



**COLEGIO DE
POSTGRADUADOS**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Proyecto:

Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas

Informe:

Inventario de Carbono, Biodiversidad y Fertilidad del Suelo

Sitio 1

Las Joyas

Norberto Sánchez Díaz

Autores:

Martín A. Bolaños González • Antoine Libert Amico
Fernando Paz Pellat • José M. Salvador Castillo
José M. Contreras López • Luz M. Ramírez Armas
Adán Villa Herrera





La epidemia de la roya del cafeto, provocada por el hongo *Hemileia vastatrix*, generó importantes pérdidas en cantidad y calidad de la producción cafetalera en México. A pesar de que esta enfermedad se detectó en el Soconusco, Chiapas desde 1981 (Libert y Paz, 2018), a finales del 2012 incrementó su incidencia y severidad de manera inusualmente agresiva, primero en Chiapas, llegando a Veracruz en el 2013, y causando la mayor afectación entre 2014 y 2015 (Palacios-Reyes *et al.*, 2023). Esta situación puso en riesgo las formas de vida de miles de familias campesinas, así como los servicios ecosistémicos que los cafetales bajo sombra proveen (Bolaños *et al.*, 2021). La principal estrategia promovida por el sector público y la iniciativa privada para tratar de contener los daños económicos que ocasionó la roya fue la renovación de cafetales, lo que implicó la promoción de nuevas variedades de café, algunas poco compatibles con el manejo bajo sombra, generando deforestación y degradación forestal, además de una mayor demanda de nutrientes e insumos químicos (Palacios-Reyes *et al.*, 2024).

Debido a lo anterior, en el marco del proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”, financiado por el Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) mismo que lidera el Colegio de Postgraduados junto con otras instituciones de enseñanza e investigación, así como organizaciones no gubernamentales y de pequeños productores de café, uno de los objetivos más importantes es conocer los contenidos de carbono y la biodiversidad, así como los indicadores de fertilidad del suelo en diversos tipos de cafetales y otros usos de suelo, estos últimos como referencia. Así, durante 2022 se levantó información en 78 sitios de la zona de influencia de las cooperativas Comon Yaj Noptic y Finca Triunfo Verde, ubicadas en la vertiente interior de la Sierra Madre de Chiapas. En 2023, se realizaron estudios en 60 sitios localizados en parcelas y áreas aledañas a la Integradora de Cafés de Especialidad de las Altas Montañas S.A. de C.V. (INCAFESAM), en las zonas de Córdoba y Huatusco, Veracruz.

La primera fase de diagnóstico tuvo como principal objetivo determinar el contenido de carbono en los almacenes de los cafetales y vegetación de referencia (cultivos que compiten con el café arábica por el uso del suelo y vegetación natural o perturbada cercana, para comparar los niveles de carbono en los cafetales). Además, se realizó un inventario de la riqueza de especies asociadas. Adicionalmente, se tomaron muestras para medir los parámetros de fertilidad del suelo, con el fin de obtener un contexto general del manejo de los cafetales.

Para más información sobre la metodología de los inventarios de carbono y biodiversidad, favor de consultar el *Manual de muestreos cuantitativos de Carbono para Bosques y Selvas* y el *Manual de muestreos cuantitativos de Biodiversidad y Cobertura Aérea*, respectivamente, los cuales están disponibles en:

https://pmcarbono.org/pmc/proyectos/Resiliencia_estabilidad_socieologica_cafecultura_mexicana_bajo_sombra.php

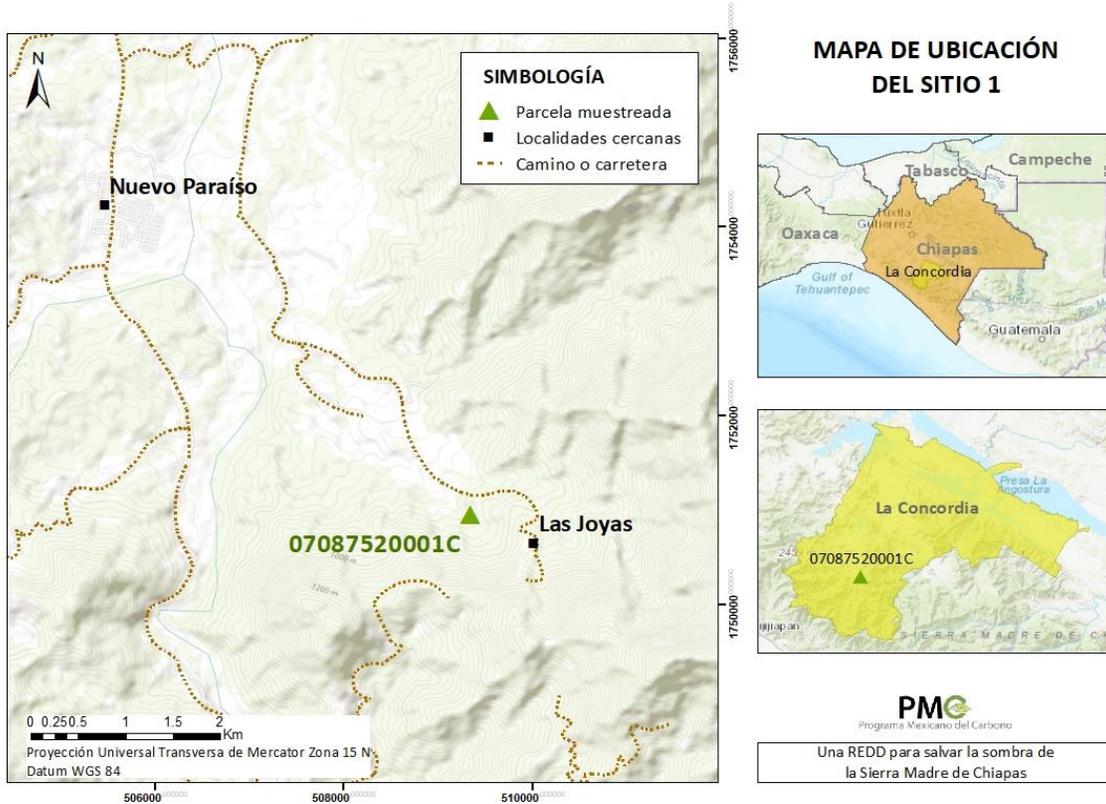




I. Descripción General del sitio de muestreo

Sitio:	I	Superficie:	4.0 ha
Localidad próxima:	Las Joyas	Tipo de manejo:	Convencional
Municipio:	La Concordia	Tipo de cafetal:	Policultivo diverso
Propietario:	[REDACTED]	Manejo de la nutrición:	Orgánico
Cooperativa/Asociación:	[REDACTED]	Fecha de muestreo:	12 de julio de 2022

Localización



Número de Sitio	Coordenada Y	Coordenada X	Pendiente (%)	Altitud (msnm)
I	[REDACTED]	[REDACTED]	35.0	725

UTM: 15N, Datum: WGS84



2. Estructura de los cafetales y su clasificación

La cafecultura en México abarca una amplia variedad de sistemas de cultivo, caracterizados por la diversidad entre pequeños y grandes productores. Estos sistemas incluyen diferentes tipos de cafetales y métodos de manejo, que pueden ser bajo sombra en diversos grados o a pleno sol, así como orgánicos o convencionales.

Los sistemas de producción de café no solo varían según el productor o la parcela, sino también en los impactos ambientales que generan. Por ejemplo, los monocultivos de café a pleno sol requieren insumos externos que pueden dañar el medio ambiente. En cambio, los cafetales bajo sombra diversificada crean bosques productivos que ayudan a conservar los suelos, recargar los acuíferos y proporcionar hábitat para plantas y animales. Además, estos sistemas capturan carbono y ayudan a mitigar el cambio climático, protegiendo los cafetales de eventos climáticos extremos como granizadas, lluvias intensas y fuertes vientos.

Debido a que cada cafetal es diferente, para analizar sus servicios ecosistémicos, en este proyecto se clasificaron según su estructura, la cual se compone de las plantas que lo conforman. En un cafetal, se pueden identificar dos elementos principales: a) los árboles que proporcionan sombra, y b) los arbustos de café. Para clasificar un cafetal, se observa si hay muchas especies diferentes de árboles (diversidad florística) y se cuentan los niveles o estratos en las copas de los árboles (estructura del bosque).

Tipos de cafetales

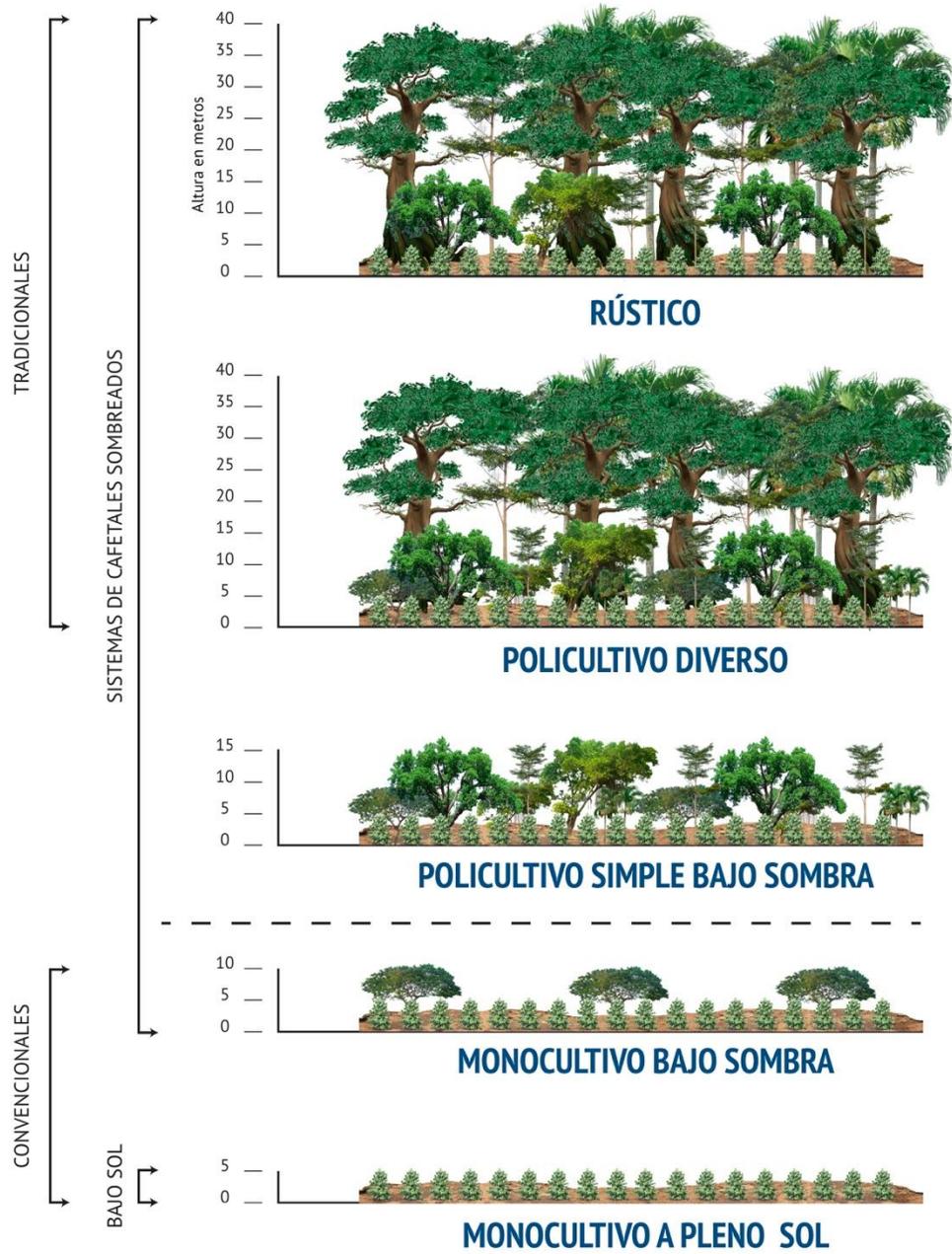
Rústico: Cafetales sembrados en el sotobosque de un bosque, empleando la sombra originaria. Se caracterizan por tener baja densidad de cafetos, sombra alta con especies nativas y varios estratos o niveles de sombra.

Policultivo diverso (tradicional): Mezcla de cafetos y especies útiles, como árboles frutales o maderables, manteniendo especies nativas y diversos estratos de sombra que llegan a rebasar los 15 metros de alto (dependiendo del tipo de vegetación).

Policultivo simple (comercial bajo sombra): En estos sistemas agroforestales la cobertura forestal inicial ha sido remplazada por especies introducidas, útiles para la cafecultura (árboles leguminosos del género *Inga*, por ejemplo) y con otros usos comerciales (aprovechamiento maderable, frutales, etc.). La densidad de cafetos aumenta mientras que disminuyen los estratos de sombra. La altura de los árboles de sombra tiende a ser inferior a 15 metros (dependiendo del tipo de vegetación).

Monocultivo bajo sombra: Los árboles de sombra sembrados, comúnmente de una sola especie, tienden a no rebasar los 10 metros de altura (dependiente del tipo de vegetación), mientras aumenta la densidad de cafetos.

Monocultivo a pleno sol: Sin árboles de sombra, esta plantación de café requiere insumos externos, pero no provee los servicios ambientales de un sistema agroforestal.





3. Biodiversidad en el sitio

En términos ambientales, la diversidad biológica de los bosques y selvas de Chiapas es uno de los atributos más importantes para la conservación. Por eso, se han establecido políticas y leyes, como las áreas naturales protegidas, para preservar este valioso patrimonio. Un ejemplo destacado es la Reserva de la Biósfera El Triunfo.

Las actividades productivas como la agricultura (milpas) y la ganadería (potreros o pastizales) tienen menos biodiversidad que los bosques y selvas naturales. Por lo que es necesario desarrollar esquemas que permitan a los productores y comunidades cultivar alimentos y generar ingresos suficientes, de acuerdo con sus estrategias de medios de vida, pero minimizando el impacto negativo en el ambiente.

Bajo este panorama, los cafetales bajo sombra permiten un equilibrio razonable entre biodiversidad y producción agrícola, permitiendo conservar especies locales de plantas (en cafetales rústicos y policultivos tradicionales, principalmente) y los hábitats para la fauna silvestre.

En la campaña de inventarios realizada en 2022, se tomaron un total de 1392 registros de plantas en cafetales, maizales, potreros y sitios conservados de la Sierra Madre de Chiapas. En el inventario de diversidad florística se identificaron un total de 87 familias, 192 géneros y 153 especies, con un total de 841 registros. Debido a la complejidad para identificar todas las especies, el resto de los registros (551) solo pudieron ser clasificados en niveles taxonómicos generales: en este caso, 380 registros agrupados en 82 géneros, 101 en 24 familias y 70 registros quedaron sin clasificación específica.

Tomando en cuenta el total de los registros se encontraron dos especies de coníferas, un equiseto, 29 helechos, una cícada y 334 plantas con flores (angiospermas). La familia más abundante fue *Asteraceae*, seguida de *Fabaceae*, *Poaceae*, *Rubiaceae*, *Commelinaceae*, *Cyperaceae*, *Meliaceae* y *Lauraceae*. El promedio por sitio de muestreo de 1000 m² fue de 18 especies. Más de la cuarta parte de las especies encontradas en los sitios (28%) son nativas de México, mientras que el 30% de las especies son nativas del continente americano y solo el 5% son neófitas (introducidas o exóticas). La vegetación nativa es importante porque proporciona hábitat y refugio a mamíferos, reptiles, aves, insectos y microorganismos que pueden actuar como controladores naturales de plagas como la roya y la broca.

La riqueza (número) de especies de plantas (vasculares) fue utilizada para definir indicadores de biodiversidad en los sitios de la campaña. Adicionalmente, se evaluaron los grupos funcionales de plantas como una medida de la función que realizan éstas en la comunidad de vegetación, identificándose un total de 47 dentro de todos los registros.

Riqueza de las especies de plantas por hábito

Sitio	Número de especies				
	No Determinado	Árboles	Arbustos	Hierbas	Lianoides y epífitas
1	0	7	3	9	2



Origen de las especies

Sitio	Origen de las especies (número)					
	No Determinado	México	Sudamérica	América	Neófitas (introducidas)	Otras
1	2	11	9	6	1	1

Riqueza total de especies de plantas y grupos funcionales

Sitio	Total especies	Total grupos funcionales	Densidad Árboles y Arbustos (numero/ha)
1	11	15	100

Número de individuos determinados a diferentes niveles taxonómicos

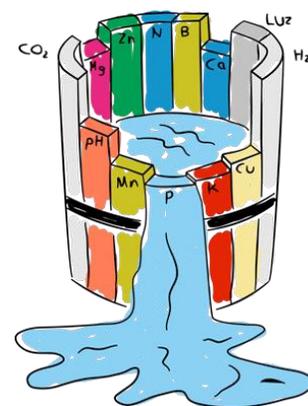
Sitio	Familias	Géneros	Especies	No determinados
1	15	17	11	10



4. Fertilidad del suelo

La fertilidad de los suelos es un factor clave para la sobrevivencia y productividad de los cafetos, así como para su resistencia a plagas y enfermedades como la roya. Así que, es necesario prestar atención constante y tomar medidas para asegurar la viabilidad y rendimiento a largo plazo de este cultivo.

La planta necesita los elementos disponibles en el suelo para nutrirse, pero solo puede absorber hasta el límite del nutriente más escaso, conocido como la ley del mínimo. Por ejemplo, si la planta tiene deficiencia de fósforo (P), no podrá crecer más allá del nivel de ese nutriente; tal como en la imagen al lado. Es como un barril con tablas de diferentes alturas: al llenarlo con agua, esta solo alcanzará el nivel de la tabla más baja, limitando así el rendimiento del café.



Ley del mínimo de Liebig. Disponible en línea en <https://www.cultifort.com/nutrientes-esenciales-dentro-del-tejido-vegetal/>

Los análisis de fertilidad del suelo proporcionan información crucial sobre la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo y su capacidad para retener agua, aspectos fundamentales para la salud y productividad de los cafetales. Identificar las limitaciones que pueden existir en el suelo, ya sean de naturaleza física, química o biológica, o una combinación de estas, es crucial para poder realizar un diagnóstico preciso y tomar las medidas adecuadas (Sadeghian, 2016).

Técnicas o métodos del análisis de laboratorio

Las muestras de campo fueron procesadas en el laboratorio de Fertilidad y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados usando diferentes técnicas o métodos para determinar sus indicadores de fertilidad: textura (Bouyocos), conductividad eléctrica (1:5 H₂O), pH (1:2 H₂O), concentración de materia orgánica (Walkley y Black), fósforo (Olsen), potasio y sodio (emisión atómica), nitrógeno total (Kjeldahl), calcio, magnesio, manganeso, cobre, fierro y zinc (absorción atómica). Además, el contenido de materia orgánica nos da una idea de la cantidad de nitrógeno orgánico que existe en el suelo, para los requerimientos de fertilización nitrogenada, ya que su contenido corresponde a aproximadamente 5% de este (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

Textura de los suelos

Sitio	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación Textural
I	57	19	23	Franco arcillo arenosa

Características químicas de las muestras de suelo y contenido de macronutrientes

Sitio	Densidad aparente (g cm ⁻³)	pH	Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)	Materia Orgánica (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (meq 100g ⁻¹)	Nitrógeno total (%)
I	0.70	6.2	0.07	8.7	1.2	0.3	0.30

ND = No Disponible (cantidad de suelo no suficiente)



Contenido de micronutrientes

Sitio	Calcio (meq 100g ⁻¹)	Magnesio (meq 100g ⁻¹)	Sodio (meq 100g ⁻¹)	Hierro (ppm)	Cobre (ppm)	Zinc (ppm)	Manganeso (ppm)
I	8.72	1.25	0.05	36.36	0.58	0.80	17.76

ND = No Disponible (cantidad de suelo no suficiente)

Interpretación de resultados de la fertilidad de los suelos

Para facilitar la interpretación de los análisis realizados, los resultados de los principales indicadores de fertilidad del suelo fueron clasificados en un sistema de semáforos con base en los intervalos ideales u óptimos para el café, basado en los criterios de Carvajal (1984), INMECAFÉ-NESTLE (1990), Wintgens (2004), Sadeghian (2013), Sadeghian (2018), Sadeghian *et al.* (2021) y Cargua *et al.* (2022). Mientras que el semáforo rojo o R (Restricción Probada) señala la necesidad de una intervención, el semáforo amarillo o A (Adecuado, posible restricción) señala precaución, ya que los valores menores o mayores del intervalo óptimo podrían tener alguna consecuencia en las propiedades físicas o sensoriales del café. El semáforo verde o V (Óptimo) señala condiciones ideales para el cultivo de café arábico.

Sitio	Textura	pH	Conductividad Eléctrica	Materia Orgánica	Fósforo	Potasio	Nitrógeno total	Calcio	Magnesio
I	V	V	V	V	R	V	A	R	R

Rojo (R): restricción probada; Amarillo (A): adecuado, posible restricción; Verde (V): óptimo

En general, la mayoría de los suelos donde se establecen cafetales son de texturas francas, los cuales se consideran adecuados para su cultivo (Sadeghian *et al.*, 2021). Los suelos arenosos retienen poco los nutrientes disponibles y los suelos arcillosos no tienen problemas de retención de nutrientes, más bien de manejo (por ejemplo, el problema de inundación y la superficie pegajosa). Este sitio en particular fue clasificado con una textura franco arcillo arenosa, la cual puede ser ideal para el cultivo de café debido a su equilibrio en retención de agua, drenaje y disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, es necesario prevenir la erosión para asegurar un crecimiento saludable y productivo de las plantas de café.

El pH del suelo es un indicador clave de su acidez o alcalinidad. Un valor de 6.2 sugiere que el suelo es ácido y que se encuentra dentro del rango óptimo (5.5 a 6.5) para el cultivo de café (Wintgens, 2004). Este pH adecuado facilita la absorción de nutrientes por parte de las raíces, promoviendo un crecimiento saludable y una producción óptima de café. Para mantener estas condiciones óptimas, es importante seguir ciertas prácticas de manejo. Sadeghian (2016) recomienda la incorporación de genotipos tolerantes a la acidez, el uso de micorrizas para mejorar la absorción de fósforo, y el aumento del contenido de materia orgánica en el suelo. Además, es esencial implementar medidas para controlar la erosión hídrica y aplicar abonos orgánicos regularmente. Estas estrategias no solo



preservan el pH óptimo del suelo, sino que también mejoran su estructura y fertilidad, contribuyendo a la sostenibilidad y productividad a largo plazo del cultivo de café.

El valor de 0.07 dS m^{-1} indica que el suelo presenta una baja conductividad eléctrica, lo que sugiere una baja concentración de sales solubles en la solución del suelo. Este resultado es positivo para el cultivo de café, ya que el exceso de sales puede afectar negativamente la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces de las plantas, lo que puede reducir el rendimiento y la calidad del café cosechado. Por el contrario, una baja conductividad eléctrica puede favorecer la actividad microbiana beneficiosa en el suelo, lo que contribuye a la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes para las plantas de café.

La materia orgánica (MO) ofrece una serie de beneficios significativos para el suelo y las plantas de café. Por ejemplo, mejora su aireación, retención de humedad y estructura, lo que a su vez aumenta la población y diversidad de microorganismos beneficiosos que contribuyen a un ambiente más saludable para el crecimiento de las raíces y ayudan a controlar la presencia de elementos tóxicos como el aluminio. Además, los altos contenidos de MO suelen estar relacionados con altos porcentajes de nitrógeno total en el suelo (Cardona y Sadeghian, 2005). El contenido de MO en el suelo del sitio (8.7%) indica que se encuentra dentro del rango óptimo (8-12%). Es esencial mantener los niveles de MO en este sitio, ya que una baja cantidad de MO en el suelo puede comprometer la salud y el rendimiento de los cafetales. Para conservar la MO en este sitio, se pueden implementar prácticas de conservación del suelo, como el uso de barreras vivas, que previenen la erosión y ayudan a mantener la materia orgánica en el suelo.

El resultado del análisis de suelo indica que el contenido de fósforo presente en el suelo (1.20 ppm o mg kg^{-1}) está por abajo del nivel óptimo para el cultivo de café ($10\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$) de acuerdo a Sadeghian *et al.* (2021) y Cargua *et al.* (2022). El fósforo desempeña un papel fundamental en procesos biológicos clave, como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la formación de compuestos de almacenamiento de energía en las plantas, por lo cual es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo del cultivo de café. Para incrementar el fósforo en el suelo se puede aplicar estiércol de aves compostado, fertilizantes orgánicos como harina de hueso, incorporación de residuos vegetales y cultivos de cobertura que liberen fósforo al descomponerse. Además, la práctica de inocular el suelo con micorrizas beneficiosas puede ayudar a las plantas de café a absorber mejor el fósforo.

Respecto al potasio, se encontró un contenido de $0.3 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo, lo cual indica que se encuentra dentro del rango óptimo ($0.2 - 0.4 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$) de este elemento para el cultivo de café. El potasio es vital para la regulación del agua en las células vegetales, lo que ayuda a la resistencia de la planta al estrés hídrico y la sequía. Además, facilita la absorción y translocación de otros nutrientes en la planta, lo que contribuye a un crecimiento saludable y una mayor resistencia a enfermedades y plagas. Para mantener estos niveles óptimos y asegurar su disponibilidad continua, se recomienda añadir materia orgánica, que mejora la retención de nutrientes. Además, el uso de prácticas de manejo del suelo, como la incorporación de residuos de cultivos, puede incrementar la disponibilidad de potasio en el suelo. También es importante controlar las malezas a través de chaponeos altos (5-10 cm), para reducir la erosión hídrica.



El análisis de suelo revela que la concentración de nitrógeno es de 0.30%, situándose por debajo del rango óptimo (0.34-0.58%) para el cultivo de café. El nitrógeno es un componente esencial para el desarrollo saludable de las plantas de café, influenciando su crecimiento, vigor y producción. Esta deficiencia de nitrógeno podría representar una restricción en el futuro inmediato si no se incrementa su nivel, afectando la producción de flores y frutos, así como la calidad del grano. Para corregir esta deficiencia y asegurar una disponibilidad continua de nitrógeno, se recomienda la aplicación de enmiendas orgánicas ricas en nitrógeno, como compost y estiércol bien descompuesto. Además, el uso de biofertilizantes que contienen bacterias fijadoras de nitrógeno, como las del género *Rhizobium*, puede mejorar significativamente la disponibilidad de este nutriente en el suelo. Incrementar la materia orgánica en el suelo también contribuye a una mejor retención de nitrógeno y otros nutrientes. También es importante controlar las malezas a través de chaponeos altos (5-10 cm), para reducir la erosión hídrica.

El calcio es un elemento que desempeña un papel crucial en la estructura del suelo y en la absorción de nutrientes por las plantas, contribuyendo al desarrollo saludable de las raíces de las plantas de café, así como a la calidad y cantidad de la producción. Además, el calcio en el suelo puede ayudar a mejorar la resistencia de las plantas de café a enfermedades y estrés ambiental. En términos generales, un contenido de calcio de 8.72 meq 100g⁻¹ se considera alto para el cultivo de café, respecto a su rango óptimo (1.5-3.0 meq 100g⁻¹), por lo que podría provocar baja disponibilidad de elementos como potasio y magnesio. Bajo esta condición es necesario restablecer el balance de nutrientes, al implementar las prácticas que se han mencionado previamente, para estos elementos.

El magnesio es un componente esencial de la clorofila, la molécula responsable de la fotosíntesis, lo que significa que su presencia en el suelo influye en la capacidad de las plantas para producir su propio alimento. Además, el magnesio facilita la absorción de otros nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, lo que promueve un crecimiento vigoroso y saludable de las plantas de café. El contenido de magnesio (1.25 meq 100g⁻¹) para este sitio fue superior al rango óptimo (0.6-0.9 meq 100g⁻¹) para el cultivo. Por lo cual se podría experimentar un desbalance de nutrientes.

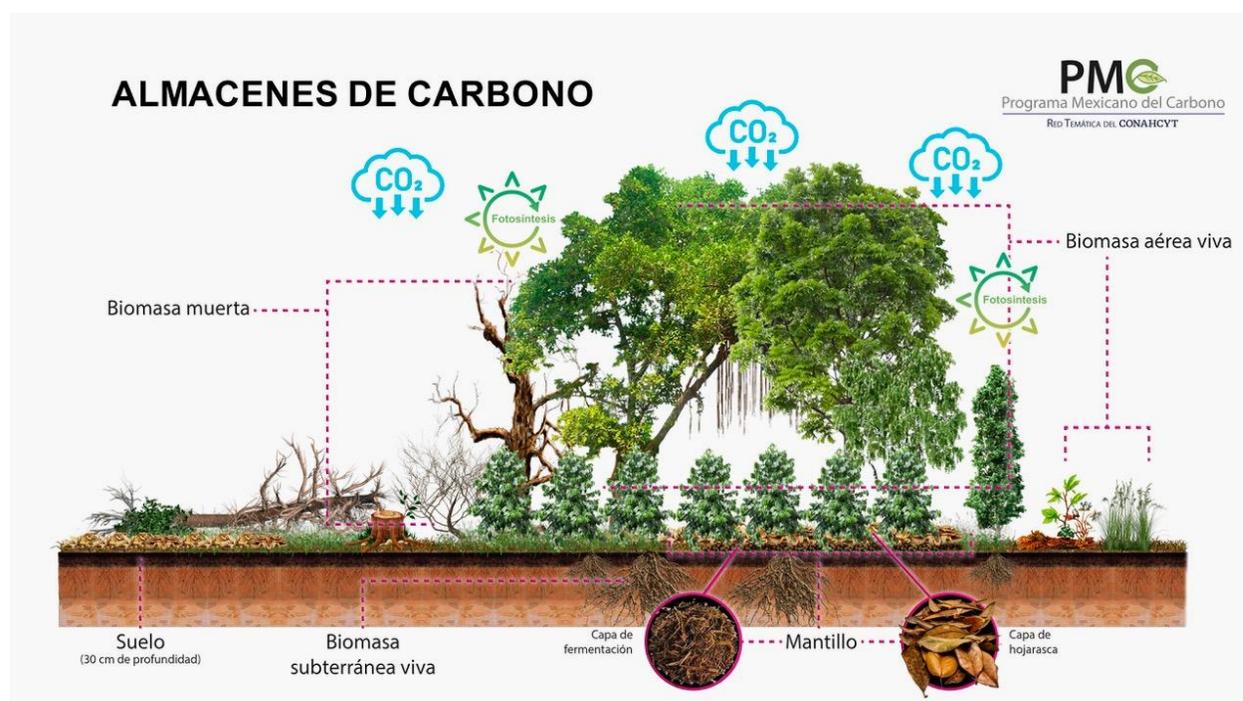
Para este sitio en particular se detectó un exceso de calcio y magnesio. Tal condición puede generar antagonismos que reducen la absorción de otros nutrientes esenciales, entre ellos, el potasio, causando desbalances y deficiencias. En la producción orgánica de café, es fundamental manejar estos desequilibrios de manera natural y sostenible. Para ello, se recomienda implementar el uso de composta y abonos verdes para mejorar la estructura del suelo y promover la absorción equilibrada de nutrientes.



5. Almacenes de carbono

El carbono (C) se encuentra en toda la materia viva y muerta, resultante de la descomposición del material vegetal. Su acumulación en ecosistemas terrestres previene su emisión a la atmósfera como gas de efecto invernadero (es decir, como gas que induce el cambio climático). Los bosques y las selvas son los principales sumideros de carbono en la parte continental del planeta.

En un ecosistema terrestre, al igual que en un cafetal, el carbono se acumula en diferentes sumideros, llamados “almacenes de carbono”, después de remover el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y “capturarlos” en la biomasa de las plantas. Los principales almacenes de carbono son: la biomasa aérea viva (árboles, arbustos y hierbas), la biomasa subterránea viva (raíces), la biomasa muerta en pie (tocones, árboles y arbustos muertos), la biomasa muerta sobre el suelo (troncos, ramas y ramillas sobre la superficie), el mantillo (capa de hojarasca y capa de fermentación o material descompuesto) y el suelo (usualmente se estima el contenido de carbono a una profundidad de 30 cm).



Almacén: Biomasa viva (datos en t C / ha)

Sitio	Almacén Biomasa Viva				Total
	Herbáceas	Arbustos (incluyendo el cafetal)	Árboles (sombra)	Debajo del suelo (raíces)	
I	0.31	0.25	20.02	3.36	23.94

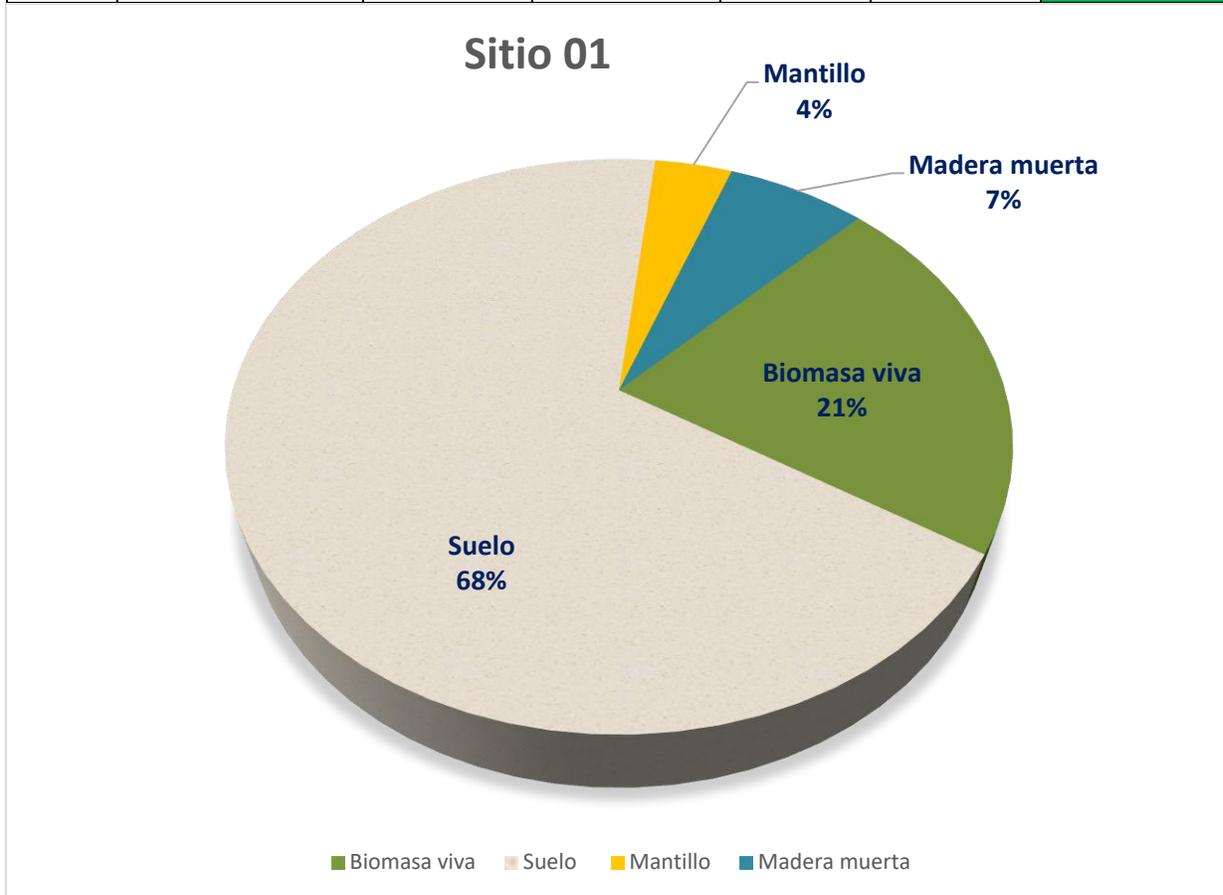


Almacén: Madera muerta (datos en t C / ha)

Sitio	Madera Muerta				Mantillo		
	Árboles muertos en pie	Tocones	Material Leñoso Caído	Total	Capa de hojarasca	Capa de fermentación	Total
I	7.68	-	-	7.68	1.44	2.84	4.28

Todos los almacenes (datos en t C / ha)

Sitio	Biomasa Viva (aérea y subterránea)	Biomasa Muerta	Mantillo	Suelo (0-30 cm)	Total Carbono	Clasificación
I	23.94	7.68	4.28	75.85	111.75	V



Interpretación almacenes de carbono

Este sitio se clasificó en la categoría de cafetales con contenido total de carbono alto en sus almacenes (mayor al 75% de los sitios estudiados). La mayor parte del carbono se almacenó en el suelo, por lo que es esencial protegerlo mediante prácticas de conservación del suelo que eviten su pérdida. El segundo almacén de carbono en importancia fue la biomasa viva, la cual debe conservarse



a través de podas de mantenimiento que no eliminen completamente los árboles, evitando la tala innecesaria y plantando nuevas especies de sombra. El tercer almacén de carbono se encontró en la madera muerta, pero es importante mantenerlo en la parcela y promover su incorporación al suelo para mejorar la fertilidad del suelo, la retención de humedad y la salud general del cultivo. El menor almacén de carbono fue el mantillo, es recomendable permitir que se descomponga de forma natural y realizar chaponeos altos (5-10 cm) para prevenir la erosión hídrica.

6. Consideraciones finales

El Colegio de Postgraduados asume las responsabilidades de una investigación ética que respete las salvaguardas sociales y ambientales. Asimismo, por medio de este informe, con el apoyo del Programa Mexicano del Carbono, se ponen estos resultados a disposición de los propietarios de las parcelas y las comunidades, ejidos y organizaciones productivas que han participado en el proyecto *Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafeticultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas*.

7. Referencias bibliográficas

- Bolaños-González, M. A., A. Libert-Amico, F. Paz-Pellat, V. Salas-Aguilar, G. Villalobos-Sánchez, E. Escamilla-Prado, A. S. Velázquez-Rodríguez y E. I. Morales-Reyes. 2021. *Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafeticultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas*. pp. 633-638. En: J. M. Hernández, M. Manzano, M. Bolaños y P. Ibarra (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2021*. Texcoco, Estado de México, México.
- Cardona C., D. A. y Sadeghian K., S. (2005). Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de Inga spp. *Cenicafé* 56(2):127-141.
- Cargua Chávez, Jessica Elizabeth, Luna Tamayo, Andrea Karolina, González Sanango, Holger, Cedeño García, Galo Alexander, & Cedeño Sacón, Ángel Frowen. (2022). Crecimiento y calidad de plantas de café arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en vivero. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 38(1), 3-14. <https://dx.doi.org/10.29393/chjaas38-lccja50001>
- Carvajal, J. F. 1984. *Cafeto cultivo y fertilización*. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza. 251 p.
- INMECAFÉ-NESTLÉ. 1990. *El cultivo del café en México*. Instituto Mexicano del Café. Compañía Nestlé. México, D. F.
- Julca-Otiniano, Alberto, Liliana Meneses-Florián, Raúl Blas-Sevillano, Segundo Bello-Amez. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24 (1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>





- Libert-Amico, Antoine, y Paz-Pellat, Fernando. (2018). Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. *Madera y bosques*, 24(spe), e2401914. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401914>
- Palacios-Reyes, Alma Delia, Durand-Smith, Marcia Leticia, Valle-Mora, Javier Francisco, y Saldívar-Moreno, Antonio. (2023). Desafíos de los medios de vida frente a la roya del café en dos comunidades del Soconusco, Chiapas, México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 33(61), e231264. Epub 12 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.24836/es.v33i61.1264>
- Palacios-Reyes, Alma Delia, Bolaños-González, Martín A., Libert-Amico, Antoine, y Ramírez-Armas, Luz M. 2024. *Breve diagnóstico de los viveros de café en organizaciones de pequeños/as caficultores/as de la región de las montañas en Veracruz*. Boletín informativo, Colegio de Postgraduados.
- Sadeghian, S. (2013). Nutrición de cafetales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Cenicafé, 2:85-116. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_20
- Sadeghian K., S. 2016. La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Avances Técnicos Cenicafé*. 466. 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/704>
- Sadeghian, S. (2018). Interpretación de los resultados de análisis de suelo Soporte para una adecuada nutrición de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 497, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0497>
- Sadeghian, S., Alarcón, V., Lince, L., Rey, J. y Díaz, V. (2021). *Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4224/1/Cap4.pdf>
- Wintgens, J. N. 2004. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*. doi:10.1002/9783527619627



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Elaboró

Martín A. Bolaños González
Antoine Libert Amico
José M. Salvador Castillo

Diseño Gráfico

Oscar J. Velázquez Rodríguez

Contacto

Dr. Martín A. Bolaños González
Correo-e: bolanos@colpos.mx