



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**LA ETNOEDAFOLOGÍA COMO INSTRUMENTO PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE AGROECOSISTEMAS A NIVEL
LOCAL, EL CASO DE UN EJIDO CAFETALERO DEL
CENTRO DE VERACRUZ**

GEOVANNI FIDEL AGUILAR OREA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

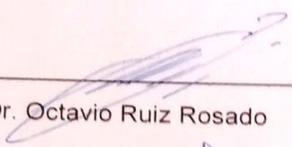
2019

La presente tesis titulada: "La etnoedafología como instrumento para la caracterización de agroecosistemas a nivel local, el caso de un ejido cafetalero del centro de Veracruz". Realizada por el alumno: **Geovanni Fidel Aguilar Orea** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

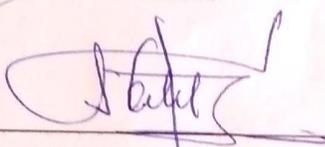
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



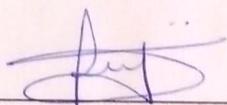
Dr. Octavio Ruiz Rosado

ASESOR



Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio

ASESORA



Dra. Liliaha Armida Alcudia

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México a 22 de enero 2019

LA ETNOEDAFOLOGÍA COMO INSTRUMENTO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGROECOSISTEMAS A NIVEL LOCAL, EL CASO DE UN EJIDO CAFETALERO DEL CENTRO DE VERACRUZ

Geovanni Fidel Aguilar Orea, M.C.

Colegio de Postgraduados 2019

RESUMEN

En la realidad actual 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 *et al.* (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 de Mafafas, ubicado en el municipio de Tepetlán, Veracruz, este 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 con escala 1:10 000 y en total se identificaron 8 clases de tierra con 4 tipos predominantes de uso del suelo. Además, se analizaron 11 fincas que mostraron distintas estructuras, sin embargo, muestran patrones comunes. 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.*

**ETHNOPEDOLOGY AS AN INSTRUMENT TO CHARACTERIZE
AGROECOSYSTEMS AT LOCAL LEVEL, THE CASE OF A CENTRAL VERACRUZ
EJIDO**

Geovanni Fidel Aguilar Orea, M.C.
Colegio de Postgraduados 2019

ABSTRACT

In the current reality, it is necessary to have instruments that consider local knowledge for the characterization of agroecosystems (AES). In this context, the peasant land classification of Ortiz et al., (1991), as part of the ethnopedological discipline, complements local knowledge with technical knowledge, this combination provides detailed information for cartography, classification, description of use, management and use not only of land, but of the components of any AES. From this, inputs can be obtained to describe at the level of ejido and farm the structure of AES with updated information and first hand. This method was applied in the ejido of Mafafas, located in the municipality of Tepetlán, Veracruz, this presents problems of diminishing coffee productivity. A peasant land classification was carried out and the ethnopedological method was used to collect information and characterize the structure of coffee agroecosystems. A map with a scale of 1:10 000 was obtained, and in total 8 classes of land with 4 predominant types of land use were identified. In addition, 11 farms that showed different structures were analyzed, however, they show common patterns. An alternative to characterize AES will be shown with a systemic method that uses local knowledge and is easy to apply, the results obtained from this procedure support the idea that all ejidos require a study with this approach, which serves as a basis for local planning and development of the Mexican countryside.

Keywords: *Local knowledge, agroecosystem, coffee plantations, ethnopedology, soil mapping.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACyT por la beca otorgada, a los académicos del COLPOS Campus Veracruz por brindarme la oportunidad de realizar los estudios de maestría, a mi consejero y asesores, así mismo, a los académicos del postgrado en Edafología y a los técnicos del laboratorio de génesis y clasificación de suelos del COLPOS Campus Montecillo, a mi abuela Carmen Salazar por ser una de las informantes más relevante, a Fabiola Torres por su ayuda durante las fases de gabinete, campo y laboratorio, a los ejidatarios y pobladores de Mafafas, sin todos ellos no hubiese sido posible realizar este trabajo.

A todas las personas que de alguna u otra forma me ayudaron y dedicaron su tiempo, esfuerzo y conocimiento en la realización de esta tesis (familia, profesores, compañeros y amigos), desde los cursos hasta el trabajo de precampo, gabinete, campo, laboratorio y postcampo, son tantas personas que necesito más de una página para enlistarlos.

DEDICATORIA

Se dedica a todas las personas que producen café en Mafafas, que no decaen y que no pierden el ánimo, son tiempos difíciles en el campo mexicano, espero que este trabajo sirva como base para adaptar prácticas sustentables y que con el tiempo se genere un cambio positivo en el cultivo de café, por el bien de la gente y de la naturaleza local.

Dedicado de corazón a toda mi familia, especialmente a mi Tía Angela Orea y a mis maestros: el Dr. Carlos Olguín y el Dr. Catarino Ávila, ellos ya no se encuentran con nosotros, pero me enseñaron muchas cosas, esto se los dedico por haber confiado en mí, como estudiante y como ser humano.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Marco Teórico Conceptual	2
2.1.1 Teoría de sistemas.....	2
2.1.2 El Agroecosistema.....	3
2.1.3 El subsistema suelo-tierra dentro del agroecosistema	5
2.1.4 La cartografía de suelos y la clasificación campesina de tierras	8
2.1.5 Etnoedafología y clasificación campesina de tierras	9
2.1.6 La clasificación campesina de tierras y su correspondencia con el levantamiento tradicional de suelos	11
2.2 Marco Referencial	12
2.2.1 Los agroecosistemas cafetaleros en Veracruz	12
3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	15
3.1 General.....	15
3.2 Local.....	15
3.3 Problemas de investigación.....	16
3.4 Preguntas de investigación	16
3.5 Hipótesis.....	16
3.6 Hipótesis específica.....	16
3.7 Objetivo general	16
3.8 Objetivos específicos	17
3.9 Justificación	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1 Descripción del área de estudio	17
Esquema metodológico.....	19
4.3 Fases.....	20
5 RESULTADOS	23
5.1 Identificación de los distintos tipos de tierra	23
5.2 Descripción y distribución de los tipos de tierra en función del conocimiento local.....	26
5.3 Mapa de tierras y configuración de la cobertura y uso del suelo.....	28

5.4 Régimen de humedad y temperatura en la región de Mafafas.....	29
5.5 Propiedades edáficas y procesos pedogenéticos	31
5.6 Evaluación de la precisión del mapa de tierras	57
5.7 Manejo y estructura de los agroecosistemas cafetaleros de Mafafas ..	59
6 DISCUSIÓN.....	73
7 CONCLUSIÓN.....	83
8 REFERENCIAS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modelo abstracto de un agroecosistema (elaboración propia)	5
Figura 2. Etnoedafología, una disciplina híbrida, (Tomado de Bassols y Zinck 2003)...	10
Figura 3. Fincas de café con plantas nuevas y con suelo descubierto	15
Figura 4. Localización del área de estudio	18
Figura 5. UFI´s delimitadas a partir de un modelo de sombreado de alta resolución. Fuente: elaboración propia.	21
Figura 6. Recorridos georreferenciados y fotografiados con informantes clave. Fuente: elaboración propia.	22
Figura 7. Transecto realizado con el informante clave, Sr. Israel Armenta, UFI Pino- Chalahuite-Hilite.	24
Figura 8. Transecto realizado con el informante clave, Sr. José Salazar, UFI Loma alta.	25
Figura 9. Transecto realizado con el informante clave, Sr. Cruz Estrada, UFI Barranca Alto-Lucero, Barranca La Cumbre, La Cumbre 2 y El Bordo.	25
Figura 10. Mapa compuesto de cobertura vegetal-uso del suelo y clases de tierra representativas. (Elaboración propia)	29
Figura 11. Para la región de estudio, el régimen de humedad es údico y el régimen de temperatura es isotérmico, (el color azul corresponde a la precipitación y el color rojo al potencial de evapotranspiración en milímetros).	30
Figura 12. Perfil 1, Cascajillo	33
Figura 13. Perfil 2, Barrial roja	36
Figura 14. Perfil 3, Barrial	39
Figura 15. Perfil 4, Cascajillo amarillo	42
Figura 16. Perfil 5, Tierra negra	45
Figura 17. Perfil 6, Polvillo.	48
Figura 18. Perfil 7, Cascajillo rojo	51
Figura 19. Perfil 8, Tepetate	54
Figura 20. Puntos de muestreo en verde, para evaluación de la precisión del mapa de tierras.	57
Figura 21. Palomilla Zaya orbígera (larva).....	61
Figura 22 Mancha negra en la hoja del cafeto.....	61
Figura 23. Gryllidae spp.....	61
Figura 24. La planta llamada cacahuatillo (Arachis pintoi), útil para fijar nitrógeno en el suelo.....	63
Figura 25. Barreras muertas para detener la erosión del suelo.....	64
Figura 26. Don Luis al centro, su finca a la derecha, la finca del vecino a la izquierda, nótese el contraste entre ambas plantas.	66
.....	66
Figura 27. Vivero de café.....	66
Figura 28. Lombricomposta.	67
Figura 29. Como resultado se obtienen plantas sanas y productivas.....	67
.....	68

Figura 30. Estructura del agroecosistema 1.....	68
Figura 31. Estructura del agroecosistema 2.....	68
Figura 32. Estructura del agroecosistema 3.....	69
Figura 33. Estructura del agroecosistema 4.....	69
Figura 34. Estructura del agroecosistema 5.....	70
Figura 35. Estructura del agroecosistema 6.....	70
Figura 36. Estructura del agroecosistema 7	
Figura 37. Estructura del agroecosistema 8	
.....	71
Figura 38. Estructura del agroecosistema 9.....	72
Figura 39. Estructura del agroecosistema 10.....	72
Figura 40. Estructura del agroecosistema 11.....	73
Figura 41. Etapas básicas para formular propuestas viables en agroecosistemas AES. (Elaboración propia).	83

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Informantes clave y UFI recorridas. Fuente: elaboración propia.....	21
Cuadro 2. Clases de tierra representativas, variantes y combinaciones en el ejido Mafafas, identificadas en función del conocimiento local (de acuerdo con el color, estructura, textura, pedregosidad y profundidad). *Tierras que fueron muestreadas y clasificadas taxonómicamente.....	25
Cuadro 3. Clasificación de tierras de acuerdo con la NOM 021 RECNAT 2000....	55
Cuadro 4. Resultados para una superficie total de 793 ha.	56
Cuadro 5. Muestreo y tipos de tierra evaluados para conocer la precisión.	58

1. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo y del espacio el crecimiento descontrolado de las poblaciones humanas ha originado una profunda e irreversible huella en los paisajes naturales. Algunas consecuencias atribuidas a la actividad humana son la deforestación y la contaminación, que cada vez presentan una mayor intensidad y expansión. El crecimiento poblacional no planeado y los sistemas de agrícolas convencionales son algunos de los responsables de la degradación de los recursos naturales. Por lo tanto, en México caracterizar dichos recursos a nivel local se vuelve fundamental, para perfeccionar las técnicas para la conservación de ecosistemas y el aprovechamiento sustentable de agroecosistemas (AES), los cuales, proveen alimentos, al mismo tiempo conservan la biodiversidad, los ciclos ecológicos y de los nutrientes. Entre los AES de zonas tropicales más biodiversos destacan los sistemas agrosilvopastoriles, las milpas intercaladas con frutales y los cafetales de sombra.

Para lograr la sustentabilidad se torna esencial la planeación, y ésta no puede realizarse sin caracterizar las tierras y sus procesos de formación, ya que es ahí donde se llevan a cabo las actividades agrícolas. Especialmente el suelo es un cuerpo natural que tiene un desarrollo extremadamente lento, se considera un recurso no renovable ya que puede perderse o degradarse en un lapso muy corto de tiempo, de ahí surge la necesidad de conocer su distribución geográfica y génesis, para aprovecharlo y conservarlo de una manera eficaz y eficiente. La importancia del suelo se nota cuando se trabaja con el enfoque de sistemas, debido a que el sistema suelo (desde una visión científica) o la tierra (desde una visión rural o indígena) se convierte en un subsistema del AES, en el cual, ocurren procesos biogeoquímicos, éstos son restringidos por las decisiones que el productor aplica por medio del manejo y combinados definen la fertilidad de la tierra y su potencial de uso. Por lo tanto, se considera que el subsistema suelo es naturalmente el corazón de los AES que utilizan uno o varios cultivos con valor agronómico, ya que éste actúa como la fuente primaria de macro y micronutrientes que cualquier planta necesita para su desarrollo. Así mismo, se tiene presente que para formular propuestas que ayuden a mejorar la eficiencia de AES con baja productividad y con escenarios adversos

como el del cambio climático, previamente se necesita realizar un análisis integral de éste para analizarlo y conocerlo detalladamente.

La clasificación de suelos incorporada a la información del manejo y uso de estos realizada mediante medio del método etnoedafológico, contribuirá positivamente en los AES de café en el ejido de Mafafas, municipio de Tepetlán, Veracruz., al proveer información sobre los procesos de formación del suelo y la estructura de los agroecosistemas de cafetal asociados, dicha información será considerada para diseñar medidas consensuadas que optimicen el aprovechamiento sustentable y conservación del suelo de los AES a corto, mediano y largo plazo.

Por lo tanto, en el primer apartado de este trabajo se expone el marco teórico y conceptual de la disciplina híbrida de la etnoedafología, cuestiones sobre el mapeo de tierras y las generalidades de los agroecosistemas cafetaleros en Veracruz. En la segunda parte de esta tesis se plantea el diseño, la situación problemática y los objetivos generales de la investigación. En el tercer apartado se explican las VI fases del trabajo, las cuales ayudaron a cumplir con los objetivos planteados, más adelante se exponen los resultados obtenidos, la discusión y conclusión de la investigación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco Teórico Conceptual

2.1.1 Teoría de sistemas

En el último siglo, los avances de la ciencia han permitido mejorar nuestra forma de ver el mundo y de interpretar la realidad. Por ejemplo, Lotka (1925) enfatizó en la necesidad de una nueva ciencia que considere a un organismo como un todo, desde su sistema biológico, hasta su sistema de organización social. Posteriormente, Bernal (1957) afirmó que era necesaria una nueva visión del mundo, la cual, debería ir mucho más allá de lo establecido y aclarar diversas preguntas sobre las partículas fundamentales del universo, además debería ser compatible en distintas escalas, desde lo particular hasta lo general. Con estos y muchos otros pensamientos más surge la teoría general de sistemas, con el propósito de analizar sus principios aplicables, en cualquier campo de investigación y en cualquier escala espacio temporal (Von Bertalanffy, 1976). De acuerdo con Hart (1985), los sistemas como unidades de estudio pueden clasificarse en cerrados o abiertos, éstos

se integran de componentes que brindan una estructura y una funcionalidad, así mismo, poseen entradas, salidas y límites. Posteriormente se desarrollaron los conceptos básicos de la teoría de sistemas, con respecto a su aplicación a la sociedad (Luhmann, 1990). Por otra parte, Lee (2010) utilizó una analogía de la química, en la que las constitutivas de un sistema son como los elementos reactivos que forman un compuesto, por lo tanto, un sistema es más que la suma de sus componentes.

2.1.2 El Agroecosistema

El concepto de ecosistema fue introducido por Tansley (1935), quién lo definió bajo una concepción holística, éste combina a los organismos vivos y el ambiente físico en un solo sistema natural y abierto. Estos sistemas ecológicos son dinámicos, ya que en ellos ocurren flujos de energía y ciclados de nutrientes (Hart, 1985). Ahora bien, los agroecosistemas (AES) al igual que los ecosistemas, también incluyen los elementos bióticos y abióticos, con sus interacciones, pero éstos se diferencian porque el AES aparte de ser un subconjunto del ecosistema, éste incluye un factor social, el cual, a partir de decisiones controla los flujos de materia y energía (Conway, 1987). De acuerdo con Gliessman *et al.* (2007), el AES constituye el objeto de estudio de la agroecología, disciplina que a partir de sus métodos permite un análisis integral, en función de la genética, agronomía y edafología de los sistemas de producción agrícola. Así mismo, Conway (1985) establece que, dentro de cualquier AES, es necesario conocer la productividad, estabilidad, sostenibilidad y equidad, con el objetivo de determinar la jerarquía de cada componente. Por eso, el enfoque más útil para explicar el funcionamiento de los AES es la teoría de sistemas, que asevera que las propiedades de un sistema no pueden describirse por separado. Algunos autores establecen una serie de definiciones, según Hernández X. (1977), los AES pueden ser considerados como ecosistemas modificados, que sirven para producir alimento y fibra, y tienen el objetivo de cubrir las necesidades humanas. Por otro lado, Ruiz-Rosado (1995) considera al AES como una unidad agrícola, donde la interacción de los factores económicos, sociales y tecnológicos promueven ciertos niveles de sustentabilidad. Estos elementos ayudan a lograr un entendimiento de los niveles de evolución ecológica, social, estructural y funcional de los AES (Altieri, 1995). Así mismo, la comprensión de éstos solo ocurre cuando se estudian globalmente (Altieri, 1995; Gliessman 1990). Según Hart (1985)

analizar a un sistema es relacionar su estructura con su función, la primera depende de tres elementos: número de componentes, tipo de componentes y arreglo entre componentes. La segunda se define en procesos de entradas y salidas, como la productividad, eficiencia y variabilidad. Debido a lo anterior, cada uno de los sistemas finca del ejido representará a un agroecosistema diferente, ya que cada uno de ellos tiene su propia biodiversidad de cultivos y vegetación de sombra, por lo tanto, estructuras y funciones únicas.

La Figura 1 muestra el modelo de agroecosistema (línea roja), que se usará en este trabajo, el cual representa un subconjunto del ecosistema (línea verde), con un arreglo de elementos que el productor aplica en el sistema finca (línea amarilla). Los elementos socioeconómicos influyen en los subsistemas del sistema finca: sombra, plantas de café, plagas, enfermedades, arvenses, microorganismos y estos a su vez influyen en las propiedades del suelo, los cuales, complementados con otros recursos bióticos y condiciones ambientales funcionan en conjunto como un todo.

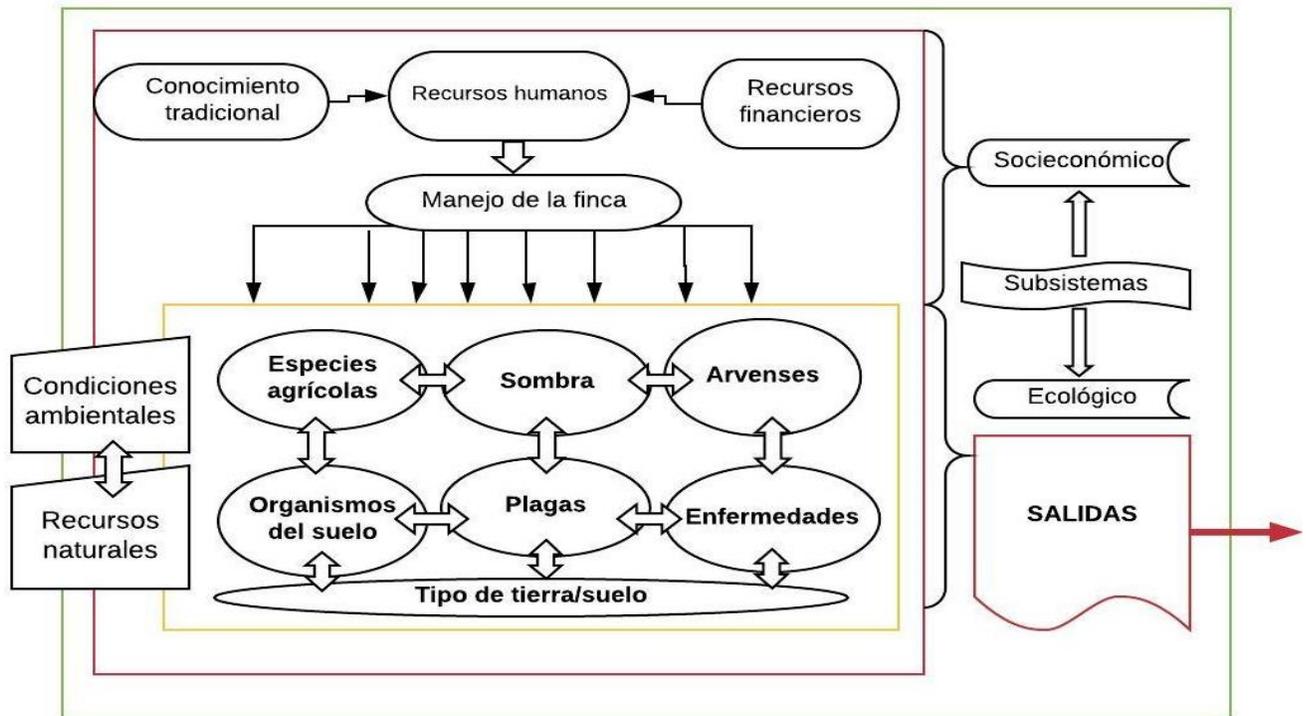


Figura 1 Modelo abstracto de un agroecosistema (elaboración propia)

2.1.3 El subsistema suelo-tierra dentro del agroecosistema

Cabe destacar que durante el escrito, se mencionan los conceptos de suelo y tierra, éstos se consideran como sinónimos, ya que se refieren al mismo recurso natural, no obstante, existen diferencias semánticas entre ellos, de acuerdo con Pájaro y Tello, (2014), comúnmente para el técnico, el suelo tiene un carácter mono-sémico, unidimensional, con criterios exclusivamente productivistas, por el contrario, la tierra para un campesino representa un dominio polisémico, multidimensional y multicriterio. Uno de los supuestos básicos que explica a una dualidad inseparable, es que no puede existir cultura sin naturaleza y viceversa, ya que el hombre además de ser naturaleza misma, éste le otorga a ésta un nombre, la transforma en su beneficio y la degrada, (Bassols, 2010). Por un lado, para un campesino, agricultor o indígena, la tierra puede significar algo muy complejo que trasciende el tiempo y el espacio. Un ejemplo de la relación hombre-tierra se puede encontrar en un poema de Miguel Hernández escrito en 1937.

El niño yuntero

*Carne de yugo, ha nacido
más humillado que bello,
con el cuello perseguido
por el yugo para el cuello.*

*Nace, como la herramienta,
a los golpes destinado,
de una tierra descontenta
y un insatisfecho arado.*

*Entre estiércol puro y vivo
de vacas, trae a la vida
un alma color de olivo
vieja ya y encallecida.*

*Empieza a vivir, y empieza
a morir de punta a punta
levantando la corteza
de su madre con la yunta.*

*Empieza a sentir, y siente
la vida como una guerra
y a dar fatigosamente
en los huesos de la tierra.*

*Contar sus años no sabe,
y ya sabe que el sudor
es una corona grave
de sal para el labrador.*

*Trabaja, y mientras trabaja
masculinamente serio,
se unge de lluvia y se alhaja
de carne de cementerio.*

A fuerza de golpes, fuerte,

*y a fuerza de sol, bruñido,
con una ambición de muerte
despedaza un pan reñido.*

*Cada nuevo día es
más raíz, menos criatura,
que escucha bajo sus pies
la voz de la sepultura.*

*Y como raíz se hunde
en la tierra lentamente
para que la tierra inunde
de paz y panes su frente.*

*Me duele este niño hambriento
como una grandiosa espina,
y su vivir ceniciento
revuelve mi alma de encina.*

*Lo veo arar los rastros,
y devorar un mendrugo,
y declarar con los ojos
que por qué es carne de yugo.*

*Me da su arado en el pecho,
y su vida en la garganta,
y sufro viendo el barbecho
tan grande bajo su planta.*

*¿Quién salvará a este chiquillo
menor que un grano de avena?
¿De dónde saldrá el martillo
verdugo de esta cadena?*

*Que salga del corazón
de los hombres jornaleros,
que antes de ser hombres son
y han sido niños yunteros.*

De acuerdo con los poemas de Hernández y a la literatura inglesa de Berger, (1979), y con una visión euro centrista pero valedera en cualquier parte del mundo, la tierra no solo es lo que el campesino pisa y trabaja para mantener a su familia en el presente y en el futuro, le da un sentido más profundo, por eso la tierra es la posesión más preciada para un campesino, debido a que ésta le concede una identidad cultural.

Por otro lado, para un científico, el suelo es un cuerpo natural, éste es considerado por (Hart, 1985) como un subsistema del agroecosistema. Está compuesto de minerales, gases, agua y organismos vivos, se desarrolla en la capa más superficial y delgada de la corteza terrestre (Boul *et al.*, 2011). Dicha capa recibe el nombre de pedósfera y en ella se originan los horizontes del suelo, un conjunto de horizontes forma un pedon y un conjunto de pedones forman un polipedón (Brady y Weil, 1999). Las capas diferenciadas en el suelo son el resultado de una interacción originada por cinco factores de formación; clima, vegetación, relieve, material parental y tiempo, los cuales actúan intrincadamente para la génesis del suelo en todo el planeta (Jenny, 1941). De acuerdo con Simonson (1959), los procesos de formación del suelo son cuatro: adición de material externo dentro del perfil; pérdida de material en el perfil; translocación de material de un horizonte a otro y transformación de minerales. La geomorfología influye de manera decisiva en las características del suelo, al balancear el material en la superficie terrestre, es decir, en el caso de la ablación de materiales en las crestas de las vertientes causa truncamiento de suelos, mientras que la acumulación de los materiales desplazados hacia la parte baja causa sepultación de suelos (Tricart, 1965). El medio geomorfológico a través del material parental, del relieve (pendiente, altura relativa, exposición) y de las condiciones de drenaje, controlan una parte de los factores y procesos de formación de los suelos, mismos que se ven reflejados en la forma de la pendiente, en el desarrollo y profundidad de éstos (Zinck, 2012).

Considerando las dos vertientes anteriores, el suelo en sus distintas variaciones, es un elemento muy importante dentro del paisaje porque cumple diversas funciones, de las cuales, un AES no puede prescindir. Dichas funciones específicas son: proveer de sustrato, nutrientes, aire y calor a las plantas (Mueller *et al.*, 2010). También el suelo proporciona al ser humano zonas de producción de alimentos y zonas habitables (Doran y Zeiss, 2000). Por otra parte, tiene la función de regular los procesos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono (Chapin *et al.*, 2009); el ciclo del fósforo (Frossar *et al.*, 1995); el ciclo del nitrógeno (Mitchell, 2000), entre otros. Otra de sus funciones es el almacenar y distribuir el agua a los mantos freáticos, por eso es esencial dentro del ciclo hidrológico (Franzluebbers, 2002).

2.1.4 La cartografía de suelos y la clasificación campesina de tierras

Desde que el hombre descubrió la fertilidad del suelo y la usó como la fuente principal de alimento, existió una gran curiosidad por conocer la génesis y distribución de dicho recurso (Krupenikov, 1993). Sin embargo, los conocimientos del suelo sólo se limitaban a ser representados en dibujos, porque los mapas en ese entonces carecían de una ubicación real, ya que no empleaban un sistema de referencia, tampoco escalas cartográficas (Miller y Schaetzl, 2014). Siglos después, a finales del XIX y principios del XX, se publicaron los primeros mapas topográficos, los cuales dieron una perspectiva más detallada del relieve, esto permitió realizar el primer mapa de geología y suelos en 1915 por William Smith (University of New Hampshire, 2013). Décadas después surgió el uso de la fotografía aérea, que también brindó nuevos alcances y métodos a la cartografía de los suelos, posteriormente la revolución digital permitió proveer herramientas muy precisas y útiles, como los sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de posicionamiento global (GPS) (Miller y Schaetzl, 2014). Además, se ha registrado el surgimiento y perfeccionamiento de numerosos sensores montados en plataformas espaciales o en aviones, que actualmente representan una alternativa importante para el reconocimiento de recursos naturales y procesos llevados a cabo en la superficie de la corteza terrestre. Destacando los modelos digitales de elevación (MDE) y las imágenes de satélite, que actualmente se encuentran disponibles en distintas resoluciones espaciales, espectrales y temporales (Ren *et al.*, 2011).

Actualmente se han desarrollado sofisticadas técnicas para el mapeo digital y automatizado del suelo, un ejemplo es la estimación de la distribución espacial de distintas propiedades mediante el uso de técnicas geoestadísticas como el Kriging y regresiones lineales (Carvalho *et al.*, 2014). Por otro lado, las técnicas pedométricas que se encargan de medir y representar las características edafológicas en un mapa digital de suelos, a partir de modelos matemáticos y estadísticos (Finke, 2012). Sin embargo, este tipo de métodos necesitan un gran número de datos y de muestras en campo, lo que dificulta el proceso cartográfico. Un ejemplo contrastante, es el de Boettinger *et al.*, (2008), quienes utilizan imágenes multispectrales para calcular algunas propiedades del suelo, con herramientas e insumos relativamente fáciles de obtener. Todo ello solo

representa solo una pieza del proceso cartográfico de suelos, ya que éste debe ser integrado con la información obtenida en la fase de gabinete, campo, postcampo y de los análisis de laboratorio (Rossiter, 2004). Debido a la evolución del conocimiento dentro de las ciencias del suelo, el conocimiento local de los agricultores se subestimó durante gran parte del siglo XX, y llegó a ser visto como informal y nada sistemático. Por eso, el uso de las taxonomías locales para mejorar la clasificación científica y mapeo de suelos, aún no han sido aprovechados al máximo (Krasilnikov y Tabor, 2003). Mas adelante, Pájaro y Tello, (2014) afirman que la mente de los agricultores posee un conocimiento categórico y espacial de sus recursos, y su trabajo cotidiano les permite clasificar y espacializar los distintos tipos de tierras en su región de trabajo. Por lo tanto, el conocimiento local de los productores apoyado del conocimiento técnico puede representarse en un mapa, porque la denominación y distribución de las clases de tierra son basadas en sus experiencias cotidianas (Williams y Ortiz, 1981).

Debido a lo anterior, los agricultores pueden ubicar con cierta precisión los tipos de tierra, esta información es bastante útil para los técnicos, ya que puede ayudar a construir mapas de suelos más cercanos a la realidad. Por las razones anteriores, el conocimiento local de los productores y el conocimiento científico de los técnicos, a pesar de ser contrastantes, se vuelven complementarios para desarrollar un nuevo proceso cartográfico de suelos, que mantiene las características propias de cada pensamiento (Ortiz y Gutiérrez, 2001).

2.1.5 Etnoedafología y clasificación campesina de tierras

La Figura 2, muestra los componentes de la disciplina etnopedológica o también conocida como etnoedafología, provee las bases teóricas para realizar estudios transdisciplinarios a nivel agroecológico y con un enfoque sistémico (Ortiz y Gutiérrez, 2001; Bassols, 2002).

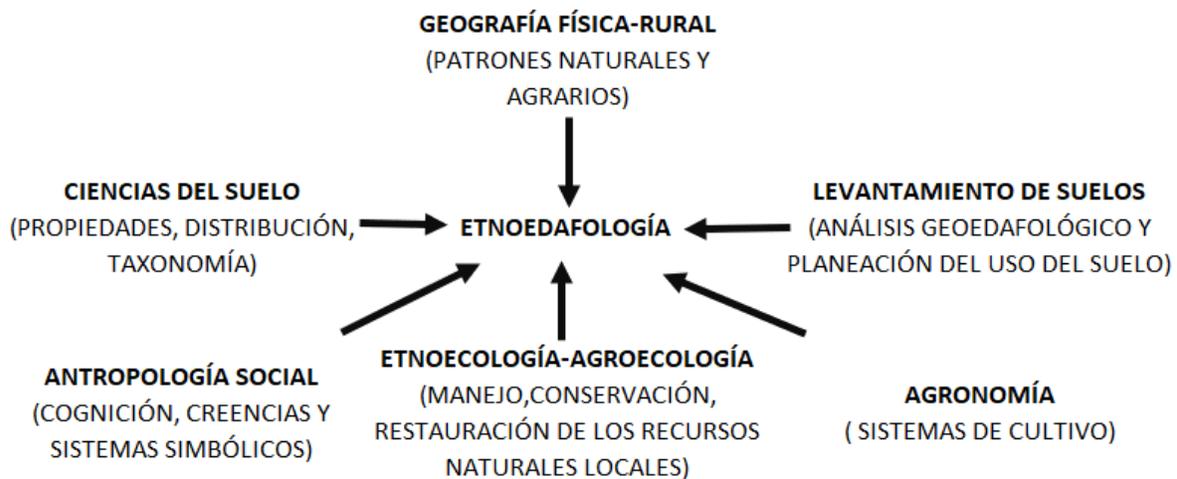


Figura 2. Etnoedafología, una disciplina híbrida, (Tomado de Bassols y Zinck 2003).

De acuerdo con Barrera-Bassols *et al.* (2006), la etnoedafología es una disciplina híbrida, compuesta por ciencias naturales y ciencias sociales, abarca los sistemas de conocimiento de la tierra de las poblaciones rurales, desde lo tradicional hasta lo moderno. Ésta se compone por: *Corpus*: sistemas cognitivos locales; *Praxis*: sistemas de gestión local y *Kosmos*: sistema local de creencias y símbolos. Por eso, la etnoedafología consiste en un enfoque integrador, que reconoce la relevancia del contexto cultural en la gestión local sostenible de los recursos naturales. Por otro lado, el enfoque etnoedafológico de acuerdo con Barrera-Bassols y Zinck (2006), es bastante útil porque integra el conocimiento local de las personas en la clasificación de tierras, la distribución-manejo de éstas, y la conservación del conocimiento local a través del espacio y del tiempo.

En las últimas décadas del siglo pasado, en México se comenzó a valorar el conocimiento local para la caracterización y diagnóstico de los recursos naturales, en especial del suelo. Desde entonces, dicho conocimiento se ha empleado para la realización de inventarios edafológicos, entre los cuales, destaca la clasificación campesina de tierras (Ortiz *et al.*, 1991), ya que, con la ayuda del conocimiento del productor, un técnico construye la cartografía de las tierras, además de obtener información agroecológica complementaria, relacionada con las propiedades, uso y manejo de dichas tierras.

Usualmente, la clasificación campesina de tierras se realiza con los productores de la zona, y posteriormente se complementa con una clasificación taxonómica, apoyada del método científico y de un sistema de clasificación estandarizado (Soil Survey, 2014; WRB, 2014), la intención de transferir el conocimiento y las tecnologías de un lugar a otro (Ortiz, 1993).

2.1.6 La clasificación campesina de tierras y su correspondencia con el levantamiento tradicional de suelos

Naturalmente cada país cuenta con su propio acervo de recursos naturales, éstos a su vez determinan su propia 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, éste consiste en una serie de pasos que ayudan a ordenar el conocimiento de una manera sistemática (Brady y Weil, 1999; Rossiter, 2002). Por lo tanto, el levantamiento de suelos tiene como objetivo principal responder dos preguntas básicas, ¿cómo son los suelos? y ¿dónde están esos suelos? (Ortiz, 2010), para esto, se desglosan cinco escalas de trabajo con distintos propósitos, de las cuales, la escala de quinto orden es la más general, sencilla, barata y sirve para objetivos muy generales, mientras que la escala de primer orden es más costosa y precisa, ésta se utiliza para predecir el comportamiento de los suelos bajo un determinado uso y manejo (Brady y Weil, 1999).

Por otro lado, la metodología que se basa en el conocimiento local para realizar mapas de tierras, puede representar un buen sustituto del levantamiento de suelos de primer orden (Ortiz y Gutiérrez, 2001), ya que ésta, a pesar de ser más barata, los mapas producidos pueden tener mayor precisión y exactitud que un mapa derivado de un levantamiento convencional de suelos, el cual puede representar mayores costos de tiempo, esfuerzo y dinero (Ortiz *et al.*, 1991; González *et al.*, 2000; Pájaro, 2015).

Por otra parte, la clasificación de las tierras apoyada de otras disciplinas, es bastante útil, porque puede servir como base para desarrollar un sistema de planeación local

(Krasilnikov y Tabor, 2003), que puedan impulsar el desarrollo sustentable de agroecosistemas, entre algunos ejemplos destacan: evaluaciones agroecológicas (De la Rosa, 2008), el diseño y rediseño de agroecosistemas (Lovell *et al.*, 2010) y ordenamientos territoriales comunitarios (Barrera-Bassols *et al.*, 2012; Ojeda-Trejo *et al.*, 2016). Cabe destacar que la metodología de clasificación campesina de tierras propuesta por Ortiz *et al.* (1991) es una técnica relativamente fácil de aplicar y bastante útil en estudios de AES, ya que durante su aplicación se toman en cuenta distintos aspectos agronómicos y socioambientales. Así mismo de acuerdo con Ortiz (1993), ayuda a formar un puente de comunicación entre estas dos formas de pensamiento, además de posibilitar un intercambio de información con otras regiones del país y del mundo.

2.2 Marco Referencial

2.2.1 Los agroecosistemas cafetaleros en Veracruz

En América Latina, el café es importante en países que han sido reconocidos como megadiversos, tales como: Colombia, Brasil y México (Mittermeier *et al.*, 1998). Una aproximación sobre la configuración de los cafetales en México la pueden brindar Moguel y Toledo (1996), quienes mencionan que las principales áreas cafetaleras coinciden con áreas designadas por CONABIO como áreas prioritarias para la conservación, debido al alto número de especies endémicas que contienen. Además, plantean cinco categorías de cafetal; fragmento de bosque: mezcla de especies primarias y secundarias sin manejo, rústico: semejante a un bosque aclarado para intercalar el café, policultivo tradicional: combinación de especies de bosque y frutales introducidos, policultivo comercial: se remueve el dosel natural y se siembran árboles de sombra que tienen un uso comercial, monocultivo a sombra: sombra de una sola especie, a sol: sin árboles y con alto uso de insumos agrícolas. Manson *et al.* (2008) afirman que el tipo de cafetal más común en Veracruz son el policultivo tradicional y el rústico. Así mismo, los cafetales se consideran agroecosistemas, bajo la premisa de que no existen sistemas agrícolas totalmente autosuficientes, pero se sabe que existen sistemas más autosuficientes que otros (Gómez Pompa, 1982). Por lo tanto, dependiendo del manejo, los cafetales pueden conseguir ciertos niveles de autosuficiencia ya que son sistemas que requieren de

sombra y tienden a coexistir con una parte del ecosistema natural, lo que los convierte en AES muy valiosos porque conservan la biodiversidad nativa y como consecuencia se mantienen los ciclos ecológicos (Jiménez Avila y Gómez Pompa, 1982). Por otra parte, el sector cafetalero es importante a nivel mundial, por su aceptación social y su compatibilidad ambiental, no obstante, México se enfrenta desde 1988 a una crisis debida a la caída de los precios del grano en el mercado y más recientemente, la caída de la producción ocasionada por la roya (*Hemileia vastatrix*) (Escamilla y Landeros-Sánchez, 2016).

Se sabe que las propiedades físicas y químicas de los suelos influyen en la fragancia, el aroma y el sabor del café, estos a su vez le proporcionan la calidad al producto (Rosas *et al.*, 2008). Por otra parte, la salud del suelo es fundamental para la producción agrícola sustentable y su evaluación cuantitativa proporciona un marco para la gestión del mismo (Rekik *et al.*, 2018). Es común que cuando se desea conocer las propiedades de los distintos tipos de suelo de una localidad, se consulten los compendios cartográficos oficiales, en el caso de México: INEGI, generalmente la información edafológica se encuentra disponible a una escala 1:250 000 y no se ajusta a la realidad local, este desajuste no solo es causado por la escala, sino también por la escasa verificación de estos mapas en el campo, lo que les confiere una baja calidad (Lleverino *et al.*, 2000). Cabe resaltar que en el Estado de Veracruz existen pocos estudios etnoedafológicos a escalas locales, entre los ejemplos más conocidos se encuentran los casos de Cruz Balcázar *et al.* (1998) quienes desarrollaron una clasificación campesina de tierras en sistemas de maíz en el municipio de Jamapa, así mismo, Sánchez Guzmán *et al.*, (2002) relacionaron la clasificación campesina de tierras con la producción de caña de azúcar en la región de Los Tuxtla, por su parte Licona Vargas *et al.*, (2006) realizaron lo mismo, pero con fines de transferencia de tecnología en un policultivo de café-plátano en el municipio de Chocamán y Cruz Cárdenas *et al.* (2008) aplicaron este enfoque en tierras con aprovechamiento cítrico en Papantla. Como se observa, la clasificación campesina de tierras, como parte del enfoque etnoedafológico es muy versátil, y ya se ha utilizado para cubrir distintos objetivos en Veracruz., Por lo tanto, en esta investigación se pretende seguir promoviendo el uso de este enfoque dentro del campo de los agroecosistemas y exponerlo como una herramienta viable para la caracterización de los mismos (Ortiz y

Gutiérrez, 2001), además de mostrar que la información obtenida a partir de este enfoque puede ser bastante útil para la adaptación, mitigación y planeación del uso, aprovechamiento y preservación de los recursos naturales locales.

Por otro lado, de acuerdo con algunos autores, se toma como premisa que para poder superar los bajos precios del café en el mercado y los estragos de la roya, es necesario tomar en cuenta distintos aspectos: la especialización, la diferenciación del grano, la producción de café orgánico, la adición de un valor agregado y su introducción al comercio justo pueden ser alternativas factibles para aprovechar la cafecultura como eje de desarrollo (Escamilla *et al.*, 2005; Escamilla y Landeros-Sánchez, 2016), esto solo se puede conseguir bajo un esquema de prácticas agroecológicas que le impriman calidad al producto y que garanticen el uso sostenible de los recursos bióticos y abióticos (Jiménez Avila y Gómez Pompa, 1982). Por lo tanto, para diseñar un esquema de manejo agroecológico es necesario caracterizar la estructura de los AES. Actualmente existen enfoques y herramientas para caracterizar a ciertos componentes de los agroecosistemas cafetaleros (Altieri y Nicholls, 2002). Estas pueden constituir alternativas viables para conocer a un sistema, sin embargo, estas formas se encuentran limitadas, ya que son evaluaciones rápidas que no profundizan explícitamente en el conocimiento de cada componente de un AES o solo se enfocan en un componente. Es decir, estos enfoques sirven para realizar una caracterización superficial y a pesar de que consideran información proporcionada por los productores, no aprovechan al máximo el conocimiento local, ya que los indicadores no proporcionan información adicional para conocer el mayor número posible de elementos de un AES. Otro ejemplo es el de Soto Pinto *et al.* (2007) quienes se valieron del conocimiento local para determinar la composición de la sombra en distintos estratos de cafetales Chiapanecos.

De los argumentos anteriores y de la falta de estudios locales previos surge la necesidad de caracterizar las tierras y la estructura de los AES cafetaleros del ejido de Mafafas, Veracruz, con el fin de conocer las propiedades y procesos edáficos y la estructura de sus agroecosistemas cafetaleros, para identificar las limitantes y potencialidades en estudios posteriores, que contribuyan en la formulación de ejercicios de planeación local sustentable. Por lo tanto, en este trabajo se pretende demostrar cómo la etnoedafología, que es una disciplina transdisciplinar puede ayudar a cubrir estas necesidades.

3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

3.1 General

En México, 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/o transferencia de tecnologías en agroecosistemas, sin considerar ambos elementos como conjunto. También existe una carencia de métodos para la caracterización integral de AES a nivel local, que apoyen la toma de decisiones enfocadas a alcanzar un manejo óptimo y un aprovechamiento sustentable del suelo y de los recursos naturales locales. Lo anterior puede acarrear una serie de efectos negativos, cómo la aceleración de la degradación, contaminación, erosión de las tierras y de los recursos naturales en general.

3.2 Local

En la historia, los agroecosistemas cafetaleros del ejido de Mafafas, Ver., se han descrito como muy productivos, actualmente esa productividad disminuyó notablemente, debido a las plagas y enfermedades del cultivo, al abandono de fincas, erosión de las tierras y al cambio climático.



Figura 3. Fincas de café con plantas nuevas y con suelo descubierto

3.3 Problemas de investigación

Actualmente se tiene desconocimiento de las propiedades edafológicas y de las características estructurales de los AES cafetaleros del ejido de Mafafas, municipio de Tepetlán, Veracruz.

Dentro del campo de los agroecosistemas resalta la falta de métodos transdisciplinarios de caracterización, que suministren las bases para la toma de decisiones enfocadas a revertir la baja productividad de estos sistemas a nivel local

3.4 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las propiedades edáficas y procesos pedogenéticos predominantes en el ejido de Mafafas, municipio de Tepetlán, Veracruz?
2. ¿Cuál es la configuración del uso del suelo y la cobertura vegetal en el ejido de Mafafas, Ver?
3. ¿Cuál es la estructura y el manejo de las fincas en el ejido Mafafas, Ver?

3.5 Hipótesis

La aplicación del método etnoedafológico permitirá generar información de primera mano para caracterizar la estructura de los agroecosistemas cafetaleros de Mafafas, complementando el conocimiento local con el conocimiento científico.

3.6 Hipótesis específica

El conocimiento local de las de tierras en la localidad de Mafafas, Ver, es compatible con la clasificación taxonómica de suelos, juntos pueden dar una aproximación más acertada de la distribución, uso, propiedades y procesos de este recurso en el ejido.

3.7 Objetivo general

Aplicar el método etnoedafológico para caracterizar las tierras y la estructura de los agroecosistemas cafetaleros del ejido de Mafafas, Ver., complementando el conocimiento local de los productores de café con el conocimiento científico.

3.8 Objetivos específicos

1. Identificar las clases de tierra del ejido Mafafas, en función del conocimiento local de los productores de café.
2. Cartografiar la cobertura vegetal/uso del suelo.
3. Identificar los procesos edáficos de las tierras representadas en el mapa.
4. Caracterizar la estructura de agroecosistemas cafetaleros de Mafafas Ver.

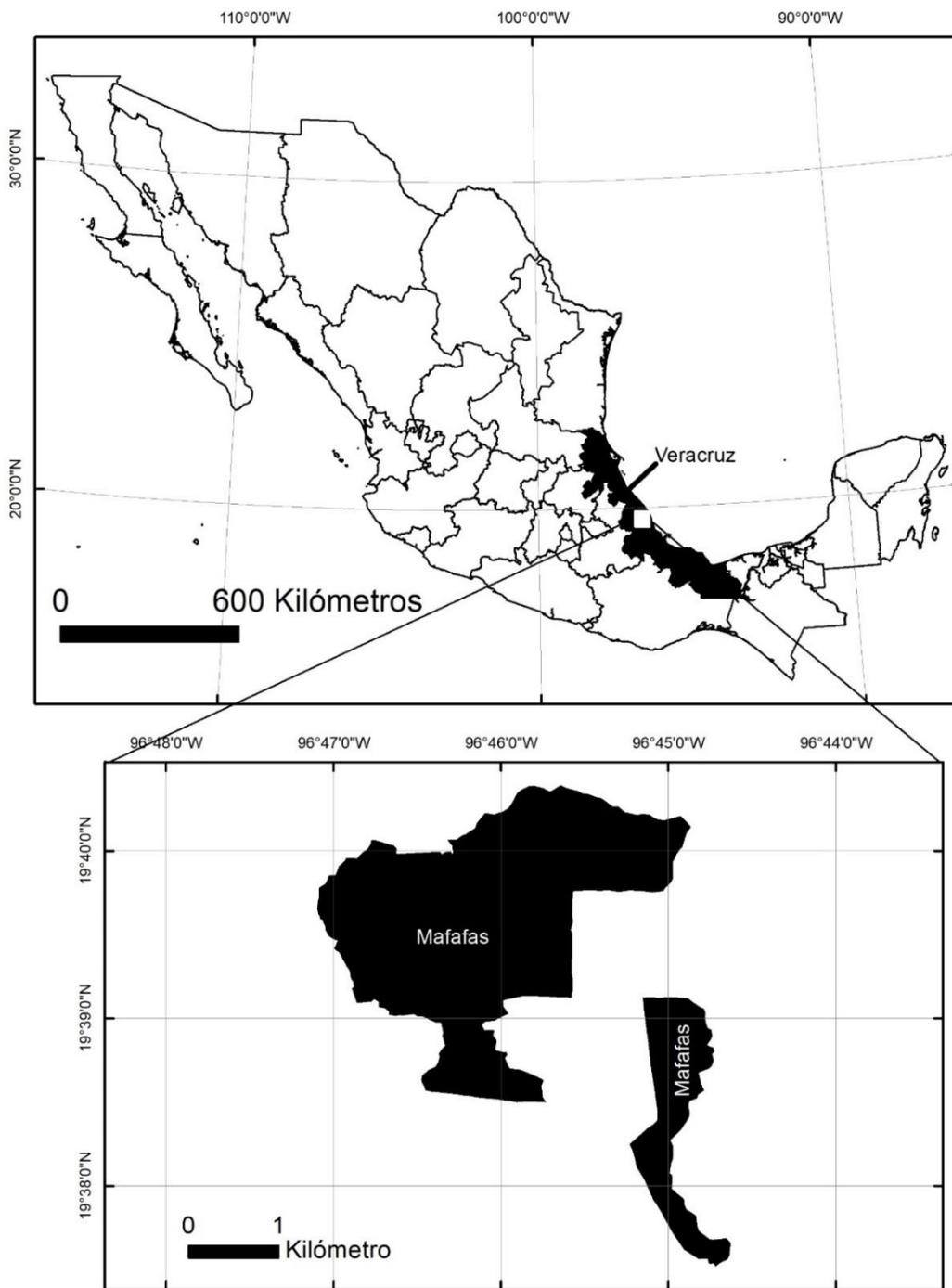
3.9 Justificación

La clasificación de suelos contribuirá positivamente en los AES de café en el ejido de Mafafas, municipio de Tepetlán, Veracruz., al proveer información sobre los procesos de formación del suelo y la estructura de los agroecosistemas de cafetal asociados, dicha información será considerada para diseñar medidas consensuadas que optimicen el aprovechamiento sustentable y conservación del suelo de los AES.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

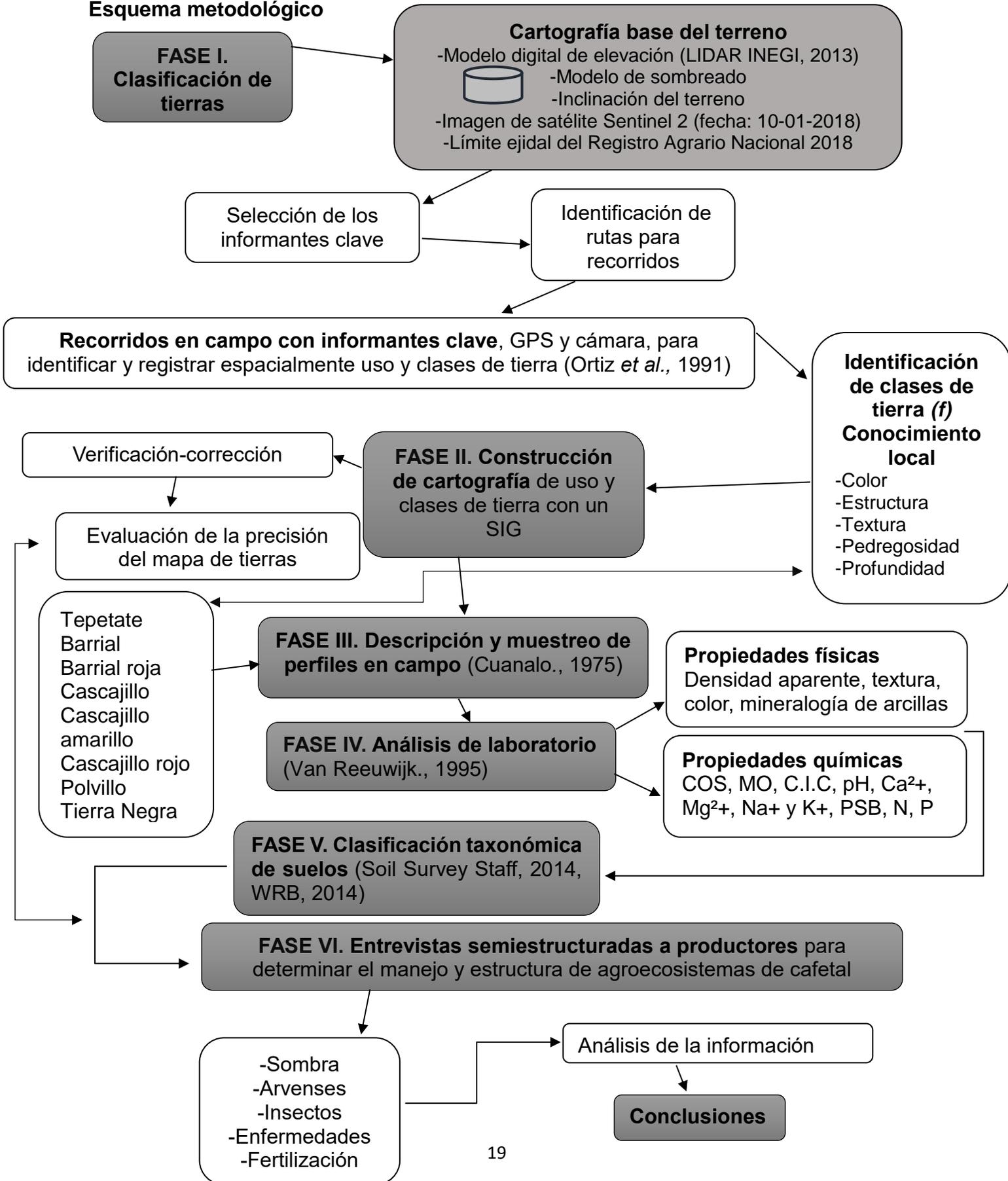
El estudio se realizará en la localidad de Mafafas, un ejido cafetalero del municipio de Tepetlán, ubicado en el centro del estado de Veracruz. El núcleo poblacional de este ejido se encuentra en la coordenada central 19.65° de latitud este y de -96.75° de longitud oeste, y se encuentra a una altitud entre 1300 y 1500 msnm. El basamento geológico está constituido predominantemente por depósitos de origen volcánico, que de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano consiste en brecha volcánica dacítica y toba andesítica. El clima es semicálido húmedo (A)C(m), con temperatura media anual entre 18°C y 22°C, con precipitación anual entre 2000 y 3000 mm. Este ejido se ubica entre las subcuencas del Río Actopan-Barra de Chachalacas y Río Sedeño, ambas pertenecientes a la cuenca del Río Jamapa y a la región hidrológica del Papaloapan. Oficialmente los suelos más comunes en la zona se clasifican como: Andosol, Phaeozem y Vertisol (SERIE II, INEGI 2006). Las especies vegetales identificadas en el Ejido Mafafas son *Quercus spp.*, *Heliocarpus*, *Diospyros digyna*, *Ficus cotinifolia*, *Cupresus lusitánica*, *Inga vera*, *Eysenhardtia polystachya*, *Platanus mexicana*, *Clethra mexicana*, *Acacia farnesiana*, *Pinus patula*, *Erythrina americana*, *Oreopanax*, *Anona* y *Yucca* (Información propia).



Fuentes: INEGI 2010, RAN 2018.

Figura 4. Localización del área de estudio

Esquema metodológico



4.3 Fases

Dentro del marco general de la disciplina etnoedafológica, se procedió con la FASE I, que consistió en realizar una clasificación campesina de tierras, con base en la metodología de Ortiz-Solorio *et al.* (1990), esta radicó en reunir la cartografía base, realizar la selección y recorridos con la guía de los informantes clave. Por lo tanto, se analizó espacialmente el área de estudio, con el objetivo de zonificar unidades homogéneas a partir del relieve, mismo que constituye uno de los principales factores de formación del suelo, este es un elemento relevante durante el levantamiento de tierras, principalmente cuando éste se realiza a una escala detallada. El análisis del relieve durante esta etapa sirvió 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 5 metros por píxel, el cual que se derivó de una nube de puntos altimétricos LIDAR (INEGI, 2013) que sirvió para la fotointerpretación.

Las UFI delineadas a partir de este modelo ayudaron a delimitar unidades homogéneas dentro del ejido, las cuales posteriormente fueron recorridas con los informantes clave, con el objetivo de verificar si estas unidades coinciden con las unidades de tierra y si dentro de estas unidades homogéneas existe heterogeneidad de clases de tierra o no. A continuación, se muestra la Figura. 5, con las unidades de fotointerpretación dentro del polígono ejidal y el topónimo clave que servirá para identificar a cada una de ellas.

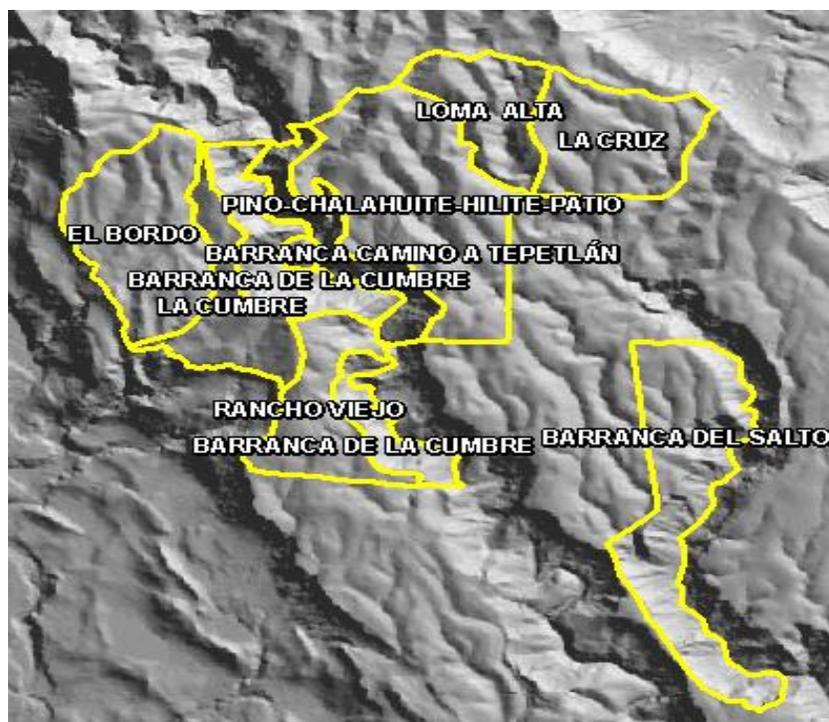


Figura 5. UFI's delimitadas a partir de un modelo de sombreado de alta resolución. Fuente: elaboración propia.

En esta misma etapa, los informantes clave fueron seleccionados de acuerdo con un perfil determinado Cuadro 1., por lo tanto, se trabajó con tres informantes, quienes representaron en algún momento al ejido con el cargo de Comisariado Ejidal. Los tres informantes conocen a la perfección todo el ejido de Mafafas y son reconocidos fácilmente por el resto de la población, lo que ayudó a hacer los recorridos de una manera segura.

Cuadro 1. Informantes clave y UFI recorridas. Fuente: elaboración propia

Informante clave	UFI
Israel Armenta Castillo	Pino-Chalahuite-Hilite
José Salazar Aguilar	Loma Alta, La Cruz, Cerrillo,
Cruz Estrada Salas	Barranca camino a Tepetlán, Barranca de la Cumbre, La cumbre, El Bordo, Barranca del Salto

Los recorridos representados en la Figura 5, fueron alternados por las veredas y a través de las fincas y fueron asistidos con un sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin Etrex20® y una cámara Garmin Virb Elite® que proporciona fotografías con georreferencia.

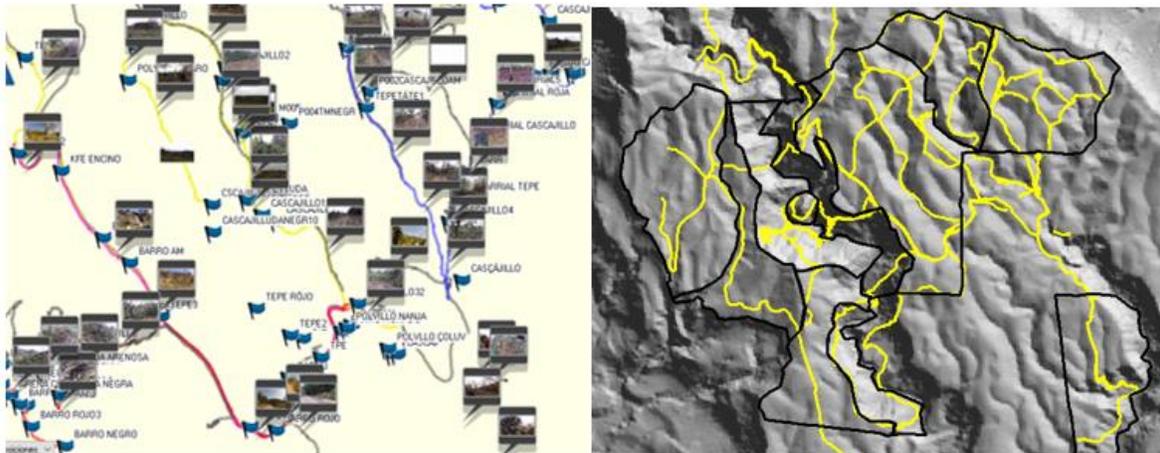


Figura 6. Recorridos georreferenciados y fotografiados con informantes clave.
Fuente: elaboración propia.

La FASE II consistió en la construcción del mapa de tierras a partir de los recorridos, y ésta se basó en la nomenclatura de cada clase de tierra identificada en los recorridos por los informantes, este mapa se construyó en el sistema de información geográfica (SIG) ArcMap 10.2 ESRI®, por lo tanto, incluye las clases de tierra más representativas de todo el ejido de Mafafas. Además, las fotografías con georreferencia sirvieron como puntos de control en el terreno para realizar una clasificación supervisada a la imagen óptica Sentinel 2, de libre acceso, con fecha del 10-01-2018, con este procedimiento se obtuvo la configuración del uso del suelo y la cobertura vegetal del ejido. Por otro lado, después de identificar y espacializar las clases representativas de tierra, se procedió con la FASE III, esta consistió en la descripción morfológica y muestreo de perfiles en cada clase de tierra, con base en los manuales para la descripción de perfiles de suelo en campo (Cuanalo, 1975; Schoeneberger, *et al.*, 2002.). En la FASE IV se realizaron los análisis de las muestras secadas al aire en el laboratorio de génesis y clasificación de suelos del Colegio de Postgraduados y 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 con el método de Walkley y Black, pH 1:2 en agua, bases intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} , las cuales se extrajeron con acetato de amonio (NH_4OAc), 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 (NH_4OAc). P con el método de Olsen y N con el método semi micro-Kjeldhal. En la FASE V, los 8 perfiles representativos fueron clasificados taxonómicamente utilizando la base referencial del recurso suelo (WRB, 2014) y las claves para la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2014). Para finalizar, en la FASE VI se realizaron entrevistas semiestructuradas en 11 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, éstas fueron relativas al 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, 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.

5 RESULTADOS

5.1 Identificación de los distintos tipos de tierra

Con la guía de los informantes clave, éstos recorridos cubren todas las UFI, dentro de las cuales, a partir del conocimiento local se han identificado distintos tipos de tierra. En total se caminaron alrededor de 70 km, en todos los recorridos, éstos fueron distribuidos dentro de todo el polígono ejidal, de los cuales, se ilustran tres transectos representativos, éstos se explicarán más adelante.

El primer transecto se efectuó el día 12/01/18, con el informante clave Israel Armenta, productor de café y ejidatario, esta persona fungió como Comisariado Ejidal en el periodo 2009-2012. La unidad visitada con este informante fue la de Pino-Chalahuite-Hilite, la

cual constituye la unidad más grande de todo el ejido, con una superficie de 159.90 ha. A continuación, se muestra el transecto topográfico de esta unidad y las clases de tierra que fueron ubicadas y nombradas por el mismo informante.



Figura 7. Transecto realizado con el informante clave, Sr. Israel Armenta, UFI Pino-Chalahuite-Hilite.

El segundo transecto se efectuó en día 13/01/18 con el Sr. José Salazar (actual Comisariado Ejidal) y productor de café. La UFI visitada con este informante fue la de Loma Alta, la cual constituye la tercera unidad más grande de todo el ejido, con una superficie de 81 ha.

A continuación, se muestra el transecto topográfico de esta unidad y las clases de tierra que fueron ubicadas y nombradas por el mismo informante.



Figura 8. Transecto realizado con el informante clave, Sr. José Salazar, UFI Loma alta.

El tercer transecto se efectuó en día 15/01/18 con el Sr. Cruz Estrada (Comisariado Ejidal en el periodo 2012-2015) y productor de café y caña. Las UFI visitadas con este informante fueron; Barranca Alto-Lucero, Barranca La Cumbre, La cumbre 2 y El Bordo, las cuales conforman en conjunto 275 ha. A continuación, se muestra el transecto topográfico de estas unidades y las clases de tierra que fueron ubicadas y nombradas por el mismo informante.

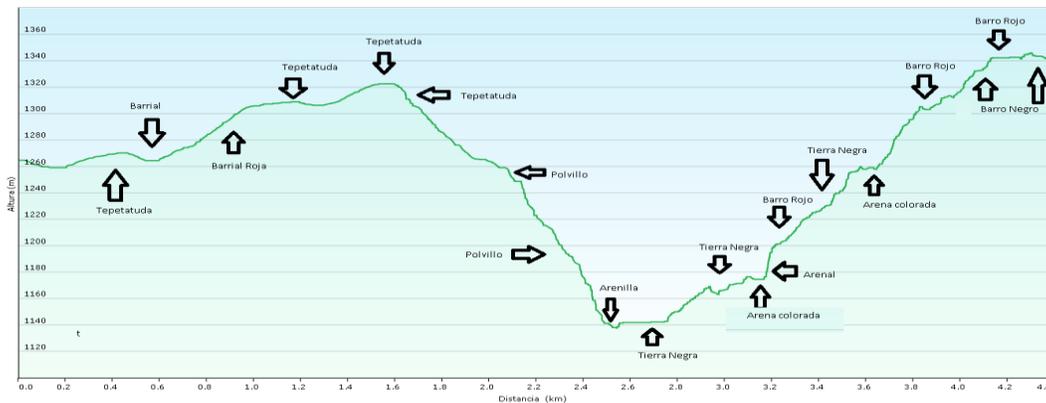


Figura 9. Transecto realizado con el informante clave, Sr. Cruz Estrada, UFI Barranca Alto-Lucero, Barranca La Cumbre, La Cumbre 2 y El Bordo.

A continuación, se presenta el Cuadro 2., con los tipos de tierra, sus combinaciones, variantes de color, el trabajo que requieren para producir café y rendimiento.

Cuadro 2. Clases de tierra representativas, variantes y combinaciones en el ejido Mafafas, identificadas en función del conocimiento local (de acuerdo con el color,

estructura, textura, pedregosidad y profundidad). *Tierras que fueron muestreadas y clasificadas taxonómicamente.

Combinaciones	Tierras representativas	Variantes	Trabajo requerido	Rendimiento/ Calidad
Barrial-Tepetate	*Tepetate	Roja	Requieren mucho trabajo, adición de otras tierras fértiles, abono orgánico y riego constante.	Moderado/media
Barrial-Cascajillo	*Barrial	Negra	Requieren de un barbecho, ya que cuando están secas son un poco duras, pero no requieren mucho abono.	Bueno/ Buena
		*Roja		
		Amarilla		
Barrial-Polvillo		Morada		
Cascajillo-Arenoso	*Cascajillo	*Amarillo	No requieren de mucho trabajo, aun así, demandan abono, son tierras buenas para el café	Bueno/ Buena
		Negro		
		*Rojo		
Cascajillo-Arenoso	*Polvillo	Claro	No requieren de mucho trabajo, aun así, demandan abono, son tierras buenas para el café	Bueno/ Buena
		Naranja		
		Negro		
*Tierra Negra			No requieren abonos	Bueno/ Buena

5.2 Descripción y distribución de los tipos de tierra en función del conocimiento local

La clasificación de tierras que se hizo previamente ayudó a generar el marco de un lenguaje común entre los productores de café de Mafafas y el investigador, esto ayudará principalmente durante las posteriores entrevistas, para que los productores se sientan dentro del mismo contexto.

Las descripciones que a continuación se exponen fueron escritas y basadas en las mismas palabras de los informantes, como la palabra fondo que es un sinónimo de profundidad de la tierra. De acuerdo con uno de los informantes, hace aproximadamente 70 años se podía producir muy bien el maíz en las tierras Cascajillo, Barrial y Tepetate; sin embargo, llegó el momento que el cultivo demandó más trabajo de lo normal y dejó de ser posible su permanencia, por lo que los antiguos ejidatarios comenzaron a cultivar el café, que solo se daba más arriba, en la parte más alta de la sierra de Chiconquiaco.

De acuerdo con los tres informantes clave, la Tierra Tepetate es reconocida por ser delgada, menor a 50 cm de espesor, y tiene una base dura que impide el paso de raíces, este basamento puede ser roca sólida o un material endurecido. Esta tierra puede ser usada para café, pero tiene que ser ayudada con otras tierras más negras y abonos o fertilizantes. Cuando no llueve se resecan mucho y suelen tener un rendimiento de café medio, se usan para pastoreo, más que para café, la UFI en la que se distribuye esta clase de tierra es la de Pino-Chalahuite-Hilite.

La Tierra Barrial puede presentar mayor profundidad ≥ 1 m, suelen ser tierras duras cuando es temporada de secas, en temporada de lluvias son muy pegajosas. También son capaces de retener mucha agua, porque se hinchan cuando llueve. Producen buen rendimiento y calidad del café. Así mismo, su trabajo es difícil. Las tierras barriales que se identificaron dentro del ejido suelen variar de tonos que van de amarillo, rojo, morado hasta el negro. Se distribuye en la zona norte y oeste del ejido, en el margen superior de las UFI Loma Alta, La Cruz y cubren totalmente las UFI El Bordo y La Cumbre.

La Tierra Cascajillo puede tener entre 60 y 100 cm de fondo. Produce, un buen rendimiento y calidad de café, son tierras fáciles de trabajar, ésta contrasta con la Tierra Tepetate porque es más profunda y tiene fragmentos de roca en el fondo, estos pueden estorbar a la raíz. La tierra Cascajillo presenta tres variantes, la amarilla, la roja y la normal. De acuerdo con dos de los informantes clave, la primera se puede encontrar en zonas de potrero o pastizales y las otras dos se encuentran en donde hay fincas. Estas se distribuyen en las UFI Barranca del Salto, Loma Alta, La Cruz y Pino-Chalahuite-Hilite.

La Tierra Polvillo es identificada por los informantes por presentar una estructura suelta en seco y esponjosa en húmedo. Son suelos rocosos, pero pueden producir buenos

cafetales. Es fácil de trabajar y puede producir buen rendimiento y calidad de café. Este tipo de tierra tiene algunas variantes de color y textura, ya que durante los recorridos también se encontraron polvillo arenoso y un polvillo negro, poco representativos. Los informantes ubican a este tipo de tierra en las laderas de las principales barrancas del ejido, en las UFI Barranca Camino a Tepetlán y Barranca del salto.

La Tierra negra es reconocida por presentar un color muy oscuro, son muy pedregosos, pero son tierras fáciles de trabajar y no requieren abonos para producir buenos rendimientos, de acuerdo con los informantes, no se erosionan estas tierras porque tienen buena cobertura, por eso, este tipo de tierra es reconocida por ser la mejor de todo el ejido, se distribuye únicamente en la UFI Barranca de la Cumbre y es una de las más alejadas a núcleo ejidal.

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, existe un consenso con la idea de que antes era más húmedo y frío, ellos comentaron que ahora es más seco y cálido, así mismo piensan que esta situación es factor para que las plagas aumenten. También se observa un desequilibrio entre el uso, manejo, propiedades y distribución de las tierras dentro de los agroecosistemas cafetaleros del ejido Mafafas, Ver., es decir, las tierras más cercanas al núcleo poblacional son las más trabajadas y erosionadas (Cascajillo, Tepetate), mientras que las tierras menos accesibles al núcleo son generalmente menos trabajadas y conservan buena parte de la vegetación natural (Barrial, Cascajillo, Tierra negra, Barro rojo). Por otro lado, las tierras más alejadas son vendidas y estas a pesar de estar dentro del ejido Mafafas, las tierras Tepetate de la UFI Rancho Viejo y una porción de la UFI El Bordo pertenecen a los vecinos del ejido Alto Tío Diego y se usan comúnmente para cultivos de caña.

5.3 Mapa de tierras y configuración de la cobertura y uso del suelo

Como se ha mencionado anteriormente, a partir de la cartografía base y de la información de los recorridos con los informantes clave de la Figura 5., se procedió a construir el mapa de tierras, cuyos linderos fueron delimitados a partir del relieve, las unidades resultantes fueron nombradas y descritas por los mismos informantes clave. Por otra parte, con la

misma información recabada, se realizó un mapa de cobertura vegetal y uso del suelo a partir de la clasificación supervisada de una imagen de satélite de enero 2018. El resultado de ambos mapas se ilustra en la siguiente figura 10.

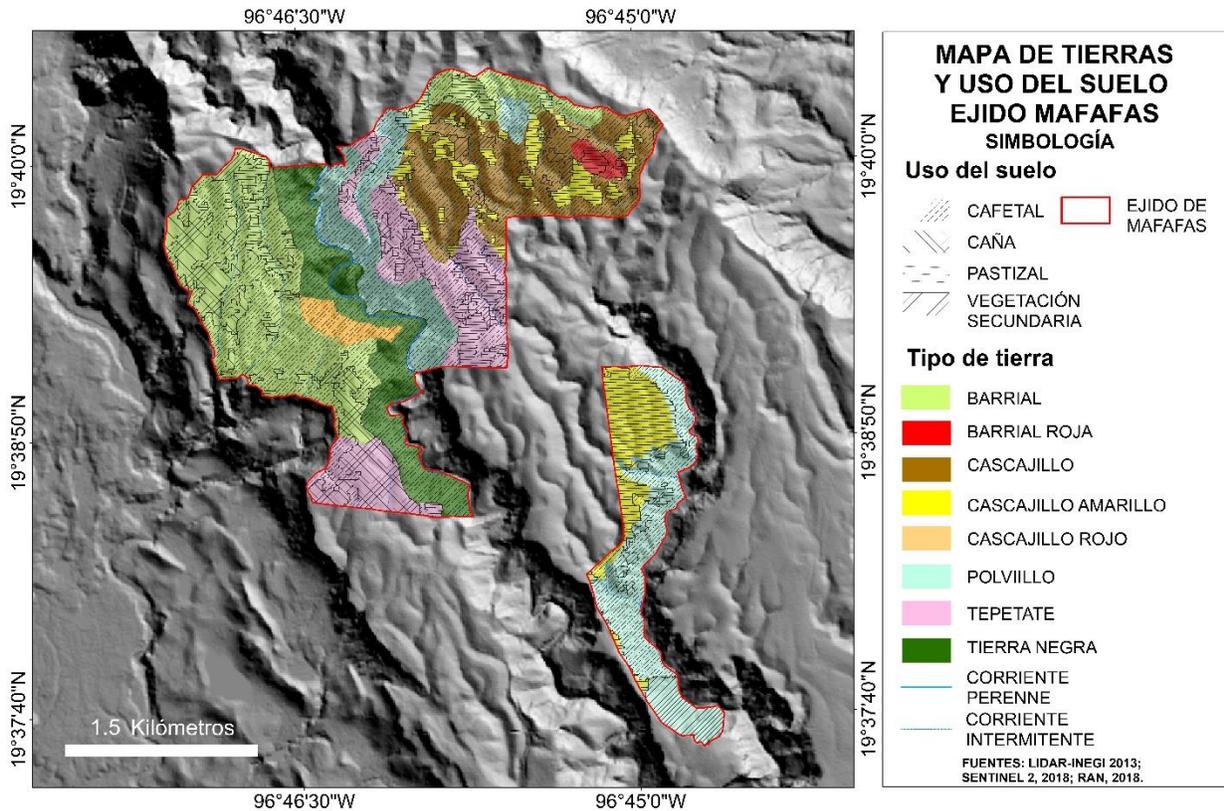


Figura 10. Mapa compuesto de cobertura vegetal-uso del suelo y clases de tierra representativas. (Elaboración propia)

Así mismo, una vez que se identificaron y cartografiaron las tierras representativas, éstas fueron descritas morfológicamente y muestreadas con la ayuda de los informantes clave. Más adelante, las tierras representativas fueron analizadas en el laboratorio de Génesis y Clasificación de suelos del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y posteriormente clasificadas taxonómicamente.

5.4 Régimen de humedad y temperatura en la región de Mafafas

Para realizar la clasificación taxonómica de los suelos con la guía de (Soil Survey Staff, 2014), es necesario conocer el régimen de humedad y temperatura de la región, por lo tanto, se utilizó la aplicación java Newhall Simulation Model jNSM 1.6.0, (Van Wambeke, 2000), en conjunto con los datos de precipitación media mensual y temperatura media mensual para el periodo de 1951-2010 de (CONAGUA, 2014), la estación utilizada se encuentra en el municipio de Naolinco de Victoria, Veracruz, ubicado al noroeste de Mafafas.

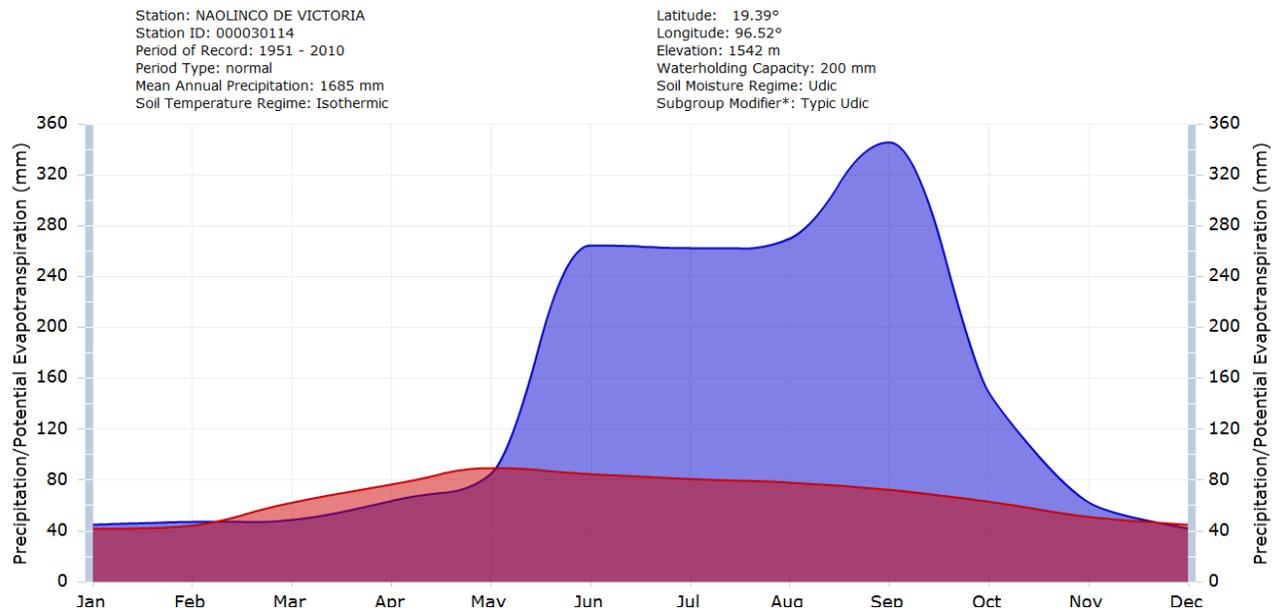


Figura 11. Para la región de estudio, el régimen de humedad es údico y el régimen de temperatura es isotérmico, (el color azul corresponde a la precipitación y el color rojo al potencial de evapotranspiración en milímetros).

5.5 Propiedades edáficas y procesos pedogenéticos

Perfil: 1 Clase de tierra: Cascajillo

Superficie representativa en mapa: 118.69 ha

Latitud: 19.66695201° **Longitud:** -96.756681°

Altitud: 1431 msnm

Región fisiográfica: Eje neo volcánico transmexicano

Material parental: Volcánico

Sistema terrestre: Montañoso

Gradiente de inclinación: 26°

Relieve: Lomerío convexo

Posición en la ladera: Media

Vegetación/Usos del suelo: Cafetal de sombra

Tipo de vegetación: Caducifolia (>50%)

Tamaño de la vegetación: bajo (Arbórea de 4-15 m, arbustiva de <1m y herbácea <.5m)

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
Oi -5-0	Hojarasca ligeramente descompuesta
A 0-7	7.5YR 5/3 en seco- 7.5YR 2.5/3 en húmedo, franco limoso, granular, bloques subangulares de muy finos a medios (5-20mm), grado de desarrollo moderado, consistencia extremadamente dura en seco y firme en húmedo, ligeramente plástico, sin piedras, nula reacción al HCl, reacción ligera al H ₂ O ₂ , poros comunes y muy finos, raíces abundantes de muy finas a finas. Permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.75, macrofauna: lombriz, hormiga. Transición horizontal y tenue.
ABt 7-35/38	7.5YR 4/3 en seco- 7.5YR 3/3 en húmedo, arcilloso, bloques subangulares de muy finos a gruesos (5-50mm), grado de desarrollo fuerte, consistencia extremadamente dura en seco y firme en húmedo, plástico, piedras pequeñas 20-50%. Cuerpos arcillosos, revestimientos de arcilla en poros y caras de agregados, Mn 2% y Óxidos 1%, nula reacción al HCl, reacción ligera al H ₂ O ₂ , poros abundantes y finos, raíces abundantes de muy finas a finas, y comunes gruesas, permeabilidad rápida, pobremente drenado, pH de campo 5.93, transición ondulada y tenue.
CBt 35/38-80	7.5YR 4/3- 7.5YR 3/3, arcilloso, bloques subangulares de finos a muy gruesos (10-50mm), grado de desarrollo fuerte, consistencia muy dura en seco y friable en húmedo, plástico, piedras grandes 50-75% de origen coluvial. Revestimientos de arcilla en poros, presencia de Mn y óxidos al 1%. Nula reacción al HCl, reacción ligera al H ₂ O ₂ , poros comunes de finos a medianos, raíces pocas de muy finas a finas, muy pocas gruesas. Permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 6.14.

Diversidad de vegetación: 10-15 especies arbóreas en ¼ ha **Cobertura de la vegetación:** abierta y discontinua 50-90% **Condiciones meteorológicas:** despejado

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
CASCAJILLO	A	4.68	8.14	6.80
	ABt	1.64	2.85	6.70
	CBt	0.31	0.54	6.90

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.59	0.83	11.35	58.17	0.20
ABt	0.54	0.44	6.38	32.04	0.20
CBt	0.65	0.18	4.30	33.31	0.13

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	23.28	24.49	0.63	304.76
ABt	19.98	7.29	0.29	197.19
CBt	31.31	5.30	0.10	122.77

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= saturación de bases.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.49	27.1	42.2	30.7	Franco arcilloso
ABt	1.58	24.9	38.1	37.0	Franco arcilloso
CBt	1.44	20.0	47.7	32.3	Franco limo-arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentajede limo, R%=porcentaje de arcilla.



Figura 12. Perfil 1, Cascajillo

Clasificación taxonómica Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral

Horizonte árgico 7-38 cm

Material coluvial 35-80 cm

Skeletal Luvisol (loamic, colluvic, cutanic, hipereutric, humic, magnesian)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte argílico: 7-38 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Alfisol

Suborden: Udalf

Grupo: Hapludalf

Subgrupo: Typic Hapludalf

Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: El tanque

Mineralogía: Arcillas 2:1 Esmectíticas, mezcladas con mica, gibbsita, goethita y cuarzo

Perfil: 2
Clase de tierra: Barrial Roja
Superficie representativa en mapa: 7.81 ha
Latitud: 19.66583797° **Longitud:** -96.7524639°
Altitud: 1377 msnm

Región fisiográfica: Eje neo volcánico
transmexicano
Material parental: Volcánico
Sistema terrestre: Montañoso
Gradiente de inclinación: 19

Relieve: ladera regular
Posición en la ladera: Media
Vegetación/Usos del suelo: Pastizal
Tipo de vegetación:
Tamaño de la vegetación: herbácea <.5m
Diversidad de vegetación: 1-3 especies de gramínea
Cobertura de la vegetación: Muy dispersa
Condiciones meteorológicas: Nublado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
A 0-19	2.5 YR 4/2 en seco - 2.5 YR 2.5/2 en húmedo, franco arenoso, estructura granular, bloques subangulares muy finos a medianos (5-20mm), grado de desarrollo fuerte, piedras pequeñas al 1%, consistencia muy dura en seco y friable en húmedo, muy plástico, ligeramente húmedo, nula reacción al HCl, fuerte reacción al H ₂ O ₂ , poros abundantes de muy finos a finos (1-2mm), raíces abundantes muy finas a finas (1-2mm), permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.27, macro fauna, gallina ciega, arañas. Transición horizontal y difusa.
Bt1 19-40	2.5 YR 4/3 en seco - 2.5 YR 2.5/3 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques subangulares finos (10 mm) y bloques angulares medianos a muy gruesos (≥10-50mm), grado de desarrollo fuerte, piedras pequeñas al 1%, consistencia en seco muy dura y en húmedo muy firme, muy plástico. Ligeramente húmedo, cuerpos arcillosos y revestimientos arcillosos en poros, nula reacción al HCl, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros abundantes muy finos a finos (1-2mm), raíces abundantes de muy finas a finas (1-2mm), permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.39. Transición horizontal y difusa.
Bt2 40-57	2.5 YR 3/4 en seco - 2.5 YR 3/3 en húmedo, franco limoso, estructura de bloques angulares de finos a muy gruesos (5-50mm), grado de desarrollo fuerte, consistencia en seco extremadamente dura y en húmedo muy firme, ligeramente plástico, ligeramente húmedo, piedras pequeñas y medianas 1-5%, revestimientos de arcilla en caras de agregados, nula reacción al HCl, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros comunes muy finos a finos (1-2mm), raíces comunes muy finas (1mm), permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.54. Transición horizontal y difusa.
Bt3 57-120	2.5 YR 4/6 en seco - 2.5 YR 3/4 en húmedo, arcilloso, piedras pequeñas, medianas y grandes del 20-50%, estructura de bloques angulares de finos a muy gruesos (5-50mm), grado de desarrollo fuerte, consistencia dura en seco y muy firme en húmedo, plástico, ligeramente húmedo, nula reacción al HCl, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros pocos de muy finos a finos (1-2mm), raíces pocas muy finas (1 mm), permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 7.3, Transición horizontal y difusa.
BtC 120-135	2.5 YR 4/4 en seco - 2.5 YR 2.5/4 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques angulares de finos a gruesos (5-≤50mm), grado de desarrollo fuerte. Piedras pequeñas y medianas del 20-50%, consistencia dura en seco y friable en húmedo, plástico, nula reacción al HCl, ligera reacción al H ₂ O ₂ . Permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 7.34.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
BARRIAL ROJA	A	2.18	3.80	6.90
	Bt1	1.25	2.17	6.70
	Bt2	0.62	1.09	6.90
	Bt3	0.78	1.36	7.40
	BtC	0.70	1.22	7.40

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.43	0.73	6.97	33.44	0.21
Bt1	0.74	0.59	7.62	34.86	0.22
Bt2	1.20	0.17	6.94	35.33	0.20
Bt3	1.76	0.08	9.04	67.12	0.13
BtC	1.49	0.07	11.17	71.62	0.16

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	20.19	3.98	0.28	205.94
Bt1	25.54	4.64	0.17	171.52
Bt2	37.08	15.23	0.09	117.70
Bt3	45.11	35.74	0.03	172.89
BtC	33.17	30.44	0.01	254.33

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= saturación de bases.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.61	36.4	45.0	18.5	Franco
Bt1	1.50	16.6	35.1	48.3	Arcilloso
Bt2	1.42	14.8	31.9	53.2	Arcilloso
Bt3	1.64	23.9	32.2	43.8	Arcilloso
BtC	1.43	27.5	21.2	51.3	Arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentajede limo, R%=porcentaje de arcilla.



Figura 13. Perfil 2, Barrial roja

Clasificación taxonómica

Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral

Horizonte argílico: 19-135 cm

Rhodic Luvisol (clayic, cutanic, hipereutric, humic, magnésic, profundic)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte argílico: 19-135 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Alfisol

Suborden: Udalf

Grupo: Rhodudalf

Subgrupo: Typic Rhodudalf

Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: La Cruz

Mineralogía: Arcillas 2:1 Esmeclíticas, mezcladas con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.

#Perfil: 3
Clase de tierra: Barrial
Superficie representativa en mapa: 210.81 ha
Latitud: 19.671887029° **Longitud:** -96.75757801°
Altitud: 1495 msnm
Región fisiográfica: Eje neo volcánico transmexicano
Material parental: Volcánico
Sistema terrestre: Montañoso
Gradiente de inclinación: 16°
Relieve: ladera regular

Posición en la ladera: Media
Vegetación/Uso del suelo: Vegetación secundaria, cafetal abandonado **Tipo de vegetación:** subperennifolia herbácea, arbustiva y arbórea,
Tamaño de la vegetación: Bajo (Arbórea de 4-15 m, arbustiva de <1m y herbácea <.5m)
Diversidad de vegetación: 5-10 especies de vegetación secundaria
Cobertura de la vegetación: Abierta-discontinua 50-90%
Condiciones meteorológicas: Nublado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
A 0-10	10 YR 4/3 en seco - 10 YR 3/3 en húmedo, arcilloso, estructura granular y de bloques subangulares de muy finos a gruesos ($\geq 5 \leq 50$ mm), grado de desarrollo fuerte, sin piedras, consistencia en seco extremadamente dura y friable en húmedo, muy plástico, nula reacción al HCl y moderada reacción al H ₂ O ₂ , poros abundantes y finos, raíces abundantes muy finas y finas, permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.63. Transición horizontal y difusa
Bt1 10-25	10 YR 4/3 en seco - 10 YR 3/3 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques subangulares finos a muy gruesos ($\geq 5 \leq 50$ mm), grado de desarrollo fuerte, sin piedras, consistencia en seco extremadamente dura y firme en húmedo, muy plástico, presencia de Óxidos y Mn 1%, y revestimientos de arcilla en caras de agregados. Nula reacción al HCl y moderada reacción al H ₂ O ₂ , poros abundantes y finos, raíces abundantes muy finas y finas, permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 6.59. Transición horizontal y difusa.
Bt2 25-44	10 YR 4/3 en seco - 10 YR 3/3 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques subangulares gruesos a muy gruesos ($\geq 20 \geq 50$ mm), grado de desarrollo fuerte, sin piedras, consistencia en seco extremadamente dura y firme en húmedo, muy plástico, presencia de óxidos al 1% y Mn al 5%, revestimientos de arcilla en caras de agregados, nula reacción al HCl y moderada reacción al H ₂ O ₂ , poros comunes y finos, raíces comunes muy finas y finas, permeabilidad rápida, pobremente drenado, pH de campo 6.56. Transición horizontal y difusa.
Bt3 44-67	10 YR 4/4 en seco - 10 YR 3/3 en húmedo. Franco limoso, estructura de bloques subangulares de gruesos a muy gruesos ($\geq 20 \geq 50$ mm), grado de desarrollo fuerte, sin piedras, consistencia en seco extremadamente dura y firme en húmedo, ligeramente plástico, presencia de óxidos al 1%, Mn 5% y revestimientos de arcilla en caras de agregados, nula reacción al HCl y moderada reacción al H ₂ O ₂ , poros comunes y finos, raíces comunes muy finas y finas, permeabilidad rápida, pobremente drenado, pH de campo 5.98. Transición horizontal y difusa.
Bt4 67-100	10 YR 5/4 en seco - 10 YR 3/4 en húmedo, franco limoso, estructura de bloques angulares de medios a gruesos (20- ≤ 50 mm), grado de desarrollo fuerte, sin piedras, consistencia en seco extremadamente dura y firme en húmedo, no plástico, presencia de óxidos al 1%, y Mn al 1% y revestimientos de arcilla en caras de agregados, nula reacción al HCl y al H ₂ O ₂ , poros pocos y finos, raíces pocas y muy finas, permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 5.61. Transición horizontal y difusa.
Bt5 100-140	10 YR 4/6 - 10 YR 4/4 en húmedo, franco limoso, estructura de bloques angulares de medios a muy gruesos (20-50mm), grado de desarrollo fuerte, sin piedras, consistencia en seco extremadamente dura y firme en húmedo, no plástico, presencia de óxidos al 1% y Mn al 1% y revestimientos de arcilla en caras de agregados, nula reacción al HCl y al H ₂ O ₂ , poros muy pocos y finos, raíces muy pocas y muy finas, permeabilidad rápida, moderadamente drenado.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
BARRIAL	A	8.58	14.93	6.70
	Bt1	1.87	3.26	7.10
	Bt2	2.03	3.53	6.80
	Bt3	0.62	1.09	6.50
	Bt4	0.62	1.09	6.50
	Bt5	0.31	0.54	6.70

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.61	0.89	14.03	70.64	0.20
Bt1	0.56	0.60	6.26	62.14	0.10
Bt2	0.56	0.46	4.15	33.69	0.12
Bt3	0.70	0.30	2.56	28.64	0.09
Bt4	0.70	0.12	0.97	22.74	0.04
Bt5	0.72	0.07	0.72	33.98	0.02

intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	48.82	71.47	0.87	176.49
Bt1	21.63	11.92	0.31	321.63
Bt2	26.37	9.93	0.23	147.40
Bt3	40.17	33.09	0.13	80.15
Bt4	54.18	40.37	0.04	45.27
Bt5	55.62	21.84	0.01	63.81

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= de saturación de bases.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.61	5.0	42.3	52.7	Arcillo limoso
Bt1	1.59	12.5	41.2	46.3	Arcillo limoso
Bt2	1.62	9.9	37.4	52.7	Arcilloso
Bt3	1.70	7.4	32.7	59.9	Arcilloso
Bt4	1.68	6.5	33.7	59.7	Arcilloso
Bt5	1.64	2.0	33.9	64.1	Arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentaje de limo, R%=porcentaje de arcilla.



Figura 14. Perfil 3, Barrial

Clasificación taxonómica

Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral

Horizonte argílico 10-140 cm (revestimientos arcillosos en poros)

Horizonte férrico 25-67 cm (Mn >5%)

Ferric Luvisol (clayic, cutanic, hipereutric, humic, magnésic, profundic)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte argílico: 10-140 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Alfisol

Suborden: Udalf

Grupo: Hapludalf

Subgrupo: Typic Hapludalf

Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: Loma alta

Mineralogía: Arcillas 2:1 Esmectíticas, mezcladas con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.

Perfil: 4

Clase de tierra: Cascajillo amarillo
Superficie representativa en mapa: 81.53 ha
Latitud: 19.666326° **Longitud:** -96.7571°
Altitud: 1427 msnm **Región fisiográfica:** Eje neo volcánico transmexicano **Material parental:** Volcánico **Sistema terrestre:** Montañoso
Gradiente de inclinación: 20° **Relieve:** ladera regular

Posición en la ladera: Media
Vegetación/Usos del suelo: Vegetación secundaria arbustiva. **Tipo de vegetación:** arbustiva
Tamaño de la vegetación: arbustiva <5m, herbácea <.5m. **Diversidad de vegetación:** >10 especies de arbustos de 15 años de sucesión secundaria y frutales silvestres. **Cobertura de la vegetación:** Muy dispersa
Condiciones meteorológicas: parcialmente nublado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
A 0-9	7.5 YR 5/3 en seco - 7.5YR 2.5/3 en húmedo, franco arenoso, estructura granular y bloques subangulares de muy finos a medios (5-20mm), grado de desarrollo fuerte, ligeramente húmedo, consistencia en seco muy duro y friable en húmedo, muy plástico, presencia de Mn al 1%, nula reacción al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros abundantes muy finos y finos, raíces muy abundantes y muy finas, permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 7.35, presenta algunas lombrices, transición horizontal y difusa.
Bt1 9-30	7.5YR 5/4 en seco -7.5YR 2.5/3 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques subangulares de muy finos a medios (5-20mm), grado de desarrollo fuerte, ligeramente húmedo, consistencia en seco muy duro y friable en húmedo, muy plástico. Revestimientos arcillosos en poros, presencia de óxidos y Mn al 2%, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros abundantes de muy finos a medianos, raíces abundantes muy finas, comunes finas, pocas medias, muy pocas grandes y muy grandes, permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 6.4, transición horizontal y difusa.
Bt2 30-51	7.5YR 5/4 en seco -7.5YR 2.5/3 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques angulares de finos a medios (10-20mm) y bloques subangulares muy finos (≤5mm), grado de desarrollo fuerte, piedras de pequeñas a grandes 20-50%, ligeramente húmedo, consistencia en seco muy dura y firme en húmedo, muy plástico, revestimientos arcillosos en poros, presencia de óxidos y Mn al 3%, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros comunes finos y muy pocos medianos, raíces comunes muy finas, y muy pocas medianas. Permeabilidad rápida, pobremente drenado, pH de campo 6.5, transición horizontal y difusa.
Bt3 51-78	7.5 YR 5/4 en seco - 7.5YR 3/3 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques subangulares de muy finos a medios (5-20mm) y bloques angulares de finos a medios (10-20mm), grado de desarrollo fuerte, piedras medias a grandes 20-50%, ligeramente húmedo consistencia en seco muy dura y firme en húmedo, muy plástico, revestimientos arcillosos en poros, presencia de óxidos y Mn al 5%, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros pocos finos y muy pocos finos, raíces pocas muy finas y muy pocas finas. Permeabilidad rápida, pobremente drenado, pH de campo 6.6, transición horizontal y difusa.
CBt 78-110	7.5YR 6/3 en seco -7.5YR 3/4 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques angulares de finos a muy gruesos (10-50mm), grado de desarrollo fuerte, piedras de grandes a muy grandes 50-75% de origen coluvial, consistencia en seco dura y firme en húmedo, plástico, presencia de Mn al 1%, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros muy pocos finos y pocos de finos a medios, raíces pocas finas y muy finas, Permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 6.62.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
CASCAJILLO AMARILLO	A	2.42	4.21	7.00
	Bt1	1.33	2.31	6.60
	Bt2	1.09	1.90	6.70
	Bt3	0.78	1.36	7.00
	CBt	0.62	1.09	6.80

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.65	0.83	13.00	35.82	0.36
Bt1	0.45	0.27	6.40	28.13	0.23
Bt2	0.63	0.20	7.40	28.00	0.26
Bt3	0.50	0.12	6.65	30.60	0.22
CBt	0.63	0.10	5.07	33.11	0.15

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	34.20	37.72	0.61	147.11
Bt1	36.05	3.98	0.25	97.81
Bt2	30.08	9.27	0.24	120.45
Bt3	52.94	3.32	0.16	71.52
CBt	41.20	2.65	0.08	94.43

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= saturación de bases.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.51	36.5	29.6	33.9	Franco arcilloso
Bt1	1.63	23.5	48.8	27.7	Franco arcilloso
Bt2	1.63	18.8	54.0	27.2	Franco limo-arcilloso
Bt3	1.43	20.8	48.8	30.4	Franco arcilloso
CBt	1.65	23.7	47.5	28.9	Franco arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentaje de limo, R%=porcentaje de arcilla.



Figura 15. Perfil 4, Cascajillo amarillo

Clasificación taxonómica Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral

Horizonte árgico 9-78 cm (revestimientos arcillosos en poros)

Ferric Luvisol (loamic, cutanic, hipereutric, humic, magnésic)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte argílico: 9-78 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Alfisol

Suborden: Udalf

Grupo: Hapludalf

Subgrupo: Typic Hapludalf

Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: El potrero

Mineralogía: Arcillas 2:1 Esmectíticas, mezcladas con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.

#Perfil: 5

Clase de tierra: Tierra negra

Superficie representativa en mapa: 86.63 ha

Latitud: 19.6452390° **Longitud:** -96.7659169°

Altitud: 1180 msnm

Región fisiográfica: Eje neo volcánico transmexicano

Material parental: Volcánico/ material coluvial

Sistema terrestre: Montañoso

Gradiente de inclinación: 15°

Relieve: ladera regular

Posición en la ladera: Alta

Vegetación/Usos del suelo: Cafetal con vegetación secundaria.

Tipo de vegetación: Perennifolia, caducifolia

Tamaño de la vegetación: Bajo (Arbórea de 4-15 m, arbustiva de <1m y herbácea <.5m)

Diversidad de vegetación: >15 especies

Cobertura de la vegetación: Compacta y continua (100-200%)

Condiciones meteorológicas: Despejado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
A 0-14/24	10 YR 5/3 en seco - 10 YR2/2 en húmedo, arcilloso, estructura granular y de bloques subangulares finos ($\leq 5\text{mm}$), grado de desarrollo moderado, ligeramente húmedo, piedras de pequeñas a grandes 5-20%, material coluvial depositado, consistencia en seco muy dura, y friable en húmedo, plasticidad moderada, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros abundantes de muy finos a gruesos (1-10mm), raíces abundantes de muy finas a finas (1-2mm) y gruesas muy raras, permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.34. Presencia de algunas lombrices, transición marcada y ondulada.
ABw 14/24- 37/59	10 YR 4/3 en seco - 10 YR 3/1 en húmedo, arcilloso, estructura granular y de bloques subangulares finos a gruesos ($5\leq 50\text{mm}$), grado de desarrollo moderado, piedras grandes a muy grandes ligeramente húmedo, consistencia en seco muy dura y en húmedo muy friable, muy plástico, presencia de Mn y óxidos al 1%, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros abundantes de finos a medios (2-5mm), raíces abundantes de finas a medias (2-5mm), permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 6.26. Presencia de algunas lombrices, transición marcada y ondulada.
C 37/59- 95	10 YR 5/2 en seco - 10 YR 4/2 en húmedo, arenoso, estructura suelta, grado de desarrollo nulo, piedras de pequeñas a muy grandes 50-75%, consistencia suelta, no plástico, presencia de Mn al 1%, reacción nula al HCl y muy fuerte al H ₂ O ₂ , poros abundantes de muy finos a finos (1-2mm), raíces comunes de muy finas a finas (1-2mm), permeabilidad rápida, moderadamente drenado, pH de campo 6.45.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
TIERRA NEGRA	A	3.90	6.79	6.50
	ABw	1.95	3.39	7.20
	C	1.48	2.58	6.90

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.67	0.63	15.33	36.20	0.42
ABw	0.50	0.24	17.83	36.37	0.49
C	0.48	0.18	10.60	30.16	0.35

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.55	47.6	29.9	22.5	Franco
ABw	1.65	38.8	40.0	21.2	Franco
C	1.19	50.8	35.3	13.8	Franco

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentaje de limo, R%=porcentaje de arcilla.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	30.28	19.20	0.45	174.47
ABw	29.05	71.47	0.34	189.12
C	17.92	49.63	0.19	231.12

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= saturación de bases.



Figura 16. Perfil 5, Tierra negra

Clasificación taxonómica

Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral de origen coluvial

Horizonte mólico: 0-24 cm

Skeletal Leptic Phaeozem (loamic, colluvic, humic, raptic)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte mólico 0-24 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Molisol

Suborden: Udoll

Grupo: Hapludoll

Subgrupo: Lithic Hapludoll

Familia: limosa, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: Barranca de la cumbre

#Perfil: 6
Clase de tierra: Polvillo
Superficie representativa en mapa: 154 ha
Latitud: 19.652413° **Longitud:** -96.749581
Altitud: 1239 msnm
Región fisiográfica: Eje neo volcánico transmexicano
Material parental: Volcánico
Sistema terrestre: Montañoso
Gradiente de inclinación: 50°
Relieve: ladera
Posición en la ladera: Media

Vegetación/Usó del suelo: Cafetal y vegetación secundaria
Tipo de vegetación: Perennifolia y caducifolia
Tamaño de la vegetación: Bajo (Arbórea de 4-15 m, arbustiva de <1m y herbácea <.5m)
Diversidad de vegetación: >15 especies
Cobertura de la vegetación: Compacta y continua (100-200%)
Condiciones meteorológicas: Despejado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
A 0-15	5YR 4/2- 5YR 3/2, franco arenoso, estructura granular y de bloques subangulares de muy finos a medios (5-≤20mm), grado de desarrollo débil, piedras pequeñas de 5-20%, consistencia en seco muy dura y en húmedo muy friable, muy plástico, reacción nula al HCl y fuerte al H ₂ O ₂ . Poros no visibles, raíces abundantes medianas y finas, permeabilidad moderada, bien drenado, pH de campo 7.66. Transición horizontal y marcada.
CB 15-27	5YR 4/2- 5YR 3/2, franco arcilloso, estructura granular y bloques subangulares muy finos (<5mm), grado de desarrollo débil, consistencia suelta, muy plástico, reacción nula al HCl y moderada al H ₂ O ₂ , poros pocos muy finos, raíces abundantes medianas y finas, permeabilidad moderada, bien drenado, pH de campo 7.66. Transición horizontal y marcada.
Crt >27	Regolito, reacción nula al HCl y ligera al H ₂ O ₂ . Poros y raíces comunes y finas.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
POLVILLO	A	8.27	14.39	7.40
	CB	3.43	5.97	7.10

CO%= porcentaje de carbono orgánico,
MO%=porcentaje de materia orgánica,
pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua
1:2

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.56	1.72	28.26	71.66	0.39
CB	0.70	0.83	22.10	66.46	0.33

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio,
K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg=
relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	40.79	79.41	1.07	250.57
CB	35.64	51.62	0.26	252.79

CIC= capacidad de intercambio catiónico
(NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB=
saturación de bases

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
Ap	1.43	43.3	36.9	19.9	Franco
CB	0.96	29.9	37.6	32.5	Franco arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de
arena, L%=porcentaje de limo, R%=porcentaje
de arcilla.



Figura 17. Perfil 6, Polvillo.

Clasificación taxonómica

Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral

Eutric Cambic Skeletic Leptosol (loamic,humic)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Entisol

Suborden: Orthent

Grupo: Udorthent

Subgrupo: Lithic Udorthent

Familia: limosa, superactiva, isotérmica

Serie: Barranca del salto

#Perfil: 7
Clase de tierra: Cascajillo rojo
Superficie representativa en mapa: 13.72 ha
Latitud: 19.654979976° **Longitud:** -96.771566°
Altitud: 1363 msnm
Región fisiográfica: Eje neo volcánico transmexicano
Material parental: Volcánico
Sistema terrestre: Montañoso
Gradiente de inclinación: 42° **Relieve:** ladera regular
Posición en la ladera: Alta

Vegetación/Usos del suelo: Cafetal y vegetación secundaria
Tipo de vegetación: Perennifolia y caducifolia
Tamaño de la vegetación: Alto (Arbórea >20, arbustiva de 2-4m y herbácea >1m)
Diversidad de vegetación: > 20 especies de vegetación secundaria
Cobertura de la vegetación: Compacta y continua (100-200%)
Condiciones meteorológicas: Nublado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
Oi -5-0	Hojarasca ligeramente descompuesta
A 0-11	2.5YR 4/4 en seco - 2.5YR 3/4 en húmedo, franco arenoso, estructura granular y de bloques subangulares de muy finos a finos (5-10mm), grado de desarrollo fuerte, piedras de muy pequeñas a pequeñas 20-50%, consistencia en seco muy dura y en húmedo friable, muy plástico, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros abundantes de muy finos a medios, raíces abundantes de muy finas a finas, y muy pocas gruesas, permeabilidad lenta, bien drenado, pH de campo 7.51. Presencia de lombrices, Transición horizontal difusa
Bt1 11-41	2.5YR 4/4 en seco - 2.5YR 3/4 en húmedo, arcilloso, estructura granular y de bloques subangulares de muy finos a medianos (5-20mm), grado de desarrollo fuerte, piedras pequeñas a medianas 20-50%, consistencia en seco muy dura y en húmedo firme, muy plástico, revestimientos de arcilla en poros y caras de agregados, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros abundantes de finos a gruesos, raíces comunes de finas a gruesas. Permeabilidad lenta, bien drenado, pH de campo 7.22. Transición horizontal y difusa.
Bt2 41-77	2.5 YR 4/4 en seco - 2.5YR 2.5/4 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques angulares de muy finos a gruesos (5-50mm), grado de desarrollo fuerte, piedras de medianas a grandes 20-50%, consistencia en seco muy dura y en húmedo firme, muy plástico, revestimientos de arcilla en poros y caras de agregados, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros comunes de finos a medianos, raíces pocas de finas a gruesas. Permeabilidad lenta, bien drenado pH de campo 7.37. Transición horizontal y difusa.
BtC 77-110	2.5 YR 4/6 en seco- 2.5YR 4/4 en húmedo, arcilloso, estructura de bloques angulares de gruesos a muy gruesos (≤50mm), grado de desarrollo fuerte piedras medianas a grandes 50-75% de origen coluvial, consistencia en seco muy dura y en húmedo firme, muy plástico, revestimientos de arcilla en poros y caras de agregados, ligera reacción al H ₂ O ₂ , poros pocos y medianos, raíces pocas de finas a medianas, Permeabilidad lenta, bien drenado pH de campo 7.55.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
CASCAJILLO ROJO	A	4.99	8.69	7.00
	Bt1	0.31	0.54	7.40
	Bt2	1.01	1.76	7.00
	BtC	0.86	1.49	7.50

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.50	0.56	14.10	62.46	0.23
Bt1	0.70	0.12	10.90	64.46	0.17
Bt2	1.18	0.17	17.73	69.82	0.25
BtC	1.27	0.24	17.00	68.40	0.25

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	39.55	25.81	0.76	196.25
Bt1	30.28	15.89	0.17	251.58
Bt2	39.55	2.65	0.15	224.77
BtC	33.58	11.26	0.09	258.80

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= saturación de bases.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.28	13.9	61.1	25.0	Franco limo-arcilloso
Bt1	1.56	11.7	53.9	34.4	Franco limo-arcilloso
Bt2	1.55	11.0	33.6	55.4	Arcilloso
BtC	1.41	12.0	23.6	64.4	Arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentajede limo, R%=porcentaje de arcilla.



Figura 18. Perfil 7, Cascajillo rojo

Clasificación taxonómica

Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Material mineral

Horizonte árgico: 11-110 cm

Rhodic Luvisol (clayic, colluvic, cutanic, hipereutric, humic, magnesian, profundic)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte argílico: 11-110 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Alfisol

Suborden: Udalf

Grupo: Rhodudalf

Subgrupo: Typic Rhodudalf

Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: La Cumbre **Mineralogía:** Arcillas 2:1 Esmeclíticas, mezcladas con mica, gibbsita, goethita y cuarzo

#Perfil: 8

Clase de tierra: Tepetate

Superficie representativa en mapa: 156.62 ha

Latitud: 19.662211966° **Longitud:** -96.76236°

Altitud: 1363 msnm

Región fisiográfica: Eje neo volcánico transmexicano

Material parental: Volcánico

Sistema terrestre: Montañoso

Gradiente de inclinación: 16°

Relieve: Ladera regular

Posición en la ladera: Alta

Vegetación/Usos del suelo: Vegetación secundaria y pastizal

Tipo de vegetación: arbustiva y herbácea **Tamaño de la vegetación:** arbustiva de 1-2m y herbácea >.5m

Diversidad de vegetación: <5 especies de vegetación secundaria y gramíneas

Cobertura de la vegetación: Muy dispersa

Condiciones meteorológicas: Despejado

Horizonte y profundidad (cm)	Descripción
A 0-19	7.5 YR 4/3 en seco- 7.5YR 2.5/3 en húmedo, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares de muy finos a medios (5-20mm), grado de desarrollo fuerte, consistencia en seco muy dura y firme en húmedo, muy plástico, presencia de Óxidos al 1%, reacción nula al HCl y fuerte al H ₂ O ₂ . Poros abundantes de finos a medianos, raíces abundantes de muy finas a finas y comunes medianas. Permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 7.33. Transición horizontal y difusa.
ABt 19-29/36	10YR 5/4 en seco - 10YR 3/6 en húmedo, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares de finos a gruesos (5-≤50mm) y bloques angulares de medios a muy gruesos (10-≤50mm), grado de desarrollo fuerte, consistencia en seco muy dura y en húmedo friable, gravas del 1 al 5%, muy plástico. Revestimientos arcillosos en poros y caras de agregados, Mn al 2%. Reacción nula al HCl y fuerte al H ₂ O ₂ . Poros abundantes de finos a medianos, raíces abundantes muy finas y comunes finas. Permeabilidad rápida, pobremente drenado, pH de campo 6.20. Transición ondulada y difusa.
CRt 29/36-55	10YR 6/3 en seco- 10YR 3/3 en húmedo, textura arcillosa, estructura de bloques angulares de gruesos a muy gruesos (20- ≥50mm). Grado de desarrollo fuerte, consistencia en seco extremadamente dura y en húmedo firme, plástico. Reacción nula al HCl y ligera al H ₂ O ₂ . Poros y raíces comunes y finas. Permeabilidad rápida, bien drenado, pH de campo 6.30.

Clase de tierra	Horizonte genético	CO %	MO %	pH H ₂ O
TEPETATE	A	3.59	6.24	6.10
	ABt	1.56	2.71	6.50
	Crt	1.09	1.90	6.60

CO%= porcentaje de carbono orgánico, MO%=porcentaje de materia orgánica, pH=potencial de hidrógeno relacion suelo-agua 1:2.

Horizonte genético	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	Ca/Mg
A	0.59	1.34	6.86	59.74	0.11
ABt	0.98	0.55	3.96	33.31	0.12
Crt	0.83	0.10	2.10	30.62	0.07

Bases intercambiables (NH₄OAc), Na=sodio, K=potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Ca/Mg= relación calcio-magnesio.

Horizonte genético	CIC Cmol kg ⁻¹	P Mg Kg ⁻¹	N %	SB %
A	44.50	7.95	0.66	154.01
ABt	23.69	2.65	0.20	163.84
Crt	23.90	0.44	0.04	140.77

CIC= capacidad de intercambio catiónico (NH₄OAc), P=fósforo, N=nitrógeno, SB= saturación de bases.

Horizonte genético	DA gr cm ⁻³	A %	L %	R %	Clase textural
A	1.61	15.5	54.8	29.7	Franco limo-arcilloso
ABt	1.57	14.9	43.0	42.0	Arcillo limoso
Crt	1.64	30.0	41.3	28.7	Franco arcilloso

DA=densidad aparente, A% =porcentaje de arena, L%=porcentajede limo, R%=porcentaje de arcilla.



Figura 19. Perfil 8, Tepetate

Clasificación taxonómica

Base Mundial de Referencia del recurso suelo (WRB, 2014)

Leptic Luvisol (loamic, cutanic, densic, diferentic, hipereutric, humic, magnesian)

Taxonomía de suelos (Soil Survey, 2014)

Horizonte argílico: 19-36 cm

Régimen de temperatura: isotérmico

Régimen de humedad: údico

Orden: Alfisol

Suborden: Udalf

Grupo: Hapludalf

Subgrupo: Lithic Hapludalf

Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica

Serie: Los carriles

Mineralogía: Arcillas 2:1 Esmectíticas, mezcladas con mica, gibbsita, goethita y cuarzo.

A continuación, se presenta el Cuadro 3 con la clasificación de cada clase de tierra por horizonte y de acuerdo con los análisis químicos en laboratorio.

Cuadro 3. Clasificación de tierras de acuerdo con la NOM 021 RECNAT 2000.

Tipo de tierra	Horizonte	CO%	Na Cmol kg ⁻¹	K Cmol kg ⁻¹	Ca Cmol kg ⁻¹	Mg Cmol kg ⁻¹	N%	P Mg Kg ⁻¹	CIC Cmol kg ⁻¹	pH H2O
CASCAJILLO	A	medio	alto	alto	alto	muy alto	medio	alto	media	neutro
	ABt	muy bajo	alto	medio	medio	muy alto	bajo	medio	media	neutro
	CBt	muy bajo	alto	muy bajo	bajo	muy alto	bajo	bajo	alta	neutro
BARRIAL ROJA	A	muy bajo	alto	alto	medio	muy alto	bajo	bajo	media	neutro
	Bt1	muy bajo	alto	medio	medio	muy alto	bajo	bajo	alta	neutro
	Bt2	muy bajo	alto	muy bajo	medio	muy alto	bajo	alto	alta	neutro
	Bt3	muy bajo	alto	muy bajo	medio	muy alto	bajo	alto	muy alta	ligeramente alcalino
	BtC	muy bajo	alto	muy bajo	alto	muy alto	bajo	alto	alta	ligeramente alcalino
BARRIAL	A	alto	alto	alto	alto	muy alto	alto	alto	muy alta	neutro
	Bt1	muy bajo	alto	medio	medio	muy alto	medio	alto	media	neutro
	Bt2	muy bajo	alto	medio	medio	muy alto	bajo	medio	alta	neutro
	Bt3	muy bajo	alto	medio	medio	muy alto	bajo	alto	muy alta	ligeramente acido
	Bt4	muy bajo	alto	muy bajo	muy bajo	muy alto	bajo	alto	muy alta	ligeramente acido
	Bt5	muy bajo	alto	muy bajo	muy bajo	muy alto	bajo	alto	muy alta	neutro
CASCAJILLO AMARILLO	A	bajo	alto	alto	alto	muy alto	medio	alto	alta	neutro
	Bt1	muy bajo	alto	bajo	medio	muy alto	bajo	bajo	alta	neutro
	Bt2	muy bajo	alto	bajo	medio	muy alto	bajo	medio	alta	neutro
	Bt3	muy bajo	alto	muy bajo	medio	muy alto	bajo	bajo	muy alta	neutro
	CBt	muy bajo	alto	muy bajo	medio	muy alto	bajo	bajo	muy alta	neutro
TIERRA NEGRA	A	medio	alto	alto	alto	muy alto	medio	alto	alta	ligeramente acido
	ABw	muy bajo	alto	bajo	alto	muy alto	medio	alto	alta	neutro
	C	muy bajo	alto	muy bajo	alto	muy alto	bajo	alto	media	neutro
POLVILLO	A	alto	alto	alto	alto	muy alto	alto	alto	muy alta	ligeramente alcalino
	CB	bajo	alto	alto	alto	muy alto	bajo	alto	alta	neutro
CASCAJILLO ROJO	A	medio	alto	alto	alto	muy alto	medio	alto	alta	neutro
	Bt1	muy bajo	alto	muy bajo	alto	muy alto	bajo	alto	alta	ligeramente alcalino
	Bt2	muy bajo	alto	muy bajo	alto	muy alto	bajo	bajo	alta	neutro
	BtC	muy bajo	alto	bajo	alto	muy alto	bajo	alto	alta	ligeramente alcalino
TEPETATE	A	medio	alto	alto	medio	muy alto	medio	medio	muy alta	ligeramente acido
	ABt	muy bajo	alto	medio	medio	muy alto	bajo	bajo	media	ligeramente acido
	Crt	muy bajo	alto	muy bajo	medio	muy alto	bajo	bajo	media	neutro

Posteriormente se realizó una intersección de las capas de clases de tierras y cobertura vegetal y uso del suelo, para obtener la superficie de cada combinación. El resultado se muestra en el siguiente Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados para una superficie total de 793 ha.

Clase de tierra	Superficie ha	Serie	Tipos de suelo (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, colluvic, 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, magnésic, profundic)	Typic Hapludalf, Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Vegetación secundaria arbustiva	10.5
					Cafetal de sombra	129
					Pastizal	28.35
					Caña	42.69
BARRIAL ROJA	7.82	LA CRUZ	Rhodic Luvisol (clayic, cutanic hipereutric, humic, magnésic, profundic)	Typic Rhodudalf, Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Pastizal	3.94
					Cafetal de sombra	3.87
CASCAJILLO	118.53	EL TANQUE	Skeletal Luvisol (loamic, colluvic, cutanic, hipereutric, humic, magnésic)	Typic Hapludalf, Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica	Vegetación secundaria arbustiva	19.37
					Cafetal de sombra	99.16
CASCAJILLO AMARILLO	81.53	EL POTRERO	Ferric Luvisol (loamic, colluvic, cutanic hipereutric, humic, magnésic)	Typic Hapludalf, Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica	Pastizal	81.53
CASCAJILLO ROJO	13.72	LA CUMBRE	Rhodic Luvisol (clayic, colluvic, cutanic hipereutric, humic, magnésic, profundic)	Typic Rhodudalf, Familia: arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica	Cafetal de sombra	14.72
POLVILLO	155.18	BARRANCA DEL SALTO	Eutric Cambic Skeletic Leptosol (loamic, humic)	Lithic Udorthent, Familia: limosa, superactiva, isotérmica,	Vegetación secundaria arbustiva	22.54
					Cafetal de sombra	131.5
TEPETATE	119.03	LOS CARRILES	Leptic Luvisol (loamic, cutanic, densic, diferentic, hipereutric, humic, magnésic)	Lithic Hapludalf, Familia: limosa fina, mezclada, superactiva, isotérmica	Vegetación secundaria arbustiva	3.81
					Cafetal de sombra	55.13
					Pastizal	30.11
					Caña	30.06

5.6 Evaluación de la precisión del mapa de tierras

Con el fin de reducir la variación de los suelos en el paisaje y comprenderlo mejor, se realizó la cartografía de tierras, esta representa en un papel las distancias reales en el terreno. Por lo tanto, se necesita evaluar la precisión de dicha representación, esta 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 (el muestreo fue independiente a los recorridos con los informantes clave de la primera etapa), esto consistió en verificar si las unidades tierra representadas en el mapa coinciden en campo o no. Por lo tanto, 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.

$$\frac{793 \text{ ha}}{3.5} = 226.57$$

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 para evaluar la precisión del mapa fue de 34 puntos.

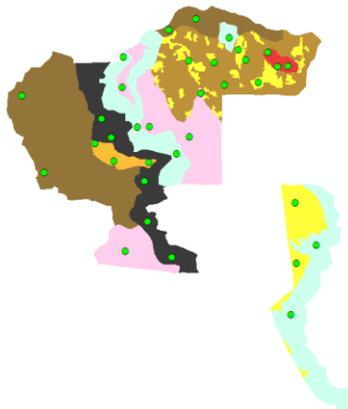


Figura 20. Puntos de muestreo en verde, para evaluación de la precisión del mapa de tierras.

Cuadro 5. Muestreo y tipos de tierra evaluados para conocer la precisión.

Muestra	Unidad de tierra en mapa	Unidad de tierra en campo	Coordenada		Acierto(A) Error (E)
			X	Y	
1	Cascajillo amarillo	Cascajillo amarillo	-96,7509135	19,6499254	A
2	Polvillo	Polvillo	-96,7513894	19,6367193	A
3	Polvillo	Polvillo	-96,7484151	19,6449285	A
4	Barrial	Barrial	-96,7831433	19,6625424	A
5	Tepetate	Tepetate	-96,7709486	19,6442206	A
6	Tepetate	Tepetate	-96,7713055	19,6635537	A
7	Tepetate	Tepetate	-96,7681225	19,658893	A
8	Tepetate	Tepetate	-96,7620251	19,6628785	A
9	Tepetate	Tepetate	-96,7633671	19,6577413	A
10	Barrial	Barrial	-96,7658084	19,6703405	A
11	Barrial	Barrial	-96,7625605	19,6716254	A
12	Cascajillo amarillo	Cascajillo amarillo	-96,7552734	19,6641064	A
13	Barrial roja	Cascajillo	-96,7540836	19,6677053	E
14	Cascajillo rojo	Tierra negra	-96,7745113	19,6569442	E
15	Tierra negra	Tierra negra	-96,7737499	19,6598709	A
16	Tierra negra	Tierra negra	-96,7725839	19,6576104	A
17	Tierra negra	Tierra negra	-96,7683128	19,6477059	A
18	Tierra negra	Tierra negra	-96,7686697	19,6524648	A
19	Cascajillo	Cascajillo	-96,7567355	19,666794	A
20	Polvillo	Polvillo	-96,7586629	19,6694233	A
21	Cascajillo amarillo	Cascajillo amarillo	-96,7604737	19,6664549	A
22	Cascajillo amarillo	Cascajillo amarillo	-96,7634218	19,6666976	A
23	Polvillo	Polvillo	-96,7695251	19,6588335	A
24	Polvillo	Polvillo	-96,7648852	19,6556807	A
25	Cascajillo amarillo	Cascajillo amarillo	-96,7575606	19,6679867	A
26	Tierra negra	Tierra negra	-96,7654485	19,6435198	A
27	Barrial	Barrial	-96,7805105	19,6535136	A
28	Cascajillo rojo	Cascajillo rojo	-96,7723014	19,6548699	A
29	Barrial roja	Barrial roja	-96,7517428	19,6660414	A
30	Barrial roja	Barrial roja	-96,7529254	19,6659526	A
31	Cascajillo	Cascajillo	-96,7592667	19,663823	A
32	Cascajillo rojo	Tierra negra	-96,768154	19,6547335	E
33	Cascajillo amarillo	Cascajillo amarillo	-96,7507362	19,6427908	A
34	Polvillo	Polvillo	-96,7711281	19,6671327	A

Como se podrá observar, el 91.17% de puntos muestreados en campo coinciden con el contenido de las unidades de tierra representadas en el mapa. Se puede considerar como un mapa con buena precisión y, por lo tanto, confiable. Los únicos errores que se tuvieron fueron debido a que los tipos de tierra Barrial roja y Cascajillo

rojo pueden presentar una alta variabilidad espacial, ya que son tierras con alto grado de intemperización, la cual se puede asociarse con micro rasgos del relieve.

5.7 Manejo y estructura de los agroecosistemas cafetaleros de Mafafas

Para cubrir los dos últimos objetivos específicos, se caracterizaron 11 AES cafetaleros mediante entrevistas abiertas a propietarios en las fincas, la información general indica que se tratan de pequeños productores de café de sombra, con un rango de edad amplio, éste oscila entre 35 y 86 años, el tiempo que llevan produciendo café de sombra varía de 8 a 64 años. Ocho de ellos aprendieron bajo la enseñanza de su familia, padres o abuelos, y tres aprendieron empíricamente, a partir de la observación. Todos los productores hacen sus viveros y producen su propia planta. Los productores cuentan con un bajo nivel escolar, sólo la mitad sabe leer y escribir. El tamaño de las fincas oscila entre $\frac{3}{4}$ ha y 3 ha, de las 11 fincas, en seis los productores usan fertilizantes como sulfatos, ureas, triple 16 y 17, éstos 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. A los otros cinco pequeños productores no le gusta usar este tipo de productos, por lo tanto, utilizan abonos orgánicos como estiércol de burro y la misma hojarasca de la sombra. De acuerdo con dos productores, cuando el abono es aplicado sobre la pendiente, se elige la parte alta de la planta, se le hace una pequeña limpieza manual de la hojarasca alrededor y se aplica el abono, después se vuelve a cubrir con la hojarasca y la lluvia hará el resto, por otro lado, solamente uno de los productores visitados realiza prácticas de lombricompostaje y extrae el lixiviado de humus para aplicar en su finca.

Las edades de las plantaciones de café varían, la mitad de las fincas visitadas tiene plantaciones entre dos y 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 veinte años y en éstas aún se producen las plantas de la variedad de café Criollo (*Coffea arabica*)

Para la enfermedad de la roya se utilizan foliadores como el Alto 100 y Foley, durante tres o cuatro veces al año, algunos productores mencionan que a veces su uso no sirve de nada, ya que la planta se enferma después de las lluvias. Algunos productores mencionan que la broca (*Hypothenemus hampei*) afectó poco en los cafetales, resalta la presencia de la palomilla blanca, que es una larva de (*Zaya orbiger*), la hormiga y el grillo. Para controlar a los insectos, tres productores usan un insecticida llamado Muralla Max. El resto no aplica ningún insecticida químico, una productora de café menciona que para la hormiga usa agua con cloro y lo vierte en los hormigueros y para la broca coloca una trampa de botella rellena de alcohol, ésta sirve para atrapar a la plaga.



Figura 21. Palomilla Zaya orbigera (larva).



Figura 22 Mancha negra en la hoja del cafeto.



Figura 23. Gryllidae spp.

La renovación y poda de las plantas de café solo se realiza cuando es necesario, es decir, hasta que la planta falle o se muera se sustituye o se poda, todos mencionan que se debe a que las plantas no dejan de producir café y algunos comentan que no todas envejecen al mismo tiempo. De acuerdo a las pláticas, con

respecto a la sombra se utilizan distintas especies como: Chalahuite (*Inga vera*), Jinicuil (*Inga jinicuil*), Jonote (*Heliocarpus appendiculatus*), Quibracho (*Eysenhardtia polystachya*), Plátano (*Musa paradisiaca*), Aguacate (*Persea americana*), Hilite (*Alnus acuminata*), Pimienta (*Pimenta dioica*), Capulín (*Prunus salicifolia*), Durazno (*Prunus pérsica*), Higuera (*Ficus carica*), Cedro (*Cedrela odorata*), Huaje (*Leucaena leucocephala*), Marangola (*Clethra Mexicana*), Guayaba (*Psidium guajava*), Ciprés (*Cupressus lusitánica*), Pino (*Pinus pátula*), Huizache (*Acacia pennatula*) y distintas variedades de cítricos injertados, sin embargo, el aprovechamiento de estas especies en el ejido es solo para autoconsumo, por lo tanto, los productores solo dependen económicamente del café. Por otra parte, cuatro productores aseguran tener cercos vivos como el Equimite (*Erythrina americana*), Izote (*Yucca elephantipes*), Encino (*Quercus spp.*), Ciprés (*Cupressus lusitánica*) y Gravilea (*Grevillea robusta*), estos pueden servir como barreras contra el viento y para detener la erosión de las tierras. El resto de los productores utiliza alambrados para cercar las fincas y solamente uno de los productores mencionó que el Wisle (*Acacia farnesiana*), un árbol espinoso que forma parte de las leguminosas es bueno para la tierra ya que le aporta un color negro, sin embargo, la mayoría de los productores usa poco este árbol, porque las espinas son peligrosas.

Solamente un productor utiliza en las pendientes de su finca una planta llamada cacahuatillo (*Arachis pintoii*), que es introducida, ésta sirve para fijar nitrógeno en la tierra y para evitar que se lave.



Figura 24. La planta llamada cacahuatillo (*Arachis pintoi*), útil para fijar nitrógeno en el suelo.

Las entrevistas fueron dirigidas para percibir el conocimiento que tienen los productores sobre las tierras que fueron mostradas anteriormente, las entrevistas demostraron que todos los productores saben qué tipo de tierras hay en sus fincas, y sus descripciones coinciden con las descripciones de los informantes clave, así mismo, todos mencionan que con trabajo todas las tierras de Mafafas son buenas para producir café. Cada uno de los productores piensa que sus tierras son buenas para el café porque les daban buenos rendimientos, todos presentaron un decremento considerable de producción después de sufrir los estragos de la Roya.

A pesar de los problemas, hay un consenso en que en el ejido el cultivo ha crecido en los últimos años, ya que hay muchas fincas nuevas, y por otra parte todos afirman que las mejores tierras de Mafafas son las Tierras Negras de la Barranca La Cumbre, debido a que no necesitan abono y en segundo lugar las Barriales por su buena capacidad para retener humedad. Así mismo, los Cascajillos amarillos y los Tepetates pueden ser de las clases de tierra que se encuentran al final, en cuanto a calidad y al trabajo requerido para producir café en ellos. Para las plantaciones de cafeto, un productor menciona que las tierras que tienen mucho barro (arcilla) como en las Barriales, Cascajillos y Tepetates se necesita hacer una cepa de 30 cm de diámetro por 30 cm de fondo, la amplitud del agujero se debe a que a las raíces del

café se le dificulta penetrar el barro y principalmente cuando este se seca después de las lluvias. Por eso se necesita poner la planta con un compuesto de materia orgánica y de otras tierras con abono, para que la raíz de planta tenga mejores probabilidades de crecer. Otro productor menciona que las tierras Polvillo y Negra no necesitan un agujero tan amplio, ya que son tierras de estructura suelta y las raíces pueden entrar fácilmente. Una de las personas entrevistadas menciona que, para hacer una buena plantación de café, se necesita embolsar un compuesto que tenga tierra abonada, excremento de animal y arena, ésta última para que pueda entrar aire y para que las raíces no tengan problemas para distribuirse. Todos los productores que tienen finca en tierras Barriales, Cascajillos, Polvillos y Tepetates consideran que han perdido alguna parte de tierra debido al lavado por las lluvias, lo que se conoce científicamente como erosión hídrica., así mismo, los que tienen tierras negras afirman que en esta clase de tierra no se tiene dicho problema de lavado, por otra parte, dos de ellos mencionan que se han presentado deslizamientos de tierra en el pasado de la finca, principalmente en Cascajillos, ellos conocen a estos eventos como reventones. Aun así, solamente una persona realiza prácticas de conservación de tierras mediante la construcción de barreras muertas en la curva de nivel de sus fincas.



Figura 25. Barreras muertas para detener la erosión del suelo.

De acuerdo con las pláticas, ninguno de los productores procesa su café y todos venden su producto en cereza, lo que repercute en sus bajos ingresos, un productor comenta que los intermediarios que se encuentran organizados regionalmente, lo que obliga al productor a vender en la misma localidad de Mafafas y a un precio muy bajo. Un productor comenta que para producir un quintal de 58 kg se necesitan 300 kg de café de la especie Costa Rica, pero para conseguir un quintal de café Criollo o Borbón, se necesitan 240 Kg, lo que indica que estos granos pueden generar mejores producciones. La mitad de los productores aseguró estar interesado en organizarse con otros productores y asociarse para producir café de calidad.

En términos generales, todos los productores comentan que con trabajo sus tierras no tienen ningún problema, independientemente del tipo de tierra que se trate. Así mismo, en todos los productores se notó la misma percepción sobre el cambio climático observada en los informantes clave, un productor menciona que antes los meses de julio, septiembre y diciembre solían ser muy lluviosos, en los últimos años esos meses han sido muy soleados.

Los resultados de las entrevistas mostraron que el manejo agroecológico de los cafetales puede ayudar a mejorar la productividad de las fincas, independiente del tipo de tierra que se trate, el ejemplo más claro fue un productor ejemplar: Don Luis Estrada, él realiza prácticas de lombricompostaje, usa plantas fijadoras de nitrógeno, usa barreras muertas en la curva de nivel de sus fincas, tiene una sombra diversificada, genera sus propias plantas de café, poda sus plantas constantemente y asiste diario a su finca. Don Luis tiene en su finca la tierra de Cascajillo, una tierra como vimos en los resultados de laboratorio con contenido medios y bajos de carbono orgánico y pobres en nitrógeno, el resultado de su trabajo constante es una finca sana y muy productiva (agroecosistema 11), en esta finca se distingue enormemente el contraste con las plantas de la finca vecina. Por lo tanto, es el productor que más se acerca a las prácticas agroecológicas básicas que deberían realizarse para conseguir un cafetal sano y productivo en Mafafas.

Don Luis afirma que aprendió de un técnico de SAGARPA que acudió a la localidad hace dos años (2016) y asegura que es la única persona del ejido que realiza este tipo de prácticas, ya que los demás productores ignoraron las recomendaciones del aquel técnico.



Figura 26. Don Luis al centro, su finca a la derecha, la finca del vecino a la izquierda, nótese el contraste entre ambas plantas.



Figura 27. Vivero de café.



Figura 28. Lombricomposta.



Figura 29. Como resultado se obtienen plantas sanas y productivas.

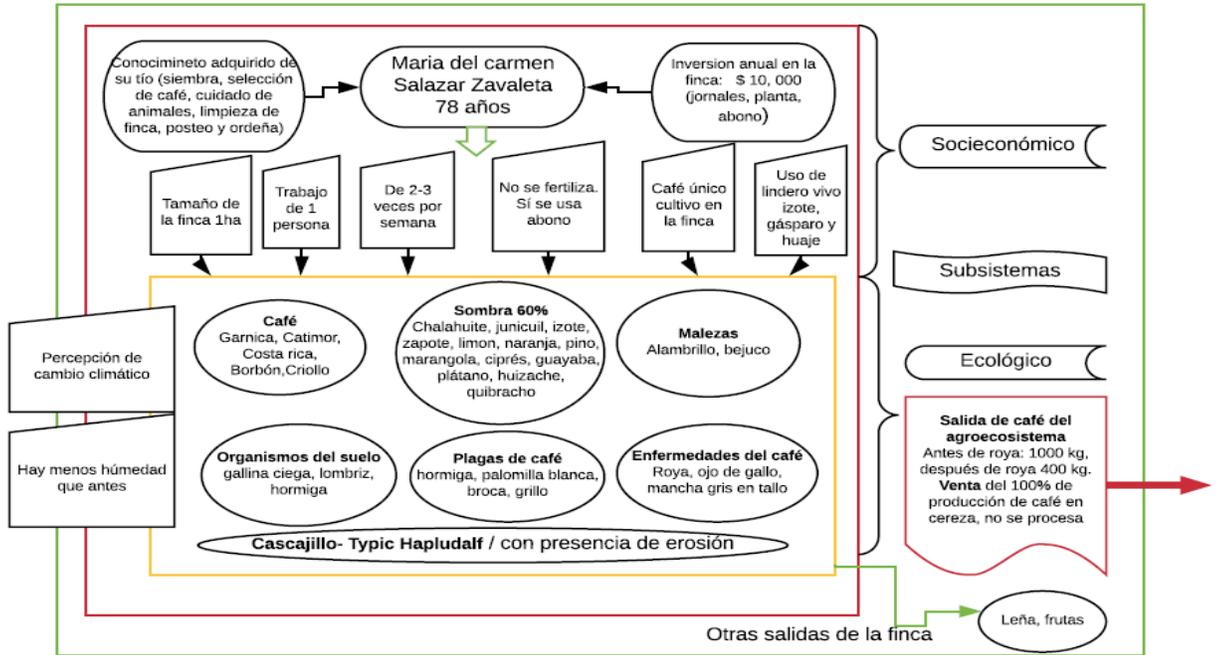


Figura 30. Estructura del agroecosistema 1.

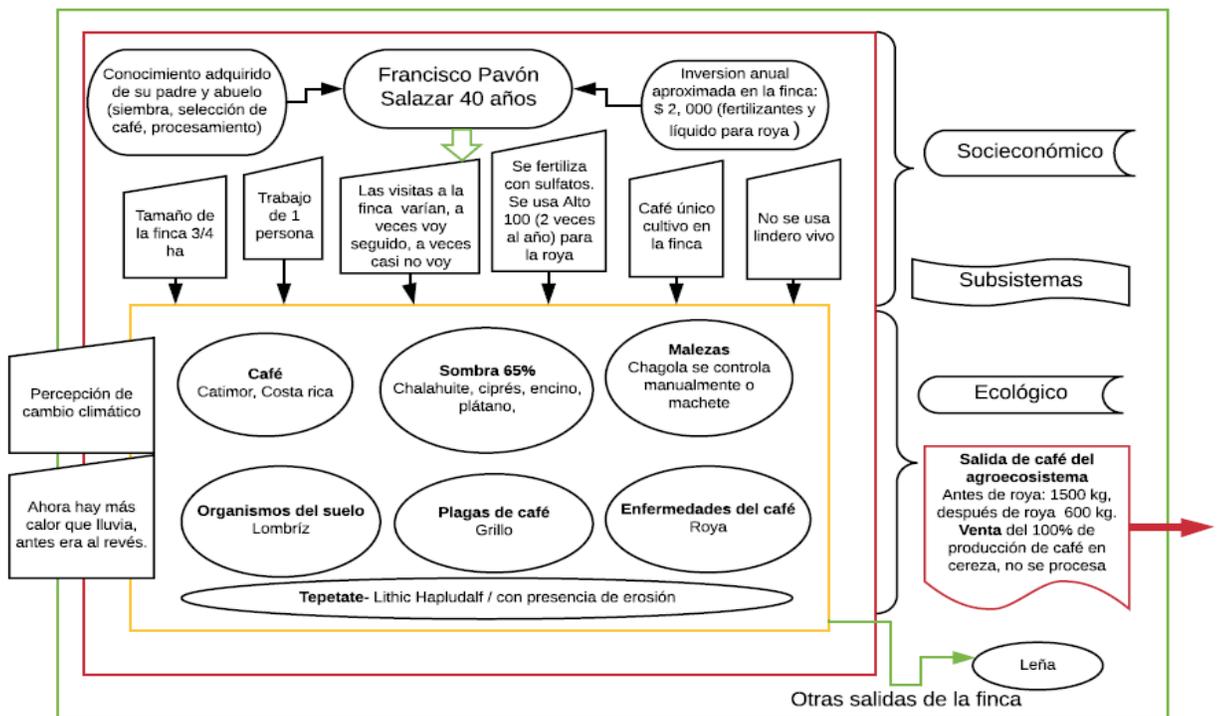


Figura 31. Estructura del agroecosistema 2.

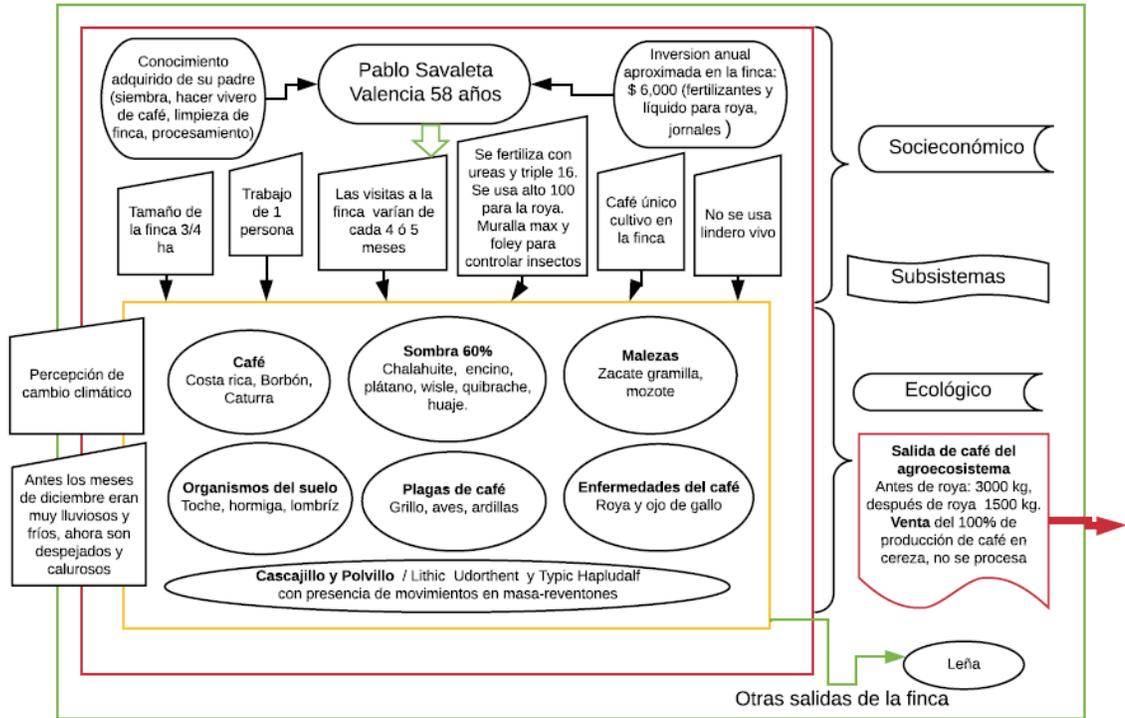


Figura 32. Estructura del agroecosistema 3

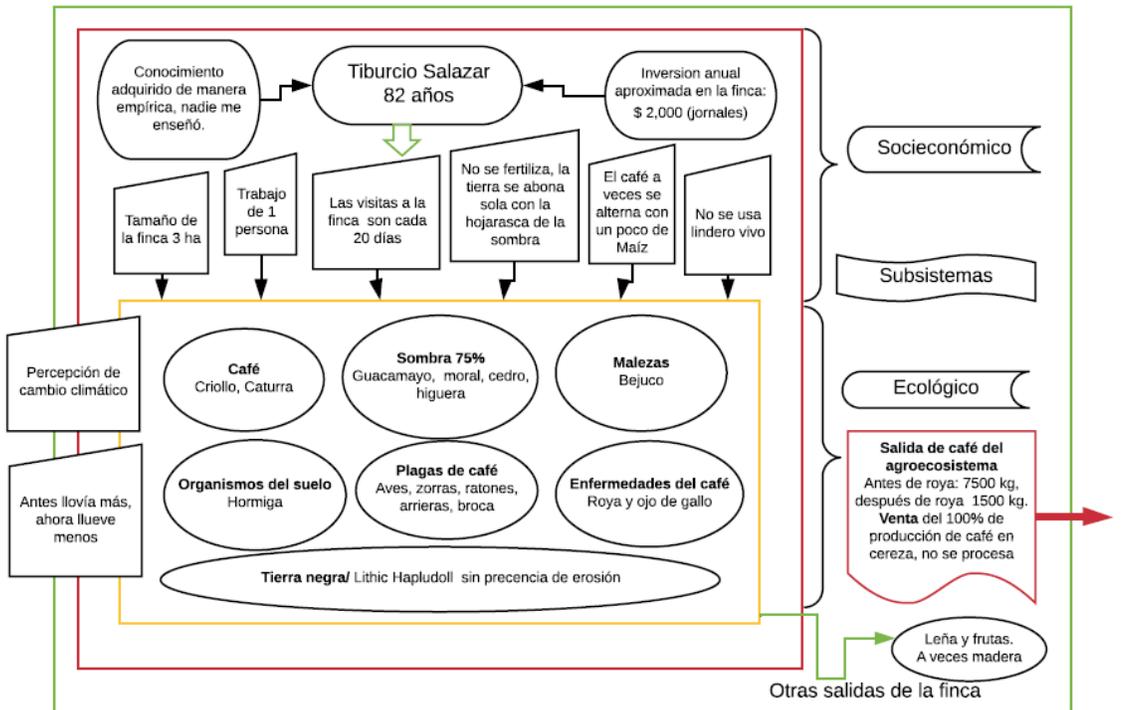


Figura 33. Estructura del agroecosistema 4

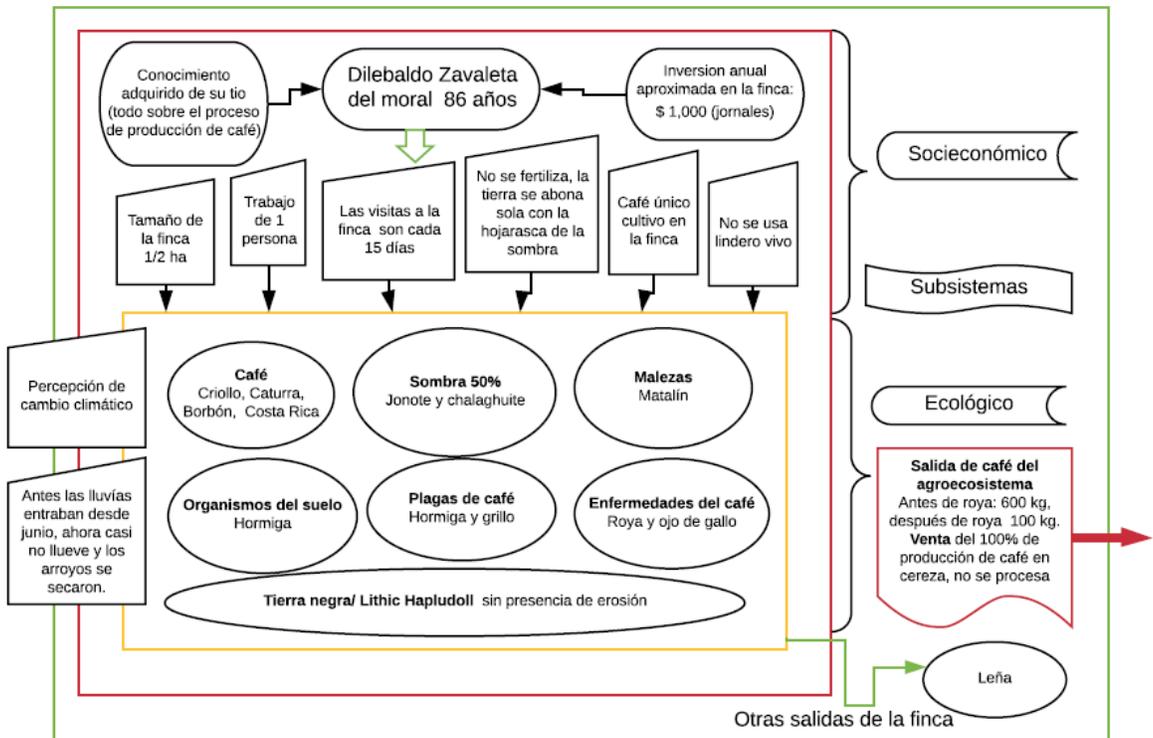


Figura 34. Estructura del agroecosistema 5

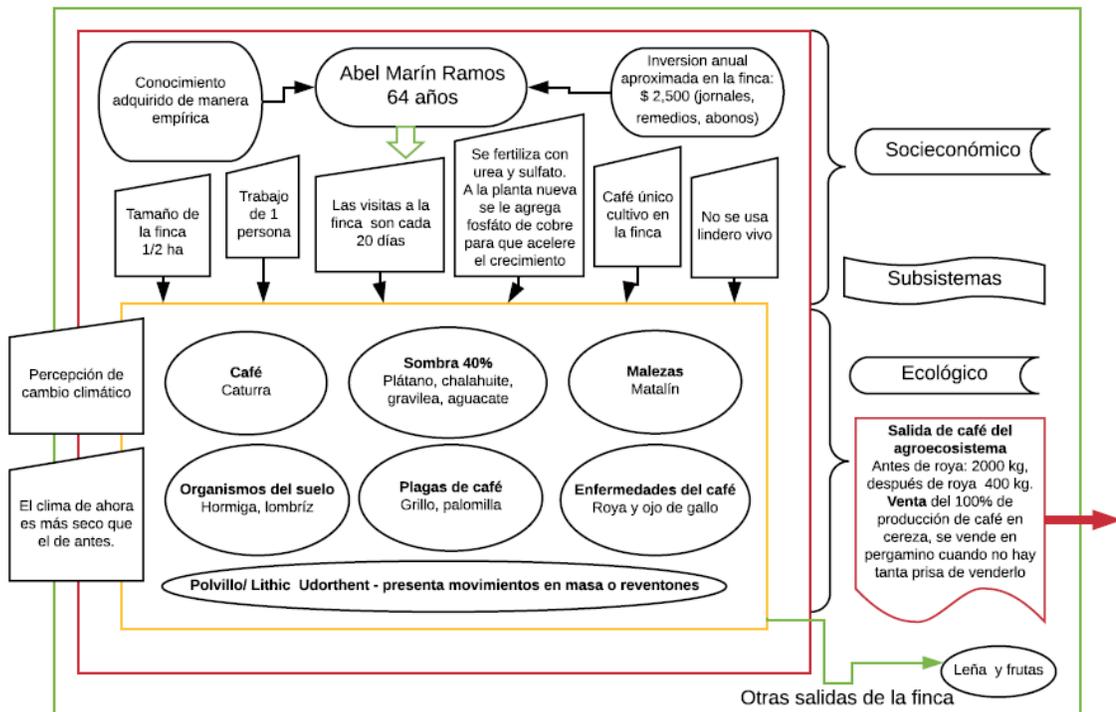


Figura 35. Estructura del agroecosistema 6

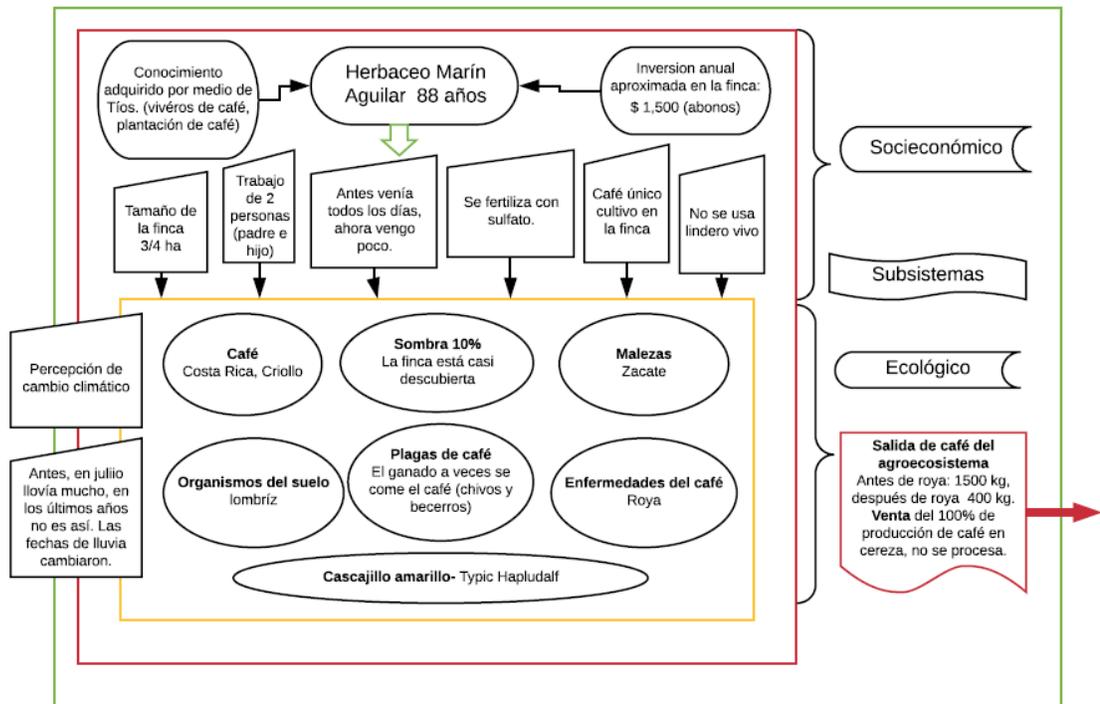


Figura 36. Estructura del agroecosistema 7

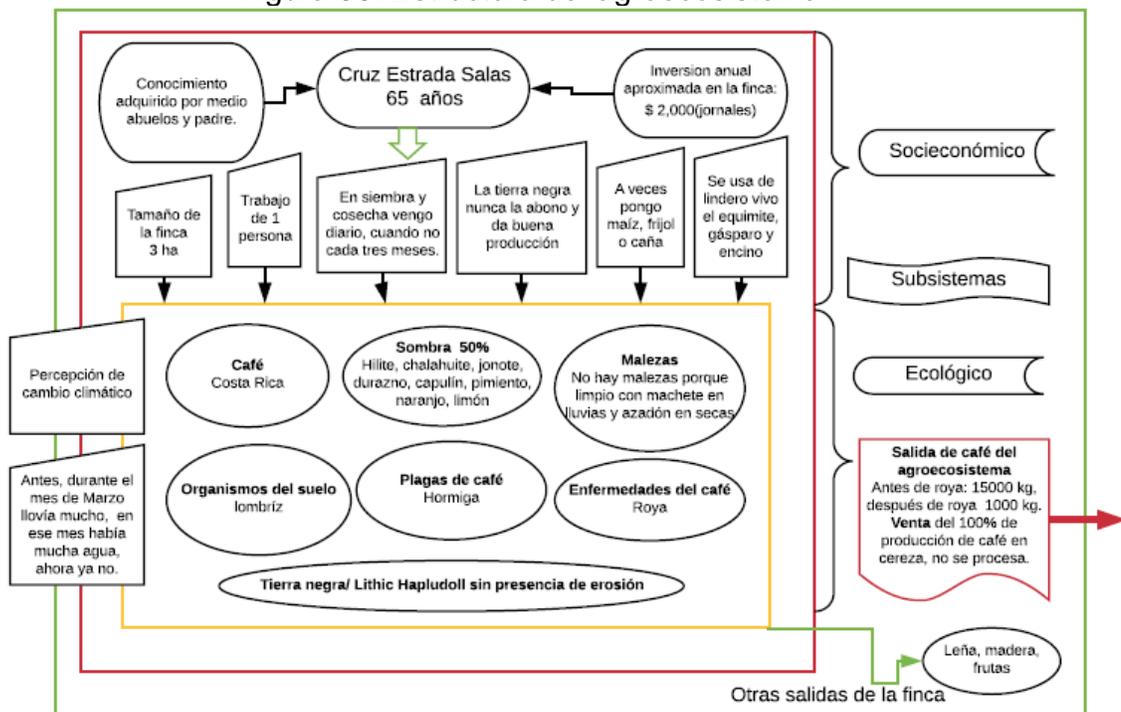


Figura 37. Estructura del agroecosistema 8

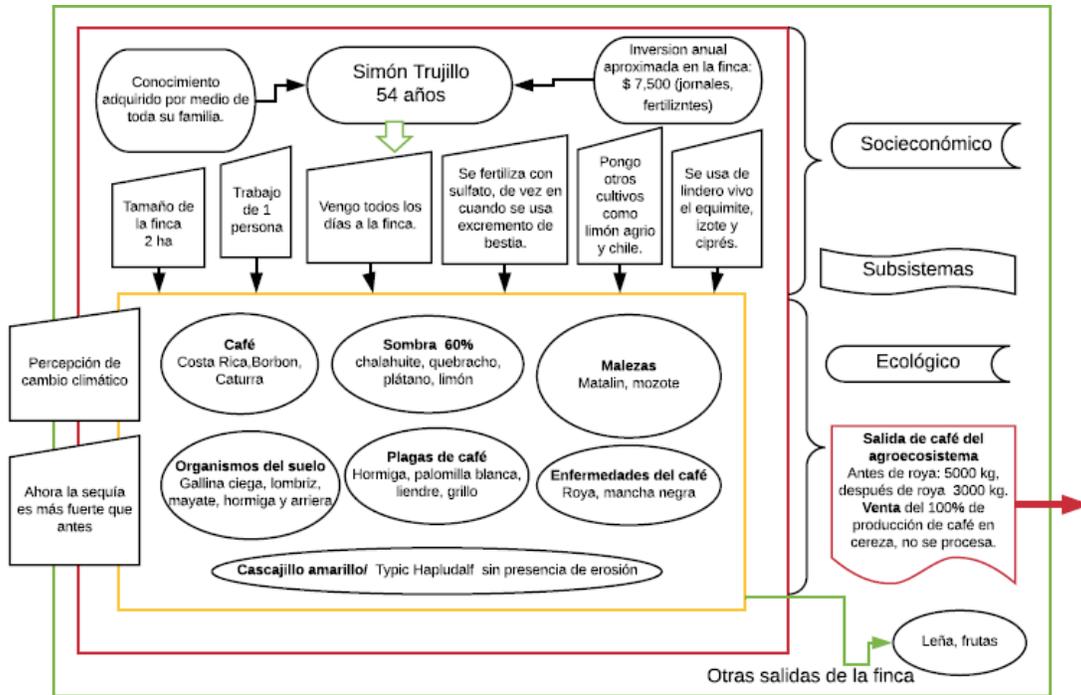


Figura 38. Estructura del agroecosistema 9

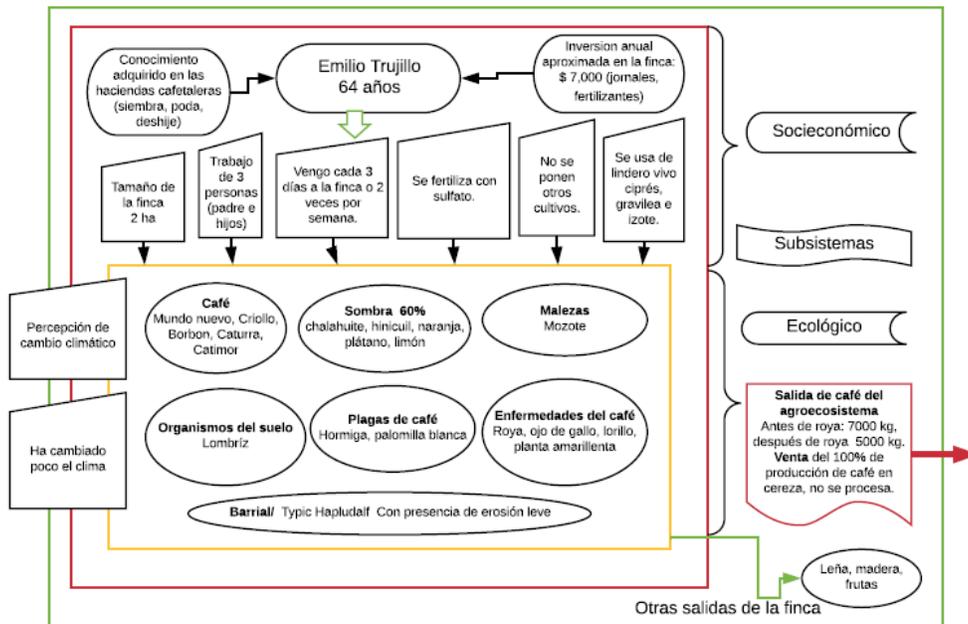


Figura 39. Estructura del agroecosistema 10

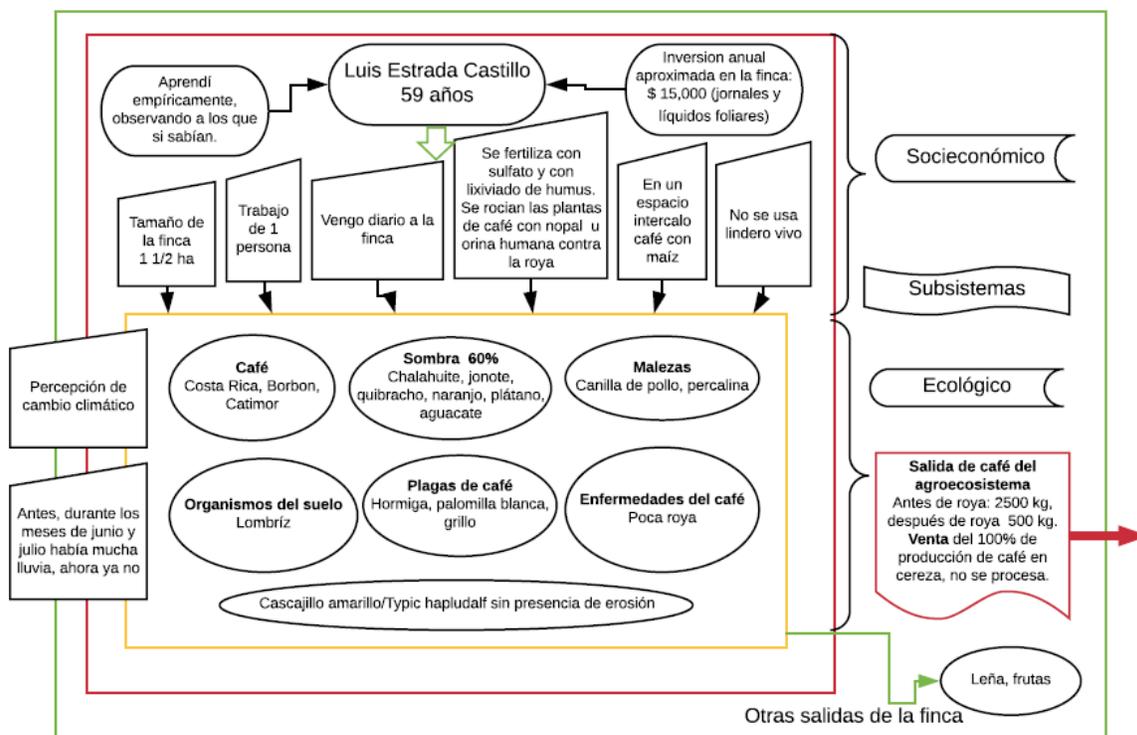


Figura 40. Estructura del agroecosistema 11

6 DISCUSIÓN

Como se había mencionado anteriormente, se aplicó el método etnoedafológico en el ejido de Mafafas con el fin de caracterizar los suelos y los agroecosistemas cafetaleros asociados. Durante las VI fases de este trabajo se obtuvo información relevante y de primera mano. Cabe resaltar que la evaluación de la precisión del mapa de tierras puede proporcionar una aproximación a la calidad del mismo, sin embargo, será necesario evaluar su exactitud en el futuro cercano para tener mayor certeza de su confiabilidad. Aun así, la información geográfica de tierras y su uso, de los resultados de laboratorio y de la información de estructura de los agroecosistemas derivada de las entrevistas a los productores pueden considerarse confiables, debido a que los métodos que fueron empleados son estandarizados internacionalmente, así mismo la información cartográfica base utilizada para la construcción de la cartografía de tierras y su uso son de libre acceso y poseen una resolución espacial aceptable, además se caracterizó la estructura de 11

agroecosistemas y se realizó triangulación con aproximadamente otros 20 productores, para validar internamente la información que se reporta sobre la estructura de los AES.

Como se podrá observar en los resultados de este trabajo, las tierras representativas identificadas por los informantes clave durante los recorridos se basaron en características físicas, las cuales son reconocidas a simple vista: estructura, textura, pedregosidad, profundidad y color, a partir de esto, se identificaron las siguientes clases: La Tierra Tepetate, La Tierra Barrial, La Tierra Cascajillo, La Tierra Polvillo y La Tierra Negra, todas pueden presentar variantes y también algunas combinaciones que son poco representativas. Cabe resaltar que todos los tipos de tierra identificados por los informantes clave sirven para producir café y otros productos agrícolas, sin embargo, algunas clases necesitan más trabajo que otras.

Las propiedades edáficas de las distintas clases de tierra en el Ejido de Mafafas se mostraron en el Cuadro 3, en estos resultados destaca el rango de pH, que varía de ligeramente 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 de 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 4, debido a que podría representar toxicidad por Aluminio, por lo tanto, los suelos de Mafafas podrían considerarse sin problemas de pH, aunque un poco más de acidez mejoraría la calidad del producto. Por otro lado, como era de esperarse 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 desciende en función de la profundidad, de contenidos medios a muy bajos. 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 (K) desciende 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 fueron los contenidos muy altos de magnesio (Mg) en todas las muestras, lo cual podría estar relacionado con una baja capacidad fisiológica de las plantas para absorberlo y almacenarlo (Rodríguez y Morales, 2005), o 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, aún en el subsuelo. 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 *et al.*, 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) 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 de 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. Por lo tanto, se trata de un horizonte subsuperficial con una mayor fracción arcillosa que el horizonte superficial (Soil Survey Staff, 2014), este proceso predomina, ya que en total suman 589.18 hectáreas, lo que equivale al 74.29% de la extensión total del ejido de 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, estas fueron caracterizadas por (Brewer 1968), aunados a una alta capacidad de intercambio catiónico y una elevada saturación de bases en la zona de acumulación de arcillas, esto da como origen al orden de suelo llamado Alfisol de acuerdo con (Soil Survey, 2014) o el equivalente Luvisol de acuerdo con (WRB, 2014), este orden corresponde 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 les imprime 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 los tipos de tierra Barrial se hinchan o expanden cuando son humectados por las lluvias, por lo tanto, algunos informantes resaltan la capacidad de estas tierras para el almacenamiento de agua, este comportamiento es 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 *et al.*, 2015), 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 cafeto cuando éstas son recién trasplantadas en la tierra. Otro ejemplo es la característica de la Tierra negra, en la cual los informantes aseguran que estas tierras no necesitan de abono ni fertilización para tener buenos rendimientos, características que concuerdan con el tipo de suelo Phaeozem (WRB, 2014) o Molisol (Soil Survey, 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, lo que verifica la hipótesis planteada en este segmento.

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 de 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 *et al.*, 1982), sin embargo, de acuerdo a los recorridos hechos durante la fase de campo, los andosoles que son básicamente suelos derivados de cenizas volcánicas (Shoji *et al.*, 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, así mismo, se realizó un recorrido fuera del ejido para buscar los andosoles reportados por INEGI, sin embargo, se encontraron suelos rojos que corresponden a Rhodic Luvisol (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 secundarios negativos en el futuro, ya que como se podrá notar no solo se trata de imprecisiones

derivadas de la escala, si no de la deficiente aplicación del levantamiento de suelos. Con respecto al patrón de uso y cobertura de las tierras en el ejido de Mafafas, se identificaron 4 categorías predominantes: Cafetal, vegetación secundaria arbustiva, 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 suelos, 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 separar las clases de ambos Cascajillos en el mapa de tierras.

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. Lo anterior puede afectar la seguridad alimentaria de los vendedores, por ejemplo, Vásquez (2008) menciona que, en una economía de libre mercado, los ejidatarios que han vendido sus parcelas han perdido su patrimonio, esto los obliga a emplearse en fincas ajenas, en actividades distintas de la agricultura o emigrar, este patrón se ha notado durante las entrevistas y pláticas informales con los productores de Mafafas.

Como se vio en 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 los 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 y Idol, 2009; Nzeyimana *et al.*, 2017) quienes encontraron que el matillo

derivado de la poda de la sombra puede compensar las pérdidas de (C) y esto puede promover una mayor disponibilidad de (N) 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 debidas al 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%. 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, las que aumentan las interacciones ecológicas, por lo tanto, que son benéficas. Ya que de acuerdo con Martins *et al.*, (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, de acuerdo con Nesper *et al.* (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 un cierto tiempo en el pasado, en la actualidad esta incidencia ha disminuido. Sin embargo, de acuerdo a 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 (N) en el suelo (Peters *et al.*, 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 orbiger*) en forma de larva, de acuerdo a algunos

productores de café, esta larva es depredada por la hormiga, por lo tanto, es común ver la planta con estas asociaciones, de acuerdo a 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 a los productores, la mancha negra se puede retirar de la hoja manualmente. Cabe resaltar que estas asociaciones se encontraron en varios cafetales, incluyendo la finca de don Luis, que atiende su finca todos los días y de acuerdo con los resultados su manejo es diferente al resto de productores. En esta parte se 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 *et al.*, 2010). 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 pueden ser importantes para la conservación de pequeños mamíferos (Calder, 2016).

Actualmente 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, así mismo inducen el aumento de plagas y enfermedades del café, lo que representa una amenaza para muchas regiones productoras de este grano (The Climate Institute, 2016.). Como se sabe, la enfermedad que ha provocado mayor impacto en la productividad de los agroecosistemas cafetaleros de Mafafas y la región central de Veracruz es la Roya (*Hemileia vastatrix*), este hongo ha generado un decremento considerable en la productividad de las 11 fincas evaluadas. De acuerdo con los resultados obtenidos, en 10 fincas el decremento de la productividad estuvo por encima del 50%, solamente en una finca se encontró un decremento del 28%, lo anterior concuerda con (Pérez-Fernández *et al.*, 2016) quienes mencionan que dicho hongo ha devastado al cultivo y a su economía, lo que ha provocado su reconfiguración dinámica a nivel nacional y mundial.

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 , estos son comúnmente usados 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 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 como N y P (Cobb *et al.*, 2018).

Otra de las alternativas agroecológicas en el manejo de nutrientes es el uso de lombricompostaje, este método permite aprovechar los residuos orgánicos del café como la pulpa y el estiércol de los animales de carga y ganado, esto le imprime calidad y un valor agregado al producto final (Janissen y Huynh, 2018). Para ello, se requiere realizar un estudio de la infraestructura necesaria y la implementación de un proceso eficiente de reciclado de residuos orgánicos en Mafafas y para lograr su aceptación y éxito se deberá realizar mediante un consenso entre técnicos y productores.

Por otra parte, 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, esta se basó en difundir prácticas agroecológicas, como es de notarse durante el intercambio entre técnicos y productores se tuvieron problemas de comunicación, esto es muy común y un grave problema del actual campo mexicano, por lo tanto, desde el siglo pasado se requiere un nuevo modelo institucional acorde a la situación actual, caracterizada por la apertura de las economías, agricultura diversificada, control biológico de plagas, una creciente preocupación por el medio ambiente (Trigo y Kaimowitz,

1994). Es necesario promover estas prácticas mediante la transferencia de tecnologías y conocimientos dentro de la localidad, esto sin duda podría mejorar las propiedades del suelo y aumentar la productividad de los cafetales. Por lo tanto, Don Luis, podría ser una pieza clave para ayudar a generar conciencia agroecológica y servir de ejemplo entre sus compañeros productores de café, ya que él mismo podría ayudar a transferir los conocimientos, dicha transferencia de productor a productor podría tener mayores posibilidades de mejorar la productividad de los cafetales y conservar los recursos bióticos y abióticos locales (Holt Giménez, 2008; Machín Sosa *et al.*, 2010).

Como se podrá observar en los resultados anteriores, la mayoría de los conocimientos que le dan un sentido a la estructura y al manejo de los agroecosistemas cafetaleros en Mafafas están determinado por herencia familiar, estas pueden ser la acumulación de distintas generaciones a través del tiempo, y en algunos casos pueden tratarse casos especiales, en los que el productor no heredó esos conocimientos, sino los adquirió por iniciativa propia y en un caso particular, a través del intercambio de conocimiento entre productores y técnicos.

El mapa de las clases de tierra, vegetación e información de la estructura de los agroecosistemas cafetaleros, servirán como insumos para llevar a cabo otros estudios locales y holísticos, entre los cual: un diagnóstico rural participativo, evaluaciones agroecológicas para cultivos asociables al café, un ordenamiento territorial comunitario, modelos espacialmente explícitos 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.

De acuerdo con la Figura 1., La caracterización de los agroecosistemas cafetaleros aunada a una serie de otros estudios integrales proveerá elementos sólidos para formular propuestas consensuadas orientadas a la conservación, manejo y al aprovechamiento sustentable de recursos en la localidad.

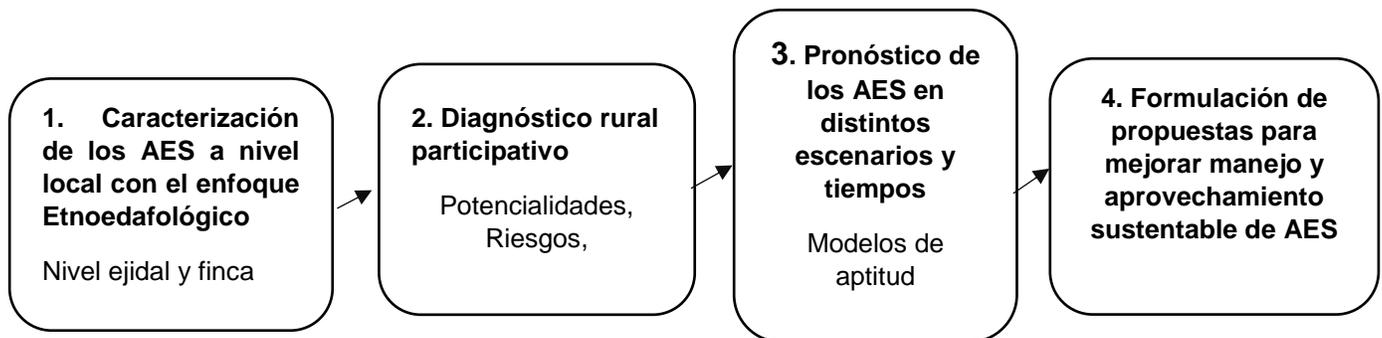


Figura 41. Etapas básicas para formular propuestas viables en agroecosistemas AES. (Elaboración propia).

7 CONCLUSIÓN

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 corresponden a cinco tipos de suelo para Soil Survey y seis para WRB, con cuatro tipos predominantes de uso del suelo. Además, las 11 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 de este procedimiento 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

8 REFERENCIAS

- Altieri, M. A 1995. Agroecology. The science of sustainable agriculture. Second Edition. Westview Press-Intermediate Technology Publications. Boulder-London. pp.433.
- Altieri, M. A., y Nicholls, C. 2002. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales, (64), 17–24.
- Balcázar, R. C., Haller, V. V., Turrent, A., y Huertas, D. P. 1998. Transferencia de tecnología agrícola entre pequeños productores : caso del maíz en la region central de Veracruz. Terra Latinoamericana: 16 (1), 1-10.
- Barrera-Bassols N. y Zinck J. 2002. Etnopedology in a worldwide perspective, an annotated bibliography. Geoderma, 105(77), pp.153–155.
- Barrera-Bassols N., Zinck., J., y Van Ranst., E. 2006. Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. Catena, 65(2), pp.118–137.
- Barrera-Bassols, N., C. Del Campo y G. Hernández. 2012. La red en acción: de la lucha por la tierra a la defensa de los territorios bioculturales. Etnoecológica, 9 (1): 85- 88.
- Berger J. 1979. Pig Earth, London. Writers and Readers.
- Bertalanffy, L. V. 1976. Teoría general de los sistemas. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Boettinger J., Ramsey R., Bodily J., Cole N., Kienast-Brown S., Nield S., Saunders A. y Stum A. 2008. Landsat Spectral Data for Digital Soil Mapping. Media, pp.193–202.

- Boul, S. W., R. J. Southard, R. C. Graham and P. A. Daniel. 2011. Soil Genesis and Classification. Sixth Edition. Wiley & Blackwell. 543 p.
- Brady, N. C. y R. R. Weil. 1999. The Nature and Properties of Soils. Twelfth Edition. Prentice Hall. New Hersey.
- Brewer, R., 1964. Fabric and Mineral Analyses of Soils. Wiley, New York, N.Y.
- Burgess, T.M. y R. Webster. 1984b. Optimal sampling strategies for mapping soil types. II. Risk functions and sampling intervals. Soil Sci. 35: 655-665.
- Calder, J. 2016. El estudio de los mamíferos en cafetales de México : tendencias y resultados. In book: Fauna Nativa en Ambientes Antropizados. Edition: I. Chapter: 17. 180-187pp.
- Cárdenas, C., Ortiz, S., Carlos, A., Gutiérrez, C., Carmen, M., y Gutiérrez, C. 2008. Las clases de tierras citrícolas del ejido pueblillo, Papantla, Veracruz. Terra Latinoamericana: 26, (1) 11-19.
- Carvalho W., Lagacherie, P., da Silva C., Calderano B., y Barge S. 2014. A regional-scale assessment of digital mapping of soil attributes in a tropical hillslope environment. Geoderma: 232–234, 479–486.
- Chapin F., McFarland J., McGuire A., Euskirchen E., R. Ruess., y Kielland K. 2009. The changing global carbon cycle: linking plant–soil carbon dynamics to global consequences. Journal of Ecology: 97, 840–850.
- Cobb, A. B., Wilson, G. W. T., Goad, C. L., y Grusak, M. A. 2018. Influence of alternative soil amendments on mycorrhizal fungi and cowpea production. *Heliyon*, 4(7), e00704.
- Conway, G. R. 1985. Agroecosystem analysis. Agricultural Administration. 20: 31-55.
- Conway, G. R. 1987. The properties of agroecosystems. Agricultural Systems. 24: 95-117.
- Christian, C. S., y Stewart, G. A. 1968. Methodology of integrated surveys. In aerial surveys and integrated studies. Proc. Toulouse conf. 1964, (UNESCO: Paris.) pp. 233-80.
- Cuanalo-de la Cerda, H. 1975. Manual para la descripción de perfiles en el campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- De la Rosa., D. 2008. Evaluación agroecológica de suelos. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 404 p. ISBN: 978-84-8476-361-1.

- Doran J., y Zeiss M. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15, 3–11.
- Escamilla E., Ruiz O., Díaz G., Landeros C., Platas D., Zamarripa C., González H. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. (Costa Rica).No.76. pp5-16.
- Escamilla, E., y Landeros, C. 2016. Cafés diferenciados y de especialidad. Universidad Autonoma de Chapingo COFUPRO CENACAFE SAGARPA, 54 p.
- Finke P. 2012. On digital soil assessment with models and the Pedometrics agenda. *Geoderma* 171-172, 3–15.
- Franzluebbers A. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, 66, 197–205.
- Frossar E., Brossard M., Hedley M., y Metherell A. 1995. Reactions controlling the cycling of P in soils. *Phosphorus in the global environment*. 107-137.
- Gliessman S., R .1990. Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: a goal. En Gliessman SR (Ed.) *Agroecology. Re- searching the ecological basis for sustainable agriculture*. Ecological Studies 78. Springer. New York, EEUU. pp. 366-370.
- Gliesmann, S.R., F.J. Rosado-May, C. Guadarrama-Zugasti, J. Jedlicka, A. Cohn, V.E. Mendez, R. Cohen, L. Trujillo, C. Bacon y R. Jaffe .2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas* 16(1): 13-23.
- González, E. L., Solorio, C. O., y Gutiérrez-Castorena M. Del C. 2000. Calidad de los mapas de suelos en el ejido de Atenco. *Redalyc.Terra Latinoamericana*. 18, 103–113.
- Hernández X., E. 1977. *Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. 559 p. Segunda edición 1981.
- Holt Giménez. 2008. *Campesino a campesino: Voces de Latinoamérica Movimiento Campesino para la Agricultura Sustentable*. Managua: SIMAS. 294 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2006. Conjunto de datos vectoriales edafológicos escala 1:250 000 serie II (E14-B). INEGI. Aguascalientes, México.
- 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.

- Jenny H. 1941. *Factors of soil formation*. New York: Mc Graw Hill.
- Jiménez Avila, E. y A. Gómez Pompa. 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), pp.197-215.
- Krupenikov I. 1993. *History of Soil Science* (Dhote, A.K., Trans.), A.A. Balkema Publishers, Brookfield, Vermont.
- Lee, A. 2010. Retrospect and prospect: Information systems research in the last and next 25 years. *Journal of Information Technology*. 336-348 pp.
- Licona Vargas, A., Ortiz Solorio, C. A., Gutiérrez Castorena, M. D. C., y Manzo Ramos, F. 2006. Clasificación local de tierras y tecnología del policultivo café-plátano para velillo-sombra en comunidades cafetaleras. *Terra Latinoamericana*: 24(1), 1-7.
- Lotka, A. J. 1925. *Elements of Physical Biology*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Lovell, S. T., DeSantis, S., Nathan, C. A., Olson, M. B., Ernesto Méndez, V., Kominami, H. C., 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.
- Luhmann. 1990. *Ensayos sobre auto referencia*. Columbia University Press. Nueva York. Google Académico.
- 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.
- Machado, Vargas., M. Nicholls C., Márquez S., y Turbay, S. 2015. Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce , Colombia , con un enfoque agroecológico. *IDESIA*: 69-84.
- Machín Sosa, B., Roque Jaime, A., Ávila Lozano, D. Michael Rosset, P. 2010. *Revolución agroecológica: el movimiento de campesino a campesino de la ANAP Cuba*. ANAP-La vía campesina. La habana CUBA. OXFAM. 80 p.
- Manson R., Hernández-Ortiz V., Gallina S., y Mehltreter K. 2008. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C. e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México. 348 p.

- Martins, B. H., Araujo-Junior, C. F., Miyazawa, M., Vieira, K. M., y Milori, D. M. B. P. 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.
- Miller B., y Schaetzel R. 2014. The historical role of base maps in soil geography. *Geoderma*, (231), 329-339.
- Mittermeier, R.A., N. Myers, J.B. Thomsen, G.A.B. da Fonseca y S. Olivieri.1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology*, 12(3), 516–20.
- Moguel P., y Toledo V. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43:40-52.
- Mueller L., Schindler U., Mirschel W., Shepherd G., Ball B., Helming K., Rogasik J., Eulenstein F., y Wiggering H. 2010. Assessing the productivity function of soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, (30), 601–614.
- Munroe, J. W., Soto, G., de, E., Fulthorpe, R., e Isaac, M. E. 2015. Soil microbial and nutrient properties in the rhizosphere of coffee under agroforestry management. *Applied Soil Ecology*, 93, 40–46.
- Nesper, M., Kueffer, C., Krishnan, S., Kushalappa, 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.
- Norman Myers., Russell A., Mittermeier., Cristina. Mittermeier, Gustavo da Fonseca y Jennifer Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Conserv. Biol.*12:516–520.
- Ojeda-Trejo, Enrique; León-Villalobos, José-María; Dunn, Christine; Cajuste-Bontemps, L. 2016. Cartografía Participativa Para El Ordenamiento Territorial Comunitario. 22p.
- Ortiz-Solorio., C., Pájaro H., D. y Ordaz Ch., V. M. 1991. Manual para la Cartografía de Clases de Tierras. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 62p.
- Ortiz-Solorio., C. 1993. Evolución de la ciencia del suelo en México. *CIENCIA* 44: 23-32.
- Ortiz-Solorio., C y Gutiérrez-Castorena M. Del C.2001. La etnoedafología en México una visión retrospectiva. *Etnobiología* 1: 44-62.
- Pájaro, D., y Tello, E. 2014. Fundamentos epistemológicos para la cartografía participativa. *Etnoecológica*, 10(1), 1–20.

- Pájaro, D. 2015. El Levantamiento de Suelos y su Relación con la Clasificación y Cartografía de las Clases de Tierras Campesinas. *Journal for Theoretical Cartography*.
- Peeters, L. Y. K., 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.
- Pérez-Fernández, Y., González Santiago, M. V., Escamilla-Robledo, E., Cruz-León, A., Rosas-Brugada, M., & Ruiz-Espinoza, F. de J. 2016. Proposals for the preservation of life in coffee plantations in Teocelo, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, (57), 169–178.
- 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.
- Rajaram, T., y Das, A. 2010. Modeling of interactions among sustainability components of an agro-ecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1734–1744.
- Rekik, F., van Es, H., Hernandez-Aguilera, J. N., y Gómez, M. I. 2018. Soil health assessment for coffee farms on andosols in Colombia. *Geoderma Regional*. 14; e00176.
- 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.
- Rodríguez, M. y Morales, V. 2005. Toxicidad por manganeso en huertos de mango Haden en Venezuela. Instituto de la Potasa y el Fósforo. *Informaciones agronómicas* núm. 56. 9-10 pp.
- Rosas, J., Escamilla, E., y Ruiz, O. 2008. Relationship of Soil Nutrients to Physical and Sensorial Characteristics of Organic Coffee. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 375–384.
- Rossiter D., 2004. Metodologías para el Levantamiento del Recurso Suelo. International Institute for Geo-Information Science & Earth Observation ITC, 145.
- Ruiz-Rosado, O. 1995. Agroecosistema: el término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. In: Loera, et al., (eds). *Agroecología y Desarrollo Sustentable*. Segundo Seminario Internacional de Agroecología. Chapingo. Mex.: 103-113.

- Salazar Gutiérrez e Hincapié Gómez. 2005. Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. centro nacional de investigaciones de café - CENICAFÉ. Avances técnicos 333. 12 p.
- Sánchez-G, P., Ortiz-S., C. A., Carmen, G. C. M. del, y Gómez D., J. D. (2002). Local Land Classification and its Relationship with Sugarcane Crop in the South of Veracruz. *Terra*, 20, 359–369.
- Sauvadet, M., den Meersche, K. Van, Allinne, C., Gay, F., de Melo Virginio Filho, E., Chauvat, M., 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.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, y W.D. Broderson. 2002. Field book for describing and sampling soils, version 2.0. USDA-NRCS, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Simonson R. 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Science Society of America Proceedings*. 23:152-56.
- Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R.A., 1993. Volcanic Ash Soils. *Developments in Soil Science*. 21. Elsevier, pp. 1–288.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. Natural Resources Conservation Service-US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.
- Soto-Pinto, L., V. Villalvazo-López, G. Jiménez-Ferrer, N. Ramírez-Marcial, G. Montoya y F.L. Sinclair. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16(2):419-436.
- Tansley, A., G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16: (3) 284-307.
- Tricart J. 1965. Principes et méthodes de la géomorphologie. Paris: Masson.
- Trigo, E., y Kaimowitz, D. 1994. Investigación Agrícola Y Transferencia. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 11(1/3)(3), 99–126.
- University of New Hampshire. 2013. William Smith's Geological Map of England, Wales, and Part of Scotland, 1815–1817. Available online [http://www.unh.edu/esci/ William Smiths-Stratal identified/i/explanatory.html](http://www.unh.edu/esci/William_Smiths-Stratal_identified/i/explanatory.html) (Acceso [1/012/2017]).
- Valencia G. 1998. Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador, 60p.

- Vázquez, J. L. P. 2013. Mercado de tierras y propiedad social: una discusión actual. *Anales de Antropología*, 47(2), 9–38.
- Van Reeuwijk, L. 1995. Procedures for soil analysis. Tech. Paper 9. 4th ed. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. The Netherlands.
- Van Wambeke, A. R. 2000. The Newhall Simulation Model for estimating soil moisture & temperature regimes. Department of Crop and Soil Sciences. Cornell University, Ithaca, NY.
- Velasco, Y. A. M., Roperó, M. C. 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.
- Von Bertalanffy, L. 1976. Teoría general de sistemas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Williams, B. y Ortiz-Solorio., C. 1981. Middle American Folk Soil Taxonomy. *Annals of the Association of American Geographers*. Vol. 71. N° 3. September 1981. United States.
- Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014.
- World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- 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.
- Zinck A. 2012. Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. (ITC) Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. The Netherlands.123p.

Otros

- Entrevista a Narciso Barrera-Bassols, por Mónica Di Donato .2010. En: <http://www.fuhem.es/ecosocial/noticias.aspx?v=10216&n=0> . Consultado el día 28/03/18.
- Poema “El niño yuntero”, Miguel Hernández. 1937. En: <http://www.poesi.as/mh36030.htm> Consultado el día 28/03/18.