative soil amendments on mycorrhizal fungi and cowpea production. *Heliyon*, 4(7), e00704. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00704>
- Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 24, 95-117. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(87\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0308-521X(87)90056-4)
- Christian, C. S. y G. A. Stewart. (1968). Methodology of integrated surveys. In aerial surveys and integrated studies. *Proceedings Toulouse Conference 1964* (pp. 233-80). París: UNESCO.
- Cuanalo-de la Cerda, H. (1975). Manual para la descripción de perfiles en el campo. *Colegio de Postgraduados*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- De la Rosa, D. (2008). Evaluación agroecológica de suelos. Madrid: Mundi Prensa.
- Escamilla, P., E. y Landeros, S. C. (2016). Cafés diferenciados y de especialidad. México: Universidad Autonoma de Chapingo, COFUPRO, CENACAFE, SAGARPA.
- Gliessman, S. R. (1990). Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: a goal. En S. R. Gliessman (Ed.), *Agroecology. Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Ecological Studies* 78. (pp. 366-370). Nueva York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3252-0_21
- González, E. L., Solorio, C. O. y Gutiérrez-Castorena, M. (2000). Calidad de los mapas de suelos en el ejido de Atenco. *Terra Latinoamericana*, 18, 103-113.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2006). Conjunto de datos vectoriales edafológicos escala 1:250 000 serie II (E14-B). Aguascalientes, México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). LiDAR DTM (Digital Terrain Model) 1:10 000. Aguascalientes, México: INEGI.
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014*. World Soil Resources Reports No. 103. Roma: FAO.
- Janissen, B. y Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Jiménez-Avila, E. y Gómez-Pompa, A. (1992). Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 43: 95-96.
- Krasilnikov P. y Tabor, J. (2003). Perspectives on utilitarian ethnopedology. *Geoderma*, 111(3-4), 197-215. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00264-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00264-1)

- Lovell, S. T., DeSantis, S., Nathan, C. A., Olson, M. B., Méndez, E. V., Kominami, H. C. y Morris, W. (2010). Integrating agroecology and landscape multifunctionality in Vermont: An evolving framework to evaluate the design of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 103(5), 327-341. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.003>
- Nzeyimana, I., Hartemink, A. E., Ritsema, C., Stroosnijder, L., Lwanga, E. H. y Geissen, V. (2017). Mulching as a strategy to improve soil properties and reduce soil erodibility in coffee farming systems of Rwanda. *Catena*, 149, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.034>
- Martins, B. H., Araujo-Junior, C. F., Miyazawa, M., Vieira, K. M. y Milori, D. M. (2015). Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. *Soil and Tillage Research*, 153, 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.005>
- Miller, B. y Schatzel, R. (2014). The historical role of base maps in soil geography. *Geoderma*, 231, 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.020>
- Mittermeier, R. A., Myers, N., Thomsen, J. B., Da Fonseca, G. A. B. y Olivieri, S. (1998). Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology*, 12(3), 516-20. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.012003516.x>
- Moguel, P. y Toledo, V. (1996). El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*, 43, 40-52.
- Munroe, J. W., Soto, G., Fulthorpe, R. y Isaac, M. (2015). Soil microbial and nutrient properties in the rhizosphere of coffee under agroforestry management. *Applied Soil Ecology*, 93, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.04.003>
- Nesper, M., Kueffer, Krishnan, C., Kushalappa, S. C. G. y Ghazoul, J. (2017). Shade tree diversity enhances coffee production and quality in agroforestry systems in the Western Ghats. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 247, 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.024>
- Ortiz-Solorio, C., Pájaro H., D. y Ordaz C., V. M. (1991). Manual para la Cartografía de Clases de Tierras. *Colegio de Posgraduados*. Montecillo, Estado de México: Colegio de Posgraduados.
- Ortiz-Solorio, C. (1993). Evolución de la ciencia del suelo en México. *Ciencia*, 44, 23-32.
- Pájaro H., D. y Tello, E. (2014). Fundamentos epistemológicos para la cartografía participativa. *Etnoecológica*, 10(1), 1-20.
- Pájaro H., D. (2015). El Levantamiento de Suelos y su Relación con la Clasificación y Cartografía de las Clases de Tierras Campesinas. *Journal for Theoretical Cartography*, 8.
- Peeters, L. Y., Soto-Pinto, L., Perales, H., Montoya, G. y Ishiki, M. (2003). Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(2-3), 481-493. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00204-9)
- Pérez-Fernández, Y., González, M. V., Santiago, E., Escamilla-Robledo, A. Cruz-León, M. Rosas-Brugada y F. Ruiz-Espinoza. (2016). Propuestas para la preservación de la vida en los cafetales en el municipio de Teocelo, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 57, 7-16. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2016.57.007>
- Pincus, L. N., Ryan, P. C., Huertas, F. J. y Alvarado, G. E. (2017). The influence of soil age and regional climate on clay mineralogy and cation exchange capacity of moist tropical soils: A case study from Late Quaternary chronosequences in Costa Rica. *Geoderma*, 308: 130-148. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.033>
- Ramos, S., Vallejo, E. y Aguilera, N. (1982). Edafología del cafetal. En E. Jiménez-Avila y A. Gómez-Pompa. (1992). Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 43, 95-96.
- Rajaram, T. y Das, A. (2010). Modeling of interactions among sustainability components of an agroecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1734-1744. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.035>
- Ren, S. M., Liang, Y. y Sun, B. (2011). Research on sensitivity for soil erosion evaluation from DEM and remote sensing data source of different map scales and image resolutions. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 1753-1760. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.275>
- Ruiz-Rosado, O. (1995). Agroecosistema: el término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. En J. González L., M. V. González S., D. Delgado V. y Á. Vargas N. (Eds), *Agroecología y Desarrollo Sustentable* (pp. 103-113). Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Salazar-Gutiérrez L. F. y Hincapié Gómez, E. (2005). Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. Avances técnicos 333. México: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ).
- Sauvader, M., Van den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., de Melo, V. F., Chauvat, M., Becquer, T., Tixier, P. y Harmand, J. M.. (2019). Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry.

- Science of the Total Environment*, 649, 1065–1074. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.291>
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A. Benham, E. C. y Broderson, W. D. (2002). *Field book for describing and sampling soils*. Version 2.0., Lincoln, NE: National Soil Survey Center, USDA-NRCS.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2002). Carta geológico-minera de la Ciudad de Xalapa, E14-B27 (Xalapa Edo. de Veracruz). Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/CartasPdf/GeologicasL.jsp>
- Shoji, S., Nanzyo, M. y Dahlgren, R. A. (1993). Volcanic Ash Soils. *Developments in Soil Science*, 21, 1–288. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70262-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70262-9)
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy*. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service, US Department of Agriculture.
- Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3) 284-307. <https://doi.org/10.2307/1930070>
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. J. y Ocampo, O. L. (2014). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas*, 85(85), 9-112. <https://doi.org/10.14350/ig.42298>
- Valencia, G. (1998). *Manual de Nutrición y Fertilización del Café*. Quito, Ecuador: Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- Van Reeuwijk, L. (1995). *Procedures for soil analysis*. Technical Paper 9 (4a. ed.). Wageningen: Holada. International Soil Reference and Information Centre.
- Velasco, Y. A. M., Roperó, M. G. y Armbrecht, I. (2010). Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 116-126.
- Williams, B. C. y Ortiz-Solorio, C. (1981). Middle American Folk Soil Taxonomy. *Annals of the Association of American Geographers*, 71(3), 335-358, doi: 10.1111/j.1467-8306.1981.tb01361.x
- Youkhana, A. e Idol, T. (2009). Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(12), 2527-2534. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.011>