

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

**Diversidad de artrópodos y su relación con la  
fertilidad del suelo en un cafetal (*Coffea arabica* L.)  
de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca**

QUE PRESENTA LA ALUMNA

**Karina Yunuen García Cardoso**

Matrícula  
2163027201

**ASESORES**

Dra. María Judith Castellanos Moguel

Laboratorio de Micología

No. Eco. 28248

Dr. Gilberto Vela Correa

Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica

No. Eco. 27970



Ciudad de México, mayo de 2024

## RESUMEN

En México, el café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de importancia económica, social y cultural. Su cultivo, llevado a cabo bajo sombra diversificada, le confiere una gran relevancia ambiental, sin embargo, la cafecultura atraviesa problemáticas que han llevado al deterioro de los recursos naturales. El objetivo de este estudio fue determinar la diversidad de los artrópodos y su relación con la fertilidad del suelo, como apoyo en la búsqueda de herramientas de monitoreo y diagnóstico para las fincas cafetaleras que tienen potencial para la conservación de la biodiversidad como es el caso en la comunidad de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca, donde productores solicitaron realizar una evaluación de la fertilidad. Para ello se llevó a cabo una visita al rancho cafetalero “San Nicolás” para describir el proceso de producción de café, donde se determinaron tres sitios de muestreo en una ladera. En cada sitio se eligió una planta de café como punto central, y se colocaron cuatro trampas Pitfall alrededor orientadas con los puntos cardinales, para la captura de macroartrópodos y se tomó una muestra de suelo para la determinación en laboratorio de los parámetros físicos y químicos del suelo y la posterior extracción de microartrópodos, esto último se llevó a cabo mediante método de flotación con el uso de soluciones saturadas de azúcar para posteriormente realizar la preparación y montaje de los organismos con líquido de Hoyer seguido de su identificación taxonómica. Se analizó la estructura de la comunidad y finalmente los resultados se integraron para evaluar el estado de salud del agroecosistema cafetalero mediante un índice basado en Altieri y Nicholls (2002). De manera general, el cultivo de café se lleva a cabo bajo un sistema de manejo orgánico, que favorece el mantenimiento de diferentes servicios ambientales. Los suelos mostraron valores propicios para un buen desarrollo de los cafetales en cuanto a fertilidad, y los sitios no presentaron diferencias. Sin embargo, destaca el sitio S-3 con mejores resultados al presentar valores más altos de fertilidad, al ser un sitio receptor de materia orgánica. Dado que el cultivo de café orgánico bajo sombra parece estar en armonía con el medio ambiente, es recomendable el constante monitoreo del agroecosistema de manera integral para promover la sostenibilidad a largo plazo ayudando a mantener el valor cultural y productivo que representan para la comunidad.

**Palabras clave:** Artropofauna edáfica, café, propiedades físicas y químicas, San Pedro Cafetitlán.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
El suelo y sus propiedades .....	3
Fertilidad del suelo .....	3
Biología del suelo .....	4
Phylum Arthropoda .....	5
Agroecosistemas de Café ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	12
Agroecosistemas de café en México .....	12
Café Arábigo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	13
Cultivo de <i>Coffea arabica</i> en Oaxaca .....	13
OBJETIVOS .....	14
METODOLOGÍA .....	14
Trabajo en campo .....	17
Trabajo en laboratorio .....	19
Propiedades físicoquímicas .....	19
Artrópodos del suelo .....	19
Índices de sostenibilidad .....	23
RESULTADOS .....	27
El cultivo de café en Oaxaca .....	27
Producción de café ( <i>Coffea arabica</i> ) en el rancho cafetalero “San Nicolás” .....	28
Preparación del grano .....	30
Características de los sitios de muestreo .....	32
Propiedades físicas y químicas de los suelos .....	33
Artrópodos del suelo .....	35
Evaluación de sostenibilidad en el rancho cafetalero “San Nicolás” .....	49
DISCUSIÓN .....	52
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS .....	68

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático global y la pérdida de la biodiversidad son dos de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad hoy en día (SEMARNAT, 2016). En México, los bosques tropicales son las zonas más severamente afectadas por acciones antrópicas, ecosistemas particularmente ricos en recursos y por lo mismo preferidos por el hombre para actividades agropecuarias (Espejo *et al.*, 2005), alterando los diversos servicios ambientales que estos ecosistemas ofrecen, tales como: la captura de carbono, regulación del ciclo hidrológico y del clima, protección de los suelos ante la erosión, conservación de la biodiversidad y los valores paisajísticos y de recreación (Espejo *et al.*, 2005; Cayuela, 2006; SEMARNAT, 2016; Ruelas-Monjardín *et al.*, 2014).

Una de las actividades importantes que se desarrollan dentro de estos ecosistemas es el cultivo de café. En México, el café (*Coffea arabica* L.) es una actividad estratégica que permite la integración de cadenas productivas y la generación de divisas y empleos (Escamilla *et al.*, 2005; Rosas *et al.*, 2008). Actualmente, México se posiciona en el onceavo lugar como productor mundial (SADER, 2018), y, es considerado líder como principal productor y exportador de café orgánico con 20.5% del consumo mundial (Aguilar-Astudillo *et al.*, 2021).

Ante el panorama de la degradación de los bosques tropicales, los agroecosistemas de café han contribuido a mitigar la pérdida de los servicios ambientales al cultivarse bajo sombra diversificada, los cuales son sistemas de cultivo poco intensivo donde los cafetos forman parte del sotobosque, integrándose al ecosistema sin necesidad de alterar de manera irreversible al mismo (Espejo *et al.*, 2005) concentrándose principalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca (Peña, 2020).

Por lo anterior, los agroecosistemas de café bajo sombra toman una gran relevancia a nivel económico, social, cultural y ambiental, sin embargo, se encuentran en una espiral de deterioro en estos sectores (Hernández y Nava-Tablada, 2016) pues la producción y rendimientos del café se han visto afectados por la caída de los precios en el mercado internacional (SAGARPA, 2017; Morales, 2013; Escamilla *et al.* 2015; Gallardo-López *et al.* 2017) forzando a muchos cafeticultores a reemplazar estos agroecosistemas bajo sombra por cultivos más intensivos con abundante uso de insumos agroquímicos con tal de obtener una mayor producción por hectárea y un significativo aumento en las ganancias inmediatas (Espejo), o en otros casos se ha decidido talar sus cafetales para obtener madera como fuente alterna de ingresos y dedicar esa superficie a otros cultivos o a la ganadería, propiciando la alteración definitiva de los bosques tropicales, con la consecuente pérdida de la biodiversidad (Hernández y Nava-Tablada, 2016).

Actualmente, Oaxaca es el cuarto productor de café en el país (Espinoza-Guzmán *et al.*, 2020) y gran parte de la producción la realizan pequeños productores de comunidades indígenas (Morales, 2013). A lo largo de su territorio se producen distintas calidades y variedades de café, siendo el café “Pluma Hidalgo” la variedad de mayor reconocimiento a nivel mundial (Colín, 2007) que en algunas localidades se cultiva de forma rústica-artesanal, como es el caso en San Pedro Cafetitlán, la cual, comprende una localidad situada dentro de los límites de la Cuenca del Río Copalita, región que es considerada como una de las zonas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del país al albergar importantes corredores biológicos en distintos niveles altitudinales (García *et al.*, 2017), por lo que cuenta con una vasta riqueza en recursos naturales, donde la cafecultura es la principal actividad económica (Morales, 2013) que, a pesar de que sus productores han resentido la crisis cafetalera aún tratan de conservar esta actividad como parte de su cultura.

En la búsqueda por evitar la degradación de sus ecosistemas, se requiere de planes de manejo que motiven a mantener los cafetales bajo sombra y así contribuir a la protección de los recursos naturales. Para ello, los estudios de diagnóstico son fundamentales en el conocimiento del estado de la agricultura regional ya que permiten iniciar con la definición de objetivos y estrategias acordes con la problemática y necesidades identificadas (Hernández y Nava-Tablada, 2016). Aunque las propiedades físicas y químicas de los suelos se han usado tradicionalmente para diagnosticar la calidad y salud de los agroecosistemas, con el desarrollo de la agricultura sostenible, el interés por el estudio de la biología del suelo ha aumentado ya que cambios en la capacidad productiva y fertilidad pueden detectarse mediante su monitoreo (Bernal *et al.*, 2009; Díaz-Porres *et al.*, 2014).

Dentro de la biología del suelo, destaca la participación de los artrópodos al conformar el 90% de la fauna del suelo, son un importante componente de los ecosistemas naturales y agroecosistemas ya que proveen diversos servicios ecosistémicos al participar en la descomposición e incorporación de materia orgánica al suelo mejorando su estructura y calidad, regulan la velocidad del reciclaje de nutrientes y tienen un lugar primordial en todas las cadenas alimenticias (Iannacone y Alvarino, 2006; Flores-Pardavé *et al.*, 2008; Rivera-Costa *et al.*, 2008; García-Arboleda y Barrera-Marín, 2018), además gracias a su gran variedad de estrategias tróficas también pueden funcionar como agentes de control biológico de otros organismos que incluso pueden perjudicar la producción agrícola (Hernández, 2019).

El buen desarrollo de sus comunidades depende de las propias características y factores abióticos del suelo y de los ecosistemas en general, además, diferentes estudios han reflejado que algunos grupos de artrópodos presentan susceptibilidad ante los factores edafoclimáticos y los efectos de manejo, lo que ha llevado a considerar a estos organismos como bioindicadores de las condiciones del suelo (Palacios-Vargas y Mejía-

Recamier, 2007; Socarrás, 2016). En este sentido, la presente investigación tuvo como propósito proporcionar información acerca de la diversidad de la artropofauna edáfica como componente de la fertilidad biológica del suelo y su relación con la fertilidad física y química como herramienta de monitoreo y diagnóstico para el mantenimiento de los agroecosistemas de café bajo sombra en San Pedro Cafetitlán, de manera que también sea una contribución al conocimiento taxonómico de artrópodos para la región y su rol en zonas tropicales como indicadores biológicos de la calidad del suelo.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **El suelo y sus propiedades**

El suelo (del latín *solum*) se define como el material mineral no consolidado en la superficie de la Tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores bióticos y abióticos (material parental, clima y topografía), actuando durante un determinado periodo de tiempo (López, 2005). Los suelos son considerados como un cuerpo natural, constituyendo uno de los ambientes más importantes en el equilibrio global de la biósfera (Cotler *et al.*, 2007). involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y los estratos que se encuentran debajo de él, influyendo en el clima y el ciclo hidrológico del planeta y siendo el medio de establecimiento para diversos organismos (Figueroa, 2021). El suelo es la parte del ecosistema en donde se lleva a cabo el reciclaje de la materia orgánica y los nutrientes, y también puede servir de reserva de fuentes de energía, proporcionando una heterogeneidad de recursos (Palacios-Vargas *et al.*, 2009).

### **Fertilidad del suelo**

La fertilidad del suelo es definida como el potencial que posee el suelo de hacer disponibles y accesibles los nutrientes para las plantas. Este potencial depende de un adecuado suministro de nutrientes en formas que las plantas puedan absorber, de la capacidad del suelo para proporcionar los nutrientes por flujo de masa y difusión a la superficie de las raíces, de la presencia de una composición favorable de iones y de la ausencia de sustancias que puedan perjudicar e interferir con la absorción de nutrientes (Deambrosi y Méndez, 1996). FAO (1996) incluye también que un suelo es fértil cuando está suficientemente aireado y tiene la capacidad de absorber y retener agua, conservándola disponible para las plantas. En agroecosistemas, aunque las propiedades físicas y químicas de los suelos se han usado tradicionalmente para diagnosticar su salud y calidad, la disminución de la capacidad productiva y la fertilidad del suelo se pueden detectar también por cambios en las poblaciones de los invertebrados edáficos (Díaz *et al.*, 2014). Esto último es de gran relevancia puesto que varios investigadores han considerado y nombrado a estos organismos como indicadores de calidad de suelo, por trabajos realizados en zonas donde el suelo ha sido sometido a diversos

tipos de alteración antrópica (Bernal, 2006), puesto que son altamente sensibles a variaciones climáticas, cambios en la cobertura vegetal, elementos contaminantes y prácticas de manejo (Herrera y Cuevas, 2003).

### **Biología del suelo**

La integración del suelo como un cuerpo natural y medio productivo se origina cuando éste es ocupado por organismos. El entorno del suelo alberga una comunidad biológica compleja y diversa debido a su heterogeneidad física y química extremadamente alta a pequeña escala (Barrios, 2007) y estos a su vez influyen de manera determinante en los procesos de formación y evolución del mismo suelo (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007).

En el sistema suelo coexisten todos los niveles tróficos esenciales: productores, consumidores primarios, secundarios, depredadores y desintegradores, de esta manera influyen en los procesos del ecosistema contribuyendo a la provisión de una amplia gama de servicios ecosistémicos esenciales (Barrios, 2007; Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007). La clasificación primaria de la biota del suelo es de acuerdo a la longitud del cuerpo de los organismos, lo cual está relacionado con sus microhábitat, de esta manera se dividen en: *microflora*, que la integran organismos con tallas menores a 100  $\mu\text{m}$  (p. ej. bacterias, hongos, algas) (Barrios, 2007), *microfauna*, que contempla organismos entre 5  $\mu\text{m}$  a 0.2 mm de longitud, habita en el agua contenida entre las partículas del suelo (p. ej. nemátodos, protozoos y rotíferos), *mesofauna* que agrupa a individuos con tamaños entre 0.2 mm a 2 mm de longitud, esta habita en el espacio de los poros del suelo (p. ej. colémbolos, ácaros), la *macrofauna* que está compuesta por organismos que poseen una longitud mayor de 2 mm y menor a 20 mm, tienen la capacidad de crear sus propios espacios a través de sus actividades de excavación y, al igual que la *megafauna* (organismos mayores a 20 mm de longitud), puede tener una gran influencia en la estructura general del suelo (p.ej. himenópteros, coleópteros, arácnidos) (Coleman *et al.*, 2004; Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007; Cabrera *et al.*, 2017).

La amplia gama de tamaños corporales entre la biota del suelo sugiere que sus efectos sobre los procesos del suelo tienen lugar en una variedad de escalas espaciales. Se han sugerido tres niveles de participación que operan en diferentes escalas de tamaño, espacio y tiempo. Los "ingenieros del ecosistema", principalmente macro y megafauna, que alteran la estructura física del suelo mismo, lo que influye en las tasas de flujo de nutrientes y energía. Los "transformadores de basura", principalmente microartrópodos, que fragmentan la basura en descomposición y mejoran su disponibilidad para la microflora. Las "micro redes alimentarias" que incluyen los grupos microbianos y sus depredadores directos de microfauna (nematodos y protozoos) (Coleman *et al.*, 2004).

Dentro de la biota del suelo, los artrópodos constituyen el grupo mejor representado, tanto en número de individuos como de especies, formando parte de la micro, meso y macrofauna edáfica, los cuales están determinados por diversos factores bióticos y abióticos (Palacios, 1985). Su vinculación en la red trófica garantiza el aporte de nutrientes necesarios para las plantas y, en consecuencia, la producción de los ecosistemas terrestres para el sustento de la vida (Palacios-Vargas *et al.*, 2014).

### **Phylum Arthropoda**

El Phylum Arthropoda (del griego ἄρθρον, arthron, articulación, y podos, pie) representa, actualmente, el taxón más amplio del reino animal, teniendo en cuenta el elevado número de especies que lo integran y su adaptación a gran número de hospedadores y hábitats (Rodríguez *et al.* 2009). Son animales segmentados, y se caracterizan por poseer un esqueleto externo articulado compuesto de quitina, con apéndices con musculatura propia (Ribera *et al.*, 2015).

### **Microartrópodos**

Son aquellos artrópodos que miden entre 0.1 a 2 mm de longitud (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007), estos pueden encontrarse en el suelo a una profundidad de hasta 20 cm (Palacios-Vargas, 2000), todos ellos con un papel muy importante en la descomposición y fragmentación de la materia orgánica, promoviendo la lixiviación de los minerales solubles por las lluvias y aumentando la superficie disponible para la acción de hongos y bacterias. También producen grandes cantidades de materia fecal que favorece la integración de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, así mismo, producen desechos como el amonio que contribuye favorablemente a la fertilidad del suelo (Bernal, 2006; Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007). Los microartrópodos tienen como sus mejores representantes a los ácaros y colémbolos, constituyendo hasta el 98% de la artropofauna del suelo (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007). Estos participan directamente dentro de las redes tróficas ya que son los primeros controladores de las poblaciones de hongos y bacterias, además de que son parte esencial de la alimentación de otros organismos (Bernal, 2006). Otros grupos que componen a los microartrópodos del suelo son Protura, Diplura, Microcoryphia, Pseudoescorpionida, Symphyla y Pauropoda (Coleman *et al.*, 2004).

### **Clase Acarida**

Los ácaros constituyen el grupo de quelicerados más abundante y diverso. En el suelo se encuentran ácaros de tamaño generalmente microscópico, que oscila entre los 80  $\mu\text{m}$  y 2 mm de longitud (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007). Se caracterizan por la división de sus cuerpos en dos regiones funcionales: el gnatosoma, que comprende la boca, los quelíceros y pedipalpos; el idiosoma, que es propiamente el cuerpo del animal donde se encuentran los cuatro pares de patas, los ojos (si están presentes), los ganglios nerviosos

(cerebro), la abertura genital y anal (Vázquez *et al.*, 2020). Dentro del grupo de los ácaros se conocen a su vez dos grandes superórdenes, los Parasitiformes y los Acariformes. El primero incluye los siguientes órdenes presentes en el suelo: Opilioacarida y Mesostigmata. Los Acariformes presentan la mayor diversidad de ácaros y se encuentran organizados en los órdenes: Trombidiformes y Sarcoptiformes, con cuatro subórdenes distintos en el suelo: Astigmata, Oribatida, Endeostigmata y Prostigmata (Lindquist *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, 2020). Su distribución es cosmopolita, ocupan ambientes terrestres y acuáticos: marinos, salobres y dulceacuícolas (Pérez *et al.*, 2014). Sin embargo, es en el suelo, la hojarasca y el humus donde alcanzan su mayor abundancia y diversidad, debido a que es en estos medios donde se presenta una mayor cantidad de materia orgánica en descomposición y se tienen los factores abióticos de temperatura y humedad idóneos (Palacios-Vargas *et al.*, 2009). Pérez *et al.* (2013) documentaron el registro de 2, 625 especies de ácaros en México.

### **Clase Arachnida**

*Orden Pseudoescorpionida.* Los pseudoescorpiones son arácnidos de pequeño tamaño que miden de 1 a 7 mm de longitud (Silva *et al.*, 2010). Son relativamente cosmopolitas, su cuerpo y coloración se encuentra adaptados al microhábitat que ocupan, comúnmente pueden ser encontrados habitando la hojarasca, debajo de piedras y rocas, debajo de corteza de árboles y troncos en descomposición o en el medio subterráneo y en ecosistemas de ambientes marinos (Bedoya-Roque *et al.*, 2017). También se han encontrado realizando foresis sobre roedores, coleópteros y moscas, en nidos de roedores, aves y hormigas (Villegas-Guzmán *et al.*, 2012). Su dieta se basa principalmente en: ácaros, pulgas, tisanuros, larvas de otros insectos y pequeñas arañas, así mismo, participan en la cadena alimenticia y forman parte de la dieta de invertebrados y vertebrados (Villegas-Guzmán *et al.*, 2012).

### **Clase Collembola**

Los colémbolos son un grupo de artrópodos hexápodos sin alas que van desde micrones hasta los dos centímetros de longitud. Se dividen en cuatro órdenes: Poduromorpha, Entomobryomorpha, Symphypleona y Neelipleona (García, 2009). Su cuerpo se divide en tres tagmas: cabeza con antenas y piezas bucales entognatas (ocultas), tórax de tres segmentos y abdomen con seis segmentos. El carácter más propio de los colémbolos es la presencia de un apéndice ventral en el primer segmento abdominal denominado tubo ventral o colóforo del cual se deriva su nombre, este es muy importante para el balance de fluidos y como un apéndice pegajoso para adherirse a diferentes superficies (Palacios-Vargas, 2014; Baquero y Jordana, 2015). Muchos grupos de collembola poseen otros apéndices: uno situado en el cuarto esternito abdominal llamado furca o fúrcula, el cual puede estar reducido, y funciona como resorte para saltar; y un segundo

situado en el tercer segmento abdominal, el retináculo, que tiene como función sujetar la furca en reposo (Palacios-Vargas, 2014; Baquero y Jordana, 2015).

Su dieta se basa principalmente en hifas de hongos, esporas, material vegetal en descomposición (Coleman *et al.*, 2004) y polen (Palacios-Vargas, 2014). También existen algunas especies carnívoras que se alimentan de nemátodos, rotíferos, tardígrados, ácaros y de otros colémbolos (Palacios-Vargas, 2014). Por su tipo de alimentación desempeñan un papel muy importante en la descomposición de la materia orgánica además de que controlan las poblaciones de bacterias y hongos (Palacios-Vargas, 2000). Son considerados cosmopolitas por su distribución mundial y su presencia en todos los biomas. Los únicos ambientes que poco han podido colonizar son las aguas profundas y el mar abierto (Palacios-Vargas, 2000; Coleman *et al.*, 2004; Palacios-Vargas, 2014). En México se tienen registros de 714 especies de colémbolos ubicadas en poco más de 107 géneros y 22 familias. Del total de colémbolos representados, las familias Hypogastruridae, Neanuridae, Onychiuridae, Isotomidae y Entomobryidae son las más diversas en el país (Palacios-Vargas, 2014).

### **Clase Protura**

Los proturos son hexápodos diminutos, de cuerpo alargado poco esclerotizado, blanquecinos o casi transparentes, en ocasiones de color pardo claro, que miden de 0,6 a 2 mm de longitud. Son organismos apterigotos (sin alas), entognatos con el abdomen provisto de doce segmentos en el estado adulto. El primer par de patas cumple la función sensorial, por lo que está dirigido hacia adelante. Estos microartrópodos viven principalmente en lugares húmedos de todo el mundo (excepto en zonas polares y montañas muy altas), desde la capa superficial hasta los 20 cm de profundidad (Palacios-Vargas y Figueroa, 2014; Palacios-Vargas y García-Gómez, 2014a).

Son encontrados principalmente en suelos ricos en materia orgánica y humus, así como bajo la madera de árboles caídos, bajo rocas y turberas, en pastos, campos cultivados, entre musgos y líquenes y dentro de madrigueras de pequeños mamíferos. Su alimentación consiste principalmente de bacterias y líquidos provenientes de material vegetal en etapas de descomposición avanzadas. Estos organismos al presentar hábitos edáficos pueden llegar a ser indicadores de perturbación. Sin embargo, no se han realizado estudios particulares para el grupo, además no presentan importancia sanitaria o agroeconómica (Palacios-Vargas y Figueroa, 2014; Palacios-Vargas y García-Gómez, 2014a).

### **Clase Diplura**

Los dipluros son hexápodos apterigotos, de tamaño mediano, sin pigmentación y la mayoría presenta una cutícula delgada. Generalmente llegan a medir hasta un centímetro de largo, pero en ciertas regiones del mundo pueden llegar hasta los 5 cm (*Dinjapyx* y *Heterojapyx*). Son más frecuentes en sitios con condiciones de humedad relativamente alta, así como en grutas. De manera general su medio más afín son los bosques, las selvas y las altas montañas; los únicos lugares donde no se han encontrado son las regiones polares. La importancia de los Diplura radica en las interacciones que presentan con micro y macro comunidades edáficas, dando como resultado el proceso de descomposición de materia orgánica y producción de humus, ciclo de energía y nutrientes, además del metabolismo del suelo y de producción de complejos componentes causados por la agregación del suelo (Palacios-Vargas y García-Gómez, 2014b).

### **Clase Pauropoda**

Pauropoda es un pequeño grupo de artrópodos que registra a nivel mundial nueve familias, las cuales contienen cerca de 700 especies en todo el mundo. Se caracterizan por ser miriápodos casi microscópicos, ciegos y lucífugos con un cuerpo constituido por una cabeza y un tronco segmentado con 9 a 11 pares de apéndices locomotores y una longitud que oscila entre 0,3 y 1,7 mm (Vega-Román *et al.*, 2011). Estos organismos viven en una gran variedad de tipos de suelo, sus requerimientos son especialmente estrictos, son artrópodos que prefieren evitar la luz y habitar suelos muy húmedos pues esto favorece su alimentación de sustancias semilíquidas resultantes de la descomposición de plantas o animales (Domínguez, 1992; Domínguez, 2015).

### **Macroartrópodos**

Las longitudes corporales de los macroartrópodos oscilan, en su mayoría, de 10 mm a 15 cm (Coleman *et al.*, 2004). Estos difieren de los microartrópodos en que pueden tener efectos directos sobre la estructura del suelo, por ello, son conocidos como “ingenieros ecológicos” ya que pueden mezclar capas de suelo aumentando la cantidad de materia orgánica, así como ablandar el suelo, formar y destruir gránulos de suelo y formar montículos y túneles, influyendo de manera notable en las propiedades físicas y químicas, sobre todo en la creación de macroporos y en la transformación y redistribución de materia orgánica (Bignell *et al.*, 2012; Olaya, 2021).

### **Clase Arachnida**

*Orden Araneae.* Las arañas representan uno de los grupos faunísticos más diversos del reino animal. Su cuerpo está dividido en dos regiones, el prosoma y el opistosoma, que se encuentran unidos por un estrecho pedúnculo. En el extremo del opistosoma se encuentran las hileras que producen seda, característica

distintiva de este grupo; por otro lado, en sus quelíceros, la mayoría de las arañas contiene veneno, mismo que utiliza para paralizar a sus presas y, en algunos casos, para pre-digerirla (Palacios-Vargas *et al.*, 2014). Sus longitudes oscilan entre los 0.5 y 15 cm, son cosmopolitas (se las encuentra en todos los continentes excepto en la Antártida), existen 43, 579 spp. en el mundo y 2,506 spp. en México (Palacios-Vargas *et al.*, 2014; Almada y Sarquis, 2016). Se destaca por su rol como depredador, lo que constituye una característica clave por su impacto en cualquier ecosistema terrestre. Han ganado una aceptación amplia en los estudios ecológicos como indicadores de unidades ambientales ya que sus comunidades están influenciadas por el tipo de hábitat y por el patrón de uso de la tierra, por lo que son un componente clave de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas (Almada y Sarquis, 2016).

*Orden Opiliones.* Los opiliones presentan una serie de características únicas que los diferencian de otros arácnidos; el cuerpo no está claramente regionalizado, el prosoma y el opistosoma forman un todo globoso, compacto y varía en forma, también sus quelíceros terminan en pinza y carece de glándula venenosa, son capaces de ingerir partículas sólidas, carecen de hileras y presentan a ambos lados del prosoma glándulas repugnatorias que producen quinonas malolientes para defenderse de depredadores (Palacios-Vargas *et al.*, 2014; Merino y Prieto, 2015). Se consideran, en su mayoría, organismos generalistas omnívoros, su dieta incluye pequeños invertebrados, incluso otros opiliones, vivos o muertos y también, plantas y hongos, incluso heces de aves y roedores (Merino y Prieto, 2015). Habitan en todos los ecosistemas terrestres, excepto en los polos, prefiriendo cuevas, troncos y rocas. Existen 6, 519 spp. a nivel mundial y 283 spp. en México (Palacios-Vargas *et al.*, 2014). Su importancia radica en que pueden actuar como controladores biológicos al alimentarse de una variedad de plagas de artrópodos. Además, son un grupo con un gran valor indicativo, siendo buenos bioindicadores. Muchas especies están muy limitadas en su distribución geográfica y uso del hábitat, ya que son muy sensibles a las condiciones ambientales, especialmente a la humedad y temperatura, prefiriendo hábitats húmedos, sombríos y frescos (Merino y Prieto, 2015).

### **Clase Chilopoda**

Los ciempiés son organismos de cuerpo blando y comprimido dorsoventralmente, cuya talla varía de 1 a 26 cm. El cuerpo está segmentado y diferenciado en cabeza y tronco. En cada segmento poseen un par de patas, cuyo número varía de acuerdo con la especie: fluctúa de 15 a 191 pares a lo largo de todo el cuerpo. El primer par de patas está modificado a manera de colmillos, llamados forcípulas, a través de los cuales inyectan veneno a sus presas (Cupul-Magaña *et al.*, 2019). Son parte significativa de la fauna del suelo y de la hojarasca de diversos ecosistemas, son depredadores generalistas que se alimentan de la mesofauna y macrofauna edáfica y a su vez son un componente importante en la dieta de mamíferos terrestres y aves (Coleman *et al.*, 2004; Cupul-Magaña, 2011). La clase Chilopoda se divide en cinco órdenes:

Scutigermorpha, Lithobiomorpha, Scolopendromorpha, Geophilomorpha y Craterostigmomorpha (Edgecombe y Giribet, 2007), los primeros cuatro órdenes existen en México (ver Figura x), presentando una riqueza de 181 especies en el país (Cupul-Magaña *et al.*, 2019).

## **Clase Insecta**

### Orden Diptera

Son insectos holometábolos (con metamorfosis completa) abundantes de tamaños que varían de 5 mm a 5 cm de longitud. Presentan un par de alas membranosas, sin embargo, existen algunos que no las poseen. Su ciclo de vida está representado por cuatro fases de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto, esto es importante ya que principalmente en los primeros estadios algunas especies suelen encontrarse inmersos en el suelo (Palacios-Vargas *et al.*, 2014; Carles-Tolrá Hjorth-Andersen, 2015). Tienen una función ecológica crucial ya que juegan importantes papeles como fitófagos de numerosas especies vegetales, fungívoros de un variado abanico de hongos, etc.; muchos son descomponedores (de materia orgánica muerta, tanto animal como vegetal), saprófagos, coprófagos, necrófagos, xilófagos, polinizadores de flores, depredadores de otros muchos grupos de insectos, forman parte imprescindible en las cadenas tróficas siendo alimento de innumerables organismos (Carles-Tolrá Hjorth-Andersen, 2015).

### Orden Coleoptera

Los coleópteros son el grupo de animales con mayor éxito evolutivo, han colonizado ampliamente todos los medios, excepto el mar abierto (Alonso-Zarazaga, 2015). Son holometábolos con el primer par de alas modificado formando élitros, el segundo par es membranoso por debajo del primero, aunque a veces pueden estar reducidas o no existir. Con piezas bucales masticadoras. Su tamaño puede alcanzar los 15 cm de longitud. En el suelo podemos encontrarlos en su fase adulta formando parte de la fauna epígea o bien, en su fase de larva y pupa inmersos en el suelo (Palacios-Vargas *et al.*, 2014). Las fuentes de alimentación de los coleópteros son muy variadas, yendo desde el omnivorismo a las alimentaciones estrictamente carnívoras, fitófagas, micetófagas o saprófagas, también establecen relaciones de ectosimbiosis con hongos, ácaros y nematodos, a los que suelen transportar, y de endosimbiosis con microorganismos, algunos de los cuales son capaces de influir en el comportamiento y la capacidad de reproducción de sus hospedadores, así mismo suelen ser la presa de numerosos tipos de animales (Alonso-Zarazaga, 2015). En 2017 se registraron 13, 126 spp. de coleópteros en México (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2017).

## Orden Hymenoptera

### Familia Formicidae

Es la familia con mayor número de especies en el mundo; son insectos sociales con una amplia distribución; poseen una cabeza movable hipognata con partes bucales masticadoras, ojos compuestos. y algunas especies presentan alas membranosas. Sus longitudes oscilan entre los 0.5 y 5 mm (Palacios-Vargas *et al.*, 2014). Existen alrededor de 1000 especies en México (INIFAP, 2023).

Debido a su diversidad, biomasa y a las actividades que desempeñan en los distintos ambientes en los que habitan, se les considera organismos de gran importancia ecológica. Las hormigas contribuyen en la aireación del suelo y a la incorporación de nutrientes al mismo, en la dispersión de semillas, en la descomposición de la materia orgánica, e incluso en la polinización de algunas plantas. Todas estas actividades son de gran relevancia para la agricultura, pues influyen en la fertilidad de los suelos y en la reproducción de las plantas (INIFAP, 2023).

## Orden Orthoptera

Son insectos con el último par de patas modificado para saltar, presentan piezas bucales de tipo masticador, dos pares de alas, el primer par largas y delgadas, llamadas tegminas; el segundo par membranoso y a veces de colores vistosos, algunas especies no presentan alas. Este orden comprende 20,000 especies aproximadamente a nivel mundial, su distribución se ve condicionada principalmente por la temperatura, sobre todo en las regiones tropicales en las que el grupo está muy bien representado (Palacios-Vargas *et al.*, 2014; Barrientos-Lozano, s.f.). La mayoría de los Orthoptera son fitófagos, algunos son depredadores, otros se alimentan de desechos y pocas especies son omnívoras e incluso, ocasionalmente, de carroña. El orden incluye plagas de gran impacto económico y social (Barrientos-Lozano, s.f.; Aguirre-Segura y Barranco, 2015).

## Orden Psocoptera

Son insectos hemimetábolos, de 1-12 mm de longitud, de cuerpo blando, con cabeza grande y móvil, antenas filiformes, algunas especies presentan alas, sin embargo, su vuelo es débil ya que principalmente suelen trasladarse por el viento, formando parte del plancton aéreo (García-Aldrete, 2014). Estos organismos son exclusivamente terrestres con una distribución cosmopolita, aunque son más frecuentes y diversos en las zonas tropicales (Alexander *et al.*, 2015). En México, la fauna de Psocoptera está constituida por 766 especies (García-Aldrete, 2014). Su alimentación se basa en esporas de hongos y microorganismos presentes como resultado de procesos de degradación y descomposición del sustrato, aunque también su alimentación puede incluir algas y líquenes (Alexander *et al.*, 2015).

## Orden Hemiptera

Se dividen en Heteroptera (chinchas) y Homoptera (chicharras), de estos últimos algunas especies son comunes en el suelo y miden entre 1 mm y 3 cm de longitud. Habitan en todo el mundo, menos en los polos y son abundantes en climas tropicales y templados, se conocen alrededor de 2, 773 especies en México (Palacios-Vargas *et al.*, 2014). Se caracterizan por poseer un aparato bucal de tipo picador-chupador que les ayuda a succionar savia e inyectar toxinas y/o microorganismos patógenos que contribuyen al debilitamiento y transmisión de enfermedades virales, bacterianas y fúngicas a plantas jóvenes, por lo que pueden causar fuertes daños a los cultivos (Briceño y Hernández, 2008; Palacios-Vargas *et al.*, 2014). Algunos de estos insectos viven asociados con hormigas en una completa simbiosis, donde las hormigas sirven de transporte a algunos de estos insectos y estos aportan sustancias azucaradas que les sirven de alimento a las hormigas (Briceño y Hernández, 2008).

## Orden Thysanoptera

Son insectos de pequeño tamaño, su longitud oscila entre los 0.5 y 12 mm. Tienen el cuerpo alargado, cilíndrico y de coloración variable entre negro y amarillo. Los adultos pueden ser alados o ápteros. Las cuatro alas son alargadas, estrechas con largas sedas o cilios en los bordes. Presentan piezas bucales de tipo picador-chupador, que les sirve para alimentarse de las hojas, flores, frutos, yemas y brotes de las plantas, por ello es que son organismos de importancia agrícola al ser plagas de diversos cultivos (Palacios-Vargas *et al.*, 2014; Goldarazena, 2015). Sin embargo, aunque algunas especies se alimenten de las plantas vivas, hay muchas otras especies que viven en la hojarasca o inmersos en el suelo alimentándose de hongos, ácaros u otros artrópodos (Palacios-Vargas *et al.*, 2014).

## **Agroecosistemas de Café (*Coffea arabica* L.)**

En los agroecosistemas, la diversidad de artrópodos se correlaciona con la diversidad vegetal, lo que resulta en cadenas tróficas complejas. Así, una biodiversidad total mayor puede asegurar la optimización de procesos ecológicos claves y el funcionamiento de los agroecosistemas (García-Arboleda y Barrera-Marín, 2018). Aunado a esto, la gran variedad de estrategias tróficas, les permite tener una participación activa al funcionar como patógenos o agentes de control biológico de otros organismos que pueden perjudicar la producción agrícola (Hernández, 2019).

## **Agroecosistemas de café en México**

En México, la cafecultura representa una actividad económica fundamental en el sector agrícola en nuestro país. Su prestación de servicios ecosistémicos es importante no sólo por el área cubierta, sino también porque los agroecosistemas de café frecuentemente están cercanos a áreas prioritarias para la conservación

de la biodiversidad, de hecho, se le considera un cultivo de relevancia ambiental, puesto que el 90% de los predios cafetaleros se establecen bajo sombra (Peña, 2020). Estudios sugieren que los cafetales tienen un potencial para la conservación de la biodiversidad y la oferta de servicios ambientales, tales como la captura de carbono, protección del suelo, recarga de los mantos acuíferos y tienen un valor paisajístico. Esto emana del gran parecido a los bosques de los cuales derivan, espacios con distintas condiciones de luz, humedad y temperatura que propician el albergue de una importante biodiversidad (Huaman *et al.*, 2020).

### **Café Arábigo (*Coffea arabica* L.).**

El café *Coffea arabica* L., es uno de los principales cultivos industriales y de exportación en México. Del total de la superficie de café en México, el 94.5% corresponde a las variedades de *Coffea arábica*. La mayor parte de la producción se genera en el trópico mexicano, dado que esta región presenta condiciones agroecológicas apropiadas para el desarrollo de cultivos perennes, de modo que se concentra principalmente en Chiapas, Veracruz y Oaxaca (Peña, 2020). *Coffea arabica*, es un arbusto grande, que mide entre 4 y 6 m de altura. En la madurez presenta hojas aovadas, lustrosas y verdes que se mantienen durante tres a cinco años. Requiere un clima cálido, pero con alto nivel de humedad, con temperaturas entre los 13 y 26° C. Generalmente se cultiva en altitudes de 1,000 a 1,300 msnm, en suelos que drenen con rapidez el exceso de precipitación, ricos en materia orgánica y cenizas (SAGARPA, 2017). Los agroecosistemas de *Coffea arabica* tradicional son muy importantes para el refugio de la biodiversidad. Estos se cultivan en los trópicos del mundo, donde los insectos presentan mayor diversidad y abundancia, llegando a constituir hasta el 90% de las especies en esta zona (Huaman *et al.*, 2020). Se ha demostrado que la conservación de fauna benéfica (aves insectívoras y artrópodos depredadores) en los cultivos de café lleva a un control biológico efectivo sobre importantes plagas, como la broca (*Hypothenemus hampei*), o el minador de la hoja (Lepidoptera) (Ramos-Montaña *et al.*, 2020).

### **Cultivo de *Coffea arabica* en Oaxaca**

En el estado de Oaxaca, la producción de café, es el más importante de los cultivos perennes. Gran parte de la producción la realizan pequeños productores de comunidades indígenas. Existen dos tipos de productores con grandes contrastes: los grandes finqueros y los pequeños productores. En este segundo grupo se encuentran los productores de San Pedro Cafetitlán, donde en pequeñas parcelas de no más de diez hectáreas, la producción de café es una de las principales actividades económicas (Morales-Becerra, 2013). Las variedades de *Coffea arabica* que se cultivan son: *Coffea arabica* var. Pluma Hidalgo, *Coffea arabica* var. Oro Azteca y *Coffea arabica* var. Costa Rica.

## OBJETIVOS

### General

Determinar la diversidad de artrópodos y su relación con la fertilidad del suelo en una ladera cultivada con café (*Coffea arabica L.*) en San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.

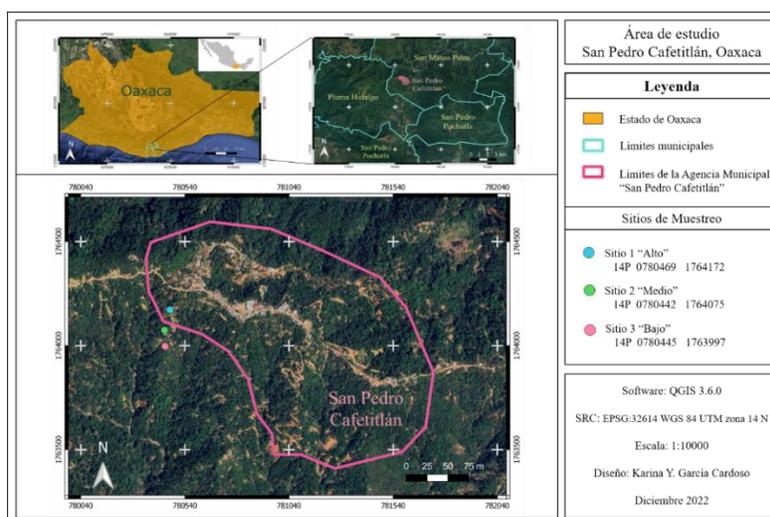
### Particulares

- Describir el proceso de producción de café en la comunidad de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.
- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Identificar las familias de artrópodos edáficos.
- Estimar la diversidad de artrópodos edáficos.
- Evaluar la sostenibilidad del rancho cafetalero con base en las propiedades de los suelos y la presencia, abundancia de artrópodos edáficos.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

San Pedro Cafetitlán es una agencia municipal comprendida dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur en el estado de Oaxaca, México. Está ubicado dentro de los límites del municipio de San Mateo Piñas, pero es considerado parte del municipio San Pedro Pochutla con el que limita en la parte sur y limita al oeste con el municipio Pluma Hidalgo (Figura 1). Geográficamente se encuentra entre los 15° 56' 13" latitud norte y los 96° 22' 12.00" de longitud oeste, a una altitud de 1,219 msnm (SEDESOL, 2012; Correa-Pérez *et al.*, 2014; IEEPCO, 2020).



**Figura 1.** Ubicación de la agencia municipal San Pedro Cafetitlán y sitios de muestreo. Mapa realizado en el Sistema de Información Geográfica QGIS 3.6.0 (QGIS Software Inc, 2019).

## **Clima**

Su clima de acuerdo con Köppen es A(w2) que corresponde a un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (INEGI, 2005). Presenta dos temporadas climáticas principales, temporada de secas (diciembre a mayo) y la temporada de lluvias (junio a noviembre). En la región se presenta una temperatura media anual de 22 a 30 °C y precipitación de 1000 a 1200 mm (Ibañez, 2010; Trejo, 2004).

## **Geología y suelos**

Se registra que la geología de la región está dada por rocas metamórficas principalmente (Centeno-García, 2004). En la gran mayoría de los casos, los suelos son de escasa profundidad, por su presencia en laderas con acentuada pendiente, con drenaje normal y rápido (INEGI, 2004). En la región de Pochutla se distribuyen diversos tipos de suelo; los Regosoles abarcan la mayor proporción con el 54%, estos se caracterizan por no presentar diferenciación de horizontes ya que suelen ser productos residuales de la erosión hídrica de las laderas; los Cambisoles presentan una proporción del 39%, estos son suelos “jóvenes”, de escaso desarrollo, muy parecidos a la roca madre que los subyace; Phaeozem, es otro tipo de suelo que se encuentra en una proporción del 5%, estos son suelos que presentan un horizonte A mólico, con una capa superficial rica en materia orgánica; el 2% restante lo conforman Litosoles, Luvisoles y Acrisoles (Alfaro, 2004; INEGI, 2004).

## **Flora**

En relación a estas características climáticas, geológicas y edafológicas, el tipo de vegetación que prospera es la Bosque Mesófilo de Montaña el cual se distribuye en las laderas de la Sierra Madre del Sur en altitudes que van desde los 100 msnm hasta poco más de 1,000 msnm (INEGI, 2004; Torres, 2004). La altura de esta selva puede llegar hasta 30 m, pero con frecuencia los árboles se presentan a alturas menores, sin embargo, la característica diferencial más importante es la pérdida del follaje, cuando menos en una parte (aproximadamente 25%) de los elementos arbóreos durante la época seca del año, que coincide con la etapa de floración de muchos de los mismos (INEGI, 2004).

Al noreste de Santa María Huatulco se hace referencia a una selva mediana subperennifolia de notable altura, donde algunos de sus elementos alcanzan 30 m; la comunidad está conformada por tres estratos arbolados, el superior, ubicado entre 25 y 30 m dominado por *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste), en asociación con *Phoebe sp.* y *Homalium trichostemon* (palo de piedra), donde también son frecuentes *Astronium graveolens* (gateado) y *Aphananthe monoica* (palo de armadillo); el estrato intermedio se conforma por árboles cercanos a 20 m, con: *Pterocarpus sp.*, *Tabebuia rosea* (palo de rosa), *Ficus sp.*, *Bursera simaruba* (palo mulato), *Inga sp.*, *Acacia sp.*; en el inferior con árboles de cerca de 10 m., destacan:

*Acrocomia mexicana* (coyol, guacoyol), *Cupania glabra* (nogalito, huanchal) y *Cecropia obtusifolia* (chancarro) (INEGI 2004).

Al norte de San Pedro Pochutla, se determina una selva mediana subperennifolia cuya altura superior del arbolado se ubica entre 20 y 25 metros, en la cual domina la asociación *Acacia* sp.-*Bursera simaruba*-*Inga* sp., y donde también son frecuentes: *Guazuma ulmifolia* (cuahulote), *Ficus* sp., *Homalium trichostemon*, *Phoebe* sp. y *Manilkara zapota* (chicozapote); en el estrato de 15 m se reportan: *Gliricidia sepium* (cocuite), *Astronium graveolens*, *Acacia* sp., *Acrocomia mexicana*, *Hymenaea courbaril* (guapinol, nere) y *Orbignya guacuyule* (palma de coquito de aceite) (INEGI, 2004).

En localidades cercanas a la anterior existe una selva mediana subperennifolia, cuya estructura ha sido modificada debido a que está asociada al cultivo de café (*Coffea arabica*), y con este propósito, se ha eliminado el estrato arbustivo y en el arbóreo se conservan sólo aquellas especies que sirven para proporcionar sombra a los cafetos, presenta elementos arbolados de hasta 15 m de altura, donde domina *Enterolobium cyclocarpum*, en asociación con *Guazuma ulmifolia*, donde también son frecuentes: *Leucaena* sp., *Acacia* sp., *Inga paterno* (chalahuite), *Phoebe mollis*, *Cupania glabra* y *Hamelia versicolor*, además de: *Guarea markinii* (ocotillo blanco), *Chrysophyllum mexicanum* (caimito, palo de canela), *Homalium trichostemon* y *Rhus striata* (hincha güevos) (INEGI, 2004).

Aunado a lo anterior, con fines económicos y también para proporcionar sombra a los cafetos, los pobladores han sembrado principalmente plátano (*Musa* sp.), guanábana (*Annona* sp.), cacao (*Theobroma cacao*), pomarrosa (*Syzygium* sp.), bambú (*Bambusa* sp.), chayote (*Sechium* sp.), papaya (*Carica* sp.) y piña (*Ananas* sp.) (M. Díaz, comunicación personal, 14 de marzo de 2023).

## **Fauna**

Existen algunos estudios relacionados con la fauna silvestre asociada a la selva mediana subperennifolia en el área de estudio, tal es el caso de Palacios-Romo *et al.* (2012), quienes elaboraron un inventario de mamíferos en los sistemas cafetaleros de sombra asociados a la Cuenca del Río Copalita, Oaxaca, México (dentro de la cual se encuentra San Pedro Cafetitlán) y reportaron la presencia de 52 especies de mamíferos. Se reportaron las siguientes familias: Didelphidae (zarigüeyas), Dasypodidae (armadillos), Myrmecophagidae (osos hormigueros), Soricidae (musarañas), Phyllostomidae, Emballonuridae, Vespertilionidae y Mormoopidae (murciélagos), Cervidae (venados), del Orden Rodentia se reportaron las familias Sciuridae (ardillas), Geomyidae (tuzas), Heteromyidae (ratones canguro), Cricetidae (ratas, ratones) y Erethizontidae (puercoespines). Del Orden Artiodactyla se reportó la familia Cervidae (venados)

y finalmente del Orden Carnívora fueron reportadas las especies *Urocyon cinereoargenteus* (zorro gris), *Leopardus pardalis* (ocelote), *Leopardus wiedii* (tigrillo), *Conepatus leuconotus* (zorrillo), *Potos flavus* (kinkajú) y *Procyon lotor* (mapache boreal).

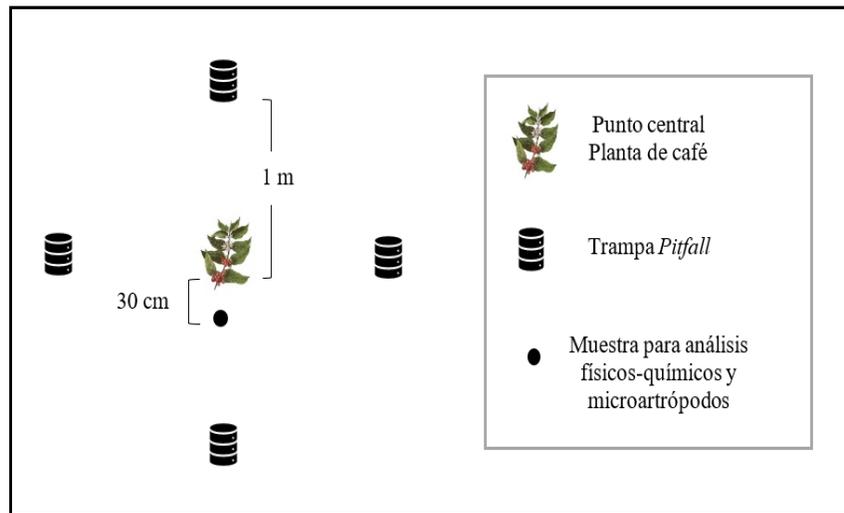
La avifauna está representada por una gran diversidad de especies, por mencionar algunas que se ven con mayor frecuencia en San Pedro Cafetiltán y en general en la Sierra Sur de Oaxaca son: mirlo primavera (*Turdus sp.*), tucán esmeralda (*Aulacorhynchus prasinus*), calandria (*Mimus sp.*), jilguero (*Myadestes sp.*), colibríes (*Basilinna leucotis*, *Saucerottia beryllina*, *Eugenes fulgens*, *Selasphorus heloisa*, *Colibri thalassinus*), carpinteros (*Melanerpes sp.*, *Dryocopus sp.*, *Sphyrapicus sp.*), cuervos (*Corvus corax*), zopilotes (*Cathartes aura*, *Coragyps atratus*), urracas (*Calocitta formosa*), perico verde (*Eupsittula canicularis*), trogón mexicano (*Trogon mexicanus*), momoto mexicano (*Momotus mexicanus*) (M. Díaz, comunicación personal, 14 de marzo de 2023; Naturalista, 2023).

Al igual que la avifauna, la herpetofauna en la Sierra Sur de Oaxaca es muy diversa, se registran especies de la Clase Reptilia, del Orden Squamata, Suborden Sauria, tales como *Sceloporus sp.*, *Plestiodon sp.*, *Lacerta sp.*, *Phyllodactylus sp.*, *Abronia sp.*, *Barisia sp.*, *Aspidoscelis sp.*, *Scincella sp.*, *Anolis sp.*, *Coleonyx sp.*, *Basiliscus sp.*, *Holcosus sp.*, *Urosaurus sp.*, *Ctenosaura sp.* Del Suborden Serpentes se encuentran las siguientes especies: *Pituophis sp.*, *Mastigodryas sp.*, *Masticophis sp.*, *Thamnophis sp.*, *Stenorrhina sp.*, *Drymobius sp.*, *Leptophis sp.*, *Oxybelis sp.*, *Crotalus sp.*, *Boa sp.*, *Lampropeltis sp.*, *Geophis sp.*, *Agkistrodon sp.* De la Clase Amphibia se registra la especie *Dermophis oaxacae*, única del Orden Gymnophiona (Cecilias), del Orden Caudata se registran las siguientes especies: *Pseudoeurycea sp.* y *Bolitoglossa sp.*, mientras que para el Orden Anura se registran especies como *Incilius sp.*, *Smilisca sp.*, *Hyla sp.*, *Tlalocohyla sp.*, *Rhinella sp.*, *Lithobates sp.*, *Agalychnis sp.*, *Hyalinobatrachium sp.* e *Hypopachus sp.* (Naturalista, 2023). Refiriéndonos a la artropofauna de la región, Bernal *et al.* (2009) registró la presencia de los siguientes grupos de artrópodos en plantaciones de café de la Sierra Sur de Oaxaca: Collembola, Acari, Araneae, Schizomida, Palpigradi, Pseudoscorpionida, Isopoda, Diplopoda, Chilopoda, Pauropoda, Symphyla, Protura, Diplura, Coleoptera, Blattodea y Hemiptera.

## **Trabajo en campo**

Previo al trabajo de campo, se realizó una breve entrevista al Sr. Manuel Díaz, propietario de la finca “San Nicolás”, con la finalidad de describir el proceso de producción de café con apoyo también de revisión bibliográfica, esto para conocer cómo este se relaciona con las características fisicoquímicas del suelo y la diversidad de artrópodos asociados al cultivo. El muestreo se llevó a cabo durante el mes de mayo en la temporada de secas en la finca cafetalera “San Nicolás” la cual cuenta con una extensión de 8 ha. Al ser un

área que posee un relieve con inclinaciones de 15 a 30°, se realizó el muestreo y se establecieron tres sitios de muestreo con ayuda de un GPS en una zona alta (S-1), media (S-2) y baja (S-3) de la ladera, considerando una diferencia altitudinal de 40 m entre cada uno. En cada sitio de muestreo, se registró la vegetación presente que rodeaba y daba sombra a las plantas de café. Posteriormente se eligió una planta de café como punto central en cada sitio para la obtención de las muestras (Fig. 2).



**Figura 2.** Diseño de muestreo empleado en cada sitio. Elaboración propia.

Para la captura de artrópodos epígeos (aquellos que se encuentran en la superficie del suelo) se utilizaron trampas Pitfall, siguiendo la metodología descrita en Coleman *et al.* (2004), estas se construyeron con botellas de plástico de 3 L de capacidad, partidas a la mitad. La parte superior se invirtió y se colocó dentro de la mitad inferior a manera de embudo, dejando una salida de 4 cm de diámetro aproximadamente asegurando ambas partes con cinta adhesiva, también, alrededor de la botella se colocaron estacas de madera sobresaliendo de la boca de la trampa para poder sostener una tapa sobre la misma y así evitar que esta se inundara en caso de lluvia e impidiera que la salida del embudo se obstruyera por hojarasca.

En el campo, las trampas se enterraron a una distancia aproximada de 1 m alrededor de la planta de café elegida, procurando que la boca quedara al ras del suelo, donde permanecieron por 24 horas, al cabo de las cuales fueron retiradas del suelo cuidadosamente y se registró evidencia con fotografías y anotaciones de los artrópodos capturados para su identificación y posteriormente estos se dejaron en libertad. Una vez terminado lo anterior en cada sitio de muestreo, con ayuda de una pala, a una distancia de 30 cm alrededor de la planta de café, establecida como punto central (Figura 2), se tomó una muestra de suelo de 2 kg a una profundidad de 0 a 20 cm con la finalidad de determinar las propiedades físicas y químicas del suelo y de esta misma muestra se separó una porción pequeña para el análisis de microartrópodos. Finalmente, las

muestras de suelo fueron colocadas en bolsas de polietileno con su correspondiente etiqueta y fueron trasladadas al laboratorio de Edafología de la UAM-X.

### **Trabajo en laboratorio**

Previo a los análisis físicos, químicos y biológicos del suelo, las muestras obtenidas de cada sitio fueron seccionadas. Mientras el suelo aún mantenía su humedad, se separó una pequeña porción de cada muestra (100 g) para el análisis de humedad y otra porción similar para la extracción de los microartrópodos.

**Propiedades fisicoquímicas.** Previo al análisis, las muestras de suelos se dejaron secar durante 5 días y posteriormente se tamizaron de malla número 10 a fin de homogeneizar cada muestra y así determinar las propiedades físicas como la humedad, color, densidad aparente, densidad real, porosidad y textura; mientras que de las químicas fueron pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N, CIC y iones intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) de acuerdo con los métodos descritos en la NOM-021-RECNAT-2000.

### **Artrópodos del suelo**

*Extracción de microartrópodos del suelo.* La extracción de microartrópodos se realizó en el laboratorio de Micología de la UAM -X, donde también se tamizaron con un tamiz número 10 con abertura de malla de 2 mm con tal de eliminar materia orgánica de gran tamaño. Cada muestra se pesó con una balanza granataria con el fin de uniformizar el peso de las muestras a 50 g.

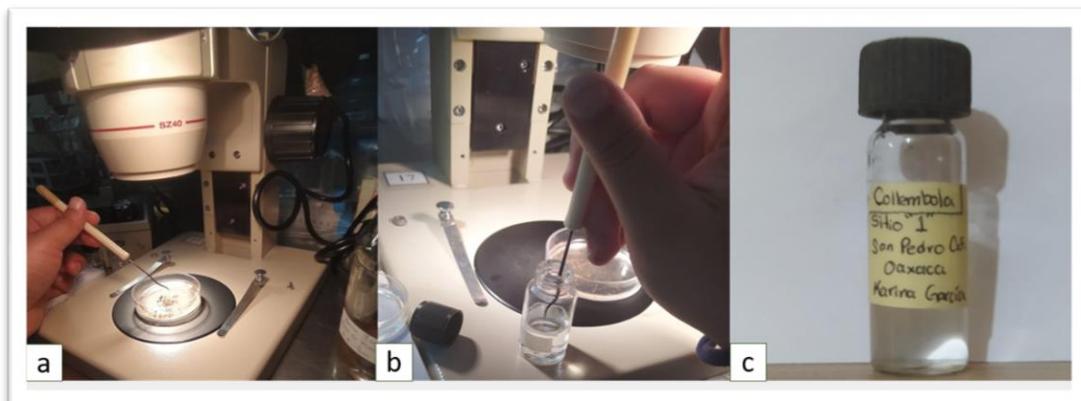
Posteriormente se empleó el método de Flotación con el uso de soluciones saturadas de azúcar al 40%, descrito por Snider y Snider, (1997) (tomado de Coleman *et al.*, 2004), el principio de este método se basa en usar un líquido de mayor densidad que los elementos buscados, así los elementos de menor densidad flotarán a la superficie. Cada muestra se colocó en un frasco de boca ancha de 1 L de capacidad, se humedeció la muestra con agua destilada y después se agregó una solución saturada de azúcar al 40% hasta dejar aproximadamente 3 cm de espacio libre. Cubriendo el frasco con una tapa se agitó suavemente y se dejó reposar cada muestra durante una hora para permitir que la materia orgánica flotar a la superficie (Fig. 3a). Una vez pasado este tiempo, se decantó la solución a través de un tamiz de malla número 200 sin incluir el suelo del fondo del frasco (Fig. 3b). Para recuperar la materia orgánica retenida en el tamiz, con ayuda de una piceta con alcohol al 70 % se enjuagó el tamiz y se depositó cuidadosamente en otro frasco con alcohol al 70% para su conservación (Fig. 3c). Posteriormente se regresó la solución saturada de azúcar al frasco con la muestra de suelo para repetir el procedimiento por dos ocasiones más.

*Preparación y montaje de microartrópodos.* Una vez recuperada la materia orgánica mediante la técnica de flotación, esta se observó bajo un microscopio estereoscópico OLYMPUS, donde fueron separados los organismos por clase taxonómica y depositados en viales de vidrio con su etiqueta correspondiente, la cual contenía la Clase de artrópodos colectada, sitio de muestreo, localidad y nombre de colector (ver fig. 4).



**Figura 3.** Aplicación del método de flotación descrito por Snider y Snider. a) Frascos con 50 g de suelo de cada sitio de muestreo con solución saturada de azúcar, en reposo. b) Decantación de las muestras, reteniendo el contenido flotante en un tamiz de malla no. 200. c) Frascos con materia orgánica recuperada conservada en alcohol al 70%.

Posteriormente, los artrópodos extraídos fueron trasladados al Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la Facultad de Ciencias de la UNAM, donde se utilizaron las técnicas de Palacios-Vargas y Mejía-Recamier (2007) y se recibió asesoría por parte de la Dra. Blanca Estela Mejía Recamier, colaboradora en el Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la Facultad de Ciencias, UNAM para llevar a cabo preparaciones semipermanentes de los organismos, proceso útil para su posterior identificación. Para este procedimiento se utilizó un microscopio-estereoscópico Carl-Zeiss SZ40. Organismos de mayor tamaño únicamente fueron conservados en alcohol al 70% para su posterior revisión.

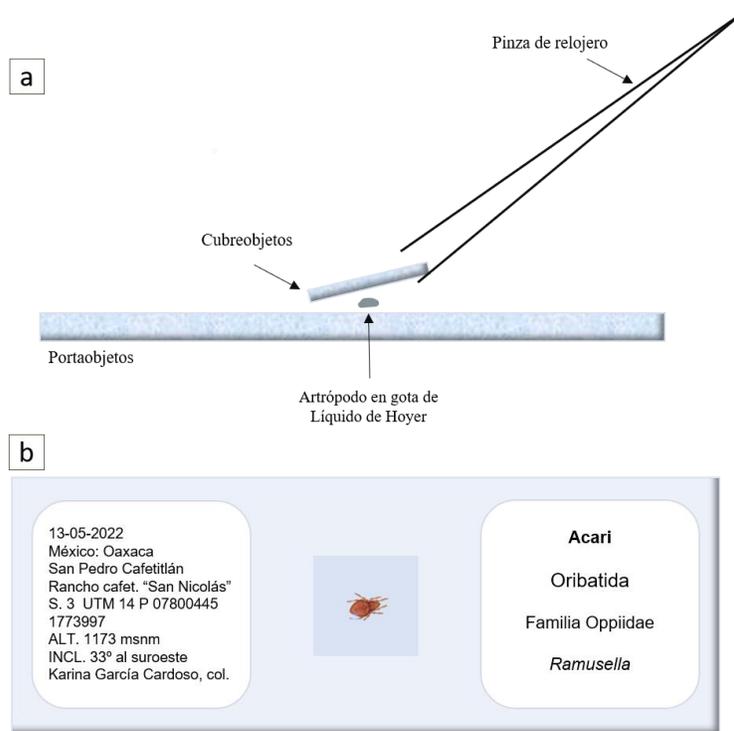


**Figura 4.** Extracción de microartrópodos. a) Observación de muestras. b) Recuperación de artrópodos, conservados con alcohol al 70% en viales de vidrio. c) Vial con su correspondiente etiqueta.

*Proceso de aclarado de microartrópodos.* Para la preparación de ácaros primero se llevó a cabo un proceso de aclaración de cutícula, para lo cual, ácaros más esclerosados o con mucha materia orgánica dentro de su cuerpo se colocaron en una cápsula de porcelana con ácido láctico y se dejaron dentro de la estufa a 40°C en un periodo de una a dos semanas. En el caso de ácaros menos esclerosados, estos fueron colocados en un portaobjetos excavado con Lactofenol hasta que el organismo tuviera una apariencia transparente. Para el proceso de aclarado de los colémbolos, se colocaron en un portaobjetos excavado con potasa al 10 % para reblandecer el exoesqueleto de los individuos y después se pasaron a otro portaobjetos excavado con Lactofenol, se calentó por unos segundos para acelerar el aclarado hasta que estos perdieran su coloración.

*Montaje de microartrópodos.* Una vez aclarados los organismos se realizó el montaje de los ejemplares con líquido de Hoyer. Se agregó una gota de éste en el centro del portaobjetos, se sumergió al ejemplar en posición ventral, en el caso de ácaros y en posición dorsal para el caso de colémbolos, en el centro de la gota y finalmente se colocó el cubreobjetos cuidadosamente sobre la gota con ayuda de unas pinzas de relojero (Fig. 5a). Las preparaciones fueron secadas en una estufa a 40°C durante una semana. Una vez secas, se limpiaron los excesos del líquido de Hoyer, para sellar los bordes con barniz transparente y se etiquetaron, colocando del lado derecho los datos taxonómicos y del izquierdo los datos de colecta (Fig. 5b). En el caso de otros microartrópodos hallados en las muestras de suelo también se realizaron preparaciones semipermanentes y fueron aclarados con Lactofenol en un portaobjetos excavado calentando por unos segundos para acelerar el proceso y fueron montados en Líquido de Hoyer en posición ventral.

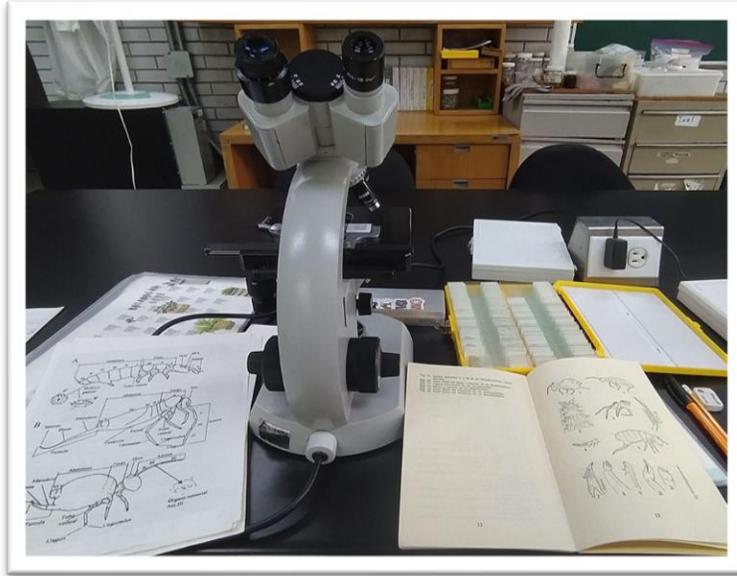
*Resguardo de microartrópodos.* Las preparaciones semipermanentes se realizaron con la finalidad de ser integradas y conservadas en el Laboratorio de Micología de la UAM X y una parte a la colección de Ácaros y Colémbolos de la Facultad de Ciencias, UNAM.



**Figura 5.** Montaje de artrópodos en líquido de Hoyer. a) Elaboración del montaje. b) Etiquetado de preparaciones.

*Identificación de Artrópodos.* La identificación de los ejemplares se realizó a nivel familia y, en el caso de colémbolos y ácaros se identificó a especie de ser posible con ayuda de un microscopio óptico Carl Zeiss. La identificación de la Clase Collembola se realizó mediante la revisión de las claves taxonómicas de Dindal (1990), Palacios-Vargas (1990) y Janssen (2007) (<https://www.collembola.org>) y con apoyo del Dr. José G. Palacios Vargas, del Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Para el caso de ácaros y otros microartrópodos la identificación fue posible con el apoyo y asesoría de la Dra. Margarita Ojeda Carrasco, colaboradora en el Laboratorio De Ecología y Sistemática De Microartrópodos de la Facultad de Ciencias, UNAM, y con apoyo de claves taxonómicas como: Dindal (1990) y Krantz y Walter (2009). La identificación de los artrópodos capturados en las trampas pitfall así como algunos otros artrópodos capturados por el método de flotación, se realizó hasta familia mediante la consulta de las plataformas digitales NaturaLista (<https://www.naturalista.mx>) y EncicloVida (<https://www.enciclovida.mx>) ambas desarrolladas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).



**Figura 6.** Identificación de microartrópodos.

*Procesamiento de datos.* Una vez realizada la identificación de los organismos estos fueron ordenados taxonómicamente en formato de tabla en Excel. Por cada sitio de muestreo se calculó la abundancia absoluta, abundancia relativa (%) y riqueza de especies. Así mismo, por sitio de muestreo se determinó la diversidad de especies con el Índice de Shannon-Wiener, se estimó la dominancia mediante el Índice de dominancia de Simpson y la equidad con el Índice Equidad de Pielou.

### **Índices de sostenibilidad**

Se llevó a cabo la evaluación de sostenibilidad de la finca mediante una serie de indicadores para el diagnóstico de la calidad del suelo y la salud de cultivo en plantaciones de café modificados a partir de la metodología propuesta por Altieri y Nichols, (2002) quienes evaluaron fincas cafetaleras de la zona de Turrialba, Costa Rica. Estos índices son precisos y fáciles de interpretar, sensibles a cambios ambientales y al impacto de las prácticas de manejo sobre el suelo y el cultivo integrando propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Altieri y Nichols, 2002).

Se cambiaron o complementaron algunos indicadores con relación a las características físicas y químicas del suelo estudiado, así mismo considerando la abundancia y diversidad de la artropofauna identificada. Los tres sitios de muestreo seleccionados en la ladera se evaluaron por separado mediante tres índices de sostenibilidad; Índice de calidad del suelo, Índice de salud del cultivo e Índice Biológico del suelo, este último fue desarrollado para este estudio en particular que considera a la artropofauna edáfica y sus relaciones entre los grupos de la misma para evaluar la calidad del medio edáfico en términos de salud y

fertilidad basado en el estudio de Socarrás y Hernández (2010), para su análisis fue necesario considerar la frecuencia de presencias de las Clases de artrópodos colectados en cada sitio de muestreo.

Cada índice contiene indicadores que se estiman en forma separada, a cada indicador se le asigna un valor de 1 a 10 (siendo 1 el valor menos deseable, 5 un valor medio y 10 el valor deseado) de acuerdo a las características que presenta el suelo o el cultivo, y los atributos a evaluar para cada indicador (Altieri y Nichols, 2002) (ver tabla 1). Los valores entre 1 y 5 o 5 y 10 se asignan según las características observadas. Después de asignar los valores a cada indicador, estos se suman y se dividen entre el número de indicadores evaluados, y se obtiene el promedio para la calidad de suelo, la salud del cultivo y la biología del suelo. Para facilitar la observación del estado general mediante los promedios obtenidos en cada índice, los valores fueron representados en una gráfica tipo “ameba”, la cual consiste en representar al sitio evaluado con una línea conocida como “ameba”, cuando la “ameba” se acerca más al exterior de la gráfica (promedio cercano a 10) indica que es más sostenible el sistema al presentar mejores condiciones, por el contrario, si la “ameba” se encuentra más cercano al centro de la gráfica (promedio menor a 5) indica que el sistema se encuentra por debajo del umbral de sostenibilidad.

**Tabla 1.** Indicadores de calidad física, química y biológica del suelo y salud de las plantas en cafetales, con sus características y valores correspondientes (Basado en Altieri y Nichols, 2002).

Propiedades físicas y químicas		
Indicador	Características	Valor
<b>1. Estructura</b>	Suelo fino; sin gránulos visibles	1
	Suelo medio; con pocos gránulos	5
	Suelo grueso; friable y granular	10
<b>2. Compactación e infiltración</b>	Espacio poroso de 0 a 5% .	1
	Espacio poroso de 6 a 15% .	5
	Espacio poroso de 16 a más de 40%	10
<b>3. Retención de humedad</b>	Suelo se seca rápido.	1
	Suelo permanece seco durante la época seca.	5
	Suelo mantiene humedad durante la época seca.	10

Continuación de la Tabla 1.

	Raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas	1
<b>4. Desarrollo de raíces</b>	Raíces con crecimiento limitado, se observan algunas raíces finas	5
	Raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas	10
	Suelo desnudo	1
<b>5. Cobertura de suelo</b>	Menos del 50% del suelo cubierto por residuos, hojarasca y cubierta viva	5
	Más del 50% del suelo con cobertura viva o muerta	10
	Erosión severa, se nota arrastre del suelo y presencia de cárcavas y canalillos	1
<b>6. Erosión</b>	Erosión evidente, pero poca	5
	No hay mayores señales de erosión	10
	Suelo muy pálido. Materia orgánica baja entre < 0.60% - 1.80% .	1
<b>7. Color y Materia orgánica</b>	Suelo pardo o rojizo, materia orgánica media entre 1.81% - 3.50% .	5
	Suelo pardo oscuro, materia orgánica alta, entre 3.51% - > 6.0% .	10
	Valores bajos entre <0.35% - 1.05%	1
<b>8. Carbono orgánico %</b>	Valores medios entre 1.06% - 2.30%	5
	Valores altos entre 2.31% - >3.50%	10
	Suelos con pH menor a 4,5 o mayor a 8	1
<b>9. pH (Coste, 1969)</b>	Suelos con pH entre valores de 4,5 a 5,0	5
	Suelos con pH mayores a 5 y más cercanos a la neutralidad (pH 7,0)	10
	CIC de 0 a 15, valores bajos	1
<b>10. Fertilidad del suelo (basado en Laríos-González et al., 2014)</b>	CIC de 16 a 29, valores medios	5
	CIC > 30, valores altos	10

**Plagas y enfermedades**

<b>1. Plagas / herbívoros</b>	Frecuencia alta de 61 - 100%	1
	Frecuencia media de 21 a 60%	5
	Frecuencia baja de 0 - 20%	10
<b>2. Detritívoros y predadores</b>	Frecuencia baja de 0 - 20%	1
	Frecuencia media de 21 a 60%	5
	Frecuencia alta de 61 - 100%	10

### Indicadores de suelo

<b>3. Indicadores de Fertilidad</b> Oribátidos y Colémbolos	Frecuencia baja de 0 - 20%	1
	Frecuencia media de 21 a 60%	5
	Frecuencia alta de 61 - 100%	10
<b>4. Indicadores de estabilidad y salud del medio edáfico</b> (Collembola, Mesostigmata, Diplura, Protura, Pauropoda)	Frecuencia baja de 0 - 20%	1
	Frecuencia media de 21 a 60%	5
	Frecuencia alta de 61 - 100%	10
<b>5. Indicadores de perturbación del medio edáfico</b> (Astigmata)	Frecuencia alta de 61 - 100%	1
	Frecuencia media de 21 a 60%	5
	Frecuencia baja de 0 - 20%	10

### Salud del suelo

Indicador	Características	Valor
<b>1. Apariencia</b>	Cultivo clorótico o descolorido, con signos severos de deficiencia de nutrimentos	1
	Cultivo verde claro, con algunas decoloraciones	5
	Follaje verde intenso, sin signos de deficiencia	10
<b>2. Crecimiento del cultivo</b>	Cultivo poco denso, de crecimiento pobre. Tallos y ramas cortas y quebradizas. Muy poco crecimiento de nuevo follaje	1
	Cultivo más denso pero no uniforme, con crecimiento nuevo y con ramas y tallos aún delgados	5
	Cultivo denso, uniforme, buen crecimiento, con tallos y ramas gruesas y firmes	10
<b>3. Competencia por malezas</b>	Cultivos estresados dominados por malezas	1
	Presencia media de malezas, cultivo sufre competencia	5
	Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o malezas chapeadas no causan problemas	10
<b>4. Diversidad vegetal</b>	Monocultivo sin sombra	1
	Con solo una especie de sombra	5
	Con más de dos especies de sombra, e incluso otros cultivos o malezas dominantes	10
<b>5. Diversidad natural circundante</b>	Rodeado por otros cultivos, campos baldíos o carretera	1
	Rodeado al menos en un lado por vegetación natural	5
	Rodeado al menos en un 50 % de sus bordes por vegetación natural	10

## RESULTADOS

### El cultivo de café en Oaxaca

El café es una planta de sotobosque originaria de Etiopía, introducida en México en la última década del siglo XVIII en la región de Córdoba Veracruz, del cual se fue extendiendo a otras regiones del país (García, 2018; Rodríguez s.f.). A mitad del siglo XIX se inició su cultivo en Oaxaca y en 1874 surgió la primera finca cafetalera en el Cerro de la Pluma llamada "La Providencia" que posteriormente dio origen al actual municipio Pluma Hidalgo (Morales, 2013). Este municipio, aledaño a la comunidad de San Pedro Cafetitlán, era un lugar ideal para el cultivo del grano por las condiciones climatológicas y su cercanía a la costa, que permitía exportar más fácilmente la producción. En el año de 1892, Pluma Hidalgo ya era el centro cafetalero más importante del país y empezó a incrementar la demanda internacional (Morales, 2013).

Dado a esta demanda, gracias a las características climatológicas y edafológicas que compartía este municipio con regiones aledañas, la producción se fue extendiendo otras regiones, como fue el caso en San Pedro Cafetitlán. La agencia municipal, San Pedro Cafetitlán, surgió de un proceso de organización comunitaria a raíz del cultivo del café a principios del siglo XX, se trata de una zona con una vasta riqueza en recursos naturales y culturales, pero a su vez, con un alto grado de marginación (Morales, 2013).

En Oaxaca existen dos tipos de productores con grandes contrastes: los grandes finqueros y los pequeños productores. En este segundo grupo se encuentran los habitantes de Cafetitlán, donde, por lo general, a las áreas donde cultivan el café las conocen como "ranchos cafetaleros" y todos son pequeñas parcelas de no más de diez hectáreas. A su vez, coexisten en esta actividad dos grandes grupos, el de productores especializados altamente tecnificados y un segundo grupo mayoritario de pequeños productores marginales sin posibilidad de implementar tecnología industrial que les permita procesar el grano (Morales, 2013; M. Díaz, comunicación personal, 14 de marzo de 2023). Sin embargo, estos pequeños productores se encuentran apoyados por empresas que se dedican a proveer mano de obra, materiales, fertilizantes y medios para exportar el grano, ejemplo de ello, la empresa BECAFISA es quien actualmente interviene en el apoyo para estos productores (Rodríguez s.f.; M. Díaz, comunicación personal, 14 de marzo de 2023).

Especialmente este estudio se llevó a cabo en el rancho cafetalero "San Nicolás", propiedad del Sr. M. Díaz, el cual posee una extensión de 8 hectáreas y desde sus inicios, se cultivaba café arábigo de la variedad Pluma Hidalgo. Las plantas de café de dicha variedad son las que ocupan la mayor parte del rancho y son las más longevas con una edad aproximada de 100 años, que, aunque la producción de las mismas ha disminuido con el tiempo, aún proveen grano de buena calidad. Actualmente en el rancho también se cultivan otras variedades del café arábigo, como son las variedades: Oro Azteca, Costa Rica y Caturra, mismas que fueron

provistas por la empresa BECAFISA en respuesta a que los productores obtuvieran una mayor producción con menor riesgo de contraer enfermedades ya que estas plantas son más resistentes ante la roya (*Hemileia vastatrix*) misma que por unos años llegó a afectar las parcelas de diferentes productores.

Cabe mencionar que los ranchos cafetaleros existentes en San Pedro Cafetitlán, al ser cultivos que requieren sombra se encuentran inmersos entre vegetación original de la región y vegetación introducida por los mismos productores. En el Rancho San Nicolás, los cafetos coexisten con dos tipos de vegetación: selva mediana subperennifolia y bosque mesófilo de montaña, de este último resaltan una serie de plantas nativas que tienen relevante importancia para los cafetos pues los protegen de efectos climáticos y les proveen sombra y buen abono, estos son: chalum (*Inga micheliana*), cuil machete (*Inga jinicuil*), (*Inga* spp.) y encinos (*Quercus* sp.). Por otro lado, mucha de la vegetación primaria ha sido desplazada en una parte por la vegetación secundaria, cuyas especies más representativas son: palo mujer (*Alchornea latifolia*), palo de agua (*Liabum glabrum*), mameyito colorado (*Saurauia* sp.), lompante (*Erythrina* sp.), coralillo (*Pithecellobium arboreum*) y otros (Rodríguez s.f.; M. Díaz, comunicación personal, 14 de marzo de 2023).

Aunado a lo anterior, con fines económicos y también para proporcionar sombra a los cafetos, los pobladores han sembrado principalmente plátano (*Musa* sp.), guanábana (*Annona* sp.), cacao (*Theobroma cacao*), pomarrosa (*Syzygium* sp.), bambú (*Bambusa* sp.), chayote (*Sechium* sp.), papaya (*Carica* sp.) y piña (*Ananas* sp.) (M. Díaz, comunicación personal, 14 de marzo de 2023).

### **Producción de café (*Coffea arabica*) en el rancho cafetalero “San Nicolás”**

A continuación, se hace una descripción del proceso de producción de café mediante el apoyo de revisión bibliográfica (Rodríguez s.f.) y mediante comunicación personal con el Sr. Manuel Díaz, propietario del rancho “San Nicolás” el 14 de marzo de 2023.

*Semillero o almácigo.* Las semillas se obtienen de la misma cosecha o también son proporcionadas por BECAFISA. Cuando éstas son obtenidas de sus mismos cafetales, son seleccionadas a partir de los primeros granos que maduran en las plantas de mayor producción, se despulpan y lavan manualmente para evitar daños al embrión. La siembra se efectúa en el mes de noviembre, pero antes, se prepara el terreno para el almácigo, la distancia entre cada semilla es de 10x10 cm y los semilleros se mantienen bajo sombra con hojas de plátano o palma y son retirados cuando la plántula comienza a emerger. Para mantener la humedad se realizan riegos constantes y aproximadamente a los dos meses de haber germinado la semilla, las plántulas son trasplantadas a zonas específicas del rancho para renovar y reponer cafetales por alguna falla.

*Prácticas y cuidados a los cafetales.* Cuando se realizan nuevas plantaciones, el terreno se prepara llevando a cabo “barridos” que consisten en remover el estrato herbáceo y arbustivo. Como los cafetos necesitan desarrollarse bajo sombra, se busca un sitio con árboles de gran dosel. La plantación de los cafetos se realiza dejando una distancia entre cada planta de 3 metros para el caso de la variedad Pluma Hidalgo ya que poseen ramificaciones más extensas, mientras que las demás variedades se dejan a una distancia de 1.5 metros aproximadamente.

Los cuidados que se llevan a cabo a partir de la plantación son mínimos y no rigurosos en el rancho como se realizan en otros ranchos cafetaleros de la zona, por lo que no llevan a cabo prácticas de uso de fertilizantes o abonos orgánicos, podas y riego, lo cual se debe principalmente a la falta de recursos económicos, infraestructura y mano de obra, aunque también, se tiene la idea de que las plantas deben crecer de manera natural sin intervención humana excesiva ya que se tiene la preocupación de que se crea una dependencia de las plantas a dichos cuidados e insumos externos. Sin embargo, hay prácticas que sí se realizan para el mejor desarrollo de las plantas jóvenes y el suelo, en primer lugar, se llevan a cabo “terrazas” para evitar la erosión del suelo que es favorecida por las fuertes pendientes, que ayuda a retener humedad, nutrientes y evitar el posible arrastre de la planta, formando una “media luna” a 30-35 cm de la planta, en la parte alta de la pendiente, tratando de nivelar ésta alrededor de las plantas. Cada vez estas terrazas se reconstruyen al presentar daños. Así mismo, continuamente se realiza el *alzado de la sombra* o *raleo*, que consiste en dar forma a los árboles que se utilizan para tal fin y regular la intensidad de la sombra para los cafetos y, por último, es importante mencionar que una fuente importante para que el suelo se mantenga con buena humedad sin necesidad de riego es gracias a la precipitación, rocío y neblina provenientes del mar que se presentan todo el año.

En cuanto a las plagas y enfermedades de los cafetos, las principales plagas son: el barrenador del tallo (*Plagiohamus granulatus*), la araña roja (*Tetranychus sp.*) y el chacuatete (*Odiarthron subquadratum*), mientras que las enfermedades más importantes son: el ojo de gallo (*Mycena flavida*), la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y la roya (*Hemileia vastatrix*). Tanto las plagas como las enfermedades se presentan a lo largo de todo el año, aunque con mayor intensidad durante la época de lluvias y en estos casos, para prevenir y realizar su control se llevan a cabo métodos indirectos como la constante regulación de sombra, las limpiezas periódicas y la introducción de variedades resistentes (como las variedades Oro Azteca y Costa Rica). Una vez que las plantas llegan a su cuarto año de vida han alcanzado la maduración y comienzan a ser productivas, para esto, se suele realizar una limpieza al terreno preferentemente entre los meses de agosto y septiembre, ya que precede a la pizca y el terreno debe estar limpio para favorecer esta actividad.

*Cosecha.* A partir de los cuatro años el cafeto ya produce. La época de la pizca está determinada por la maduración de los frutos, y éstos a su vez por la florescencia. La florescencia de los cafetos se presenta entre el mes de marzo y el mes de abril, que coincide con la temporada de lluvias, esto ocasiona que frecuentemente se vean en una misma planta granos de hasta tres tamaños distintos y que llegan a su madurez en momentos diferentes. La florescencia dura alrededor de 15 días y, en general, la floración de los cafetos disminuye y termina a principios del mes de mayo, al culminar de la temporada de secas. El grano llega a su madurez aproximadamente de los 5-8 meses desde su respectiva florescencia, lo que explica que el periodo de pizca abarque de septiembre a diciembre.

Llegado a su última etapa, la cereza en pocos días cambia su color verde a amarillo, indicando el momento propicio para la cosecha. Esta se realiza de manera manual, depositando la cereza colectada en costales que son transportados en animales o por ellos mismos.

Los rendimientos están determinados por la variedad cultivada, la edad de la planta y las prácticas realizadas. En promedio, en el rancho San Nicolás la producción es de 7 quintales (Qq) de grano por hectárea (1 Qq= 46 kg), lo que significa que en total de las 8 hectáreas que posee, se obtienen 56 quintales. El Sr. M. Díaz menciona que estas cantidades pueden variar, en un año la producción puede presentarse de esa forma, pero, al siguiente, este puede disminuir drásticamente.

### **Preparación del grano.**

Una vez obtenido el grano de café, el Sr. Díaz con ayuda de su familia llevan a cabo la preparación del grano para posteriormente llevarlo a la venta.

*Despulpado.* Al término de la pizca del café al siguiente día se realiza el despulpado, que consiste en separar la pulpa del grano de café, utilizando máquinas denominadas despulpadoras, que, en este caso, se manejan manualmente. Del despulpado se obtiene pulpa, cascarilla y los granos de café. La pulpa y la cascarilla son trasladadas a un depósito especial, para su uso como abono natural para algunas de las plantas y como alimento para el ganado.

*Fermentación.* El proceso siguiente es la fermentación del mucílago del grano para removerlo, que se lleva a cabo en tanques expuestos a la luz del sol, dependiendo de las condiciones ambientales y de las características del grano, el café alcanza el punto de fermentación y el mucílago se desprende después de 24 a 36 horas.

*Lavado.* Para retirar los productos de degradación del mucílago, los granos se lavan en un tanque de lavado que se llena de agua y se procede a agitar fuertemente con un rastrillo especial de madera.

*Secado.* Una vez removido completamente el mucílago, el grano se lleva a un proceso de secado donde se expone al sol deshidratándolo. Este proceso se realiza en patios de cemento del mismo rancho. El café se extiende por capas delgadas, de 5 cm aproximadamente, cuando apenas se inicia el secado, y en capas más gruesas conforme avanza la operación, removiendo dichas capas con un rastrillo de madera. Por lo general el secado del grano dura 4 días. El café resultante de todo el proceso es el café pergamino, obtenido en una cantidad mucho menor que la café cereza que entró originalmente al beneficio: de 4.3 kg de café cereza se obtiene 1 kg de café pergamino. A partir de aquí separan el café pergamino resultante, pues una parte de este grano se somete a un proceso más elaborado para obtener el café oro.

*Trillado.* El café pergamino es dirigido a la trilladora, máquina especial que realiza el descascarillado del café pergamino, posteriormente se tuesta en un cilindro de metal que funciona manualmente. Ya tostado se lleva al molino para obtener el polvo de café (conocido como café oro).

*Venta.* El café pergamino y el café oro tostado y molido son las dos modalidades que se obtienen del rancho San Nicolás, finalmente el café es empaquetado y es llevado a la venta con apoyo de BECAFISA para su traslado y venta en el municipio, en diferentes estados de México y para exportación.

## Características de los sitios de muestreo

**Tabla 2.** Descripción de los sitios de muestreo del rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.

Sitio de Muestreo	Coordenadas UTM		Altitud msnm	Inclinación de ladera	Variedad de café	Vegetación circundante	Características
	Latitud N	Longitud W					
<b>S-1 Alto</b>	14P 0780469	1764172	1258	20° al suroeste	Pluma Hidalgo	<p><b>Vegetación de sombra abundante:</b> Plátano (<i>Musa sp.</i>), Huanchal (<i>Cupania sp.</i>), Palo Tejón (<i>Ocotea sinuata</i>)</p> <p><b>Sotobosque:</b> Hoja de sangre (<i>Hypoestes sp.</i>), helechos (Pterophyta), Chichicaste (<i>Urtica sp.</i>), Quebraplato (<i>Ipomea sp.</i>)</p>	Sotobosque abundante. Suelo cubierto por hojarasca. Área de paso cercana a 2 metros de distancia. Medianamente concurrido.
<b>S-2 Medio</b>	14P 0780442	1764172	1214	15° al suroeste	Pluma Hidalgo	<p><b>Vegetación de sombra escasa.</b> La vegetación cercana estaba compuesta por: Plátano, Guaje (<i>Leucaena sp.</i>), Macahuite (<i>Ficus sp.</i>), Pomarrosa (<i>Sysigium sp.</i>), Naranja (<i>Citrus sp.</i>) Huanchal (<i>Cupania sp.</i>).</p> <p><b>Sotobosque aledaño:</b> Yuca (<i>Manihot sp.</i>), Hoja de sangre (<i>Hypoestes sp.</i>), Helechos (Pterophyta), Chichicaste (<i>Urtica sp.</i>), plántulas de cacao (<i>Theobroma cacao</i>).</p>	Alrededor del punto central, el sotobosque era muy escaso. Área de paso cercana a 1 metro de distancia. Sitio más concurrido, pues se encontraba cercano a la zona donde procesan el grano de café.
<b>S-3 Bajo</b>	14P 0780445	1773997	1173	33° al suroeste	Pluma Hidalgo	<p><b>Vegetación de sombra media:</b> Plátano (<i>Musa sp.</i>), Macahuite (<i>Ficus sp.</i>), Huanchal (<i>Cupania sp.</i>), Palo tejón (<i>Ocotea sinuata</i>)</p> <p><b>Sotobosque:</b> Hoja de sangre (<i>Hypoestes sp.</i>), helechos (Pterophyta), Chichicaste (<i>Urtica sp.</i>), Nochebuena (<i>Euphorbia sp.</i>), Quebraplato (<i>Ipomea sp.</i>), plántulas de Palo Tejón, zacate Merkerón (<i>Pennisetum sp.</i>), Sensitiva (<i>Mimosa sp.</i>), Botonchihuite (<i>Cestrum sp.</i>)</p>	Sotobosque abundante. Se caracteriza por un terreno más accidentado en el cual se dificultaba su acceso, por lo que era el sitio menos concurrido.



**Figura 7.** Fotografías de cada sitio de muestreo en el rancho “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca. En ellas se señala el Punto Central y Trampas Pitfall de acuerdo al diseño de muestreo. a) Sitio S-1 b) Sitio S-2, c) Sitio S-3.

### Propiedades físicas y químicas de los suelos

**Propiedades físicas.** De acuerdo con los análisis de las propiedades físicas del suelo en base a la Norma Oficial Mexicana 021-RECNAT-2000 se determinó que los tres sitios de muestreo presentan suelos de clase textural Franco Arenosa. El color del suelo en seco para los sitios S-1 y S-3 fue color “Pardo” (10 YR V5/C3), mientras que el sitio S-2 presentó un color “Pardo amarillento” (10 YR V5/C4), en húmedo los tres sitios mostraron un color “Pardo muy oscuro” (10 YR V2.5/C3). El porcentaje de humedad fue mayor en el sitio Alto (18.69%) y el más bajo se registró en el sitio S-2 (14.43%). En cuanto a la densidad, el sitio S-3 presentó la densidad aparente más alta (1.166 g/cm<sup>3</sup>) y el sitio S-1 el valor más alto de densidad real (2.35 g/cm<sup>3</sup>), mientras que el sitio medio (S-2) mostró los valores más bajos de densidad aparente (1.1 g/cm<sup>3</sup>) y densidad real (2.18 g/cm<sup>3</sup>). Estos parámetros de densidad permitieron determinar la estructura porosa del suelo, donde el valor más alto registrado fue en el sitio S-2 con el 51% y el valor más bajo se presentó en el sitio S-1 con 47% (Tabla 3).

**Tabla 3.** Propiedades físicas de los suelos.

Sitio de Muestreo	Color		Humedad %	Densidad		Porosidad %	Partículas del suelo			Clase Textural
	Seco	Humedo		aparente	real		Arena	Arcilla	Limo	
				g/cm <sup>3</sup>			%	%	%	
S-1	Pardo 10 YR V5/C3	Pardo muy oscuro 7.5 YR V 2.5/ C2	<b>18.6</b>	1.1	<b>2.3</b>	47	65.7	14.8	<b>19.4</b>	Franco Arenoso
S-2	Pardo amarillento 10 YR V5 / C4	Pardo muy oscuro 7.5 YR V 2.5/ C2	14.4	1	2.1	50	65.7	<b>16.5</b>	17.7	Franco Arenoso
S-3	Pardo 10 YR V4/C3	Pardo muy oscuro 7.5 YR V 2.5/ C2	16.9	<b>1.1</b>	2.2	<b>51</b>	<b>67.4</b>	14.8	17.7	Franco Arenoso

**Propiedades químicas.** En cuanto a las propiedades químicas del suelo, el pH fue ligeramente ácido en los tres sitios de muestreo, el valor más alto (más alcalino) se presentó en el sitio S-2 (5.19), mientras que el valor más bajo (más ácido) se presentó en el sitio S-1 (5.06). Respecto a la conductividad, esta fue más alta en el sitio Bajo y más baja en el sitio Medio. En cuanto a los porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, estos fueron clasificados como “Muy altos” en el sitio S-3 (6.06%, 3.51%) mientras que el sitio S-1 y S-2 obtuvieron valores considerados como “Altos”, siendo el sitio S-2 el que presentó los valores más bajos (4.4%, 2.55%). Un patrón similar se mostró con los valores obtenidos por sitio respecto al nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno, siendo el sitio S-3 el que presentó los valores más altos de ambas propiedades (Nt de 0.3% y C/N de 11.7) y el sitio S-2 el que registró valores más bajos (Nt de 0.22% y C/N de 11.59). Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, esta presentó el valor más alto en el sitio S-3 (32 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>), mientras que los sitios S-1 y S-2 presentaron los valores más bajos (24 y 25 respectivamente). Por último, las bases Intercambiables Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> mostraron su valor más alto en el sitio S-2 (17 y 2.8 mEq/100g respectivamente); en cuanto a Ca<sup>2+</sup>, los sitios S-1 y S-3 presentaron el mismo valor (14.5 mEq/100g) y de Mg<sup>2+</sup> el valor más bajo se registró en el sitio S-3 (0.2 mEq/100g) (Tabla 4).

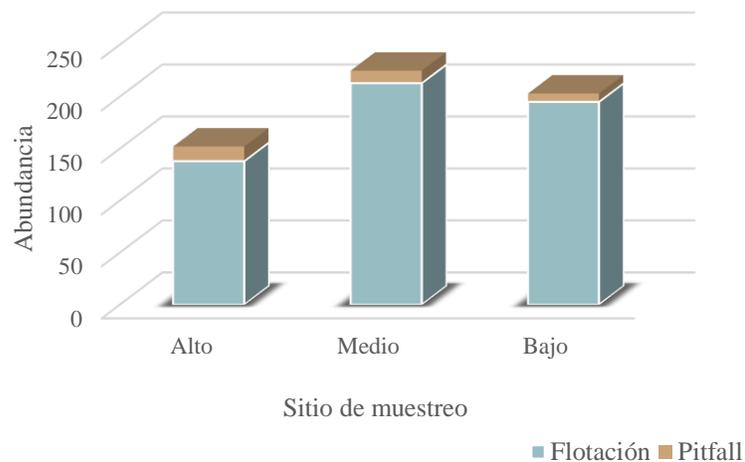
**Tabla 4.** Propiedades químicas de los suelos

Sitio de Muestreo	pH	CE Ds m	MO	C %	Nt	C/N	CIC Cmol(+) kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> mEq/100g	Mg <sup>2+</sup>
S-2	<b>5.19</b>	0.4	4.4	2.5	0.22	11.6	25	<b>17</b>	<b>2.8</b>
S-3	5.12	<b>0.5</b>	<b>6</b>	<b>3.5</b>	<b>0.3</b>	<b>11.7</b>	<b>32</b>	14.5	0.2

## Artrópodos del suelo

**Abundancia y riqueza de Artrópodos.** Se colectó un total de 580 artrópodos en los tres sitios de muestreo, donde el 94% corresponde a aquellos que fueron recuperados mediante la técnica de flotación (546 ind.), mientras que el 6% restante corresponde a los capturados mediante las trampas Pitfall (34 ind.). Es importante mencionar que no todos los organismos encontrados en la técnica de flotación corresponden al grupo de los microartrópodos. Los artrópodos colectados se distribuyeron de la siguiente forma (ver fig. 8); en el S-1 presentó la menor abundancia con una cantidad de 152 individuos, de los cuales 138 fueron recuperados por flotación y 14 mediante las trampas Pitfall, por otro lado, el sitio Medio presentó la mayor abundancia con 225 individuos, de estos 213 se recuperaron por flotación y 12 mediante las trampas Pitfall. En el sitio S-3 se encontró una abundancia cercana a la del sitio S-2, se registraron 203 individuos, de los cuales 194 fueron recuperados por flotación y 9 por trampas Pitfall.

Respecto a su clasificación, los artrópodos pertenecen a 10 clases y 25 órdenes. Del total se incluyen organismos adultos y estadios larvarios, los adultos y algunos estadios larvarios fueron clasificados a nivel de familia, mientras que algunas larvas solo se clasificaron a nivel de orden debido a las dificultades de la identificación (Tabla 5).



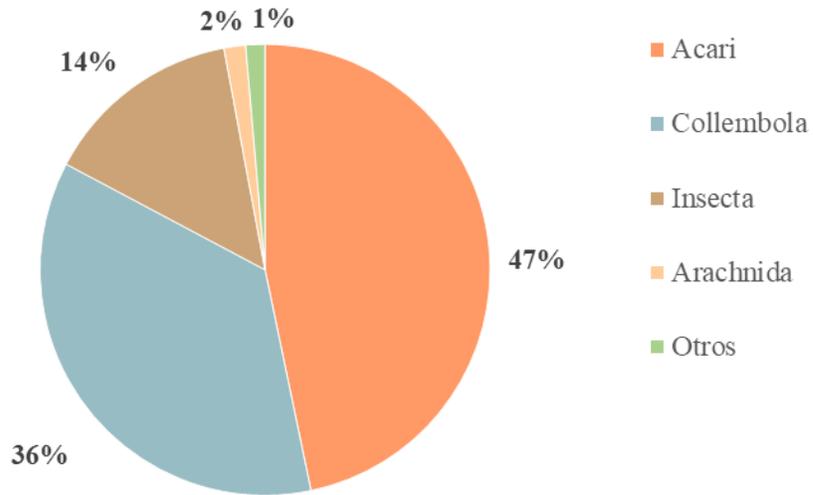
**Figura 8.** Distribución de la abundancia de artrópodos del suelo recuperados con la técnica de flotación y trampas Pitfall en los tres sitios de muestreo en el rancho cafetalero “San Nicolás”, San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.

Los grupos con mayor abundancia fueron la Clase Acari con 271 organismos (Fig. 10), representando el 47% del total registrado, seguido por Collembola con 209 organismos (Fig. 11) y representando el 36% del

total. La Clase Insecta estuvo representada por 84 organismos (Fig. 12 a, b, c, d, e, f, g, h) (14%), la Clase Arachnida por 9 organismos (Fig. 12 i, j) (2%) y el resto (7 organismos) lo representan organismos pertenecientes a las Clases Chilopoda, Copepoda (Fig. 12 k), Malacostraca, Diplura (Fig. 12 l), Pauropoda y Protura (1%) (Fig. 9). Los Órdenes de mayor abundancia fueron Entomobryomorpha perteneciente a la Clase Collembola con 132 ejemplares, seguido por el orden Oribatida de la clase Acari con 119 ejemplares. Los artrópodos encontrados en el sitio S-1 “Alto” se clasificaron en 5 clases, 17 órdenes y 24 familias identificadas, esta abundancia representa el 26% del total colectado (Fig. 9). Las familias más representativas fueron: Isotomidae con 40 individuos y Astigmata con 39 individuos. Los grupos o familias exclusivas encontradas fueron (9): Opilioacarida, Hypochtonidae, Ascidae, Encyrtidae, Psoquillidae, Lycosidae, Lynphiidae, Copepoda ND 3 y Eosentomata (Tabla 5).

El sitio S-2 “Medio” presentó la mayor abundancia con 225 individuos agrupados en 7 clases, 17 órdenes y 31 familias identificadas, esta abundancia representa el 39% del total colectado (Fig. 9). Las familias más representativas fueron: Isotomidae con 41 individuos y Formicidae con 24 individuos. Las familias exclusivas fueron (9): Pyroglyphidae, Galumnidae, Microzetidae, Sphaerochthoniidae, Tydeidae, Sclerosomatidae, Cryptopidae, Pseudococcidae y Armadillidiidae.

El sitio S-3 “Bajo” presentó una abundancia de 203 individuos, agrupados en 7 clases, 17 órdenes y 34 familias identificadas, por lo que fue el sitio con mayor riqueza de familias. La abundancia de organismos en este sitio representa el 35% del total colectado (Figura 9). Las familias más representativas fueron: Scheloribatidae con 35 individuos e Isotomidae con 31 individuos. Este sitio también presentó el mayor número de familias exclusivas (15 familias), las cuales fueron: Histiotomatidae, Alycidae, Astigmata NID1, Mesoplophoridae, Cunaxidae, Scutacaridae, Odontellidae, Thripidae, Theraphosidae, Gnaphosidae, Gonyleptidae, Pseudoescorpionida NID 2, Geophilidae, Japygidae y Pauropoda ND 4.



**Figura 9.** Abundancia relativa por Clases de artrópodos en los tres sitios de muestreo en el rancho cafetalero “San Nicolás”, San Pedro Cafetitlán, Oaxaca. “Otros” corresponde a las clases Chilopoda, Copepoda, Malacostraca, Diplura, Pauropoda y Protura.

**Tabla 5.** Distribución, Abundancia Absoluta y Abundancia Relativa de las familias de artrópodos.

Artrópodos del Suelo			S-1		S-2		S-3		TOTAL		
Clase	Orden	Familia	AA	AR	AA	AR	AA	AR	AA	AR	
Acari	Sarcoptiformes Astigmata **	Acaridae	<b>39</b>	25.66	12	5.33	4	1.97	<b>55</b>	<b>10.99</b>	
		Histiostomatidae	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>	
		Pyroglyphidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>	
		NID 1	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.15</b>	
	Sarcoptiformes Endeostigmata *	Nanorchestidae	1	0.66	0	0.00	1	0.49	<b>2</b>	<b>0.38</b>	
		Alycidae	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>	
	Sarcoptiformes Oribatida*	Ceratozetoidae	Ceratozetoidae	3	1.97	5	2.22	2	0.99	<b>10</b>	<b>1.73</b>
			Epilohmannoidae	0	0.00	3	1.33	1	0.49	<b>4</b>	<b>0.61</b>
			Galumnidae	0	0.00	2	0.89	0	0.00	<b>2</b>	<b>0.30</b>
		Hypochothoniidae	7	4.61	0	0.00	0	0.00	<b>7</b>	<b>1.54</b>	
		Mesoplophoridae	0	0.00	0	0.00	2	0.99	<b>2</b>	<b>0.33</b>	
		Microzetidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>	
		Oppiidae	0	0.00	9	4.00	11	5.42	<b>20</b>	<b>3.14</b>	
		Schelorbatiidae	1	0.66	10	4.44	<b>35</b>	17.24	<b>46</b>	<b>7.45</b>	
		Sphaerochthoniidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>	
		Larvas	8	5.26	7	3.11	11	5.42	<b>26</b>	<b>4.60</b>	
		Opilioacarida	Opilioacaridae	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>
		Prostigmata	Cunaxidae	0	0.00	0	0.00	3	1.48	<b>3</b>	<b>0.49</b>
			Eupodidae	0	0.00	3	1.33	1	0.49	<b>4</b>	<b>0.61</b>
	Scutacaridae		0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>	
	Tydeidae		0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>	
	Rhagiidae		0	0.00	1	0.44	1	0.49	<b>2</b>	<b>0.31</b>	
	Larvas NID		1	0.66	0	0.00	3	1.48	<b>4</b>	<b>0.71</b>	
	Mesostigmata	Ascidae	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>	
		Digamasellidae	0	0.00	0	0.00	11	5.42	<b>11</b>	<b>1.81</b>	
		Ologamasidae	1	0.66	4	1.78	5	2.46	<b>10</b>	<b>1.63</b>	
		Parasitidae	0	0.00	16	7.11	4	1.97	<b>20</b>	<b>3.03</b>	
Rhodacaridae		9	5.92	9	4.00	9	4.43	<b>27</b>	<b>4.78</b>		
Urodinychidae		0	0.00	4	1.78	1	0.49	<b>5</b>	<b>0.76</b>		
Larvas NID		1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>		
Collembola	Entomobryomorpha	Entomobryidae	3	1.97	13	5.78	4	1.97	<b>20</b>	<b>3.24</b>	
		Isotomidae	<b>40</b>	26.32	<b>41</b>	18.22	<b>31</b>	15.27	<b>112</b>	<b>19.94</b>	
	Poduromorpha	Hypogastruridae	12	7.89	18	8.00	14	6.90	<b>44</b>	<b>7.60</b>	
		Odontellidae	0	0.00	0	0.00	21	10.34	<b>21</b>	<b>3.45</b>	
		Onychiuridae	0	0.00	3	1.33	1	0.49	<b>4</b>	<b>0.61</b>	
Tullbergiidae	1	0.66	1	0.44	6	2.96	<b>8</b>	<b>1.35</b>			
Insecta	Coleoptera	Carabidae	1	0.66	1	0.44	1	0.49	<b>3</b>	<b>0.53</b>	
		Staphylinidae	9	5.92	3	1.33	0	0.00	<b>12</b>	<b>2.42</b>	
		Larvas NID	0	0.00	3	1.33	1	0.49	<b>4</b>	<b>0.61</b>	
	Diptera	Larvas NID	2	1.32	1	0.44	0	0.00	<b>3</b>	<b>0.59</b>	
	Homoptera	Pseudococcidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>	
		Coccidae	1	0.66	<b>18</b>	8.00	1	0.49	<b>20</b>	<b>3.05</b>	
	Hymenoptera	Apidae	1	0.66	1	0.44	0	0.00	<b>2</b>	<b>0.37</b>	
		Encyrtidae	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>	
		Formicidae	1	0.66	<b>24</b>	10.67	0	0.00	<b>25</b>	<b>3.77</b>	
	Orthoptera	Gryllidae	2	1.32	4	1.78	4	1.97	<b>10</b>	<b>1.69</b>	
	Psocodea	Psoquillidae	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>	
Thysanoptera	Thripidae	0	0.00	0	0.00	2	0.99	<b>2</b>	<b>0.33</b>		

Arachnida	Araneae	Theraphosidae	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>
		Lycosidae	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>
		Linyphiidae	1	0.66	1	0.44	0	0.00	<b>2</b>	<b>0.37</b>
		Gnaphosidae	0	0.00	0	0.00	2	0.99	<b>2</b>	<b>0.33</b>
	Opiliones	Gonyleptidae	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>
		Sclerosomatidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>
	Pseudoescorpionida	NID 2	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>
Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>
	Scolopendromorpha	Cryptopidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>
Copepoda	Ciclopoida	NID 3	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>
Malacostraca	Isopoda	Armadillidiidae	0	0.00	1	0.44	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.15</b>
Diplura	Diplura	Japygidae	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>
Paupoda	Paupoda	NID 4	0	0.00	0	0.00	1	0.49	<b>1</b>	<b>0.16</b>
Protura	Protura	Eosentomata	1	0.66	0	0.00	0	0.00	<b>1</b>	<b>0.22</b>
<b>TOTAL</b>			<b>152</b>	<b>100</b>	<b>225</b>	<b>100</b>	<b>203</b>	<b>100</b>	<b>580</b>	<b>100.0</b>

\*Suborden

\*\*Cohorte

Aunque principalmente se trabajó con las familias de artrópodos en esta investigación, es importante mencionar que fue posible la identificación a género y/o a especie para algunos ejemplares de ácaros y colémbolos. De la Clase Acari (Tabla 6), se identificaron las siguientes especies: *Uroobovella* sp. y *Pergamasus* sp. del orden Mesostigmata; *Allozetes* sp., *Epilohmanoides* sp., *Hypochthonius ca luteus*, *Eohypochtonus ca crassisetiger*, *Mesoplophora longiseta*, *Ropalozetes* sp., *Ramusella* sp., *Scheloribates* sp. y *Sphaerochthonius ca phyllophorus* del orden Sarcoptiformes, suborden Oribatida; *Bimichaelia* sp. y *Nanorchestes* sp. del orden Sarcoptiformes, suborden Endeostigmata; y *Pulaeus* sp. y *Poecilophysis* sp. del orden Trombidiformes, suborden Prostigmata. Los géneros encontrados en los tres sitios de muestreo fueron *Allozetes* y *Scheloribates*, siendo este último el de mayor abundancia que el resto de ácaros encontrados, con una abundancia de 46 individuos, siendo más abundante en el sitio Bajo con 35 individuos.

**Tabla 6.** Distribución y abundancia de familias, géneros o especies de la Clase Acari encontrados en el rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.

Clase Acari				Sitios de Muestreo			Total
Orden	Familia	Género	Especie	S-1	S-2	S-3	
<b>Mesostigmata</b>				<b>12</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>75</b>
	Ascidae*						
		<i>N ID</i>		1	0	0	1
	Digamasellidae*						
		<i>N ID</i>		0	0	11	11
	Urodinychidae*						
		<i>Uroobovella*</i>		0	4	1	5
	Ologamasidae*						
		<i>N ID</i>		1	4	5	10
	Rhodacaridae*						
		<i>N ID</i>		9	9	9	27
	Parasitidae***						
		<i>N ID</i>		0	15	4	19
		<i>Pergamasus*</i>		0	1	0	1
	Larvas/Ninfas			1	0	0	1
<b>Opilioacarida</b>				<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
	Opilioacaridae**						
		<i>N ID</i>		1	0	0	1
<b>Sarcoptiformes</b>							
Oribatida				<b>19</b>	<b>38</b>	<b>62</b>	<b>119</b>
	Ceratozetidae*						
		<i>Allozetes*</i>		3	5	2	10
	Epilohmannidae***						
		<i>Epilohmanoides*</i>		0	3	1	4
	Galumnidae***						
		<i>N ID</i>		0	2	0	2
	Hypochothonidae**						
		<i>Hypochothonius*</i>					
		<i>ca luteus'</i>		6	0	0	6
		<i>Eohypochothonus*</i>					
		<i>ca crassisetiger'</i>		1	0	0	1
	Mesoplophoridae**						
		<i>Mesoplophora**</i>					
		<i>longiseta'</i>		0	0	2	2
	Microzetidae**						
		<i>Ropalozetes*</i>		0	1	0	1
	Oppiidae***						
		<i>Ramusella**</i>		0	9	11	20
	Scheloribatidae***						
		<i>Scheloribates***</i>		1	10	35	46
	Sphaerochthoniidae**						
		<i>Sphaerochthonius**</i>					
		<i>ca phyllophorus'</i>		0	1	0	1
	Larvas/Ninfas			8	7	11	25

**Tabla 6.** Continuación

<b>Sarcoptiformes</b>						
Astigmata			<b>39</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>58</b>
	Acaridae**					
		<i>N ID 1</i>	33	0	0	33
		<i>N ID 2</i>	0	12	4	16
		<i>N ID 3</i>	6	0	0	6
	Histiostomatidae***					
		<i>N ID</i>	0	0	1	1
	Pyroglyphidae*					
		<i>N ID</i>	0	1	0	1
	N ID					
		<i>N ID</i>	0	0	1	1
<b>Sarcoptiformes</b>						
Endeostigmata			<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	Alycidae*					
		<i>Bimichaelia*</i>	0	0	1	1
	Nanorchestidae*					
		<i>Nanorchestes*</i>	1	0	1	2
<b>Trombidiformes</b>						
Prostigmata			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>15</b>
	Cunaxidae*					
		<i>Pulaeus*</i>	0	0	3	3
	Eupodidae*					
		<i>N ID</i>	0	3	1	4
	Rhagidiidae*					
		<i>Poecilophysis*</i>	0	1	1	2
	Scutacaridae*					
		<i>N ID</i>	0	0	1	1
	Tydeidae*					
		<i>N ID</i>	0	1	0	1
	Larvas/Ninfas		1	0	3	4
<b>TOTAL</b>			<b>73</b>	<b>89</b>	<b>109</b>	<b>271</b>

\* registro en México; \*\* registro en Oaxaca; \*\*\* registro en Santa María Huatulco o regiones aledañas al área de estudio; \*sin registros en México; N ID No Identificado.

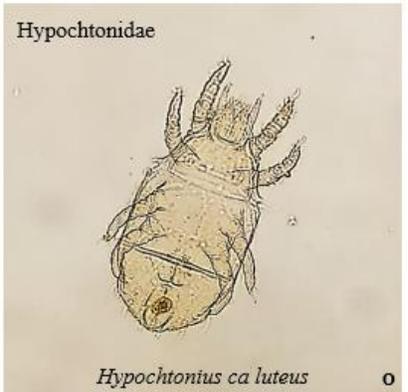
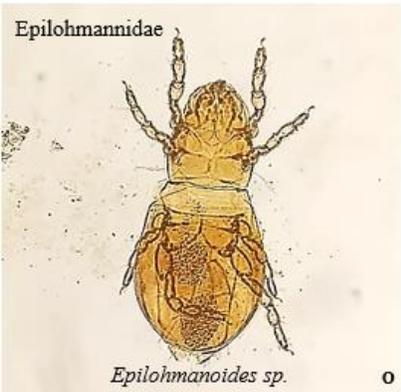
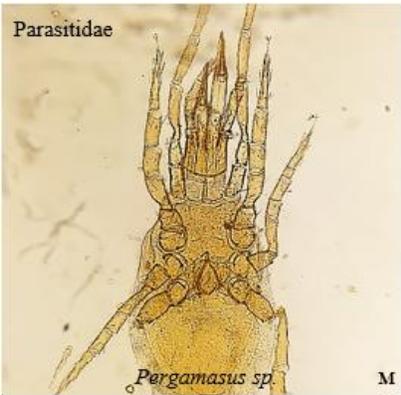
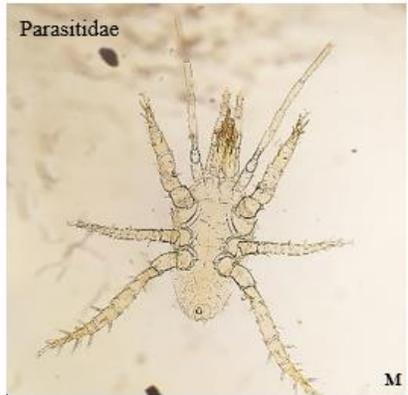
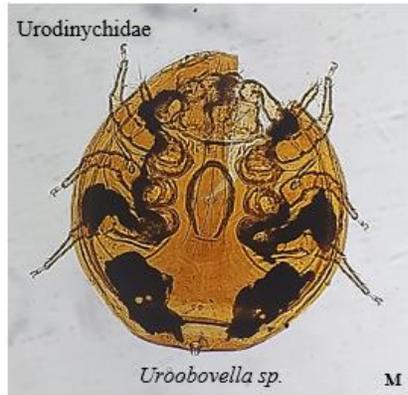
De la Clase Collembola (Tabla 7) se identificaron las siguientes especies: *Lepidocyrtus* sp., *Pseudosinella* sp., *Seira* sp., *Folsomides* sp., *Folsomia* sp., *Folsomina onychiurina*, *Isotomides* sp., *Proisotoma frisoni* y *Proisotoma* sp. del orden Entomobryomorpha; mientras que para el orden Poduromorpha se identificaron las especies: *Ceratophysella* sp., *Willemia* sp. y *Xenillodes* sp. Los géneros encontrados en los tres sitios de muestreo fueron Folsomides, Proisotoma sp. y Ceratophysella, mismos que presentaron las mayores abundancias de esta clase, siendo el género Proisotoma el más abundante, con 45 individuos, siendo más abundante en el sitio S-1, el género Folsomides presentó una abundancia total de 44 individuos, siendo más abundante en el sitio S-2 (23 individuos) y el género Ceratophysella presentó una abundancia total de 36 individuos con mayor abundancia en el sitio S-2.

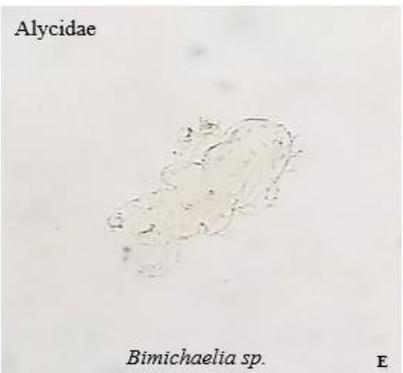
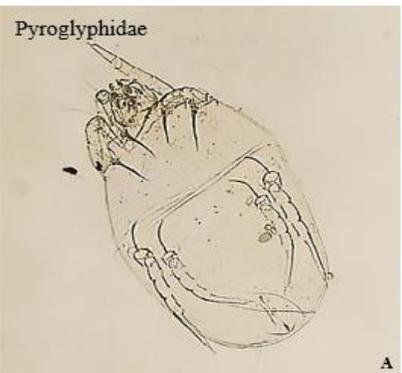
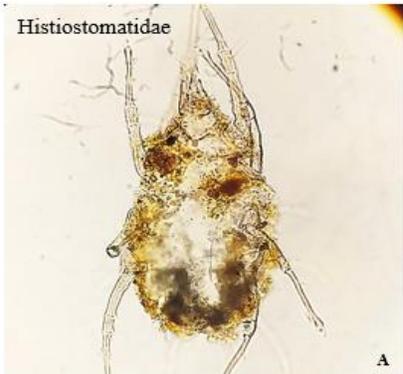
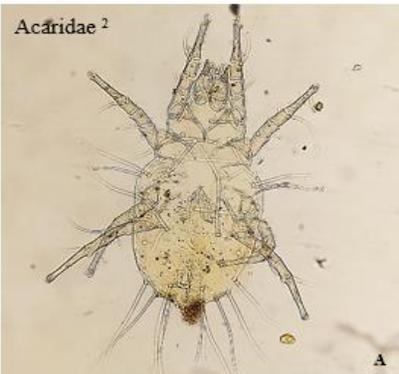
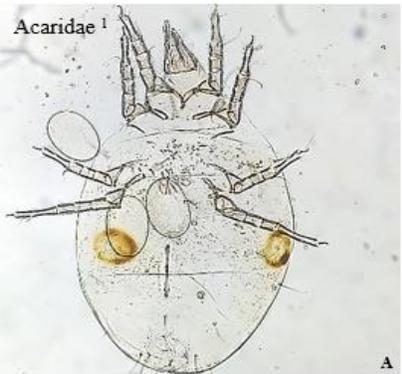
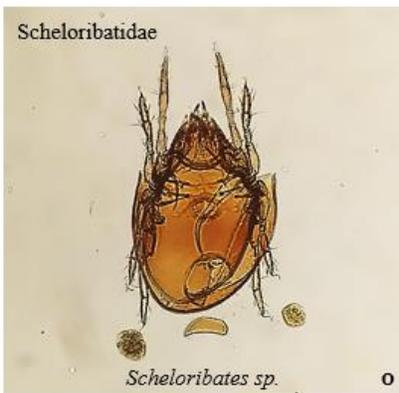
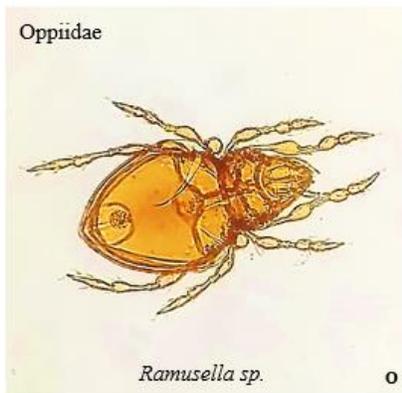
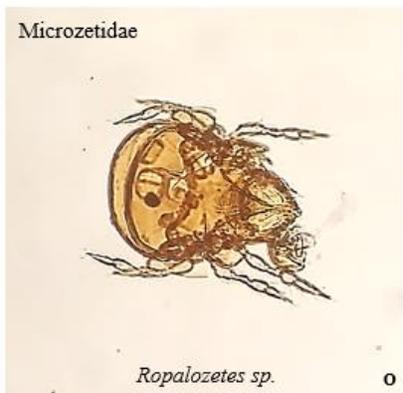
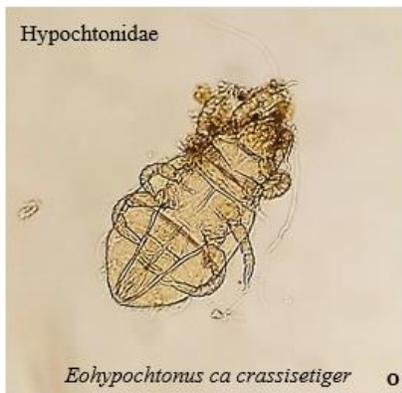
**Tabla 7.** Distribución y abundancia de familias, géneros o especies de la Clase Collembola encontrados en el rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.

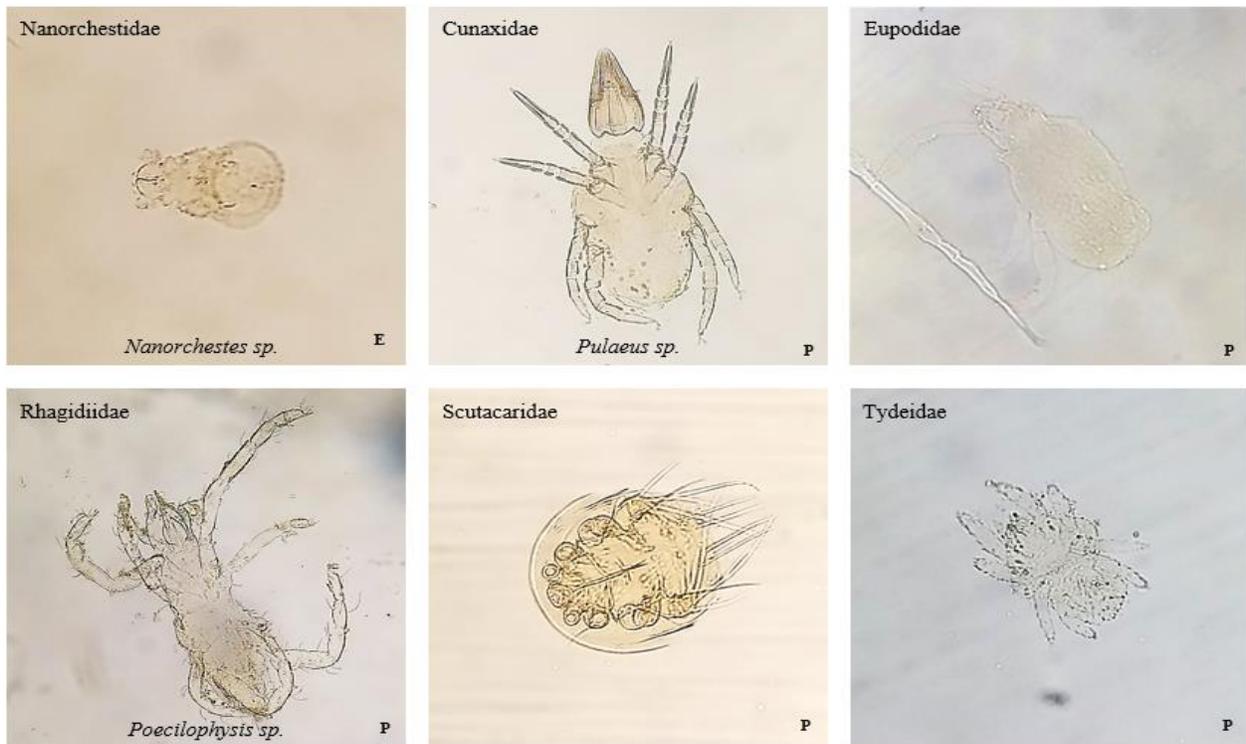
Clase Collembola				Sitios de Muestreo			Total
Orden	Familia	Género	Especie	S-1	S-2	S-3	
<b>Entomobryomorpha</b>				<b>43</b>	<b>54</b>	<b>35</b>	<b>132</b>
	Entomobryidae***						
		<i>N ID</i>		3	0	4	7
		<i>Lepidocyrtus</i> ***		0	9	0	9
		<i>Pseudosinella</i> ***		0	3	0	3
		<i>Seira</i> ***		0	1	0	1
	Isotomidae***						
		<i>Folsomides</i> ***		11	23	10	44
		<i>Folsomia</i> ***		0	2	0	2
		<i>Folsomina</i> ***					
		<i>onychiurina</i> ***		2	2	0	4
		<i>Isotomides</i> *		1	0	14	15
		<i>Proisotoma</i> ***					
		<i>N ID</i>		24	14	7	45
		<i>frisoni</i> ***		2	0	0	2
<b>Poduromorpha</b>				<b>13</b>	<b>22</b>	<b>42</b>	<b>77</b>
	Hypogastruridae***						
		<i>Ceratophysella</i> ***		12	15	9	36
		<i>Willemia</i> *		0	3	5	8
	Odontellidae***						
		<i>N ID</i>		0	0	7	7
		<i>Xenyllodes</i> ***		0	0	14	14
	Onychiuridae***						
		<i>N ID</i>		0	3	1	4
	Tullbergiidae***						
		<i>N ID</i>		1	1	6	8
<b>TOTAL</b>				<b>56</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>209</b>

\* registro en México; \*\* registro en Oaxaca; \*\*\* registro en Santa María Huatulco o regiones aledañas al área de estudio; N ID No Identificado.

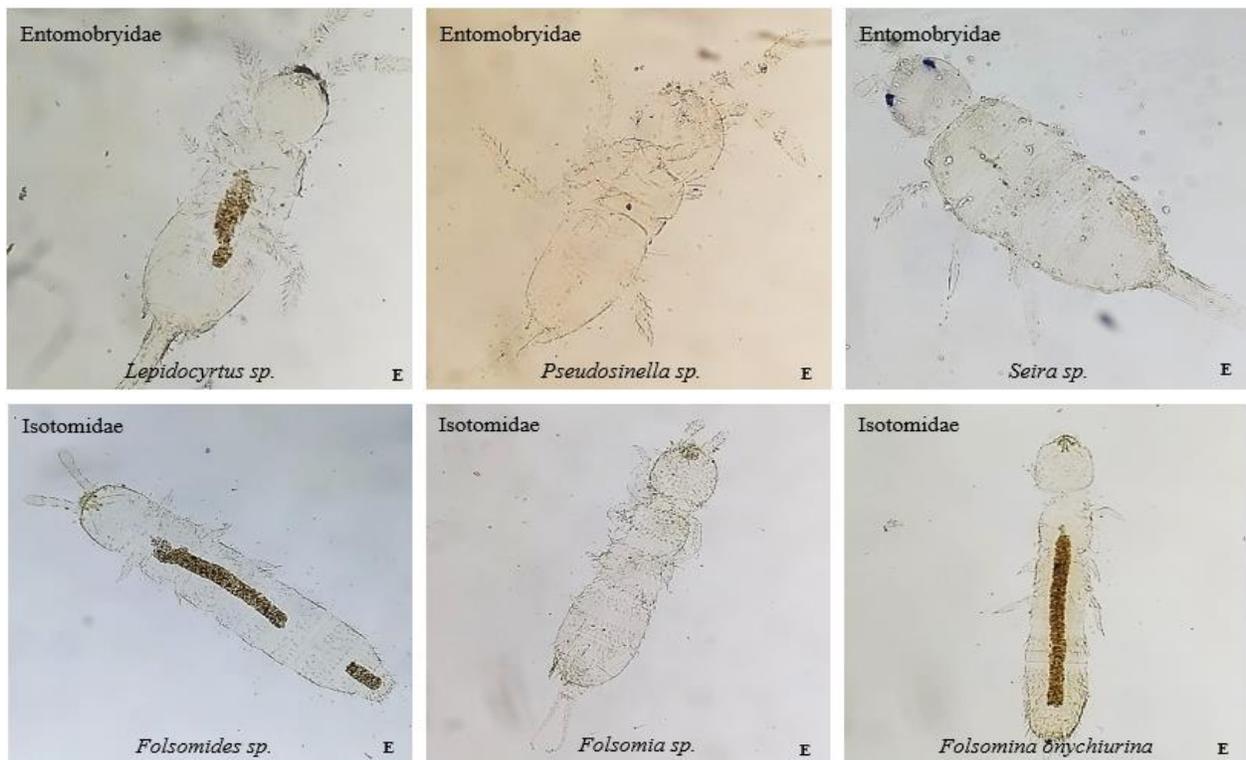
Enseguida se muestran las fotografías correspondientes a las familias de artrópodos encontradas en el rancho cafetalero “San Nicolás”. Se encuentran las familias, géneros y especies identificadas de la clase Acari (Fig. 10) y la clase Collembola (Fig. 11); también se muestran otras clases taxonómicas (Fig. 12).

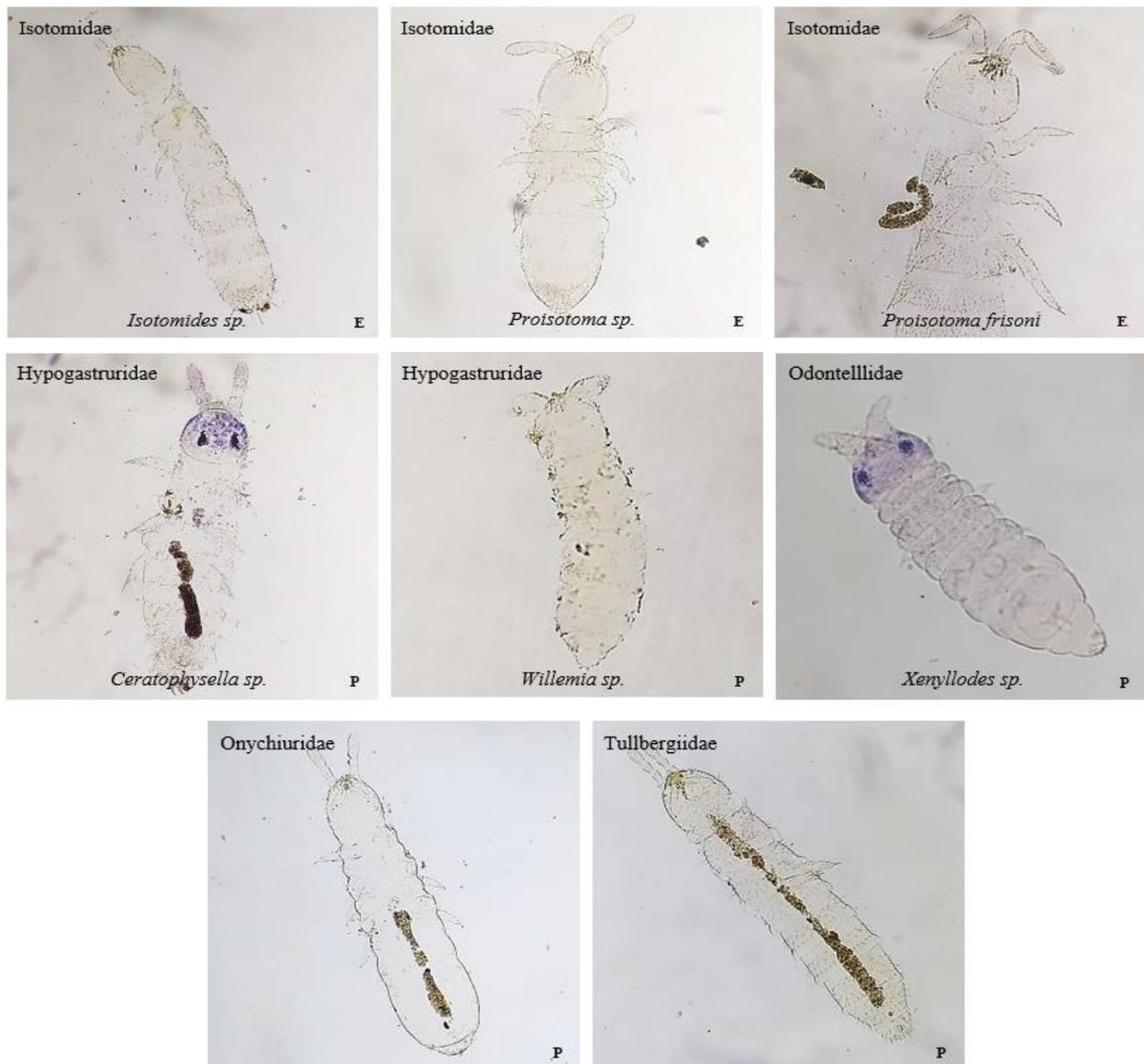






**Figura 10.** Ácaros del suelo del rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca. Para diferenciar a los diferentes grupos se les asignó una letra de la siguiente manera: M) Mesostigmata, Op) Opilioacarida, O) Oribatida, A) Astigmata, E) Endeostigmata y P) Prostigmata.





**Figura 11.** Colémbolos del suelo del rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca. Para diferenciar ambos grupos se les asignó una letra de la siguiente manera: E) Entomobryomorpha y P) Poduromorpha.



**Figura 12.** Artrópodos del suelo del rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca. Clase Insecta: a, b, c, d, e, f, g, h. Clase Arachnida: i, j. Clase Copepoda: k. Clase Diplura: l.

**Densidad, diversidad, dominancia y equitatividad.** El valor más alto de diversidad se registró en el sitio S-2 ( $H' = 2.93$ ), mismo donde se registró el mayor número de individuos (225 ind.), también se registró el valor más alto de equitatividad ( $J' = 0.824$ ) y el valor más bajo de dominancia (0.077). El segundo valor más alto de diversidad se registró en el sitio S-3 ( $H' = 2.92$ ), mismo que no difiere considerablemente con el sitio S-2, ya que, aunque no presentó la mayor abundancia, si presentó la mayor riqueza de familias (38 familias). Por su parte, el sitio S-1 presentó el valor más bajo de diversidad ( $H' = 2.4$ ), mismo donde se registró el menor número individuos (152 ind.) y la menor riqueza de familias (29 familias), también se registró en este sitio el valor más bajo de equitatividad ( $J' = 0.709$ ) y el valor más alto de dominancia (0.155) (Tabla 8).

**Tabla 8.** Densidad, riqueza específica, índice de diversidad de Shannon-Wiener, índice de dominancia de Simpson y Equidad de Pielou para las familias obtenidas por sitio de muestreo.

Sitio de Muestreo	No. Individuos (50 gr suelo)	Riqueza específica	Índice de Shannon $H'$	Índice de Simpson $\lambda$	Índice de Pielou $J'$
S-1	152	29	2.4	<b>0.155</b>	0.709
S-2	<b>225</b>	36	<b>2.93</b>	0.077	<b>0.824</b>
S-3	203	<b>38</b>	2.92	0.083	0.802

**Similitud de Jaccard.** El coeficiente de similitud de Jaccard expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, aplicado en este estudio, de acuerdo a los valores del coeficiente de similitud por sitio, el sitio S-2 y el sitio S-3 presentaron un 40.3 % de similitud, cercano a este porcentaje se registró la similitud entre el sitio S-1 y S-2 en un 39.1%, mientras que el sitio S-1 y S-3 presentaron la menor similitud en un 28.8%. Esto indica que el sitio S-2, siendo el sitio medio, en cuanto a familias de artrópodos presentó similitud tanto con el sitio S-1 como con el sitio S-3, siendo ligeramente más similar con este último (Tabla 9).

**Tabla 9.** Coeficiente de similitud de Jaccard aplicado a las familias de artrópodos entre los tres sitios de muestreo.

%	S-1	S-2	S-3
S-1		39.1	28.8
S-2	39.1		40.3
S-3	28.8	40.3	

## Evaluación de sostenibilidad en el rancho cafetalero “San Nicolás”

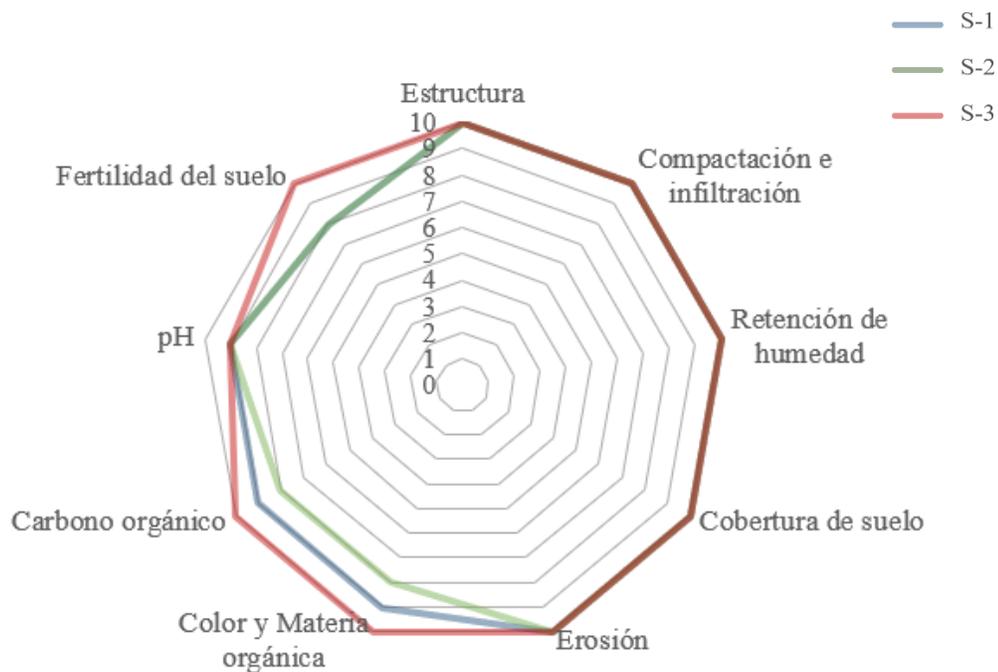
Los sitios de muestreo presentaron promedios altos en los tres aspectos evaluados con un promedio general de 8.6, es decir, los tres sitios se mantuvieron por encima del umbral de sostenibilidad. El sitio S-3 fue el que presentó los promedios más altos tanto en calidad del suelo, biología del suelo y salud del cultivo (9.9, 8.2 y 9.2 respectivamente). Respecto a la calidad del suelo y salud del cultivo, el sitio S-2 presentó los promedios más bajos (9.2 y 8.8 respectivamente), mientras que, en la biología del suelo, el promedio más bajo se atribuyó al sitio S-1 (6.7) (Tabla 10).

**Tabla 10.** Valores asignados a los indicadores de calidad de suelo, biología del suelo y salud de cultivo en los tres sitios de muestreo del rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca.

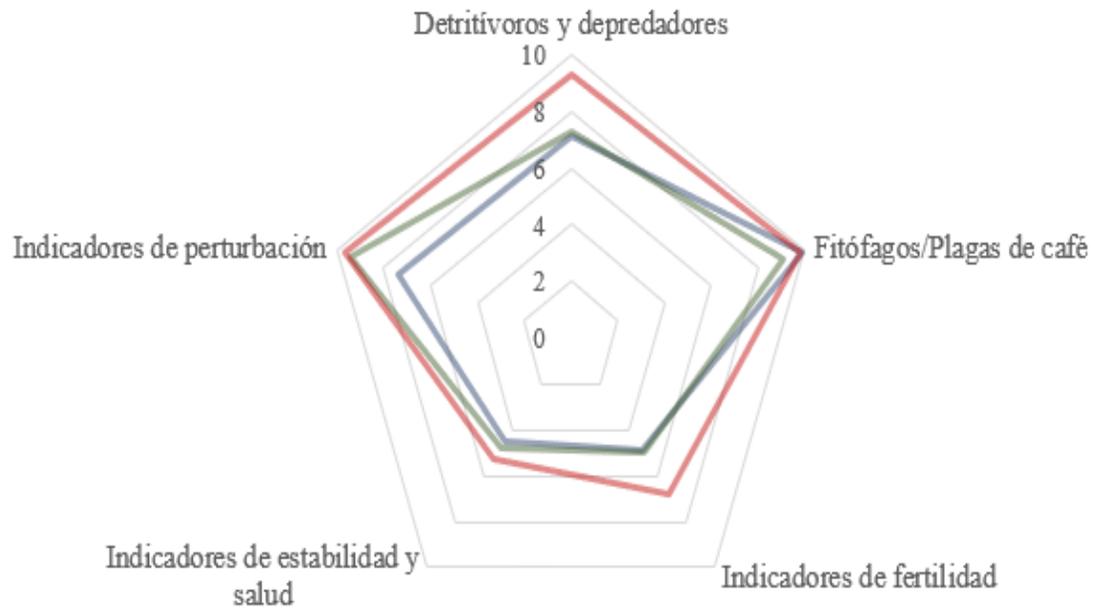
<b>Indicadores</b>	<b>Valor</b>		
	<b>S-1</b>	<b>S-2</b>	<b>S-3</b>
<b>Calidad del suelo</b>			
Estructura	10	10	10
Compactación e infiltración	10	10	10
Retención de humedad	10	10	10
Cobertura de suelo	10	10	10
Erosión	10	10	10
Color y Materia orgánica	9	8	10
Carbono orgánico	9	8	10
pH	9	9	9
Fertilidad del suelo	8	8	10
<b>Promedio</b>	<b>9.4</b>	<b>9.2</b>	<b>9.9</b>
<b>Biología del suelo</b>	<b>S-1</b>	<b>S-2</b>	<b>S-3</b>
Detritívoros y depredadores	7.1	7.3	9.3
Fitófagos/Plagas de café	9.9	9.1	9.8
Indicadores de fertilidad	4.9	5	6.8
Indicadores de estabilidad y salud	4.5	4.8	5.3
Indicadores de perturbación	7.4	9.4	9.7
<b>Promedio</b>	<b>6.76</b>	<b>7.12</b>	<b>8.2</b>
<b>Salud del cultivo</b>	<b>S-1</b>	<b>S-2</b>	<b>S-3</b>
Apariencia	9	8	9
Crecimiento del cultivo	9	8	8
Competencia por malezas	8	9	9
Diversidad vegetal	10	10	10
Diversidad actual circundante	10	9	10
<b>Promedio</b>	<b>9.2</b>	<b>8.8</b>	<b>9.2</b>
<b>Promedio general por sitio de muestreo</b>	<b>8.5</b>	<b>8.4</b>	<b>9.1</b>

En los gráficos radiales (Figura 10) se observa el comportamiento de los diferentes indicadores en cada sitio de muestreo permitiendo analizar las fortalezas y debilidades de cada uno. Respecto a la calidad del suelo, destaca el sitio S-3 con una ameba más cercana al borde exterior, que, a diferencia de los otros dos sitios, los indicadores de fertilidad (CIC), materia orgánica y carbono orgánico presentan un mayor puntaje, lo que a su vez pudo también favorecer el mayor promedio de los otros aspectos. En cuanto a salud del cultivo en el sitio S-2 se necesitan hacer algunas mejoras en cuanto a la diversidad actual circundante, así como también reconocer el problema que conlleva a un menor puntaje en el indicador de apariencia del cultivo. Por otro lado, el gráfico de la biología del suelo muestra al sitio S-1 con deficiencias en las cuales se debe trabajar pues se indica un menor puntaje a causa de una mayor presencia de indicadores de perturbación y una baja presencia de indicadores de estabilidad y salud del medio edáfico. Tanto el sitio S-1 como el sitio S-2 comparten un puntaje similar en cuanto a los indicadores de fertilidad y detritívoros/depredadores, siendo los más bajos.

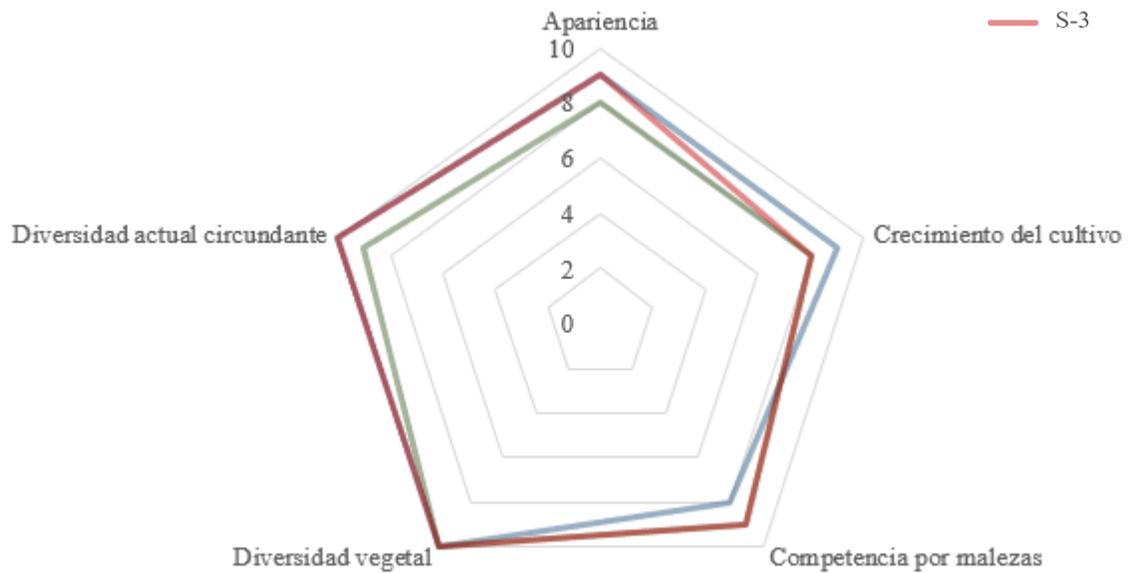
**a) Calidad física y química del suelo**



b) Calidad biológica del suelo



c) Salud del cultivo



**Figura 10.** Gráficos radiales representativos del estado de salud por sitio de muestreo en el rancho cafetalero “San Nicolás” de San Pedro Cafetitlán, Oaxaca. a) calidad física y química del suelo, b) calidad biológica y c) salud del cultivo.

## DISCUSIÓN

La presente investigación es la segunda en realizar una caracterización física y química del suelo en agroecosistemas cafetaleros de San Pedro Cafetiltán, contribuye por primera vez al conocimiento de la artropofauna edáfica en esta área y aporta nuevos registros de géneros y especies de artrópodos del suelo para el estado de Oaxaca y el país.

Respecto a los valores obtenidos en relación a la caracterización física y química del suelo en el rancho cafetalero “San Nicolás”, los sitios S-1, S-2 y S-3 no presentaron marcadas diferencias entre ellos y se encontraron dentro de los valores propicios para el buen desarrollo de los cafetos de acuerdo a Coste (1963), Uriostegui (2006), López-Carmona *et al.* (2021). Respecto a la fertilidad física, el suelo de la finca se caracterizó por una clase textural de tipo franco-arenosa; este tipo de suelos francos con mayor porcentaje de arenas también ha sido registrado en zonas cafetaleras del estado de Oaxaca (Correa-Pérez *et al.*, 2014; Rosas *et al.*, 2008) y en otros estados como Chiapas (González-Barrios *et al.*, 2011), Veracruz y Puebla (Contreras *et al.*, 2009) donde también se cultiva el café en zonas de ladera. Los suelos francos son considerados óptimos para la producción agrícola y se caracterizan por presentar un porcentaje ideal de las tres fracciones (arena, arcilla y limo) para una buena retención de agua, alta CIC y buena disponibilidad de agua y aire para las plantas (Castellanos *et al.*, 2000; Correa-Pérez *et al.*, 2014; López-Carmona *et al.*, 2021). En especial, Coste (1963) por su parte menciona que los suelos de tipo franco y de profundidad alta (mínimo de 1 m) son óptimos para los cafetos ya que poseen un sistema radicular que alcanza gran extensión, lo que puede permitirle aprovechar un volumen mayor del suelo y así paliar una relativa pobreza de elementos fertilizantes. Sin embargo, Canseco *et al.* (2020) agrega también que las clases texturales francas con tendencia a arenas pueden ser susceptibles a la erosión hídrica y estar más propensos a fuertes lavados de nutrientes, lo cual es importante considerar en estas regiones donde los cafetos se encuentran en zonas de ladera.

La textura del suelo tiene una estrecha relación con los porcentajes de porosidad obtenidos, los cuales fueron en promedio del 49% entre los tres sitios de muestreo. Domínguez (2005) menciona que para suelos franco-arenosos se estima que el porcentaje de porosidad óptimo es de 43 a 47% para asegurar con mayor facilidad sus funciones de captar, almacenar y transportar el agua hacia las plantas. Esto fue similar a lo reportado por González-Barrios *et al.* (2011) (porosidad alrededor del 43%) en suelos cafetaleros de textura franca-arenosa del estado de Chiapas. En este estudio los porcentajes fueron ligeramente más altos, pero esto puede variar por otros factores como la materia orgánica y la actividad biológica, esta última dada principalmente por la mesofauna (Domínguez, 2005; González-Barrios *et al.*, 2011).

En cuanto a la densidad aparente del suelo, de acuerdo a Sadeghian *et al.* (2019), se obtuvieron valores bajos. González-Barrios *et al.* (2011) reportaron un valor similar en un suelo cafetalero del estado de Chiapas (1.02 g cm<sup>3</sup>), determinaron que los suelos que presentaron porcentajes de materia orgánica más altos estuvieron asociados con valores bajos y moderados de densidad aparente. Algo similar fué reportado por Larios-González *et al.* (2014) en Nicaragua, al observar valores más bajos de densidad aparente en cafetales que mantenían un sistema de producción agroecológico, esto se explica ya que la densidad aparente es afectada por las partículas sólidas y el espacio poroso, el cual a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica, a medida que esta aumenta, aumenta el espacio poroso y la densidad aparente tiende a disminuir, por el contrario, en un suelo con menor materia orgánica y a su vez con mayor compactación, el espacio poroso disminuye, aumentando la densidad aparente llegando a ocasionar afectaciones al cultivo limitando el crecimiento de las raíces (Salamanca y Sadeghian, 2005).

La humedad del suelo es uno de los factores de la producción que más influyen en el cultivo de café ya que los ciclos de crecimiento, floración y cosecha del café están especialmente sincronizados por la disponibilidad de agua en el suelo y está en función de la distribución de la lluvia dentro del cultivo, de la densidad de siembra, distribución de su área foliar, de la demanda evaporativa de la atmósfera, la pendiente del terreno y de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo (Arcilla-Pulgarín y Jaramillo-Robledo, 2003; Ramírez-Builes *et al.*, 2010).

En el rancho cafetalero “San Nicolás” se encontró en porcentajes relativamente bajos, de 14 - 17%. Sadeghian *et al.* (2019) mencionan que cuando el porcentaje de humedad es menor al 20% se considera limitante para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, Canseco *et al.* (2020) registró valores más bajos entre 2.69% a 5.18% de humedad en suelos cafetaleros de Santa María Huatulco, reportándose como “porcentajes bajos” y que estos valores podrían estar en función a la textura del suelo, la cual fue arenofrancia y franco-arenosa además de ser suelos con altas pendientes, contribuyendo a que esta humedad no sea retenida por mucho tiempo en el suelo. Además, es importante considerar en nuestro estudio que los valores de humedad obtenidos puedan también estar en función a la temporada climática en la que se llevó a cabo el estudio, la cual fue temporada de secas. A pesar de ello, se consideraría un suelo con buen porcentaje de humedad ya que también estos suelos se ven favorecidos durante esta temporada seca por el rocío proveniente del mar, pues representa un aporte hídrico para los cafetos (Coste, 1963), de tal manera que, de acuerdo al testimonio del sr. Manuel Díaz, en el rancho San Nicolás ya no necesitan hacer riegos durante estas temporadas “pues el suelo se mantiene húmedo y los cafetos se mantienen saludables, de buen aspecto y mantienen la producción”.

En cuanto la fertilidad química del suelo del rancho “San Nicolás”, esta se caracteriza por presentar suelos moderadamente ácidos de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Estos valores difieren con lo registrado por Correa-Pérez *et al.* (2014) en suelos de ranchos cafetaleros de San Pedro Cafetiltán, reportando valores de pH ligeramente ácidos (6.25 - 6.35), por otro lado, estudios como el de Rosas *et al.*, 2008 en cafetales de Oaxaca y el de Canseco *et al.*, 2020 en cafetales de Santa María Huatulco se han registrado pH más ácidos ( $\leq 5.0$ ) (Rosas *et al.*, 2008; Canseco *et al.*, 2020). De acuerdo a Coste (1963), INMECAFE-Nestlé (1990), Duicela (2011), Loli (2012), Sadeghian *et al.* (2019) reportan que el pH óptimo del suelo para el cultivo del café está en el rango de 5.0 a 6.5 puesto que así puede existir actividad de microorganismos que mineralizan la materia orgánica dejando disponible la mayoría de los nutrientes para las plantas, especialmente N, P y S (Loli, 2012).

La presencia de pH ácido podría estar relacionada con dos factores, por un lado las muestras de suelo se tomaron cerca de la rizosfera, Noriega *et al.* (2014) menciona que en estas zonas el pH disminuye por las excreciones de la raíz producto de la actividad microbiana, así la formación de ácidos orgánicos por la raíz abate el pH, por otro lado, hay que considerar la inclinación del terreno, la cual, debido a la pluviometría, el agua disuelve las bases solubles evitando su reciclaje y eliminándolas del suelo a través de la erosión y lixiviación (Larios-González *et al.*, 2014; Noriega *et al.*, 2014).

INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) indica que sólo es necesario hacer algún tipo de corrección cuando los valores de pH sean inferiores a 4.0 ya que se dificulta la nutrición de los cafetos, afectando el rendimiento, incluso, valores inferiores podrían estar relacionados también con la presencia de aluminio intercambiable causando toxicidad al cultivo (Castellanos *et al.*, 2000; Loli, 2012). En cuanto a la cantidad de sales en el suelo, los valores de conductividad se encontraron en un rango óptimo para los cafetos. De acuerdo a Sadeghian *et al.* (2019), Coste (1963), Gómez-González *et al.* (2017) y Canseco *et al.* (2020) el café no tolera suelos salinos; valores por encima de 1,1 dS/m afectan el crecimiento del café, limitando la absorción de agua por parte de las plantas (Sadeghian *et al.*, 2019; Castellanos *et al.*, 2000). Valores bajos de conductividad también han sido reportados en suelos cafetaleros de Oaxaca (Canseco *et al.*, 2020) y Chiapas (Gómez-González *et al.*, 2017).

Los valores de MO varían en el rango de 4.4% a 6%, con una tendencia en aumento en zonas más bajas de la ladera. Lo que clasifica a estos suelos con altos a muy altos contenidos de MO. Correa-Pérez *et al.* (2014) reporta promedios de MO en suelos cafetaleros de San Pedro Cafetiltán del 5%; Rosas *et al.* (2008), Noriega *et al.* (2014) y Canseco *et al.* (2020) reportan promedios de 5.4%, 5.14% y 5% de MO respectivamente para

suelos cafetaleros de Oaxaca, los cuales concuerdan con lo obtenido en el estudio. Estos valores son considerados “altos” de acuerdo con la NOM y pueden verse reflejados gracias a la combinación de especies vegetales pues influyen en el suministro continuo de materia orgánica al suelo por los árboles de sombra.

Acorde a los porcentajes de MO, se obtuvieron valores con alto a muy alto contenido de carbono orgánico con promedio de 2.9%, esto es similar a lo reportado por Marín (2006) en suelos cafetaleros de Santa María Huatulco quien obtuvo promedios de 2.2%, sin embargo, estos valores difieren de otros suelos cafetaleros como en el estudio de Larios-González *et al.* (2014) donde los valores oscilan entre 4.2% a 5.4%, siendo más altos que los del estudio, lo cual puede deberse al gran aporte de elementos orgánicos que reciben los suelos al ser abonados por parte de los agricultores sumado al aporte de los árboles de sombra y los mismos cafetales. El carbono es uno de los elementos principales de la MO y resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida del carbono en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y procede fundamentalmente de la descomposición de la biomasa formada por la transformación fotosintética del CO<sub>2</sub> atmosférico, interviniendo en la fertilidad del suelo y contribuyendo indirectamente a mitigar los efectos del calentamiento global al fijarse este elemento en el suelo (Larios-González *et al.*, 2014).

Otro factor relevante es la capacidad de intercambio catiónico, la cual presentó valores de “medios a “altos” (24 - 32 cmol/kg); de acuerdo a la NOM, cuando se registran valores de CIC mayores a 25 se consideran suelos que tienen abundante reserva nutrimental. Larios-González *et al.* (2014) describe que entre más alta es la CIC, más capacidad tiene el suelo en retener cationes y proveer una adecuada nutrición a los cultivos.

Los elementos nutritivos que el cafeto requiere en mayor cantidad son: N, P y K, y en menores cantidades: Ca, Mg, S, Cl, Zn, Mn, B y Cu, la carencia de alguno de estos nutrientes afecta su crecimiento y desarrollo (Duicela, 2011). Respecto al contenido de N total, se obtuvieron valores considerados como “muy altos” de acuerdo a la NOM debido posiblemente a los altos contenidos de materia orgánica. Valores similares fueron reportados por Canseco *et al.*, 2020, con un promedio de 0.27% y Contreras *et al.* (2019) en su estudio de prácticas agroecológicas en cafetales reporta valores promedio de 0.22%, donde a su vez menciona altos rendimientos y productividad. Sin embargo, se consideran bajos en contraste con lo reportado por Larios-González *et al.* (2014) quienes encontraron valores de 0.5% en sistemas con prácticas agroecológicas y 0.35% en sistemas convencionales.

Por otro lado, la relación C/N permite la estimación de los procesos que regulan la disponibilidad de N proveniente de la descomposición de la MO (George, 2006). En el presente estudio la relación C/N de los

tres sitios se califica como media de acuerdo a la clasificación propuesta por Kass (1996) lo que significa que hay un suministro normal de nutrimentos por la descomposición de la MO (George, 2006).

En cuanto a las bases intercambiables, los niveles adecuados para el café son: Ca mayor de 3,0 cmol/kg y Mg mayor a 0,9 cmol/kg. En nuestro estudio se reportan valores altos de Ca (14.5 - 17 cmol/kg) y valores variables de Mg (0.2 - 2.8 cmol/kg), donde solo los sitios S1 y S2 presentan cantidades óptimas de este elemento de acuerdo a Sadeghian *et al.* (2019). Estos resultados a comparación de otros estudios como el de Rosas *et al.* (2008) fueron altos puesto que el Ca y el Mg los reportaron en bajas concentraciones (Ca= <2 cmol/kg y Mg= <0.5 cmol/kg).

En este estudio no se llevaron a cabo análisis relacionados con la calidad física y sensorial del grano de café, sin embargo, como un aporte a este estudio, un aspecto importante a resaltar es la importancia que tienen las propiedades químicas del suelo sobre estos aspectos. Escamilla *et al.* (2015) llevaron a cabo una evaluación de características físicas y sensoriales del café de la variedad Pluma Hidalgo donde mencionan que su característica relevante es la alta calidad física y sensorial del grano y la bebida, predominando las fragancias chocolates, frutales y caramelos; aroma: caramelo, chocolate, nuez y frutal; sabor: nuez, frutal, caramelo, chocolate y especiado; resabio: chocolate, frutal, nuez y especiado.

Al respecto, Rosas *et al.* (2008) analizaron la relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico de distintas fincas cafetaleras en México con un método descriptivo-cuantitativo de evaluación sensorial de acuerdo con la NOM-147-SCFI-2001. Determinaron que aquellos suelos con altas concentraciones de Calcio (19.2 cmol) se relacionaban con fragancia fenólica (ahumada) y concentraciones bajas de Mg (0.9 cmol/kg) se asociaron con fragancias a chocolates, cifras similares a las de este estudio, así mismo, atribuyeron el aroma de la infusión nuez y chocolate a las bajas concentraciones de Mg. Por otro lado, La MO y el N mostraron influencia en el atributo nariz o sabor de la infusión, donde se encontró que en concentraciones similares a las nuestras (4 - 6.06%) se identificaron sabores caramelos, frutales y pirolíticos. También observaron una tendencia de bajas cantidades de Fe (1 mg kg<sup>-1</sup>) están asociadas a fragancias pirolíticas que, de acuerdo con Escamilla *et al.* (2015) son consideradas como indeseables, sin embargo, el análisis realizado para suelos cafetaleros de Oaxaca presentó valores altos de Fe (36 mg Kg) lo que aporta fragancia tipo nueces. Ante esto, Correa-Pérez *et al.*, 2014 menciona que los suelos de San Pedro Cafetiltán son suelos de origen volcánico, ricos en fierro. Si consideramos la relación entre ambos estudios se puede observar que concuerdan las concentraciones de nutrientes que tiene el suelo del rancho “San Nicolás” con algunas características sensoriales determinadas para el café Pluma Hidalgo,

sin embargo, se necesitaría llevar a cabo un estudio general en San Pedro Cafetitlán para evaluar la calidad del grano que se produce y así contribuir a la mejora de esta.

Respecto a la artropofauna del rancho San Nicolás, todas las familias de artrópodos identificadas en este estudio han sido reportadas en México, sin embargo no todas han sido reportadas en el estado de Oaxaca como es el caso de algunas familias pertenecientes a la Clase Acari tales como: Ascidae, Digamasellidae, Urodinychidae, Ologamasidae y Rhodacaridae del orden Mesostigmata; Pyroglyphidae del orden Astigmata; Alycidae y Nanorchestidae del orden Endeostigmata; Cunaxidae, Eupodidae, Rhagidiidae, Scutacaridae y Tydeidae del orden Prostigmata, esto de acuerdo al acervo electrónico de la colección científica del Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la UNAM, catálogos y artículos relacionados (Palacios-Vargas, 1997; Marín, 2006; Palacios e Iglesias, 2008; Bernal *et al.*, 2009; Palacios-Vargas, 2014; Pérez *et al.*, 2014; Chaires-Grijalva *et al.*, 2015; Vázquez, 2021).

Una razón por la que estas familias no han sido reportadas es porque generalmente en estudios sobre microartrópodos del suelo el enfoque principal es hacia la clase Collembola y al orden Oribatida de la Clase Acari al ser los grupos de mayor diversidad y abundancia que por ende tienen una mayor participación en el sistema edáfico (Johnston, 2000; Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007), lo que hace que la información generada sea uno de los primeros reportes de estas familias en estos agroecosistemas cafetaleros de Oaxaca.

Los géneros *Isotomides* y *Willemia* de la clase Collembola son reportados por primera vez en este estudio para el estado de Oaxaca, respecto a la clase Acari, todos los géneros identificados con excepción de *Ramusella* y *Schelorbates* no habían sido reportados. En cuanto a las especies identificadas en este estudio, *Hypochtonius ca luteus*, *Eohypochtonus ca crassisetiger* y *Mesoplophora longiseta* de la clase Acari no habían sido reportadas anteriormente en estudios para México (Palacios-Vargas, 1997; Marín, 2006; Bernal *et al.*, 2009; Naturalista, 2023; Listado de la colección de ácaros y colémbolos, UNAM).

La mayoría de los artrópodos recolectados se consideran benéficos para este agroecosistema cafetalero. Los grupos más abundantes fueron Acari y Collembola, lo cual es normal puesto que se ha mencionado por otros autores que son los principales representantes de la mesofauna del suelo (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 2007; Socarrás, 2013). Esta gran abundancia puede estar determinada por la alta diversidad taxonómica de estos grupos o también por la heterogeneidad de recursos que brinda la variedad de especies vegetales que hacen parte del sombrero en el rancho cafetalero (González, 2007).

Entre la clase Acari, los oribatidos son los ácaros más comunes que habitan los suelos junto a la clase Collembola, por lo cual varios trabajos se centran en su estudio en los suelos. En general, en el rancho cafetalero “San Nicolás” los colémbolos representan el 36% del total de artrópodos siendo mayor que la proporción de ácaros oribátidos, los cuales representan el 20.5%. Estas proporciones difieren con lo reportado por otros estudios donde predominó la abundancia de ácaros oribátidos ante los colémbolos, cabe resaltar que los agroecosistemas de los estudios mencionados poseen un sistema más tecnificado que el de este estudio. Al respecto, Cabrera-Mireles *et al.* (2019) reportaron la presencia de un mayor número de colémbolos a diferencia de ácaros oribátidos en un sistema mínimo tradicional de mango manila, mientras que en un sistema más tecnificado se demostró una mayor abundancia de ácaros oribátidos, por lo que enfatizan el uso de estos organismos como bioindicadores de conservación/perturbación de los suelos ya que los oribátidos suelen ser más abundantes en sistemas perturbados debido a su capacidad de adaptación a los ambientes alterados mientras que los colémbolos, son más susceptibles a las perturbaciones del medio por tener cuerpos blandos (Socarrás, 2013; Cabrera-Mireles *et al.*, 2019).

Varios son los autores que consideran a los colémbolos como bioindicadores de la calidad y salud del medio edáfico señalando que la mayor presencia de este grupo está asociada con prácticas de manejo ecológicas con bajo o nulo uso de agroquímicos (Uribe-Hernández *et al.*, 2010; Socarrás, 2013; Ortíz, 2016). Además, estos organismos son muy importantes al ser controladores naturales de plagas en agroecosistemas, por ejemplo, Camacho (2020) estudió el rol de este grupo como biocontrolador de diferentes hongos patógenos de plantas de los géneros *Gaeumannomyces*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*. Específicamente en el café, *Fusarium* spp, es un hongo que invade las raíces, destruyéndolas progresivamente (Ortiz, 2016); ante esto, los géneros *Proisotoma* spp. de la clase Collembola han sido reportados como controladores de estos hongos y fueron encontrados en gran abundancia en este estudio. En cuanto a las familias más abundantes encontradas mediante el método de flotación destaca Isotomidae (Collembola) (20.5%), esta familia ha sido reportada también con mayor abundancia por otros estudios como Bernal (2006), González (2007), García (2009) y Cabrera-Mireles *et al.* (2019), puesto que es una familia que presenta una gran riqueza de especies y de amplia distribución (Palacios-Vargas, 2014).

Posterior a esta familia, le sigue en abundancia la familia Acaridae (10.1%) de la clase Acari. Estos organismos no han sido reportados en suelos cafetaleros como es el caso de estudios como el de Bernal (2006), Bernal *et al.* (2009) y Marín (2006), sin embargo, tienen una gran importancia en los suelos ya que esta familia es considerada una de las principales que interviene en el transporte y distribución de esporas y bacterias (Chaires-Grijalva, 2020).

Mediante las trampas Pitfall, las familias de artrópodos con mayor abundancia fueron Staphylinidae (35.3%) seguido de Gryllidae (29.4%). La abundancia de Staphylinidae puede deberse a que es una familia de gran diversidad de especies y de acuerdo a Cepeda *et al.* (2009) y Jiménez-Sánchez (2009), su presencia se ve influida principalmente por la heterogeneidad del agroecosistema y la humedad, además son considerados bioindicadores al ser depredadores de algunas plagas (pulgones, orugas, gusanos). Respecto a la familia Gryllidae, por lo general son organismos que se encuentran con frecuencia en zonas de abundante vegetación y en suelos con buena humedad (Sermeño-Chicas *et al.*, 2019).

Es posible ver una relación entre las características físicas y químicas del suelo con los artrópodos en nuestro estudio, de manera general, la variedad de especies florísticas de sombra en los cafetales permiten la diversificación de nichos proveyendo alimento y sitios de escondite a la artropofauna fomentando su abundancia y riqueza, pero también es importante resaltar que esto no es continuo en el suelo ya que se conoce una gran variabilidad en los patrones de distribución de artrópodos principalmente determinados por la heterogeneidad del hábitat representada por un mosaico de parches que son el reflejo de la distribución o dispersión de los organismos en respuesta a la variación espacial de factores abióticos y bióticos impuestos por el hábitat (González, 2007). Además, es importante mencionar que la actividad humana y la topografía del terreno son factores que también influyen en esta variabilidad (Ciarlo *et al.*, 2020), en nuestro caso, los cafetales se encuentran en suelos de ladera, mismas que presentan diferentes grados de inclinación y tipo de vegetación circundante, lo que puede crear microclimas distintos en el rancho cafetalero ocasionando así una diferencia en la composición de artrópodos, mismo que se puede ver reflejado en cada sitio de muestreo.

Luciañez y Simón (1991) mencionan que las diversas comunidades de microartrópodos se distribuyen de acuerdo a sus necesidades y tienen preferencias por algún tipo de estrato, por lo que pueden presentar distintas distribuciones en una misma altitud si se encuentran localizadas en pendientes con diferente ángulo de inclinación. Aunque las propiedades físicas y químicas no difirieron en gran medida entre los tres sitios de muestreo, es posible ver una variación de dichos parámetros que puede estar muy relacionada con la posición en la ladera, la inclinación de la pendiente y la vegetación circundante, lo mismo se vio reflejado en la diversidad y grupos de artrópodos en cada sitio en respuesta a estas características.

El sitio S-1 fue el lugar posicionado en la zona más alta de la ladera, yacían cafetales jóvenes, rodeados de una abundante vegetación de sombra y sotobosque a comparación de los otros sitios. La abundancia, riqueza y diversidad de familias fue menor a comparación de los otros dos sitios lo cual puede deberse a su posición en la ladera y la inclinación de la pendiente en esa área. También presentó el valor más alto de dominancia y el más bajo de equidad, que puede estar dado por la mayor predominancia de las familias Isotomidae y

Acaridae con abundancias semejantes (40 y 39 individuos respectivamente) ante las demás familias. Este sitio se caracterizó por la presencia de las familias Acaridae en la técnica de flotación y Staphylinidae en las trampas pitfall pues fué mayor su abundancia a comparación de los otros sitios. Su presencia puede estar asociada con la humedad que fué mayor respecto a los otros sitios y esta pudo favorecerse por la vegetación de sombra que cubría a los cafetos evitando así la tasa de evaporación del agua del suelo (Marín, 2013), por la presencia de vegetación herbácea pues mediante los exudados de las raíces le confiere una mayor humedad al suelo y también por los restos vegetales provenientes de esta vegetación pues contribuyen a la capa de hojarasca que a su vez también ayuda a mantener la humedad (George, 2006; Cabrera-Mireles *et al.*, 2019).

En este sitio la composición florística fue más diversa y pudo mantener más heterogénea la materia orgánica que, aunado con la humedad, puede favorecer la descomposición de restos vegetales, produciendo concentraciones altas de ácidos húmicos, dando como resultado valores más bajos de pH en este sitio (Guillén *et al.*, 2006). Además, se ha observado que la actividad microbiana mejora significativamente con el incremento de la humedad, por ejemplo, Ramos y Zúñiga (2008) observaron una tendencia al aumento de las colonias de bacterias y de hongos al evaluar suelos con porcentajes de humedad de 18%, porcentaje similar a este estudio. Por consiguiente, al haber un porcentaje de humedad adecuado en este sitio, favoreció la presencia de estos microorganismos y a su vez la presencia de grupos fungívoros como Acaridae.

Así mismo fué encontrado un organismo perteneciente a la Clase Copepoda que, por lo general, este grupo es conocido por formar parte importante en el zooplancton de ecosistemas acuáticos, sin embargo también se conoce su presencia, aunque mínima, en suelos de bosques tropicales (Navarro-Rodríguez *et al.*, 2005) que mantienen buena humedad, y es posible que este organismo esté presente en estos suelos gracias a su fácil dispersión llegando a estos suelos mediante el rocío proveniente del mar, fenómeno meteorológico que es común en estas áreas (Trejo, 2004), lo que refleja una vez más el mantenimiento de humedad de estas zonas de forma natural lo cual es de suma importancia para la producción del café sobre todo en la temporada de secas.

Es notable la baja abundancia encontrada de los órdenes oribátida y mesostigmata en este sitio, ambos representan indicadores de buena calidad del suelo al fungir como detritívoros y depredadores respectivamente. Ante esto, autores como Hermsilla *et al.* (1974), Bedano *et al.* (2001), Socarrás y Robaina (2011), citados por Socarrás e Izquierdo (2014), confirman la capacidad de la relación oribátidos/astigmados y astigmados/mesostigmados como indicadores de la calidad de los suelos donde concuerdan que en ambientes donde los astigmados presentan mayor abundancia sobre los oribátidos o mesostigmados pueden

reflejar perturbación en el sistema edáfico al ser organismos que son resistentes ante alteraciones antrópicas a diferencia de los otros dos grupos (Socarrás *et al.*, 2013), sin embargo, en el presente estudio puede tener influencia otro tipo de factores, por ejemplo, Chaires-Grijalva (2020) menciona que los individuos del orden Astigmata suelen agruparse a manera de parches cuando se encuentran los recursos de alimento temporales como fructificaciones de hongos. Si estos tienen una fuente de alimento abundante pudieron aumentar en número en comparación con otras especies de ácaros que dependen de otros recursos, aunado a que posiblemente las bajas densidades de oribátidos y mesostigmados haya estado influenciada por la inclinación del terreno llevando a estos organismos a áreas más bajas de la ladera con mayor disponibilidad de recursos.

El sitio S-2, el sitio medio de la ladera se diferenciaba de los otros al presentar menor inclinación, donde la hojarasca estaba constituida principalmente por restos de los cafetos ahí establecidos. Este sitio presentó el valor más bajo de humedad que pudo relacionarse con la baja densidad de vegetación de sombra lo cual permitía una mayor entrada de luz solar, además de ser un sitio donde la vegetación herbácea era mínima. El pH y las bases intercambiables se presentaron con valores más altos en este sitio seguramente favorecidos por la baja inclinación que permitió una mayor concentración de las bases influyendo en el aumento del pH (Larios-González *et al.*, 2014).

Este sitio se caracterizó por presentar la mayor abundancia de individuos y el valor más alto de diversidad que estuvo dada por la mayor abundancia y mayor riqueza de familias encontradas. Así mismo, se registró el valor más alto de equidad, donde hubo una presencia más equitativa de diferentes grupos funcionales como detritívoros, fungívoros, omnívoros y depredadores, sin embargo, también se encontraron especies rizófagas que solo fueron presentes en este sitio. En relación a esto, fue posible apreciar la abundante presencia de la familia Formicidae, su presencia puede relacionarse con la cercanía de estos cafetos a árboles frutales y al área de producción que seguramente le proporcionaron una alta variedad de recursos alimenticios en este sitio, así mismo, es importante destacar que también hay una alta presencia de áfidos (rizófagos) respecto a los otros sitios, lo que sugiere que posiblemente ambos grupos se encuentren en asociación simbiótica.

La presencia de cochinillas, como es el caso de las familias Coccidae y Pseudococcidae son de especial importancia ya que muchas especies son conocidas como plagas ocasionando importantes daños a la agricultura (Pérez *et al.*, 2015) y es común encontrarlos asociados simbióticamente con la familia Formicidae (Cardenas y Posada, 2001; Delabie *et al.*, 2008; Villegas *et al.*, 2009; Gil-Palacio *et al.*, 2022),

fenómeno conocido como troforesis (LaPolla *et al.* 2002), por lo que posiblemente no sea casualidad haber encontrado un gran número de estos dos grupos de artrópodos (hormigas y cochinillas) en un mismo sitio.

Específicamente en cultivos de café se ha registrado la presencia de este tipo de plagas que afectan principalmente a la raíz. Aunque la identificación no se realizó a nivel especie para estas familias, fue posible observar características morfológicas semejantes con especies registradas por otros autores. Es el caso de Villegas *et al.* (2009) quienes reportan a la especie *Geococcus coffeae* (Green, 1963), la cual comparte semejanzas con los áfidos encontrados en este estudio (familia Coccidae). Uno de los rasgos que, de acuerdo a los autores, es el más distintivo del género, son las setas esclerosadas y curvas en los lóbulos anales. Estos organismos afectan las raíces secundarias del café y se encuentran asociados principalmente con hormigas del género *Solenopsis* sp. y *Tranopelta* sp. (Villegas *et al.*, 2009), el primer género ya reportado en Santa María Huatulco por Jimenez-Vargas y Martínez-Toledo (2019).

Respecto al organismo perteneciente a la familia Pseudococcidae, coincide morfológicamente con el género *Neochavesia* sp. reportado por Cardenas y Posada (2001), Villegas *et al.* (2009), Delabie *et al.* (2008) y Gil-Palacio *et al.* (2022) también en agroecosistemas cafetaleros, aunque también, al ser organismos polípagos se ha demostrado que puede afectar las raíces de otras plantas incluyendo otros cultivos de importancia como el cacao y el plátano (Gil-Palacio *et al.*, 2022), cabe mencionar que en el sitio S-2 específicamente, parte de la vegetación circundante estaba compuesta por plantas de cacao, lo que nos sugiere que esta cochinilla pueda tratarse de una especie del mismo género *Neochavesia* sp. Las características que distinguen a este género son los segmentos posteriores más prominentes que los anteriores, con cuerpo escorpioniforme. Presenta dos antenas que poseen sensilas alargadas dispuestas en el ápice que utilizan como mecanorreceptores y poseen tres pares de patas con garras en los extremos que le ayudan con el anclaje a las raíces (Delabie *et al.*, 2008).

En la asociación hormiga-cochinilla, las hormigas forman galerías alrededor de las raíces secundarias, raicillas y pelos absorbentes de la planta de café, las cochinillas extraen la savia ocasionando necrosis y debilitamiento hasta causarle la muerte a los cafetos (Serna *et al.*, 2019). La cochinilla excreta sustancias azucaradas que sirven de alimento para las hormigas simbiotas y, en contraprestación, estas cuidan y transportan a las cochinillas hacia otras raíces (Gil-Palacio *et al.*, 2022).

En base a nuestro conocimiento, el género *Neochavesia* sp. aún no ha sido reportado en México, los registros para ambas especies se concentran principalmente en Colombia, Brasil y Trinidad y Tobago (García *et al.*, 2016) donde ambos representan una plaga de importancia económica en agroecosistemas cafetaleros.

Palma-Jiménez *et al.* (2019) mencionan que las cochinillas son insectos capaces de moverse con el viento y que incluso es posible que mediante corrientes viajen a través del mar bajo condiciones meteorológicas adecuadas (de 18 °C a 30 °C y alta humedad) (Meissner *et al.*, 2009), lo que, de acuerdo con Kondo *et al.* (2001) podría explicar la facilidad que tienen estos organismos de migrar hacia otras regiones del mundo y puede ser el caso en este estudio donde las laderas de rancho cafetalero se encuentran en orientación hacia el mar y considerando la relativa cercanía con Colombia, conectados por el océano Pacífico.

El sitio S-3, el sitio más bajo de la ladera, por su parte, se caracterizó por una mayor inclinación, cercano a terrenos más accidentados por lo cual era un área poco concurrida. La sombra por parte de la vegetación era media respecto a los otros sitios y contaba con mayor variedad de vegetación de sombra y herbácea alrededor de los cafetales, aunque no en la misma densidad como en el sitio S-1. El sitio S-3 presentó los valores más altos de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N y CIC, lo que puede explicarse por su posición en la ladera que de acuerdo a Zavala *et al.* (2014) las zonas bajas de ladera son sitios receptores de materiales orgánicos y minerales que presentan mejor estado de conservación. Esta mayor deposición de residuos vegetales sirve de alimento a fitófagos, detritívoros, fungívoros y omnívoros que a su vez influye en la actividad de depredadores (Marín, 2013).

De acuerdo con diversos autores, la materia y carbono orgánicos son parámetros considerados como determinantes de la abundancia y riqueza de especies de artrópodos y esto tiene gran relación con lo encontrado en este sitio pues aquí se presentó el segundo valor más alto de abundancia y el que presentó la mayor riqueza de familias y mayor número de especies únicas respecto a los otros dos sitios. Así mismo es posible apreciar una composición abundante y de mayor riqueza de grupos taxonómicos conformando los grupos funcionales, por ejemplo, el grupo de los detritívoros fue mayor para este sitio, representados principalmente por oribátidos y colémbolos quienes también presentaron aquí sus mayores abundancias indicando la alta presencia de hojarasca compuesta por residuos de plantas y animales en descomposición que está permitiendo mejores condiciones de humedad y temperatura. A su vez este sitio presentó el segundo valor más alto en abundancia de depredadores, pero fue el que presentó una mayor riqueza de grupos taxonómicos de este nivel trófico. La abundancia de los depredadores, según Rodríguez *et al.*, 2017b se estimula por la mayor abundancia de detritívoros para alimentarse en un medio rico en nutrientes, aunque esto también puede aplicarse para el sitio S-2 que también reflejó mayor cantidad de detritívoros que en el sitio S-1 y también mayor número de depredadores.

A manera de integrar la información obtenida en la presente investigación, los índices de sostenibilidad nos permitieron observar el estado agroecológico de la plantación a lo largo de la ladera e indicaron una

sostenibilidad aceptable en cuanto a la salud del cultivo, calidad del suelo y su biología, obteniendo un promedio general de 8.6 de calificación considerando los tres aspectos evaluados y los tres sitios de muestreo. Esto se vio reflejado seguramente por tratarse de un agroecosistema orgánico con muy baja intervención antrópica, que, de acuerdo con el Sr. Manuel Díaz, esto le asegura una mejor salud a sus cultivos haciéndolos resilientes ante cualquier alteración como las plagas, enfermedades o desastres naturales, algo que es destacable ya que, de acuerdo a su testimonio, ante estas problemáticas su rancho cafetalero se ha recuperado progresivamente y hasta la fecha aún conservan una gran proporción de cafetos de más de cien años de edad con buen estado de salud y que inclusive aún producen cereza. Altieri y Nichols (2002) mencionan que cafetales con mayor diversidad vegetal y genética, un manejo diversificado que aprovecha las sinergias de la biodiversidad y que está rodeado por vegetación natural tiene condiciones de entorno más favorables para la sostenibilidad ya que todo ello contribuye con la fertilidad edáfica, la fitoprotección y la productividad del sistema.

En este estudio, la aplicación de estos índices en tres sitios distintos pero pertenecientes a un mismo sistema de producción permitió conocer ligeras diferencias entre ellos reflejando la heterogeneidad del hábitat a lo largo de una zona de ladera. El sitio S-1 presentó buena calidad del suelo y salud del cultivo, esto se puede deber al buen aporte de materia orgánica y sombra proveniente de la vegetación circundante, sin embargo, el análisis de la biología del suelo indica lo contrario puesto que en este sitio la diversidad fue menor y la composición de los artrópodos reflejó una posible alteración al considerarse al grupo más dominante como indicador de perturbación por su resistencia a alteraciones del medio y por la menor presencia de indicadores de fertilidad y salud del medio edáfico.

Lo anterior, como se explicó anteriormente puede ser, por un lado, ocasionado por efecto de la erosión que podría estar actuando de tal manera que al paso del tiempo los artrópodos sean removidos hacia zonas más bajas de la ladera ocasionando una menor abundancia y riqueza de especies incluyendo aquellos grupos indicadores de salud y fertilidad del suelo, así mismo el encontrar grupos menos vulnerables a alteraciones no precisamente podría tener relación con alguna perturbación en el suelo pues es importante también considerar la metodología empleada ya que únicamente se tomó una muestra para el análisis biológico por flotación y posiblemente coincidió con un agrupamiento de estos individuos a causa de sus recursos alimenticios.

El sitio S-2 presentó ligeras deficiencias, por una parte en la calidad del suelo los valores del indicador descendieron al presentar menor fertilidad lo cual puede estar relacionado principalmente por la ausencia de vegetación de sombra ya que en estos suelos el aporte era más escaso que en los otros sitios, por otro

lado, el análisis de la biología del suelo se vio favorecido respecto al sitio S-1, por la abundancia y diversidad de los artrópodos, sin embargo, la presencia de posibles plagas influyó en este análisis debido a la presencia y abundancia de rizófagos y, aunque se desconoce si estos podrían estar generando alguna afectación a los cafetales de este sitio, estos mostraban manchas cloróticas en las hojas y marchitamiento de algunas estructuras, por lo que ésta afectación también se puede ver reflejada en el análisis de la salud del cultivo.

Por último, el sitio S-3 fue el más saludable, puesto que presentó la evaluación más alta, representado por una ameba muy cercana al borde exterior, indicando una mejor fertilidad física y química del suelo que puede relacionarse con lo indicado en la salud biológica del suelo, donde los artrópodos mostraron una mayor abundancia por lo que se puede considerar que este sitio cuenta con más recursos disponibles o brinda más nichos para esta fauna (Cepeda *et al.*, 2009). Así mismo, la composición de la artropofauna en este sitio estuvo representada por una mayor abundancia de artrópodos indicadores de fertilidad y salud del sistema.

## CONCLUSIONES

- La fertilidad física y química del suelo se encuentra dentro del margen ideal para el buen desarrollo de los cafetales en esta región. Los tres sitios de muestreo ubicados en diferentes posiciones de la ladera en el rancho “San Nicolás” demostraron ligeras variaciones en los valores de las características físicas y químicas del suelo lo cual se atribuye a los procesos erosivos al ser suelos de ladera y también se atribuye a la heterogeneidad del hábitat, misma que también presentó una mayor influencia sobre los grupos tróficos encontrados en cada sitio.
- Los tres sitios de muestreo presentaron buenas condiciones del suelo y salud del cultivo, sin embargo, el sitio S-3, el más bajo de la ladera, mostró mejores resultados al presentar valores más altos de fertilidad química al ser un sitio receptor de materia orgánica, misma que contribuyó a una mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor contenido de carbono orgánico y nitrógeno total. Esto a su vez favoreció la composición de la artropofauna al presentar el segundo valor más alto de diversidad, que, aunque no presentó la mayor abundancia de individuos si presentó mayor riqueza de familias y mayor número de familias únicas, así mismo, en contraste con los otros sitios se mostró una mayor presencia de grupos indicadores de salud y fertilidad del suelo.
- Las contribuciones más relevantes de este estudio fueron los hallazgos de géneros y especies reportadas por primera vez en el estado de Oaxaca y en el país. Los géneros *Isotomides* y *Willemia*

de la clase Collembola y todos los géneros identificados con excepción de *Ramusella* y *Scheloribates* de la Clase Acari son nuevos reportes para el estado de Oaxaca y las especies *Hypochothonius ca luteus*, *Eohypochothonus ca crassisetiger* y *Mesoplophora longiseta* de la clase Acari representan nuevos reportes para México.

- Asimismo, otra de las contribuciones a este estudio fue el hallazgo de los grupos Copepoda y Hemiptera (familias pseudococcidae y coccidae) que pueden servir como punto de partida para más investigación en cuanto al rol ecológico que tienen en estos suelos o los efectos que pueden tener sobre el cultivo.

## RECOMENDACIONES

- Dado que el cultivo de café orgánico bajo sombra en el rancho cafetalero parece estar en armonía con el medio ambiente siempre hay oportunidades para mejorar y optimizar las prácticas agrícolas para promover la sostenibilidad a largo plazo tomando en cuenta la producción del cultivo y el mantenimiento de la biodiversidad. Para que un cultivo de café pueda considerarse orgánico no basta que en la aplicación no se suministren productos químicos, el cultivo requiere también de cierto cuidado y manejo para que sea sostenible.
- Por un lado, es recomendable contar con un correcto abonamiento, basado en la mayor utilización posible de los insumos de la misma finca aprovechando los desechos domésticos, los residuos de cosecha y la cascarilla de café para hacer compost. A su vez de considerar otras alternativas ecológicas y sostenibles para la producción como el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes, ayudan a incrementar la fertilidad de los suelos mejorando las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias mejorando el crecimiento y salud de los cafetales.
- Por un lado, es recomendable contar con un correcto abonamiento, basado en la mayor utilización posible de los insumos de la misma finca aprovechando los desechos domésticos, los residuos de cosecha y la cascarilla de café para hacer compost. A su vez de considerar otras alternativas ecológicas y sostenibles para la producción como el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes, ayudan a incrementar la fertilidad de los suelos mejorando las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias mejorando el crecimiento y salud de los cafetales.
- Por un lado, es recomendable contar con un correcto abonamiento, basado en la mayor utilización posible de los insumos de la misma finca aprovechando los desechos domésticos, los residuos de

cosecha y la cascarilla de café para hacer compost. A su vez de considerar otras alternativas ecológicas y sostenibles para la producción como el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes, ayudan a incrementar la fertilidad de los suelos mejorando las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias mejorando el crecimiento y salud de los cafetales.

- Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta es el terreno, puesto que el rancho cafetalero consta de suelos de ladera, se recomienda realizar zanjas de infiltración en curvas de nivel que ayude a captar agua que escurre por la pendiente evitando así los procesos erosivos que generan la pérdida de suelo y nutrientes por escorrentía (INIA, 2017)
- Otra recomendación podría ser el mantenimiento del estrato arbóreo ya que es importante para la regulación de la radiación solar hacia el cultivo, por lo que se recomienda la poda de los árboles sin necesidad de talarlos para el mantenimiento de la estructura del dosel a lo largo del ciclo productivo del café, para favorecer la fertilidad con el aporte de desechos orgánicos, pueden influir a una mayor biodiversidad y pueden ayudar a mantener la hojarasca en el suelo, misma que ayuda a reducir la erosión ocasionada por las lluvias, disminuyendo así las pérdidas de suelo por escorrentía.
- Por otro lado, en búsqueda de mejorar la productividad se debe considerar que el rancho cafetalero, cuenta aún con plantas muy longevas con aproximadamente cien años de edad, que es posible ya no aporten considerablemente a la producción. Ante este aspecto estos cafetos representan plantas con un valor cultural y familiar que influye en la decisión de eliminarlas, aunque su producción ya sea mínima, por lo que se recomienda mantener la estrategia de integrar otras variedades al cultivo, no solamente var. Pluma Hidalgo, pues así se contribuye a aumentar la productividad del rancho y a una mayor resistencia ante enfermedades.
- Asimismo, se incluye una propuesta mencionada por Correa-Pérez *et al.* (2014) respecto al aporte de nitrógeno a los cafetales, la cual es alternar el cultivo con árboles del género *Inga* sp. que cubren y fertilizan, permitirá que los cafetos sean más vigorosos y ofrezcan un mayor rendimiento.
- Respecto a los rizófagos encontrados en este estudio es recomendable monitorear la salud del cultivo revisando también las raíces de los cafetos para descartar alguna pudrición de las raicillas, o bien, cerciorándose de la presencia de estos áfidos y hormigas en la raíz. Esto es de importancia ya que la vulnerabilidad de la planta ante esta plaga es mayor durante el almácigo, por lo cual es recomendable verificar la ausencia de las cochinillas en el suelo con el cual se realizarán los almácigos para evitar su propagación y las afectaciones que conllevan a la producción-
- Es importante destacar el empleo de la técnica de flotación para la extracción de la mesofauna, que permitió reportar individuos que posiblemente hubieran sido difíciles de encontrar mediante otras

técnicas de colecta. Esta técnica además permitió la observación de diferentes etapas del ciclo de vida de las especies por lo que, en estos casos particulares es recomendable su utilización.

- Es importante realizar más estudios que ayuden al monitoreo constante del estado de salud del suelo. De acuerdo a este estudio, a manera de seguimiento, respecto a la composición de los artrópodos y su relación con las características del suelo es recomendable tomar en cuenta un mayor número de muestras y considerar las dos temporadas climáticas ya que esto puede contribuir a un análisis más completo del agroecosistema.

## REFERENCIAS

- Aguilar-Astudillo, E., Morales-Morales, C., Alonso-Bran, R., Aguilar-Castillo, V., y Espinoza-Moreno, J. (2021). Insectos asociados a plantaciones de café en el municipio de Simojovel, Chiapas, México. *Brazilian of Animal and Environmental Research, Curitiba*. 4(2), 2809-19.
- Aguirre-Segura, A., y Barranco, P. (2015). Orden Orthoptera. *Revista IDEA-SEA* (46), 1-13.
- Alexander, K. N. A., Ribera, I., y Melic, A. (2015). Orden Psocoptera. *Revista IDEA-SEA* (50), 1-13.
- Alfaro, G. (2004). Suelos. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (Ed.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología (pp. 55-65). México: UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Almada, M. S., y Sarquis, J. A. (2016). Araneofauna (Arachnida: Araneae) de suelo en bosques nativos, exóticos y pajonales del Parque General San Martín, Entre Ríos Argentina. *Ecología Austral* 26, 286-292.
- Alonso-Zarazaga, M. A. (2015). Orden Coleoptera. *Revista IDEA-SEA* (55), 1-18.
- Altieri, M., y Nichols, C. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 64, 17-24.
- Arcila-Pulgarín, J., y Jaramillo-Robledo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances técnicos Cenicafé*, (311), 1-8.
- Baquero, E., y Jordana, R. (2015). Órdenes Poduromorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona y Symphyleona. *Revista IDEA-SEA* (36), 1-11.
- Barrientos-Lozano, L. (s.f). Orthoptera. *Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria*, México, 603-625.
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64, 269-285.

- Bedoya-Roqueme, E., Pérez-Agudelo, M., Quirós-Rodríguez, J. A. (2017). Aproximación a la fauna de pseudoescorpiones (Arthropoda: Arachnida) del departamento de Sucre, Caribe Colombiano. *Revista Colombiana Ciencia Animal* 9(2), 181-189.
- Bernal, A. (2006). *Artrópoda edáfica de una finca cafetalera al sur del estado de Oaxaca con énfasis en Cryptostigmata y Collembola* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Bernal, A., Castaño-Meneses, G., Palacios-Vargas, J. G., y García-Calderón, N. E. (2009). Oribatid mites and springtails from a coffee plantation in Sierra Sur, Oaxaca, Mexico. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 44(8), 988-995.
- Bignell, D. E., Constantino, R., Csuzdi, C., Karyanto, A., Konaté, S., Louzada, J., Susilo, F., Tondoh, J. E., y Zaneti, R. (2012). Macrofauna. En F. M. S. Moreira, E. J. Huisling y D. E. Bignell (Ed.), *Manual de biología de suelos tropicales* (pp. 91-148). CDMX, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Briceño, A. J., y Hernández, F. (2008). Insectos del orden Hemiptera-Homoptera de importancia forestal en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 52(2), 177-187.
- Cabrera, G., Socarrás, A. A., Gutiérrez, E., Tcherva, T., Martínez-Muñoz, C. A., y Lozada, A. (2017). Fauna del suelo. En C. A. Mancina y D. D. Cruz (Ed.), *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (pp. 254-283). La Habana, Cuba: Editorial AMA.
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F. D., Villanueva-Jiménez, J. A., y Adame-García, J. (2019). Oribátidos, colémbolos y hormigas como indicadores de perturbación del suelo en sistemas de producción agrícola. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 231-241.
- Camacho, L. D. (2020). *Colémbolos como controladores biológicos de hongos fitopatógenos* (monografía). Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.
- Canseco, D. A., Villegas, Y., Castañeda, E., Carrillo, J. C., Robles, C., y Santiago, G. M. (2020). Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1285-1298.
- Cárdenas, R., y Posada, F. J. (2001). *Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales*. Caldas, Colombia: Comité Departamental de Cafeteros del Quindío.
- Carles-Tolrá Hjorth-Andersen, M. (2015). Orden Diptera. *Revista IDEA-SEA* (63), 1-22.
- Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas*, 15(3), 191-196.
- Centeno-García, E. (2004). Configuración geológica del estado. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (Ed.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología (pp. 29-42). México: UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.

- Cepeda, J., Sabogal, A., y León, T. E. (2009). *Comparación ecológica de comunidades de arañas y coleópteros y análisis del impacto del manejo orgánico y convencional, en cultivos de café* (monografía). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Chaires-Grijalva, M. P., Estrada-Venegas, E., Equihua-Martínez, A., Moser, J. C., y Blomquist, S. R. (2015). Ácaros digamáselidos (Acari: Mesostigmata: Digamasellidae) asociados a descortezadores en México. *Entomología Mexicana*, 2, 100-105.
- Coleman, D. C., Crossley, D. A., y Hendrix, J. P. F. (2004). *Fundamentals of Soil Ecology*. Athens, Georgia: Elsevier.
- Colín, D. (2007). *Plan de negocios de un circuito agroturístico del café pluma como estrategia de desarrollo local en el municipio de Pluma Hidalgo, Oaxaca* (tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México.
- Correa-Pérez, G., Morales-Becerra, I., y Ramírez-Fuentes, E. (2014). Condiciones geográficas propicias para el cultivo del café en la Sierra Madre del Sur del estado de Oaxaca. *Ciencia y Mar*, 20 (52), 37-48.
- Cupul-Magaña, F. G. (2011). Guía para la determinación de las familias de ciempiés (Myriapoda: Chilopoda) de México. *Interciencia* 36 (11), 853-859.
- Cupul-Magaña, F. G., Lucio, C. R., y Buenvillegas, J. (2019). Ciempiés (clase Chilopoda). En CONABIO (Ed.), *La biodiversidad en San Luis Potosí Estudio de Estado* (pp. 181-185). San Luis Potosí, México: CONABIO.
- Deambrosi, E., y Méndez R. (1996). Fertilidad de suelos en el cultivo de arroz. En A. Morón, D. Martino y J. Sawchik (Ed.), *Manejo y fertilidad de suelos* (pp. 51-55). Montevideo, Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- Delabie, J., Serrao, J., Dos Santos, C., y Matilde-Ferrero, D. (2008). *Comportements de communication de la cochenille néotropical Neochavesia caldasiae (Balachowsky 1957) (Pseudococcidae : Rhizoecinae) avec sa fourmi symbiote Acropyga fuhrmanni (Forel 1914) (Formicidae : Formicinae)* Ann. soc. entomol. Fr. (n.s), 44(4), 471-475.
- Díaz, M., Rionda, M. H., Duhour, A. E., y Momo, F. R. (2014). Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecologic Austral* 24, 327-334.
- Dindal, D. L. (1990). *Soil Biology Guide*. New York: Wiley Interscience.
- Domínguez, T. (1992). *Symphyla y Pauropoda (Myriapoda) de suelos de España* (tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Domínguez, T. (2015). Orden Pauropoda. *Revista IDEA-SEA* (33), 1-12.

- Duicela, L. A. (2011). *Manejo sostenible de fincas cafetaleras: buenas prácticas en la producción de café arábico y gestión de la calidad en las organizaciones de productores*. Consejo Cafetalero Nacional COFENAC. Porto Viejo, Ecuador.
- Durán, F. (2010). *Cultivo del café*. Grupo Latino.
- Edgecombe, G. O., y Giribet, G. (2007). Biología evolutiva de los ciempiés (Myriapoda: Chilopoda). *Revisión Anual de Entomología* 52(1), 151-170.
- Enciclovida. (2023). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.enciclovida.mx>.
- Escamilla, E., Ruíz, O., Díaz, G., Landeros-Sánchez, C., Platas-Rosado, D. E., Zamarripa-Colmenero, A., y González-Hernández, V. A. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo integrado de plagas y agroecología*, (76), 5-16.
- Escamilla, E., Ruíz, O., Zamarripa, A., y González, V. A. (2015). Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de Geografía Agrícola*, (55), 45-55.
- Espejo, A., López-Ferrari, A. R., Jiménez, R., y Sánchez, L. (2005). Las orquídeas de los cafetales en México: una opción para el uso sostenible de ecosistemas tropicales. *Revista de Biología Tropical*, 53(1-2), 1-11. Recuperado de: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442005000100008](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442005000100008)
- Espinoza-Guzmán, M. A., Sánchez, L. R., Pineda, M. R., Sahagún, F. J., Aragonés, D., y Reyes, Z. F. (2020). Dinámica de cambios en el agroecosistema de cafetal bajo sombra en la cuenca alta de La Antigua, Veracruz. *Madera y Bosques*, 26(2). DOI: [doi.org/10.21829/myb.2020.2621974](https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621974)
- Figuroa, D. (2021). Composición de ácaros oribátidos (Acari:Cryptostigmata) y Colémbolos (Hexapoda:Entognatha) de la Reserva Estatal Sierra Monte Negro, Morelos, México (tesis de posgrado). Universidad Autónoma del estado de Morelos, Morelos, México.
- Flores-Pardavé, L., Escoto-Rocha, J., Flores-Tena, F. J., y Hernández, A. J. (2008). Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. *Investigación y Ciencia*, 40, 11-18.
- García, A. (2009). *Estructura de comunidades de artrópodos edáficos asociados a suelo y hojarasca en diferentes altitudes del Iztaccíhuatl* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- García, B., Gallardo-López, F., Nava-Tablada, M. E., Ruíz, O., y Escamilla, E. (2017). Factores que limitan la certificación del café orgánico en el esquema de comercio justo en cinco organizaciones de México. *Revista Mexicana del Caribe*, 10(19), 138-158.

- García, M., Denno, B. D., Miller, D. R., Miller, G. L., Ben-Dov, Y., y Hardy, N. B. (2016). ScaleNet: A literature-based model of scale insect biology and systematics. *Database*, 2016(118). DOI: [doi.org/10.1093/database/bav118](https://doi.org/10.1093/database/bav118)
- García, M., Díaz, G., Castañeda, E., Lozano, S., y Perez, M., (2017). Caracterización del agroecosistema de café bajosombra en la cuenca del río copalita. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 40, 635-48.
- García-Aldrete, A. N. (2014). Biodiversidad de Psocoptera (Insecta:Psocodea) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (85), 252-256.
- García-Arboleda, M., y Barrera-Marín, N. (2018). Diversidad de artrópodos en tres sistemas de manejo agronómico de café en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10 (2), 37-49.
- Gil-Palacio, Z., Arcila-Moreno, A., Márquez, J.S., Ospina-Penagos, C., Mejía.S. E., y Benavides, P. (2022). Validación del manejo de *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky, 1957) Hemiptera: Rhizoecidae en Fredonia, Antioquia. *Revista Cenicafé*, 73(1), 77-88.
- Goldarazena, A. (2015). Orden Thysanoptera. *Revista IDEA-SEA* (52), 1-20.
- González, D. M. (2007). *Diversidad y distribución espacial de la artropofauna asociada a hojarasca en un cafetal y en un bosque de Quercus humboldtii (Encino, Santander)* (tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- González-Barrios, J., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., y Valenzuela-Núñez, L. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 369-377.
- Hernández, B. (2019). *Macroartrópodos edáficos como indicadores de la calidad de suelos asociados a cultivos de maíz y frijol en Guanajuato, México* (Tesis de Pregrado). UNAM, CDMX, México.
- Hernández, M. I., y Nava-Tablada, M. E. (2016). *Cafeticultura y uso sustentable de los recursos naturales. El caso del Sitio Ramsar "Cascadas de Texolo y su entorno" en Veracruz, México*. Ciudad de México, México: El Colegio de Veracruz/Juan Pablos Editor.
- Herrera, F. F., y Cuevas, E. (2003). Artrópodos del suelo como bioindicadores de recuperación de sistemas perturbados. *Venesuelos* 11(1-2), 67-78.
- Huaman, A. F., Leiva, S. F., Oliva, S. M., y Hernández, M. A. (2020). Insectos asociados al agroecosistema de café bajo sombra en Milpuc, Amazonas, Perú. *Cuadernos de Investigación UNED*, 12 (2), 543-555.
- Iannacone, J., y Alvarino, L. (2006). Diversidad de la artropofauna terrestre en la Reserva Nacional de Junín, Perú. *Ecología Aplicada*, 5 (1,2), 171-174.

- Ibañez, A. (2010). *Diversidad de suelos y sus propiedades en las zonas montañosas subtropicales, Sierra Sur de Oaxaca, México* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.
- Instituto Estatal Electoral y de Participación Ciudadana de Oaxaca. (2020). *Plano Distrital Electoral San Pedro Pochutla*. Recuperado de [https://www.ieepco.org.mx/archivos/cartografia/2020/DTTO\\_25\\_SAN\\_PEDRO\\_POCHUTLA.pdf](https://www.ieepco.org.mx/archivos/cartografia/2020/DTTO_25_SAN_PEDRO_POCHUTLA.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2005). Guía para la interpretación Climatológica. Consultado el 2-Feb-2022: <https://inegi.org.mx/temas/climatologia/#Mapa>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2004). *Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca*. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224394/702825224394\\_19.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224394/702825224394_19.pdf)
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2023). Importancia de las hormigas en los agroecosistemas. Recuperado de <https://www.gob.mx/inifap/articulos/importancia-de-las-hormigas-en-los-agroecosistemas>
- Janssens, F. (2007). Checklist of the Collembola of the world. Recuperado de <https://www.collembola.org/>
- Jiménez-Sánchez, E., Deloya, C., Zaragoza-Caballero, S., y Pérez-Zúñiga, J. (2017). Especies de Coleoptera (Insecta) de la colección de artrópodos de la Facultad de Estudios Superiores, Iztacala (CAFESI), UNAM, México. *Acta Zoológica Mexicana* 33 (2), 359-381.
- Krantz, G. W., y Walter, D. E. (2009). *A Manual of Acarology*. Universidad Tecnológica Americana de Texas, Lubhock, Texas: Texas Tech University Press.
- LaPolla J. S., Cover S. P., Mueller U. G. (2002). Natural history of the mealybug-tending ant, *Acropyga epedana*, with descriptions of the male and queen castes. *Transaction of the American Entomological Society*, 128(3), 367-376.
- Larios-González, R., Salmerón-Miranda, F., y García-Centeno, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo del café. *La Calera*, 14(23), 67-75.
- León-Burgos, A. F., Rendón, J. R., Jaramillo, A., y Salazar, H. M. (2023). Criterios para el manejo del sombrío en Sistemas Agroforestales con Café. *Avances Técnicos Cenicafé*, (552), 1-8.
- Lindquist, E. E., Krantz, G. W., y Walter, D. E. (2009). Classification. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Ed.), *A Manual of Acarology* (pp. 97-103). Universidad Tecnológica Americana de Texas, Lunnhock, Texas: Texas Tech University Press.
- Loli, O. (2012). Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café. *Agrobanco financiamiento, asistencia técnica y capacitación*, 1-28.

- López, A. J. (2005). *Manual de edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- López-Carmona, D., Gallegos, A., Palma-López, D. J., Martín-Morales, G., Barragán-Maravilla, M., Hernández-Vallecillo, G., y Bautista, F. (2021). Selección de tierras para el cultivo de café en zonas con información escasa: análisis espacial del territorio y conocimiento local. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1), 1-17.
- Luciáñez, M. J., y Simón, J. C. (1991) Estudio de la variación estacional de la colembofauna en suelos de alta montaña en la sierra de Guadarrama (Madrid). *Miscelánea Zoológica*, 15, 103-113.
- Machado, M. M., Nicholls, C. I., Márquez, S. M., y Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *IDESIA*, 33(1), 69-83.
- Marín, B. E. (2006). *La acarofauna edáfica (Acari: Oribatei) de un agroecosistema cafetalero en la Sierra Sur de Oaxaca, México* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Marín, E. P. (2013). *Poblaciones de ácaros y colémbolos en un suelo Humic Dystrudepts con incorporación de abonos verdes y cultivado con maíz Zea mays L* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Merino, I., y Prieto, C. (2015). Orden Opiliones. *Revista IDEA-SEA* (17), 1-12.
- Morales-Becerra, I. (2013). La vida en torno al café: Marginación social de pequeños productores en San Pedro Cafetitlán, Oaxaca, México. *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, 14 (1), 79-96.
- Naturalista. (2023). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.naturalista.mx>
- Navarro-Rodríguez, M. C., González, M. E., y González, L. F. (2005). Copépodos: Criaturas maravillosas del zooplancton marino. AlephZero-Comprendamos, (38). Recuperado de [https://www.comprendamos.org/alephzero/38/copepodosciaturas.html#:~:text=Los%20cop%C3%A9podos%20son%20peque%C3%B1os%20crust%C3%A1ceos,suelo%20\(hojarasca\)%20de%20los%20bosques](https://www.comprendamos.org/alephzero/38/copepodosciaturas.html#:~:text=Los%20cop%C3%A9podos%20son%20peque%C3%B1os%20crust%C3%A1ceos,suelo%20(hojarasca)%20de%20los%20bosques)
- Noriega, G., Cárcamo, B., Gómez, M.Á., Shwentesi, R., Cruz, S., Leyva, J., García, E., Lopez, U., y Martínez, A. (2014). Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1), 163-169.
- Olaya, M. (2021). *Comunidades de artrópodos de suelo y hojarasca de tres áreas en restauración de un bosque montano en San Martín, Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). *Ecología y enseñanza rural*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>.
- Ortíz, A. (2016). *Contribución a la sustentabilidad: colémbolos para el control de hongos fitopatógenos de café* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México.
- Palacios, J. G. (1985). *Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos)* (tesis de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Palacios, J. G., e Iglesias, R. (2008). Comparación entre la fauna de ácaros y colémbolos mexicanos y brasileños de ambientes subterráneos. *Catálogo de oribátidos de México*, 15-37.
- Palacios-Romo, T. M., Sánchez, A., Contreras-Díaz, R. G., y Pérez-Lustre, M. (2012). Inventario de mamíferos en sistemas cafetaleros de sombra asociados a la cunca del río Copalita, Oaxaca, México. *Therya* 3(3), 303-310.
- Palacios-Vargas, J. G. (1990). *Diagnosis y clave para determinar las familias de los collembola de la región Neotropical*. Ciudad de México, México: Manuales y Guías para el estudio de Microartrópodos.
- Palacios-Vargas, J. G. (2000). Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas* 5(29), 12-15.
- Palacios-Vargas, J. G. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, 220-231.
- Palacios-Vargas, J. G., Mejía-Recamier, B. E. (2007). *Técnicas de colecta, montaje y preservación de microartrópodos edáficos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México: Las Prensas de Ciencias.
- Palacios-Vargas, J. G., Mejía-Recamier, B. E., y Cutz-Pool, L. Q. (2009). Microartrópodos edáficos. *Diversidad Biológica e Inventarios*, 203-211.
- Palacios-Vargas, J. G., Mejía-Recamier, B. E., y Oyarzabal, A. (2014). *Guía ilustrada para los artrópodos edáficos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México: Las Prensas de Ciencias.
- Palacios-Vargas, J. G., y Figueroa, D. (2014). Biodiversidad de Protura (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (85), 232-235.
- Palacios-Vargas, J. G., y García-Gómez, A. (2014a). Protura, Diplura, Microcoryphia y Zygentoma. *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos* 4, 45-51.

- Palacios-Vargas, J. G., y García-Gómez, A. (2014b). Biodiversidad de Diplura (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (85), 236-242.
- Peña, K. A. (2020). *Categorización de estrategias de productividad agrícola: El caso del café en México* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.
- Pérez, N., Mier, M. P., y Umaran, Á. (2015). Orden hemiptera: Subórdenes Cicadomorpha, Fulgoromorpha y Sternorrhyncha. *Revista IDE@-SEA*, 54, 1-18. Recuperado de [http://sea-entomologia.org/IDE@/revista\\_54.pdf](http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_54.pdf)
- Pérez, T. M., Guzmán-Cornejo, C., Montiel, G., Paredes-León, R., y Rivas, G. (2013). Biodiversidad de ácaros en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (84), 1-9.
- Pérez, T. M., Guzmán-Cornejo, C., Montiel-Parra, G., Paredes-León, R., y Rivas, G. (2014). Biodiversidad de ácaros de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (85), 399-407.
- Piñón, J., y Hernández-Díaz, J. (1998). El café: crisis y organización: Los pequeños productores de Oaxaca, *UABJO*, México.
- QGIS Software Inc. 2019. Sistema de información geográfica. Versión 3.4. A free and open source geographic information System, <http://qgis.org>.
- Ramírez-Builes, V. H., Jaramillo-Robledo, A., Arcila-Pulgarin, J., y Montoya-Restrepo, E. C. (2010). Estimación de la humedad del suelo en cafetales a libre exposición solar. *Cenicafé* 61(3), 252-261.
- Ramos-Montaño, C., Barbosa-Camargo, S. F., Cuenca-Gallo, N., Cuta-Pineda, J. A., Espinoza-Blanco, A. S., Higuera-Blanco, A., Igua-Muñoz, J. S., Pulido-Herrera, K., Ruíz-Barajas, C. A., y Vega-Cabra, S. L. (2020). *Aves asociadas a cafetales en el Valle de Tenza: Panorama y recomendaciones para asegurar la prestación de servicios ecosistémicos brindados por las aves*. Editorial UPTC, Colombia, 154.
- Ribera, I., Melic, A., y Torralba, A. (2015). Introducción y guía visual de los artrópodos. *Revista IDEA-SEA* (2), 1-30.
- Rivera-Costa, M. M., Lugo, A. E., y Vázquez, S. V. (2008). Densidad de artrópodos activos en la superficie del suelo de un bosque novedoso de *Castilla elástica*. *Acta científica*, 22 (1-3), 3-11.
- Robaina, N., Márquez, S. M., y Restrepo, L. F. (2017). La macrofauna edáfica en tres componentes del arreglo vegetal cafetero asociada con diferentes tipologías de manejo, Antioquia, Colombia. *Revista FCA UNCUYO*, 51(2), 78-88.
- Robaina, N., Márquez, S. M., y Restrepo, L. F. (2018). Evaluación de la mesofauna edáfica en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) bajo manejo convencional y en transición, municipio de Andes, Antioquia. *Cadernos de Agroecología*, 13(1), 1-9.
- Rodríguez, A. (s.f.). *Producción y beneficio del café en el sur de Oaxaca*. Universidad Autónoma de Chapingo, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca.

- Rodríguez, J. G., Arece, J., Olivares, J. L., y Roque, E. (2009). Origen y evolución de Arthropoda. *Revista Salud Animal* 31(3), 137-142.
- Rosas, J., Escamilla, E., y Ruíz, O. (2008). Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 375-384.
- Ruelas-Monjardín, L. C., Nava-Tablada, M. E., Cervantes, J., y Barradas, V. L. (2014). Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 27-40.
- Sadeghian, S., Alarcón, V. F., Díaz, V. C., Lince, L. A., y Rey, J. C. (2019). *Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila*. Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Salamanca, A., y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 Café Mexicano*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256426/B\\_sico-Caf\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256426/B_sico-Caf_.pdf).
- Secretaría de Desarrollo Social. (2012). *Atlas de Riesgos del Municipio de San Pedro Pochutla*. Recuperado de <http://www.proteccioncivil.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/03/SanpedropochutlaAR.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, *Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Recuperado de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap4\\_biodiversidad.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap4_biodiversidad.pdf)
- Serna, F. J., Mera-Rodríguez, L. D., Ramírez-Ossa, K., & Gaigl, A. (2019). Hormigas de mayor impacto en la agricultura colombiana. En F. Fernández, R. J. Guerrero, y T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombia* (pp. 1115–1148). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Silva, M., Adabache, A., y Gómez, R. (2010). Introducción al conocimiento de los pseudoscorpiones del estado de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia* 50(5-9), 5-9.
- Snider, R. M., y Snider, R. J. (1997). Efficiency of arthropod extraction from soil cores. *Ent. News*, 108, 203-208.

- Socarrás, A., e Izquierdo, I. (2014). Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. *Pastos y Forrajes*, 37(1), 47-54.
- Torres, R. (2004). Tipos de vegetación. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (Ed.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología (pp. 105-117). México: UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Trejo, I. (2004). Clima. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (Ed.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología (pp. 67-85). México: UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Uribe-Hernández, R., Juárez-Méndez, C. H., Montes de Oca, M. A., Palacios-Vargas, J. G., Cutz-Pool, L., y Mejía-Recarmier, B. E. (2010). Colémbolos (Hexapoda) como bioindicadores de la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el sureste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (81), 153-162.
- Uriostegui, Y. (2006). *Efecto del carbono orgánico y la textura del suelo sobre la estabilidad de los agregados en suelos de una zona cafetalera de la Sierra Sur de Oaxaca* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Urrutia, M. B. (2018). *Respuesta de la diversidad de artrópodos a la intensidad de pastoreo y la variación del suelo en campo natural* (Tesis de maestría). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Vázquez, I. M., López, M. G., Vázquez, G., Medina, F. J., Bieler, A. I., Mejía, B. E., Alamilla, E. B., y May, D. A. (2020). *Ácaros Prostigmata y Endeostigmata de las selvas tropicales de Quintana Roo, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México: Las prensas de Ciencias.
- Vega-Román, E., Ruíz, V. H., y Soto, R. (2011). Estado actual del conocimiento de los Pauropoda (Myriapoda) en Chile. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* (50), 517-520.
- Villegas, C., Benavides, P., Zabala, G., y Ramos, A. A. (2009). Cochinillas harinosas asociadas a las raíces del café: descripción y biología. *Avances técnicos Cenicafé*, (386), 1-8.
- Villegas-Guzmán, G. A., Roldán-Hernández, L., y Campillo, G. (2012). Pseudoescorpiones (Arachnida: Pseudoescorpiones) presentes en el contenido estomacal de *Cophosaurus texanus* (Reptilia: Phrynosomatidae) de México. *Revista Ibérica de Aracnología* (21), 151-152.
- Zavala, J., Salgado, S., Marín, A., Palma, D. J., Castelán, M., y Ramos, R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 123-137.