



## Factores que influyen en la producción de aguacate y café en Huatusco, Veracruz

Victor Higinio Ruiz-García<sup>1\*</sup>; Patricia Ruiz-García<sup>2</sup>; Carlos Arturo Aguirre-Salado<sup>3</sup>;  
Alejandro Ismael Monterroso-Rivas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco Edo. de México. C. P. 56230, México.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Investigación Científica s/n, C. U., Coyoacán C. P. 04510, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Álvaro Obregón núm. 64, Centro, C. P. 78000, San Luis Potosí, SLP.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Carretera Federal México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Texcoco Edo. de México. C. P. 56230, México.

### Resumen

La producción de café y aguacate impulsa la economía agrícola de Huatusco, Veracruz, sin embargo, enfrenta desafíos como la roya y patógenos. Por lo que, el objetivo de la presente investigación es desarrollar una caracterización biofísica y descriptiva que permita analizar las condiciones ambientales, prácticas agrícolas y factores socioeconómicos que estén influyendo sobre la producción de ambos cultivos. Con lo anterior, se podrán desarrollar estrategias que optimicen la producción, promuevan la sostenibilidad y fomenten la resiliencia de productores. El método consistió en caracterizar a partir de cartografía los aspectos biofísicos, y la caracterización descriptiva se realizó a partir del análisis del conocimiento local y técnico sobre el manejo, problemáticas y acciones que están desarrollando para contrarrestar las afectaciones. Los resultados muestran que la producción de café bajo sombra abarca el 69 % de la superficie agrícola mientras que el aguacate 28 %. El aguacate, tiene buen desarrollo, aunque es afectado por patógenos y fluctuaciones de mercado. El café, enfrenta los desafíos latentes relacionados con la roya y la escasez de mano de obra que han incrementado los costos de producción. Con estos resultados se recomienda implementar estrategias de manejo: en aguacate se debe mejorar el manejo del suelo y el uso de riego por goteo; las variedades de café *Colombia* y *Costa Rica* siguen siendo productivas y resistentes a la roya, pero la sequía ha afectado la etapa de floración. Se requiere mejorar el manejo del suelo y agua, además de abordar la escasez de mano de obra que aumenta los costos de producción.

► **Palabras clave:** Prácticas agrícolas, riego, control fitosanitario, *Persea americana* var. Hass, *Coffea arabica* var. Colombia y Costa Rica.

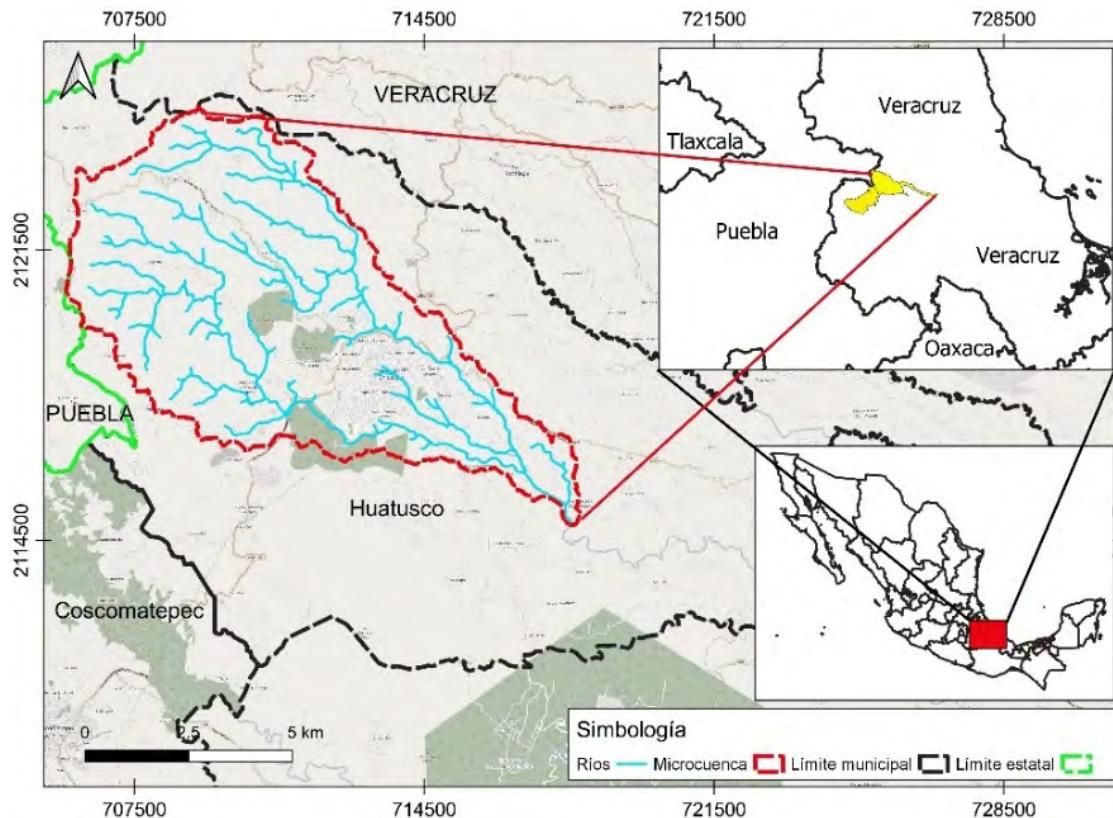
### Introducción

La caracterización biofísica y descriptiva de cultivos es un aspecto crucial para comprender y optimizar las prácticas agrícolas, especialmente en regiones con una diversidad de cultivos como la microcuenca central de Huatusco, Veracruz. La caracterización biofísica incluye el análisis de factores físicos: suelo, clima, topografía y disponibilidad de agua (Nkiaka et al., 2024). Evaluar los aspectos biofísicos de los sistemas agrícolas mediante sus características fisiográficas y climáticas, permite a la comunidad tener información específica útil para la toma de decisiones en el

manejo de su producción (Ruiz-García et al., 2020). Mientras que la caracterización descriptiva, abarca la descripción de las variedades de cultivos, prácticas agrícolas utilizadas y su adaptación a distintas condiciones climáticas, suelo, requerimientos hídricos, plagas y enfermedades, así como algunos aspectos socioeconómicos que estén influyendo en la producción. Es esencial para la toma de decisiones en cuanto al manejo y optimización del rendimiento agrícola (Malagón & Prager, 2001).

En este contexto, la microcuenca central de Huatusco presenta características biofísicas óptimas para establecer sistemas

Figura 1. Espacio geográfico del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI y CONABIO.

agrícolas permanentes: café bajo sombra (Ca) y aguacate (Ag) principalmente, siendo básicamente los que sostienen la economía de la zona (García et al., 2023). Sin embargo, la producción de estos cultivos es afectada comúnmente por la presencia de plagas y enfermedades específicas de cada cultivo, por la variabilidad climática, por un manejo inadecuado del suelo y del recurso hídrico y por la influencia de las dinámicas del mercado, lo cual repercute directamente en la estabilidad económica de los productores (Ploetz, 2013; Bunn et al., 2015).

Como se mencionó anteriormente, uno de los cultivos más significativos en esta microcuenca es el café (*Coffea arabica*), debido a que la producción en México ocupa el 11º lugar dentro de los productores de grano verde y el 1º en orgánico (Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y Soberanía Alimentaria, 2020). El 80 % de la producción nacional se enfoca a la exportación y el 20 % al mercado interno (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019). Esta industria representa el 0.66 % del PIB agrícola nacional; Veracruz aporta el 24 % (Gobierno del Estado de Veracruz, 2019), lo que representa un importante generador de divisas y fuentes de empleo (Martínez-López et al., 2022).

Además del café, el cultivo de aguacate (*Persea americana* var. Hass) se ha incrementado en la región, debido a que la demanda de este producto por países importadores ha aumentado significativamente en los últimos 10 años, ante esto, México se ha posicionado como líder en

producción y exportación a nivel mundial, aportando el 32 % del valor total de exportaciones (García et al., 2023). A pesar de que, el estado de Veracruz solo contribuye con el 0.29 % de la producción nacional (García et al., 2023), el establecimiento de este cultivo comenzó a incrementar notablemente con la variedad *Hass* en los últimos 20 años, esto ha generado efectos positivos en la economía regional al generar múltiples fuentes de empleo (DANE, 2016).

Debido a la importancia económica que representan los cultivos mencionados, es fundamental mantener la productividad y la viabilidad de estos, por lo que es necesario tener conocimiento específico de los factores que influyen en su establecimiento y producción. El objetivo de esta caracterización es proporcionar una descripción detallada de las condiciones biofísicas, prácticas de manejo, problemáticas y estrategias correctivas y preventivas que inciden en el desarrollo del café y aguacate en la microcuenca, con el propósito de generar información útil para los tomadores de decisiones y productores que les permita optimizar la productividad, reducir riesgos asociados a factores climáticos y edáficos y, asegurar la continuidad de los sistemas agrícolas locales.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El área de estudio es la microcuenca central del municipio de Huatusco, Veracruz, que se encuentra ubicada entre los

paralelos 19° 01' N y el meridiano 97° 03' O (Figura 1). La microcuenca forma parte de la cuenca del río Jamapa, que pertenece a la Región Hidrológica Administrativa del Golfo Centro. La temperatura media anual es de 17.5 °C y una precipitación media anual de 1 750 mm. La microcuenca fue seleccionada debido a que presenta variedad de condiciones biofísicas para los sistemas agrícolas: café y aguacate, lo que permite analizar cuáles de estas condiciones son las óptimas para el desarrollo de los cultivos.

La presente investigación se desarrolló conforme a las siguientes etapas: i) revisión de información cartográfica oficial y elaboración de mapas de referencia, ii) reconocimiento en campo de la superficie estudiada y establecimiento de puntos de control para desarrollar los mapas de tipo de suelo y uso de suelo y vegetación, iii) elaboración de cartografía específica para el área de estudio a partir de la información obtenida en campo, iv) caracterización biofísica de los cultivos de referencia y v) descripción de las variedades de cultivos, distribución, densidad de siembra, prácticas agrícolas utilizadas y su adaptación a distintas condiciones climáticas, suelo, requerimientos hídricos, plagas y enfermedades, así como elementos socioeconómicos que estén influyendo en la producción.

### Caracterización biofísica

Está caracterización se realizó a partir del análisis de la cartografía de los siguientes aspectos biofísicos: clima, relieve, pendiente, rango altitudinal, tipo de suelo y vegetación.

### Datos y fuentes de información

Los datos de pendiente y rango altitudinal se obtuvieron a partir del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) del INEGI (2023). Para obtener el mapa de tipo de suelo se realizó un muestreo dirigido en las superficies de producción agrícola, el levantamiento de muestras se apoyó del conocimiento local de los productores y en el conjunto de datos vectorial edafológico, escala 1:250 000 Serie II (INEGI, 2014). La cartografía de uso de suelo y vegetación se generó mediante una clasificación supervisada basada en imágenes satelitales SENTINEL del año 2023 pertenecientes al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Mientras que los datos climáticos fueron extraídos de las capas clima, precipitación y temperatura media anual de la CONABIO.

### Cartografía uso de suelo y vegetación

Se realizó una clasificación supervisada a partir del preprocesamiento de las imágenes SENTINEL, utilizando el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS (Congedo, 2021). Mediante un ensamblaje de bandas de falso color: 4, 3 y 2, se definieron seis clases de cobertura del suelo: urbana, bosque templado, café bajo sombra, aguacate, limón y pastizal. Esto permitió identificar y cuantificar las superficies, la distribución y

condiciones biofísicas en las que están establecidas los sistemas agrícolas de referencia.

### Cartografía tipo de suelo

Este mapa se realizó a partir de la información reportada por INEGI y fue complementada con un muestreo de suelos en las superficies agrícolas. El muestreo se desarrolló gracias al conocimiento local, siguiendo la metodología generada por Ortiz et al. (1990), que consiste en realizar recorridos de campo con los agricultores, para generar puntos de control y establecer los límites de los diferentes tipos de suelos. La intensidad del muestreo dependió de la frecuencia del cultivo en el área de estudio. Se obtuvieron 15 muestras compuestas en la microcuenca y se distribuyeron en la parte alta, media y baja de las parcelas.

Posteriormente, mediante el análisis de las muestras en el laboratorio se determinaron los valores y parámetros de las siguientes características físicas y químicas: color, textura, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC), conductividad eléctrica (CE), porosidad (P), pH y densidad aparente (DA). A partir del reporte realizado por INEGI, los datos obtenidos en el laboratorio y la metodología de Ortiz Solorio, se realizó una nueva clasificación taxonómica de los suelos de la región, de acuerdo con la base de referencia mundial para los recursos del suelo (FAO, 2014). Finalmente, con la nueva clasificación taxonómica se elaboró el mapa de tipos de suelo.

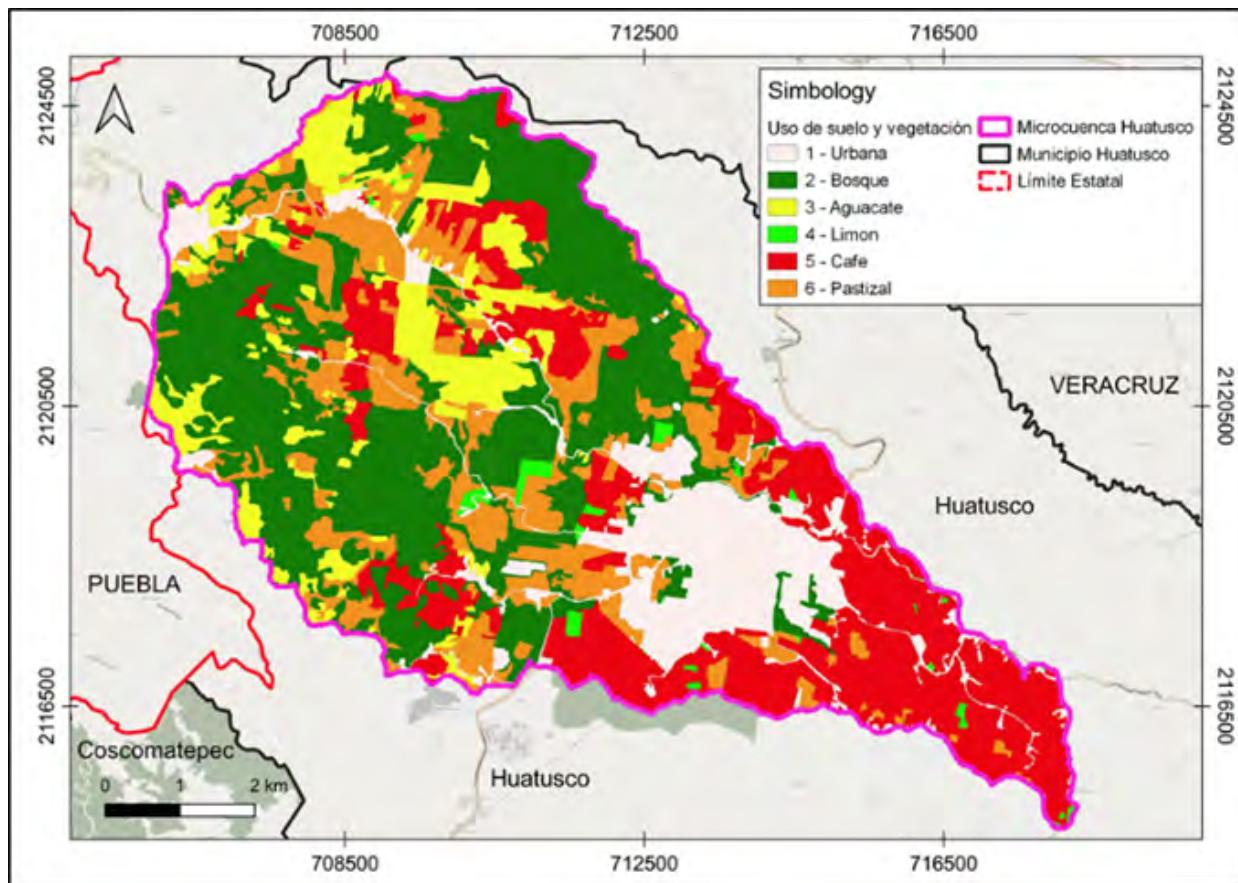
### Cartografía de pendientes y rango altitudinal

La elaboración del mapa de pendientes y rango altitudinal se desarrolló a partir del procesamiento de la información del CEM en la interfaz QGIS. Las pendientes iniciales fueron reclasificadas, obteniendo una nueva clasificación de pendientes en porcentaje: 0-2, 2-4, 4-8 y de 8-15. El rango altitudinal se obtuvo a través de la generación una capa de curvas de nivel, que sirvió para establecer rangos cada 250 metros.

### Caracterización de los cultivos agrícolas

La descripción de los cultivos agrícolas se desarrolló con la participación en campo de los productores. Los recorridos se realizaron con 15 informantes por cultivo, según la metodología de Ortiz-Solorio & Gutiérrez-Castorena (1999), que consiste en complementar el conocimiento local con el conocimiento técnico para detallar la caracterización de los cultivos agrícolas. Los informantes se seleccionaron por ser integrantes de la comunidad con amplio conocimiento sobre el manejo de los cultivos: café y aguacate. Los productores también aportaron información para describir las actividades para obtener una producción óptima, los problemas ambientales y socioeconómicos que enfrentan, así como las acciones que toman para contrarrestar las afectaciones.

Figura 2. Distribución y superficie que abarcan los cultivos de referencia: aguacate y café.



Fuente: Elaboración propia.

## Resultados y Discusión

### Distribución y superficie que abarcan los cultivos de referencia

De acuerdo con la clasificación supervisada, la microcuenca estudiada tiene una extensión total de 5 939.5 hectáreas, en la cual predomina el uso de suelo agrícola con 35.4 % (2 104.3 ha), seguido de bosque templado de pino 34.2 % (2 031.2 ha) y áreas destinadas a la ganadería 17.2 %. Específicamente en la superficie agrícola, el cultivo dominante es café bajo sombra con 1 457 ha (69.2 %), principalmente ubicado en la parte baja de la microcuenca, seguido del cultivo de aguacate con 592.4 ha (28.2 %) ubicado en su mayoría la parte alta de la microcuenca (Figura 2).

### Influencia de los factores biofísicos en la producción de café y aguacate

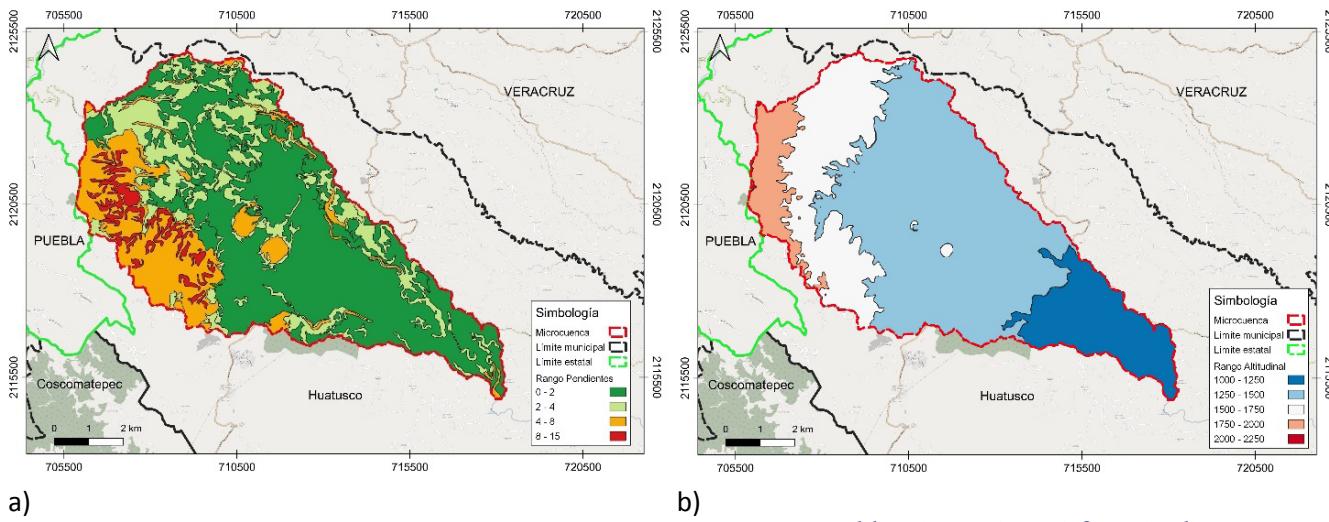
#### Condiciones climáticas

Dentro de la microcuenca se encontraron cuatro climas distintos de acuerdo con la clasificación de García (2004) (Cuadro 1). El clima predominante es semicálido subhúmedo con 48.7 % de la superficie total, seguido de templado húmedo con el 20.9 %.

#### Aguacate

De acuerdo con diversos estudios, los factores ambientales con mayor incidencia durante las etapas del desarrollo y la producción en el cultivo son temperatura, viento y precipitación (Campos et al., 2015). Las temperaturas óptimas para esta variedad tienen un rango entre los 5-17 °C (DANE, 2016) y requiere entre 1 200-1 600 mm de lluvia bien distribuidos durante el año (Bernal-Estrada et al., 2020). Los resultados de la caracterización indican que el 70.9 % del cultivo ha sido establecido en un clima clasificado como templado-húmedo. También se observa que el 74.3 % se encuentra en un rango de temperaturas medias anuales 16-18 °C, mientras que el 87.7 % ha sido plantado en superficies con 1 900 mm de precipitación, estas condiciones climáticas son favorables para mantener rendimientos óptimos del cultivo, debido a que el aguacate se adapta a climas húmedos y semihúmedos (DANE, 2016). No obstante, el exceso de precipitación puede provocar daños por patógenos (Cruz et al., 2020). Debido a que las lluvias intensas prolongan la humedad sobre el follaje, aumentando la infección de antracnosis en etapas de floración y fructificación, lo cual se traduce en mayor caída de frutos y reducción en el rendimiento económico (DANE, 2016). Temperaturas fuera del rango óptimo pueden reducir drásticamente el rendimiento del cultivo,

Figura 3. Pendiente en porcentaje (a) y rango altitudinal (b) de la microcuenca.



Fuente: Elaboración propia, con información de INEGI (2013).

especialmente cuando coinciden con la etapa reproductiva (DANE, 2016).

### Café.

De acuerdo con diversos estudios la temperatura y la precipitación afectan significativamente el rendimiento del café (Gabriel-Hernández & Barradas, 2024) por lo que las condiciones ambientales óptimas para el rendimiento de *Coffea arabica* son las siguientes: temperatura ideal 18.7 °C, en un rango entre los 17 y 21 °C; en cuanto a la precipitación, se requiere un promedio anual de 1 770 mm con un rango entre los 1 000 y 3 000 mm (Gabriel-Hernández & Barradas, 2024; Jiménez et al., 2023). Los resultados de la caracterización indican que el 77.2 % del cultivo están establecidos en un clima clasificado como semicálido húmedo, el 69.8 % del cultivo se encuentra en zonas de 19 °C y el 85.4 % en superficies con una precipitación entre los 1 900 mm, rangos que se encuentran dentro de los ideales para mantener un buen rendimiento del cultivo.

### Pendientes y rango altitudinal

En el Cuadro 1 se puede observar la distribución de las pendientes reclasificadas, en el área de estudio predominan pendientes entre los 0-2 (59.2 %) y 2-4 (20.1 %) (Figura 3a). La altitud que cubre la mayor superficie va de los 1 250-1 500 msnm con 55.8 %, seguido de los 1 500-1 750 msnm con 22.2 % (Figura 3b).

### Aguacate.

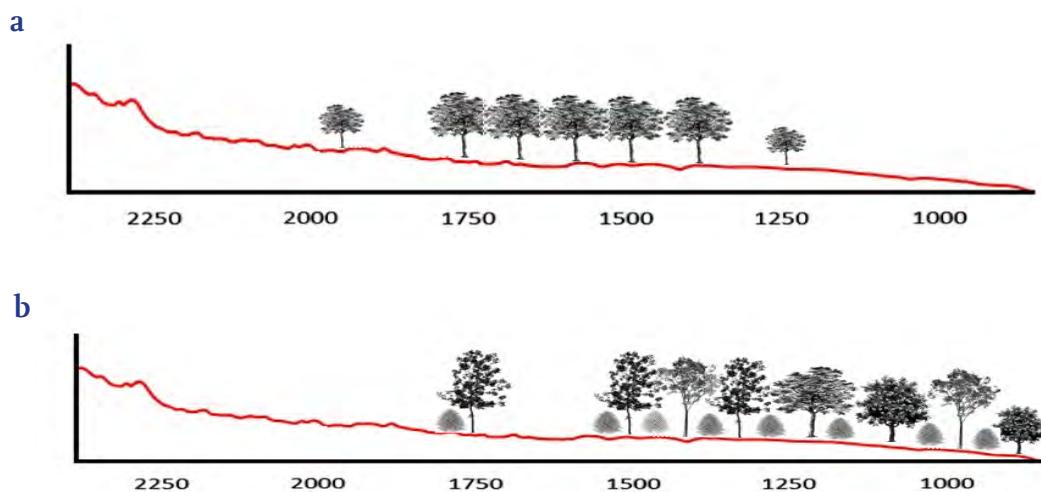
En cuanto al rango altitudinal el cultivo de aguacate se está estableciendo a partir de los 1 250 msnm hasta una altitud máxima de 2 250 m, no obstante, el 81.9 % (480.2 ha) se encuentra entre los 1 250-1 750, específicamente el 66.6 % se encuentra entre los 1 500-1 750 m (Figura 4). La altitud tiene una incidencia directa sobre la forma de los frutos,

los ubicados en zonas bajas (< 1 300 msnm) presentan formas más redondeadas y cáscaras más rugosas, comparados con los obtenidos en condiciones de climas más fríos a alturas de 2 400 msnm, cuya forma es más alargada y la cáscara más lisa (Bernal-Estrada et al., 2020). Por lo tanto, la relación entre temperatura y altitud indica que dentro del área de estudio los frutos presentan una forma ovalada con cáscara rugosa, características ideales en las demandas del mercado. De acuerdo con Bernal-Estrada et al. (2020), existe una influencia de la altura sobre el período de floración-cosecha, las altitudes del área de estudio favorecen una cosecha intermedia entre los 8 y 9 meses, considerada ideal para la variedad Hass, lo cual permite obtener rendimientos óptimos. Con respecto a la pendiente, el 97.8 % del cultivo se encuentran establecidos en pendientes que van del 0 al 8 %, lo cual facilita las actividades de manejo. Lo anterior coincide con lo reportado por DANE (2016) al mencionar que la pendiente del terreno ideal donde se debe establecer el cultivo debe ser menor al 30 % y preferiblemente de topografía ondulada, lo cual favorecerá el manejo agronómico del cultivo.

### Café.

Se reporta que el café de Veracruz se encuentra en altitudes que varían entre 300 y 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Gabriel-Hernández & Barradas, 2024). La disminución de la temperatura asociada a una mayor altura afecta el tiempo de maduración del café (Escamilla et al., 2016). El 94.4 % del café en la microcuenca se encuentra en un rango de los 1 000 a los 1 500 msnm, la altitud está en un rango óptimo que favorece la maduración ideal, lo que permite obtener rendimientos óptimos (Figura 4). Dentro del área de estudio la altitud influye positivamente en la composición química del café (sabor, cuerpo y calidad), lo cual permite obtener café especializado, a niveles de exportación (Bertrand et al., 2006).

Figura 4. Perfil semi-realista de la distribución de los cultivos de referencia por rango altitudinal: (a) aguacate (*Persea americana* var. Hass) (b) Café (*Coffea arabica* var. Colombia y Costa Rica).



Además, se prefiere que el cultivo se realice en terrenos con pendientes pronunciadas, lo que coincide con áreas de mayor diversidad biológica (Jiménez et al., 2023), de acuerdo con Classen et al. (2014), las áreas con mayor diversidad vegetal hospedan una mayor diversidad de polinizadores, lo que se traduce en una mayor productividad agrícola, del café. No obstante, en la microcuenca la pendiente predominante en la que está establecido el cultivo (84.5 %) se encuentra en un rango de 0-4 %. Este rango de pendientes no representa ninguna influencia negativa para el rendimiento óptimo del café, debido a que el cultivo tiene una alta adaptabilidad a las condiciones topográficas de la región (Gabriel-Hernández & Barradas, 2024).

### Tipo de suelo

De acuerdo con el análisis de suelos, se clasificaron dos suelos más, distintos a los reportados por INEGI: Andosol cámbico (AnCa) y Acrisol plíntico (AcPl) (Figura 5). El suelo que abarca mayor superficie es Andosol húmico (AnHu) con 71.7 % y Acrisol plíntico con 12.5 % (Cuadro 1), y en menor medida se encuentra distribuido el Acrisol órtico (AcOr). Estos resultados proporcionan una mayor precisión sobre la distribución de suelos, lo que es crucial para mejorar el manejo agrícola y poder realizar una planificación integral.

Los valores del Cuadro 1, permiten visualizar de manera comparativa las condiciones biofísicas predominantes en las superficies cultivadas con café y aguacate. Esta integración permite establecer una relación directa entre las variables evaluadas, para determinar cómo influyen en el rendimiento y desarrollo de los cultivos de forma combinada, es decir, en el caso de combinarse un suelo ácido con clima húmedo y poca pendiente, puede ser propicio para el desarrollo de patógenos. Otro ejemplo: el aguacate alcanza su mayor estabilidad y rendimiento cuando se encuentra

en Andosol húmico, con pendientes 0-4 % y bajo clima templado húmedo.

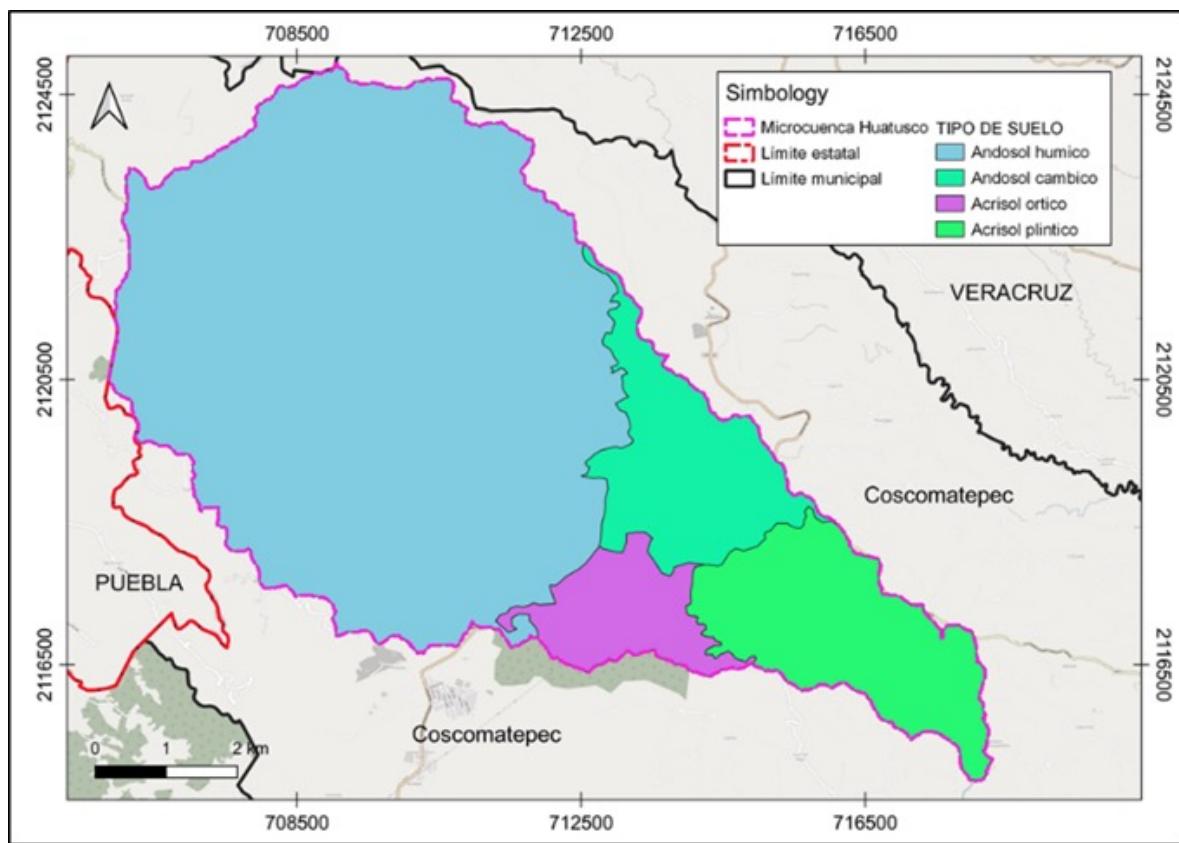
### Aguacate.

El 99.6 % del cultivo se encuentra establecido en Andosol húmico: pH 5.2 (que podría reducir la absorción de nutrientes reflejándose en una reducción del rendimiento), sin embargo, la textura franco-arenosa permite una buena capacidad de retención de agua y nutrientes (Cuadro 2). De acuerdo con diversos estudios, el aguacate se adapta en una amplia gama de suelos, desde arenosos, hasta arcillosos, siendo este último el más recomendado, el pH debe estar entre 5.5-6.5, para que el frutal tenga una adecuada absorción de nutrientes (Garrido-Ramírez, 2013; DANE, 2016). No obstante, Salazar-García et al. (2009), menciona haber encontrado variaciones de pH entre 4.7 a 6.4, al corregir mediante la aplicación de cal, se optimizó la absorción de nutrientes: nitrógeno, fosforo, potasio, zinc y boro, lo que incrementó la productividad del aguacate Hass en Nayarit, incluso en huertos sin riego.

### Café.

Los suelos dominantes en las áreas de café son de tipo Andosol, con un pH entre 5.0 y 6.5 (Valencia & Rodríguez, 2016). No obstante, según los resultados, el 53 % de los cafetales se encuentran establecidos en suelos de tipo Acrisol, con pH más ácidos de los recomendados, 4.2-4.7 y con una textura predominante arcillosa, con baja cantidad de materia orgánica, baja fertilidad y un drenaje de moderado a pobre, lo cual se ve reflejado en una reducción general de la producción (Cuadro 2). Lo anterior coincide con lo reportado por Sadeghian et al. (2019), quienes mencionan que la acidez reduce la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio y aumenta el aluminio, que es tóxico para las raíces y afecta directamente la absor-

Figura 5. Tipos de suelos encontrados en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1. Superficie que abarcan los cultivos de referencia con respecto a las variables biofísicas.

Altitud (msnm)		1000-1250	1250-1500	1500-1750	1750-2000	2000-2250
Superficie %	Ag	0	49.2	32.6	17.9	0.3
	Ca	47.1	47.2	5.6	0	0
Pendiente (%)		0-2	2-4	4-8	8-15	-
Superficie %	Ag	43.4	34.4	20	2.2	-
	Ca	60.1	29.4	9.5	1	-
Suelo		AnHu	AnCa	AcOr	AcPl	-
Superficie %	Ag	99.6	0.4	0	0	-
	Ca	34.6	12.5	12.5	40.5	-
Clima		Templado húmedo	Semicálido subhúmedo	Semicálido húmedo	Templado subhúmedo	-
Superficie %	Ag	44.3	14.9	14.2	26.6	-
	Ca	8.6	77.2	9	5.3	-

Nota: Ag: aguacate; Ca: café; AnHu: Andosol húmico; AnCa: Andosol cambico; AcOr: Acrisol ortico; AcPl Acrisol plintico

ción de nutrientes. Estas deficiencias son cubiertas por los productores con la aplicación tanto de abonos orgánicos y químicos, que se refleja en un incremento de los costos de producción. Aunque como bien lo resalta Larios-González et al. (2014) las prácticas agroecológicas contribuyeron a estabilizar el pH del suelo y reducir la acidez activa, mejorando así la fertilidad del suelo.

De acuerdo con el análisis general de las propiedades químicas del suelo se puede determinar lo siguiente: los valores de CE indican que no se encuentran problemas de salinidad. Los datos de la DA indican que son suelos orgánicos y volcánicos. Salamanca et al. (2005) resaltan que al incrementarse la DA la compactación del suelo genera condiciones físicas desfavorables que afectan negativa-

**Cuadro 2. Superficie y propiedades físicas y químicas promedio por tipo de suelo.**

Tipo de Suelo	Superficie %	Propiedades físicas y químicas						
		pH	CE (dS·m <sup>-1</sup> )	DA (G·cm <sup>-3</sup> )	CC %	PMP %	P %	Textura
AnHu	71.7	5.2	0.18	0.91	58.7	34.8	61.3	Franco-Arenoso
AnCa	10.1	4.9	0.18	0.99	49.3	30.4	58.0	Franco
AcOr	5.6	4.7	0.14	1.00	47.7	33.2	58.6	Franco-Arcilloso
AcPl	12.5	4.2	0.10	0.98	43.9	31.4	60.8	Arcilloso

**Nota:** AnHu: Andosol húmico; AnCa: Andosol cámbico; AcOr: Acrisol ortico; AcPl: Acrisol plíntico; CE: Conductividad eléctrica; DA: Densidad aparente; CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; P: Porosidad.

mente el desarrollo del café en su etapa inicial. El tipo de textura está relacionado con la cantidad de agua retenida a CC y PMP (Kramer & Boyer, 1996) y con el volumen de agua disponible para las plantas (Lambers et al., 1998).

De acuerdo con lo anterior, se puede determinar que el Andosol Húmico, con textura franco-arenosa, presenta la mayor CC (58.7 %) pero también un PMP relativamente alto (34.8 %), lo que representa un 23.9 % de agua disponible para las plantas. Aunque su textura es más gruesa, la alta porosidad (61.3 %) y baja densidad aparente (0.91 g·cm<sup>-3</sup>) indican una buena estructura, típica de suelos volcánicos ricos en materia orgánica. Acrisoles Plínticos, de textura arcillosa, tiene una CC de 43.9 % y PMP de 31.4 %, lo que representa el 12.5 % de agua útil para las plantas. El Andosol Cámbico, presenta una textura franca, lo que da como resultado un 18.9 % de agua disponible. Su densidad aparente es relativamente alta (0.99), lo cual podría limitar la aireación, pero sigue siendo favorable para el desarrollo radicular. Y el tipo de suelo Acrisol Órtico, con textura franco-arcillosa, solo tiene un 14.5 % de agua disponible. Aunque presenta una textura más fina, su DA=1 sugiere que el suelo está compactado, lo que puede estar reduciendo el volumen total de agua aprovechable.

## Caracterización de los cultivos agrícolas

### Cultivo de aguacate

Dentro del área de estudio solo se cultiva *Persea americana* var. Hass como producto comercial, ya que es la que presenta mayor demanda en los mercados nacionales e internacionales (Montealegre, 2014).

Aunque el árbol de aguacate puede alcanzar 20 m de altura (Bravo et al., 2009), dentro del área de estudio, los árboles son mantenidos entre los 3 - 5 metros. La forma del árbol suele mantenerse semicircular, semielíptica e irregular, con un diámetro de copa en promedio de 4 a 6 m. La primera cosecha del cultivo en esta zona ocurre entre los 3

y 5 años. No obstante, esto depende del manejo que haya recibido la planta en su desarrollo (Campos et al., 2015) y de la procedencia de las plantas: injertos o semillas (Cruz-López et al., 2020).

En cuanto al manejo de las huertas se están aplicando principalmente las siguientes actividades: podas (formación, mantenimiento y producción), fertilización orientada a corregir acidez del suelo, riegos para disminuir el estrés hídrico en la época de estiaje, control de plagas y enfermedades, control de malezas y técnicas de cosecha adecuadas.

Las principales problemáticas del aguacate son ocasionadas por el barrenador del hueso (*Copturus aguacatae*), ya que causa daños importantes en los frutos, haciendo que se caigan prematuramente o que desarrollen deformidades. Por otro lado, también existen daños físicos causadas por granizo, así como también hay afectación en tamaño y aborto de frutos por sequía. Sumado a ello, existe una problemática por fluctuaciones de precio, debido a que, de acuerdo con los productores, el mercado del aguacate es muy volátil, esto se presenta por que, el cultivo está enfrentando una crisis económica debido a que los precios ya no crecen como antes, mientras que los costos de producción siguen aumentando, lo que pone en riesgo la rentabilidad del aguacate (Diaz, 2024).

En cuanto a las afectaciones climáticas, los vientos fuertes, precipitaciones intensas y heladas, pueden causar la pérdida directa de la fruta durante la postcosecha, debido a las cicatrizes que causan sobre la misma; el incremento de organismos patógenos como hongos e insectos, principalmente asociados a condiciones de abundante lluvia, especialmente durante la floración, causa enfermedades como la antracnosis (Cruz et al., 2020), afectaciones que se ven reflejadas directamente sobre el rendimiento del cultivo.

Para enfrentar las problemáticas descritas, se recomienda implementar un manejo integrado de plagas para controlar al barrenador del hueso. Una de las formas para el

control, consiste en recolectar y destruir los frutos infestados, mediante entierro o incineración y se deben realizar podas en los árboles hospedantes para controlar la sombra y propiciar la aireación. Mientras que, para el control biológico, recomienda el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* que se aplican directamente al suelo o tallo (SENACICA, 2016). La aplicación de estos métodos debe realizarse durante la época crítica que va de julio a octubre, cuando se observan adultos activos y frutos en desarrollo (SAGARPA, 2005).

Aplicar Quitosano que es un fungicida natural derivado de la quitina, como método preventivo para combatir la antracnosis, este crea una película protectora que inhibe el crecimiento de los hongos, se recomienda aplicar durante la floración y el crecimiento del fruto, cada 15 días durante la temporada de lluvias, mediante aspersión foliar (Munhuweyi et al., 2020), y evitar el exceso de humedad dentro de las fincas.

Se propone la implementación de estrategias de riego localizado, como el riego por goteo, vinculando directamente con los principios de la teoría de Regulated Deficit Irrigation (RDI), que propone aplicar un suministro de agua por debajo de las necesidades potenciales del cultivo, restringiendo el riego en ciertas fases fenológicas sin afectar significativamente el rendimiento ni la calidad del producto (Yang et al., 2022). En aguacate y café, el RDI puede implementarse limitando el riego durante la fase de crecimiento vegetativo (cuando el cultivo tolera cierto estrés), y concentrar el suministro de agua durante la floración y el llenado del fruto. Esto permitirá mantener la calidad del fruto y reducir el consumo total de agua, sin afectar la producción. Gasque et al. (2016), demostraron que la aplicación de RDI en naranja, pudo ahorrar entre un 50 y un 55 % de agua sin afectar la productividad, además de reducir problemas en la formación de frutos y mejorar la calidad comercial de los cítricos.

Además, se deben instalar protecciones contra vientos, granizo y heladas. Lahak et al. (2024), encontró que cubrir los árboles jóvenes de la variedad Hass con malla sombra al 60 % durante época de invierno mitiga los daños causados por las heladas y mejora el rendimiento de los árboles. Mientras que para evitar daños por granizo y vientos fuertes Tapia et al. (2011), recomienda establecer cortinas rompevientos, cercas vivas o plantar árboles acompañantes que amortigüen estos impactos.

### Cultivo de café

Específicamente en la microcuenca solo se cultiva la especie *Coffea arabica*, establecido en su mayoría con las variedades *Colombia* y *Costa Rica*, que desplazaron a la variedad *Typica* a partir del año 2013; esto debido a las afectaciones de la roya (*Hemileia vastatrix*), los productores incrementaron la presencia de variedades con resistencia a este patógeno (Escamilla et al., 2016).

El cultivo de café en la superficie estudiada es clasificado como cultivo comercial, sistema que consiste en la utilización de especies nativas o introducidas con alto valor comercial que funcionan para proporcionarle sombra al café (García et al., 2020). Las especies arbóreas que predominan en asociación con el cafetal son chalahuite o vainillo (*Inga vera*), cedro (*Cedrela odorata*), encino (*Quercus sp.*), aguacate (*Persea americana*), fresno (*Fraxinus uhdei*), macadamia (*Macadamia integrifolia*) y mango (*Mangifera indica*), cabe mencionar que los frutales son cosechados solo para autoconsumo.

El café es una planta arbustiva, perenne de origen tropical, sin embargo, ha logrado adaptarse a diferentes ecosistemas como bosques de pino-encino y bosques mesófilos de montaña (Toledo & Moguel, 1996). Las variedades *Colombia* y *Costa Rica* presentan similitudes en su estructura, ambas tienen una altura promedio de 2-2.5 metros y diámetro de copa de 1.5-2 metros y generalmente está siendo plantado con una densidad de  $3\ 500\ \text{plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$ , en arreglos tres bolillo o cuadrados de entre 1.5-2 metros entre plantas.

Relacionado con el manejo del cultivo, una de las principales actividades es la aplicación de fertilizantes: abonos provenientes de desechos del ganado, aunque se recomienda que estos desechos sean previamente composteados, ya que de esta forma habrá mayor contenido de Molibdeno, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio con la finalidad de obtener un producto con mayor valor nutricional (Pérez, 2008). Culturalmente los productores aplican desechos de la cosecha del café, sin embargo, el estudio de Blagodatskaya & Kuzyakov (2013) indican que su aplicación directa es perjudicial, debido a que contienen un alto concentrado de fenoles y polifenoles constituyentes de la pulpa que resultan ser sustancias tóxicas para la mayoría de las especies de artrópodos y microorganismos. Por lo tanto, se recomienda aplicar solo el 25 % de pulpa de café respecto al volumen total de la compostura (Cervantes Beyra et al., 2015). Otras actividades de manejo recurrentes de acuerdo con los productores son el control de malezas y las podas de árboles para control de sombra. A pesar del antecedente de la afectación por roya, el 93 % de los productores no realizan actividades preventivas de control de plagas y enfermedades. El manejo de las fincas cafetaleras está basado únicamente en técnicas tradicionales, con poca o nula tecnología agrícola, debido principalmente a la falta de recursos económicos y tipo de relieve predominante (Bautista et al., 2018).

Una de las principales problemáticas que presenta el cultivo, es la disminución paulatina de la mano de obra, debido a la migración de los jóvenes y la edad promedio de los productores (60 años). Lo cual representa una amenaza potencial para seguir cultivando café en la región, debido a que la transmisión del conocimiento local, valioso en la producción, (Morales, 2013) se está perdiendo gradualmente. Lo anterior implica la necesidad de incentivar

a la población joven a quedarse en el campo mediante programas dirigidos al relevo generacional, además deben realizarse acciones que resalten la tradición y cultura, de forma que se pueda dar continuidad a la producción del café (Jiménez Barbosa et al., 2018).

Por otro lado, la roya sigue siendo una amenaza fitosanitaria latente que podría provocar una nueva caída en la producción de grano. Ya que, afecta principalmente plantaciones viejas, mal nutridas y enfermas por nemátodos u otros hongos (Hernández-Martínez & Velázquez-Premio, 2016). Se recomienda continuar estableciendo las variedades Colombia y Costa Rica ya que han demostrado resistencia a la roya (Escamilla et al., 2016).

De acuerdo con Escamilla et al. (2005), otras afectaciones se pueden presentar por una inadecuada poda de los cafetales y mala regulación de sombra. Sumado a lo anterior, en el presente año se registró una temporada de sequía que salió del rango registrado históricamente. De acuerdo con los productores la falta de lluvias durante marzo y abril afectó el ciclo de floración. Ésta ocurrió en muchos casos hasta mayo, ya que depende de las primeras lluvias para activar el proceso, lo cual provocó una disminución de la cantidad de flores, que se verá reflejada en una disminución de la producción del grano en la presente temporada de cosecha. Debido a lo anterior se recomienda establecer la variedad denominada *San Román* ya que es resistente a sequía. De igual forma se propone complementar con técnicas de conservación de humedad como accolchados orgánicos y obras de captación de agua, vinculadas con los fundamentos del RDI (Yang et al., 2022). Con la finalidad de reducir los costos de producción y aumentar la resiliencia ante los impactos de las variaciones climáticas.

## Diagnóstico general de los sistemas agrícolas de café y aguacate

Al integrar las variables biofísicas y las prácticas de manejo se propone el siguiente diagnóstico general de los cultivos evaluados: las condiciones edafoclimáticas son favorables para el desarrollo de café y aguacate, no obstante, existen deficiencias clave que limitan el rendimiento y la sostenibilidad de estos sistemas. Estas limitaciones se relacionan principalmente con: i) la acidez elevada del suelo, especialmente en áreas de café establecidas en Acrisoles, lo cual reduce la disponibilidad de nutrientes; ii) el uso limitado de tecnologías para el manejo eficiente del agua, particularmente en períodos de estiaje; iii) falta de prevención en el manejo fitosanitario, lo cual, incrementa los costos de producción y la vulnerabilidad a enfermedades como la roya y la antracnosis; y iv) escasa tecnificación, la baja adopción de prácticas agroecológicas y la reducción progresiva de la mano de obra calificada.

## Conclusiones

La caracterización biofísica y descriptiva de los cultivos café bajo sombra y aguacate, permitió identificar factores

ambientales, prácticas agrícolas y factores socioeconómicos que están influyendo directamente en su producción. Aunque estos cultivos son fundamentales para la economía regional, están continuamente enfrentando desafíos como plagas, enfermedades, variabilidad climática y manejo inadecuado de recursos, entre otros, lo que podría comprometer su viabilidad y productividad.

El cultivo de aguacate variedad Hass tiene un potencial significativo de incrementar la superficie plantada en la microcuenca, ya que existen las condiciones biofísicas adecuadas para su establecimiento. El cultivo se desarrolla sobre Andosol húmico, este tipo de suelo tiene las características adecuadas para la retención y disponibilidad de agua. Sin embargo, enfrenta afectaciones que se reflejan en la productividad del cultivo, principalmente relacionadas con la acidez del suelo que limita la disponibilidad de nutrientes, y con problemas fitosanitarios como el barrenador del hueso y la antracnosis, que se intensifican con el exceso de humedad.

Para contrarrestar estas problemáticas, se recomienda un manejo dirigido a corregir el pH mediante la aplicación de insumos que están al alcance de los productores, como cal y compostas. La aplicación de preparaciones naturales como quitosano y hongos entomopatógenos. Así como establecer riego localizado bajo los principios de RDI, y proteger físicamente al cultivo contra afectaciones ambientales como granizo, viento y heladas mediante cortinas rompevientos y malla sombra. Estas acciones permitirán optimizar la productividad, reducir costos de producción y asegurar la continuidad del cultivo ante variaciones climáticas y variaciones del mercado.

El 94.4 % del cultivo de café se encuentra establecido en altitudes, pendiente y clima ideales para su desarrollo óptimo, sin embargo, una de las principales limitantes se relaciona con el tipo de suelo, ya que más del 50 % del cultivo se encuentra sobre Acrisoles con pH ácidos, textura arcillosa, baja fertilidad y drenaje limitado. Estas condiciones reducen la disponibilidad de nutrientes y aumentan el aluminio intercambiable, lo que afecta el sistema radicular y la absorción de nutrientes, lo que orilla a los productores a utilizar insumos correctivos, elevando los costos de producción.

Por lo que es necesario aplicar abonos orgánicos previamente composteados y solo incluir el 25 % de pulpa de café en el volumen total, para corregir los problemas de acidez y mejorar la fertilidad. Es importante continuar con el establecimiento de variedades resistente a la roya: Colombia y Costa Rica. La pérdida progresiva de mano de obra que amenaza la continuidad del cultivo puede abordarse a partir de programas de gobierno o iniciativa privada dirigidos al relevo generacional. Una de las estrategias para combatir sequía es establecer la variedad *San Román*, y aplicar técnicas de conservación de humedad bajo el enfoque del RDI, para reducir el impacto de va-

riaciones climáticas y con esto mejorar la rentabilidad, productividad y la continuidad del cultivo a largo plazo.

## Referencias

- Bautista, C. E. A., Ordaz, C. V. M., Gutiérrez, C. M. C., Gutiérrez, C. E. V., & Cajuste, L. B. (2018). Sistemas agroforestales de café en Veracruz, México: Identificación y cuantificación espacial usando SIG, percepción remota y conocimiento local. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(3), 261-273. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.350>
- Bernal-Estrada, J., & Díaz-Díez, C. (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo del aguacate. Antioquia, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. *Agrosavia*. 777p. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Bertrand, B., Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., & Charmetant, P. (2006). Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology*, 26(9), 1239-1248. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.9.1239>
- Blagodatskaya, E., & Kuzyakov, Y. (2013). Active microorganisms in soil: critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 192-211.
- Bravo, E. M., Sánchez, P. J. L., Vidales, F. J. A., Saenz, R. J. T., Chávez, L. G. J., Madrigal, H. S., Muños, F. J. H., Tapia, V. L. M., Orozco, G. G., Alcantar, R. J. J., Vidales, F. I., & Venegas, G. E. (2009). Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP), Centros de Investigación Regional Pacífico del Centro. [http://www.inifapcirne.gob.mx/Revistas/Archivos/libro\\_aguacate.pdf](http://www.inifapcirne.gob.mx/Revistas/Archivos/libro_aguacate.pdf)
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1-2), 89-101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Campos, B., Calderón, E., Gonzales, J., Barcelo, A., Sarmiento, D., Gonzales, M. J., Medina, D., Barea, A., Guirando, E., & Ramón, B. J. (2015). *El cultivo del aguacate*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y Soberanía Alimentaria. (2020). Los apoyos directos a los productores de café y sus resultados.
- Cervantes Beyra, R., Castro-Lizazo, I., Mesa Pérez, M. A., Ocampo Ramírez, A., Fernández Valdés, D., & Fernández Valdés, D. (2015). Efecto de la pulpa de *Coffea arabica* L. sobre la microflora de tres unidades de suelos. *Revista de protección vegetal*, 30(2), 115-122.
- Congedo, L. Complemento de clasificación semiautomático: Una herramienta de Python para la descarga y el procesamiento de imágenes de detección remota en QGIS. Rev. Softw. Código Abierto 2021, 6, 3172.
- Classen A., Peters Marcell K., Ferger Stefan W., Helbig-Bonitz M., Schmack J. M., Maassen G., Schleuning M., Kalko E. K. V., Böhning-Gaese K., & Steffan-Dewenter I. (2014). Complementary ecosystem services provided by pest predators and pollinators increase quantity and quality of coffee yields. *Proceedings of the Royal Society*. B.28120133148. <http://doi.org/10.1098/rspb.2013.3148>
- Cruz, D. F., Caamal, I., Pat, V. G., Gómez, A. A., & Espinoza, L. E. (2020). Posicionamiento internacional del aguacate (*Persea americana*) producido en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 47(2020), 561-570.
- DANE. (2016). Cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* Mill; *Persea nubigena* var. *Guatemalensis* x *Persea americana* var. *drymifolia*), plagas y enfermedades durante la temporada de lluvias. *Insomos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, 50, 1-102. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insomos\\_agr\\_2016.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insomos_agr_2016.pdf)
- Díaz Castellanos, R. (2024). El colapso del mercado mundial del aguacate. La crisis en círculo para el sector productor mexicano en el mediano plazo (2023-2027). *Revista Mexicana de Estudios Sobre la Cuenca del Pacífico*, 2(3).
- Escamilla-Prado, E. (2016). Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. *Breves de Políticas Públicas. Boletín Informativo, Programa Mexicano del Carbono, Proyecto Una REDD para Salvar la Sombra-de la Sierra Madre de Chiapas*. [http://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/redd/Breves\\_de\\_Politicas\\_Publicas\\_No.4-Variedades\\_de\\_cafe\\_en\\_Mexico.pdf](http://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/redd/Breves_de_Politicas_Publicas_No.4-Variedades_de_cafe_en_Mexico.pdf)
- Escamilla, P. E., & Díaz, S. C. (2016). Sistemas de cultivo de café en México. Huatusco, Veracruz. CENACAFE.
- Escamilla, P. E. O., Ruiz, R. G., Díaz, P. C., Landeros, S. D. E., Platas, R. A., Zamarripa, C., & González, H. V. A. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 76, 5-16. Recuperado de <http://www.cafeybiodiversidad.mx/archivos/A1853e.pdf>
- FAO. (2014). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014: Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. FAO.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2019). *Panorama agroalimentario 2019 del café*. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial.
- Gasque, M., Martí, P., Granero, B., & Gonzalez-Altozano, P. (2016). Effects of long-term summer deficit irrigation on 'Navelina' citrus trees. *Agricultural Water Management*, 169, 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.028>
- García, P. R., Díaz, J. D. G., Velarde, E. V., & Rivas, A. I. M. (2020). Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Revista Ra Ximhai*, 16(4 Especial), 137-158.
- Gabriel-Hernández, L., & Barradas, V. L. (2024). Panorama of coffee cultivation in the central zone of Veracruz State, Mexico: Identification of main stressors and challenges to face. *Sustainability*, 16(2), 802.
- García, P. R., Díaz, J. D. G., Velarde, E. V., & Rivas, A. I. M. (2020). Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Revista Ra Ximhai*, 16(4 Especial), 137-158.
- García, C. H. D., Martínez, S. I. C., Cuauhtzihua, F. U., & Flores, N. R. C. (2023). Modelo de pronósticos y estandarización para la producción agrícola: Caso de estudio aguacate para la Sierra de Zongolica. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 9(17), 2076-2089.

- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garrido-Ramírez, E. R. (2013). Áreas potenciales para el cultivo de Aguacate (*Persea americana* L.) cultivas "Hass" en el Estado de Guerrero, México. *Agro Productividad*, 6(5).
- Gobierno del Estado de Veracruz. (2019). *Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD) 2019–2024*. Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. <https://goo.su/KaZx0j0>
- Hernández-Martínez, G., & Velázquez-Premio, T. (2016). Análisis integral sobre la roya del café y su control. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 1(1), 92-99.
- INEGI. (2014). *Conjunto de datos vectorial edafológico, escala 1:250 000 Serie II (Conjunto Nacional)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2023). *Modelo Digital de Elevación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jiménez, A. A., Marceño Flores, S. M. L., González, O. N., & Vilchez, F. F. (2023). Potential coffee distribution in a central-western region of Mexico. *Ecologies*, 4(2), 269-287.
- Jiménez Barbosa, W. G., de la Portilla, E., Basante, A. Y., Zúñiga, L. A., Zambrano, D. F., Rojas, J. S., & Delgado, R. A. (2018). Relevamiento generacional para la continuidad de producción cafetera familiar: Caso municipio de Albán, Nariño-Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 10, 67–92.
- Kramer, P. J., & Boyer, J. S. (1996). Water relations of plants and soils, 2da. Ed. Academic Press, San Diego. 495 p.
- Lahak, M., Alon, E., Chen, A., & Rubinovich, L. (2024). Covering young avocado 'Hass' trees with high-density shading nets during the winter mitigates frost damage and improves tree performance. *Trees*, 38(2), 327-338.
- Lambers, H.; Chapin, F. S., & Pons, T. L. (1998). Plant physiological ecology. Nueva York. Springer Verlag. 540 p.
- Larios-González, R. C., Salmerón-Miranda, F., & García-Centeno, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *La Calera*, 14(23), 67-75.
- Malagón Manrique, R., & Prager Mosquera, M. (2001). El enfoque de sistemas: Una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola. Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez-López, A., Cruz-León, A., Sangerman-Jarquín, D. M., Díaz Cárdenas, S., Cervantes Herrera, J., & Ramírez-Valverde, B. (2022). Prevalencia de los saberes tradicionales en las unidades de producción de café de la región Huatusco, Veracruz, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 1172-1185.
- Montealegre, M. V. P. (2014). Aguacate Hass: para conquistar nuevos paladares. *Universitas Científica*, 17(2), 8-11.
- Morales, B. I. (2013). La vida en torno al café: marginación social de pequeños productores en San Pedro Cafetitlán, Oaxaca, México. *Diálogos Revista Electrónica*, 14(1), 79-96. <https://doi.org/10.15517/dre.v14i1.8110>
- Munhuweyi, K., Mpai, S., & Sivakumar, D. (2020). Extension of Avocado Fruit Postharvest Quality Using Non-Chemical Treatments. *Agronomy*, 10(2), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020212>
- Nkiaka, E., Bryant, R. G., Dembélé, M., Yonaba, R., Priscilla, A. I., & Karambiri, H. (2024). Quantifying the effects of climate and environmental changes on evapotranspiration variability in the Sahel. *Journal of Hydrology*, 131874.
- Ortíz Solorio, C. A., & Gutiérrez Castorena, M. del C. (1999). Evaluación taxonómica de sistemas locales de clasificación de tierras. *Terra Latinoamericana*, 17(4), 277-286.
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(3), 10-29. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000300002>
- Ploetz, R. C. (2013). The avocado and its pathogens. *Plant Pathology*, 62(2), 205-213. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02651.x>
- Ruiz-García, P., Gómez-Díaz, J. D., Valdes-Velarde, E., Tinoco-Rueda, J. A., Flores-Ordoñez, M., & Monterroso-Rivas, A. I. (2020). Biophysical and structural composition characterization in agroforestry systems of organic coffee from Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2).
- Sadeghian, S., Trujillo, V. F. A., Poveda, V. D., Salazar, L. A. L., & Sandoval, J. C. R. (2019). Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición. Libros y Manuales, 80-105.
- Salamanca, A., Sadeghian, S., & Amézquita, E. (2005). Densidad aparente en dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto.
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., & González-Durán, I. J. L. (2009). La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. *Agricultura Técnica en México*, 35(4), 439-448.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-066-FITO-2002: Especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate. Diario Oficial de la Federación, 18 de mayo de 2005.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2016). Barrenador pequeño del hueso del aguacate: *Conotrachelus aguacatae* (Barber) y *Conotrachelus perseae* (Barber) (Coleoptera: Curculionidae) (Ficha técnica). Dirección General de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria – Grupo Especialista Fitosanitario.
- Tapia, V. L. M., Larios-Guzmán, A., Vidales-Fernández, I., Bravo, M., & Hernández, A. (2011). Caracterización hidrológica del aguacate en Michoacán. *Proceedings of the VII World Avocado Congress*
- Toledo, V. M., & Moguel, P. (1996). El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*, 43, 40–51. Disponible en <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no43/CNS04306.pdf>
- Valencia, E., & Rodríguez, J. (2016). Evaluación edafoclimática para la producción de café en Veracruz. *Revista Terra Latinoamericana*, 34(3), 233-244.
- Yang, B., Fu, P., Lu, J., Ma, F., Sun, X., & Fang, Y. (2022). Regulated deficit irrigation: an effective way to solve the shortage of agricultural water for horticulture. *Stress Biology*, 2(1), 28.