



**COLEGIO DE
POSTGRADUADOS**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Proyecto:

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

Informe:

Inventario de Carbono, Biodiversidad y Fertilidad del Suelo

Sitio

01 Las Joyas

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 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 variedades de café nuevas, algunas poco compatibles con el manejo bajo sombra, generando deforestación y degradación forestal, además una mayor demanda de nutrientes e insumos químicos (Palacios-Reyes *et al.*, 2024).

Debido a lo anterior, en el marco del proyecto financiado por el Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafeticultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”, 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 biodiversidad, y los indicadores de fertilidad de suelos, en diversos tipos de cafetales y otros usos de suelo, estos últimos como referencia. Así, durante 2022 se levantó información en 78 sitios en la zona de influencia de las cooperativas Comon Yaj Noptic y Finca Triunfo Verde en la vertiente interior de la Sierra Madre de Chiapas, y en 2023 en 60 sitios en parcelas y zona aledaña a la Integradora de Cafés de Especialidad de las Altas Montañas S.A. de C.V. (INCAFESAM), en las zonas de Córdoba y Huatusco de Veracruz.

La primera fase de diagnóstico tuvo como principal objetivo determinar el contenido de los almacenes de carbono 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 tener una comparación con el carbono en los cafetales), además de realizar un inventario de la riqueza de especies asociadas. Adicionalmente, se tomaron muestras para medir los parámetros de fertilidad de los suelos, y poder tener 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_socieocologica_cafeticultura_mexicana_bajo_sombra.php

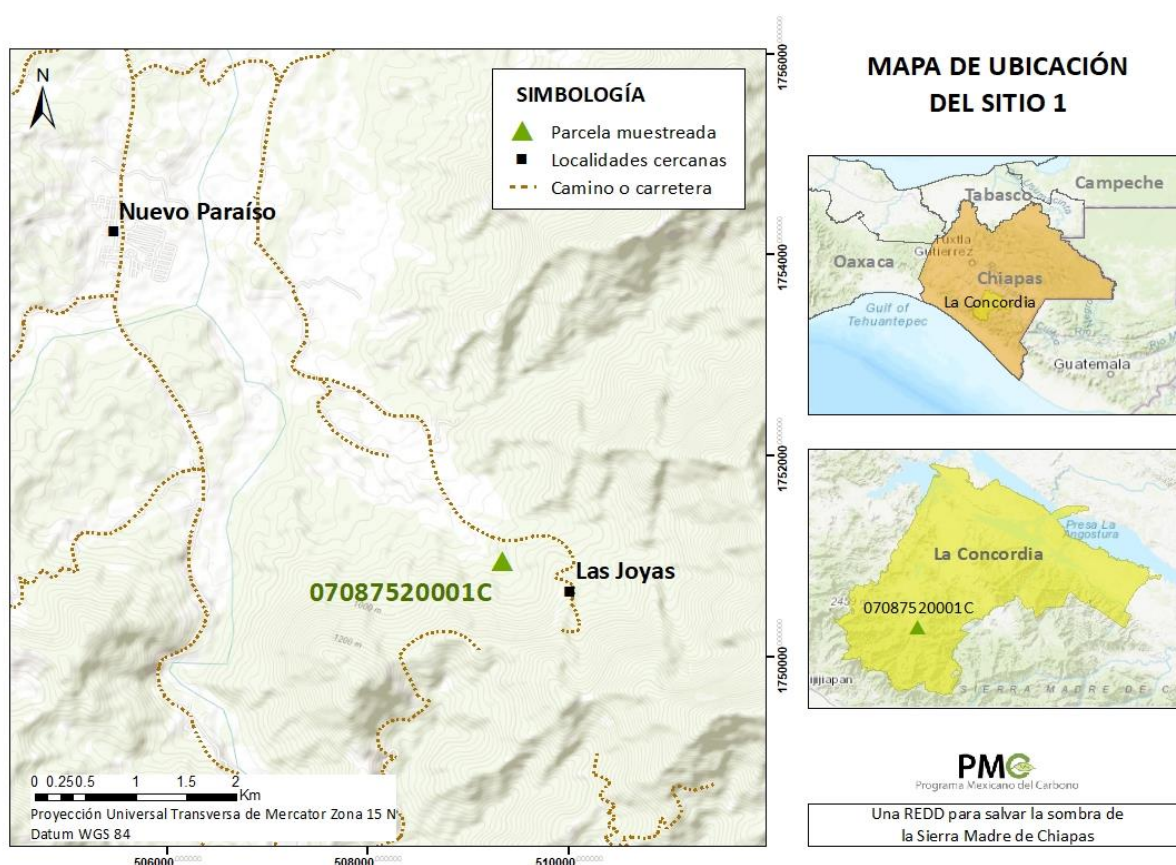




1. Descripción General del sitio de muestreo

Sitio:	01	Superficie:	4.0 ha
Localidad próxima:	Las Joyas	Tipo de manejo:	Convencional
Municipio:	La Concordia	Tipo de cafetal:	Policultivo diverso
Propietario:		Manejo de la nutrición:	Fertilización química
Cooperativa/Asociación:	Comon Yaj Noptic	Fecha de muestreo:	12 de julio de 2022

Localización



Número de Sitio	Coordenada Y	Coordenada X	Pendiente (%)	Altitud (msnm)
01	1750943.8 N	509340.2 E	35 °	725

UTM: 15N, Datum: WGS84



2. Estructura de los cafetales y su clasificación

La cafeticultura en México se presenta bajo diversos sistemas de cultivo de café, con amplia diversidad entre pequeños y grandes productores, tipos de cafetal y manejo, ya sea bajo sombra en diversos grados o a pleno sol, orgánico o convencional, etc.

Los sistemas de producción de café no sólo difieren en las características del productor o la parcela, sino también en los impactos ambientales que causan de acuerdo al sistema de producción. Mientras que los monocultivos de café sin sombra exigen insumos externos que pueden tener un impacto ambiental negativo, los policultivos de café bajo sombra diversificada pueden crear bosques productivos que contribuyen a conservar los suelos, recargar los mantos acuíferos, crear hábitat para plantas y animales, capturar carbono y mitigar los efectos del cambio climático, por ejemplo, amortiguan el impacto de eventos climáticos extremos como granizadas, lluvias intensas y ventiscas en los cafetales, entre otros.

Debido a que cada cafetal es diferente, para analizar los servicios ecosistémicos de cada uno, en este proyecto se clasificaron los sitios por su estructura. La estructura del cafetal está formada por las plantas que lo conforman. En un cafetal se pueden distinguir dos elementos principales: a) la “sombra” del cafetal provista por los árboles, y b) la plantación de cafetos (arbustos). Para clasificar un cafetal se analiza si hay varios individuos de diferentes especies de árboles (diversidad florística) y se cuantifican los niveles o estratos que se distinguen en las copas de los árboles o dosel (estructura del bosque).

Tipos de cafetales

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

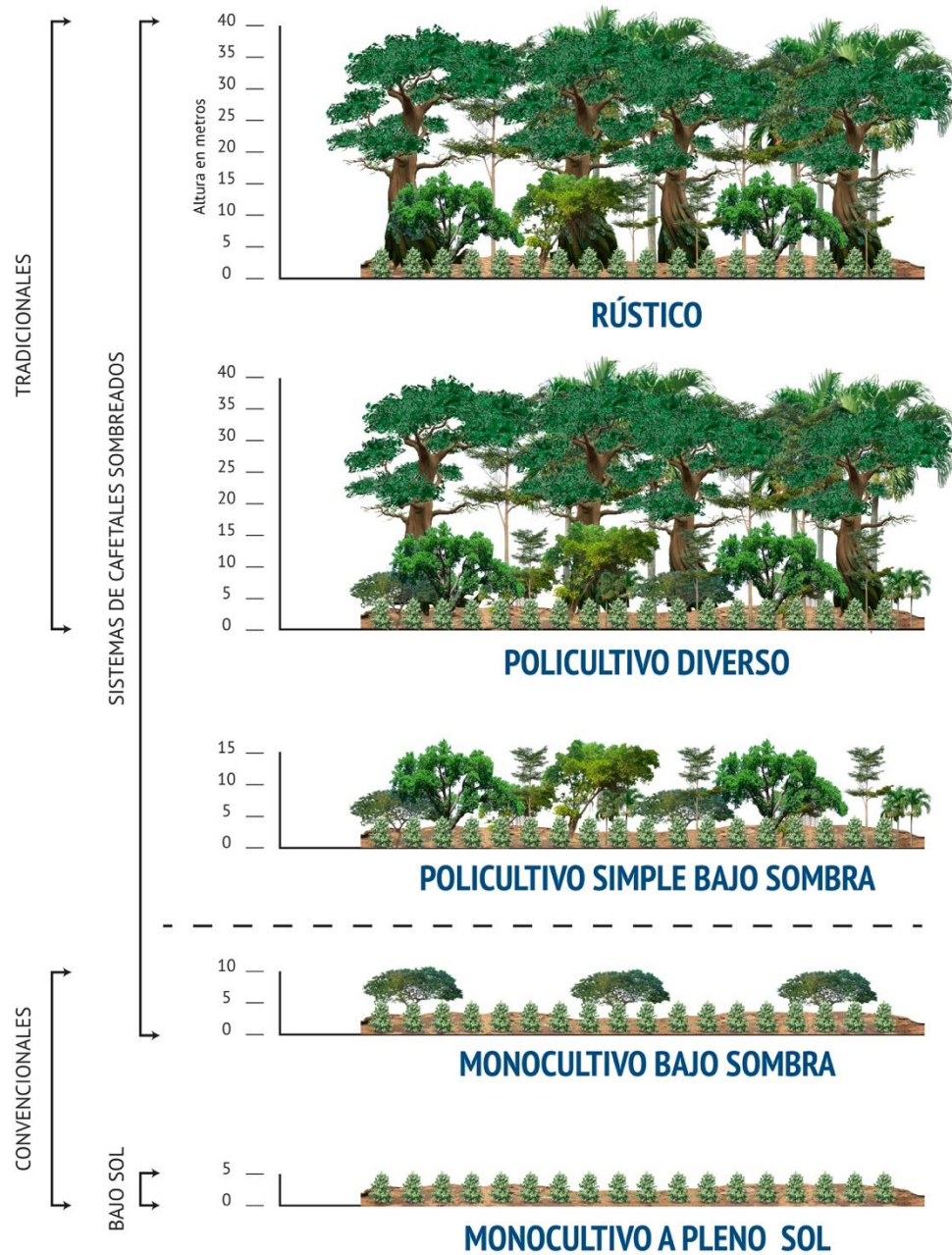
Policultivo diverso (tradicional): Mezcla de cafetos y especies útiles, como árboles frutales o maderables, manteniendo especies nativas y diversos estratos de sombra que llegan a rebasar los 15 metros de alto (dependiendo del tipo de vegetación).

Policultivo simple (comercial bajo sombra): en estos sistemas agroforestales la cobertura forestal inicial ha sido remplazada por especies introducidas, útiles para la cafeticultura (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, mientras 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 con alto interés para la conservación, por lo que se han planteado políticas y mecanismos legales, como las áreas naturales protegidas, por ejemplo, la Reserva de la Biósfera El Triunfo, para preservar este valioso patrimonio.

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

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. Dada la complejidad en la identificación de especies de plantas en la diversidad encontrada en la campaña de campo, el resto de los registros (551) solo pudieron ser determinados a ciertos niveles taxonómicos; en este caso, 380 agrupados en 82 géneros, 101 en 24 familias y 70 registros quedaron sin determinación taxonómica.

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
I	0	7	3	9	2



Origen de las especies

Sitio	Origen de las especies (número)					
	No Determinado	México	Sudamérica	América	Neófitas (introducidas)	Otras
I	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)
I	11	15	100

Número de individuos determinados a diferentes niveles taxonómicos

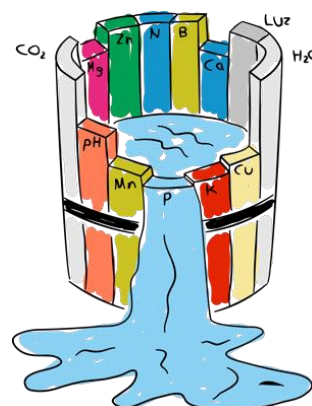
Sitio	Familias	Géneros	Especies	No determinados
I	15	17	11	10



4. Fertilidad del suelo

La fertilidad de suelos es un factor clave para la sobrevivencia y productividad de los cafetos y su resistencia a plagas y enfermedades como la roya, por lo que demanda una atención constante e implementación de acciones para asegurar la viabilidad y rendimiento a largo plazo de este cultivo.

La planta necesita los elementos disponibles en el suelo para nutrirse, y solo logra procesar nutrientes hasta el límite del más escaso (lo que es conocido como la ley del mínimo) donde, aunque la planta tenga deficiencia en solo un nutriente o factor - por ejemplo, el fósforo (P) - no podrá “alimentarse” más allá de ese nivel; tal como en la imagen al lado: si intentas llenar el barril con agua, esta solo podrá subir hasta el nivel de la tabla más baja (rendimiento límite 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 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), contenido de materia orgánica (Walkley y Black), fósforo (Olsen), potasio y sodio (emisión atómica), nitrógeno total (Kjeldahl), calcio, magnesio, manganeso, cobre, hierro 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 Textura
I	57.44	19.28	23.28	Franco-arcillosa-arenoso

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	6.20	0.07	8.67	1.18	0.31	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)	Fierro (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 INMECAFÉ-NESTLE (1990), Sadeghian (2013), Sadeghian (2018), Sadeghian *et al.* (2021) y Cargua *et al.* (2022). Mientras que el semáforo rojo o R (Restricción Probable) 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	A	V	V	R	V	A	A	A

Rojo (R): restricción probable; 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 con agua y la superficie pegajosa). Este sitio en particular tiene una clasificación de textura franco-arcillosa-arenosa, que es equilibrada y puede beneficiar el drenaje del suelo y su capacidad para retener nutrientes, lo que es adecuado para el desarrollo del cultivo de café.

El pH del suelo es un indicador clave de su acidez o alcalinidad, un valor de 6.20 sugiere que el suelo es ligeramente ácido, pero cercano a la neutralidad, aunque es mayor al rango óptimo (5.0 a 5.5) para el cultivo de café (Sadeghian, 2013). Un pH adecuado en el suelo facilita la absorción de nutrientes por parte de las raíces de las plantas, lo que promueve un crecimiento saludable y una producción óptima de café. Sadeghian (2016) señala diversas estrategias para abordar los problemas de acidez en el suelo cuando estas existen, que incluyen el uso de genotipos tolerantes, la incorporación de micorrizas para mejorar la absorción de fósforo por las plantas, el aumento del



contenido de materia orgánica, la implementación de medidas para controlar la erosión hídrica, la aplicación de abonos orgánicos y el uso de enmiendas inorgánicas. Entre estas estrategias, la aplicación de enmiendas inorgánicas destaca como una de las más ampliamente difundidas y efectivas, con el carbonato de calcio (CaCO_3) y el carbonato de magnesio (MgCO_3) siendo los más utilizados.

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 I, a pesar de tener una pendiente del 35%, presentó valores altos, lo que indica un nivel significativo de este componente en el suelo. Este valor es beneficioso para el cultivo de café, ya que proporciona condiciones óptimas para el crecimiento saludable de las plantas. Esto se explica por ser un receptor de materiales orgánicos y minerales, lo que sugiere un buen estado de conservación y una baja intensidad de erosión en el área.

El contenido de fósforo fue de 1.18 ppm o mg kg^{-1} , que indica que la concentración de fósforo presente en el suelo está muy por debajo 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, es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluido el cultivo de café.

Respecto al potasio, se encontró una concentración en el suelo que 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.

El nitrógeno es un componente esencial para el desarrollo saludable de las plantas de café, influenciando su crecimiento, vigor y producción. La concentración de nitrógeno en el suelo de este sitio está ligeramente debajo del rango óptimo ($0.34\text{-}0.58 \%$), por lo que podría representar en el futuro inmediato una restricción si no se mantienen o incrementan los niveles de este elemento, para que permita una producción satisfactoria de flores y frutos, así como una calidad aceptable del grano.



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, y 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 $8.72 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ podría considerarse alto para el cultivo de café respecto a su rango óptimo ($1.5\text{-}3.0 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$), por lo que podría provocar baja disponibilidad de elementos como potasio y magnesio.

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 para este sitio es ligeramente superior al rango óptimo ($0.6\text{-}0.9 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$) para el cultivo de café.

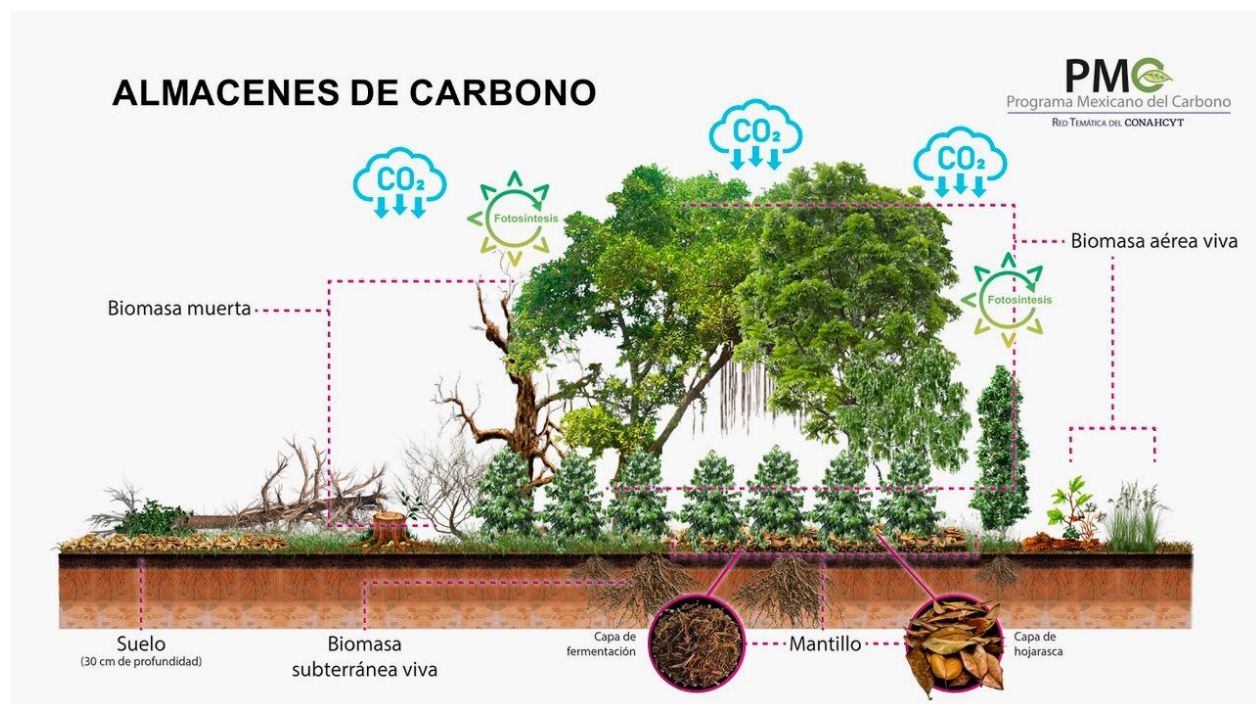




5. Almacenes de carbono

El carbono (C) está en toda materia viva y muerta proveniente de la descomposición del material vegetal. Su acumulación en ecosistemas terrestres (bosques y selvas, principalmente) previene su emisión a la atmósfera como gas de efecto invernadero (es decir, como gas que induce el cambio climático). Los bosques y 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 bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y “capturarlos” en la biomasa de las plantas. Los principales almacenes de carbono son: biomasa aérea viva (árboles, arbustos y hierbas), biomasa subterránea viva (raíces), biomasa muerta en pie (árboles y arbustos muertos y tocones), biomasa muerta en piso (troncos, ramas y ramillas sobre la superficie), mantillo (capa de hojarasca y capa de fermentación o material descompuesto) suelo (usualmente se estima a una profundidad de 30 cm).



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

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

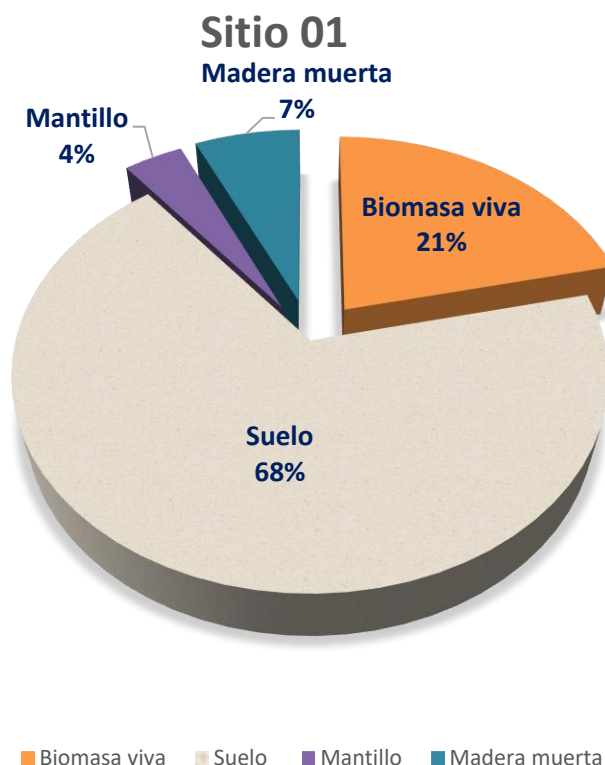


Almacén: Madera muerta (datos en t C / ha)

Sitio	Madera Muerta				Mantillo		
	Árboles muertos en pie	Tocones	Material Leñoso Caído	Total	Capa de hojarasca	Capa de fermentación	Total
I	7.68	0.00	0.00	7.68	1.44	2.84	4.28

Todos los almacenes (datos en t C / ha)

Sito	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 sus almacenes de carbono alto (entre el 75 y 100% de los sitios de cafetal con los mayores contenidos de carbono); sin embargo, se encontró en el límite inferior de esta categoría. Además, el mayor contenido se encuentra en el suelo, por lo que debe protegerse mediante prácticas de conservación para que no se pierda fácilmente. El aporte de la biomasa viva es escaso, fundamentalmente porque el número y tamaño de árboles de sombra es bajo, por lo que se recomienda incrementar su densidad.



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*.



COLEGIO DE
POSTGRADUADOS



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES,
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



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 nutrimentos 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>
- INMECAFÉ-NESTLÉ. 1990. *El cultivo del cafeto 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>





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