

# ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD DEL SUELO DEL CAFÉ BAJO SOMBRA EN CHIAPAS, MÉXICO

## FERTILITY ANALYSIS OF SOIL OF COFFEE UNDER SHADE IN CHIAPAS, MÉXICO

Fernando Paz<sup>1</sup>, Luis Alberto Palacios<sup>2</sup>, Adán Villa<sup>1</sup> y A.S. Velázquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa Mexicano del Carbono y Colegio de Postgraduados, Estado de México, México

Autor para correspondencia: ferpazpel@gmail.com

<sup>2</sup>Consultor en Recursos Hidráulicos, Hermosillo, Sonora

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo, Toluca, Estado de México.

### RESUMEN

La fertilidad del suelo de los cafetales bajo sombra de la Sierra Madre de Chiapas es analizada en este trabajo usando categorías de porcentajes de aciertos. Los resultados muestran pocas variaciones por lo que pueden ser usados en forma confiable. Las evaluaciones resultaron adecuadas a través de variables químicas asociadas a micro y macronutrientes, con relaciones comunes entre ellas, permitiendo relaciones funcionales robustas.

**Palabras clave:** *café orgánico bajo sombra, micro y macronutrientes suelo, calidad del café, datos limitados*

### ABSTRACT

The soil fertility of shaded coffee plantations in the Sierra Madre of Chiapas is analyzed in this work using categories of percentages of correct answers. The results show little variation so they can be used reliably. The evaluations were adequate through chemical variables associated with micro- and macronutrients, with common relationships between them, allowing robust functional relationships.

**Key Words:** *organic coffee under shade, soil micro and macronutrients, coffee quality, limited data*

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo de una caficultura bajo sombra resiliente requiere de una fertilidad de los suelos consistente con estándares de alta calidad. El café orgánico generalmente es de plantaciones bajo sombra arbórea (Escamilla *et al.*, 2005 y 2012; Rosas *et al.*, 2008; López-García *et al.*, 2016), lo cual genera importantes servicios ecosistémicos (Libert *et al.*, 2020) con impacto en las reservas de carbono (Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018).

La certificación del café permite su comercio adecuado, facilitando su intercambio en el mercado. El café orgánico, y de especialidad, requiere de controles de calidad para su certificación (Sosa *et al.*, 2004; Escamilla *et al.*, 2005; Escamilla y Landeros, 2016), por lo que es crítico la evaluación de la calidad del café producido. Los factores que determinan la calidad del café son los ambientales y agronómicos (Santoyo *et al.*, 1996; Wintgens, 2004), reflejándose en una mejor nutrición y disponibilidad de agua. La calidad del café se caracteriza por atributos físicos y sensoriales. Los factores genéticos y ambientales se reflejan en el tamaño y forma de los granos de café. En los mercados internacionales, atributos como la altitud (Bertrand *et al.*, 2006) de los cafetales y la presencia de sombra arbórea (DaMatta, 2007) son usados como criterios de calidad, y cantidad, del café. La variedad de café tiene un papel importante en la calidad, y cantidad, de frutos en la cosecha del café (Hein y Gatzweiler, 2005; Kathurima *et al.*, 2009). Los factores genéticos y ambientales se reflejan en el tamaño y forma de los granos de café y propiedades organolépticas (Santoyo *et al.*, 1996; Cheng *et al.*, 2016).

La química de los suelos, tal como los macronutrientes (C, H, N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo) ha sido analizada para caracterizar la calidad del café (Rosas, 2006; Escamilla, 2012), lo cual es de reciente implementación en México (Pérez *et al.*, 2005; Pérez-Portilla *et al.*, 2011). El análisis de las variedades de café y su efecto en su calidad ha sido considerado en varios estudios (Escamilla *et al.*, 2015; López-García *et al.*, 2016 y 2021). Entre los principales atributos físicos evaluados en los estudios de calidad es el rendimiento del café pergamino a oro, cantidad de kilogramos de café pergamino necesarios para obtener un quintal de café oro; la producción de frutos vanos (flotan agua); la planchuela sana, la planchuela es un grano típico de forma plano convexa similar a la mitad de un elipsoide; y el tamaño de los granos, principalmente para preparación europea.

La producción de cafés de especialidad orientada a nichos de mercado ha sido propuesta como una estrategia para la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos del café (Morales y Bolaños, 2022). Este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de caracterización y pronóstico de la calidad física del café a través del uso de una base de datos de propiedades del suelo y del café (UACH-INCAFECH-CONACYT, 2018) en función de la química de los suelos y forma parte del proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafeticultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas” (Bolaños-González *et al.*, 2021), financiado por el CONACYT.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La base de datos analizada corresponde a UACH-INCAFECH-CONACYT (2018) y no ha sido estudiada previamente.

La Figura 1 muestra la distribución de los sitios de muestreo de cafetales orgánicos bajo sombra en las 13 regiones de Chiapas, México.



**Figura 1. Distribución geográfica de los sitios de muestreo en Chiapas**

## **Recolección de muestras**

Para el muestreo de los suelos de los cafetales, se utilizaron parcelas de muestreo de 25 m x 25 m, donde alrededor de cada vértice del cuadrado se colectaron muestras con una pala recta a una profundidad de muestreo de 30 cm. Adicional a las cuatro muestras de los vértices se tomó una muestra en el centro de la parcela. Las 5 muestras fueron utilizadas para obtener una muestra compuesta al homogeneizarlas usando “cuarteos diagonales” hasta obtener una muestra de 1.0 kg. La muestra se colocó en una bolsa de polietileno, se etiquetó y se trasladó a las instalaciones de la UACH (CRUO/CENACAFE) en Huatusco, Veracruz en donde se procedió a su secado en temperatura ambiente y bajo sombra. Secada la muestra se dividió en dos partes de medio kg,

almacenándose para su análisis físico y químico. El número de muestras fue de 141 para las determinaciones en laboratorio.

Para las muestras de café, se procedió la cosecha en el periodo de diciembre a febrero del ciclo cafetalero 2016-2017. Considerando que la época de maduración de los frutos del café se prolonga por varios meses y la cosecha se realiza en varios cortes, todas las muestras de café cereza se hicieron durante el corte principal (el de mayor volumen). En cada parcela se cosecharon alrededor de 12 kg de fruto en estado óptimo de maduración, de la variedad predominante en los sitios seleccionados en los cafetales de los productores. La cosecha se realizó en forma manual, con especial atención de que las cerezas estuvieran en un grado óptimo de maduración y se evitara cosechar granos verdes, inmaduros o “pintones”, secos o agrios.

Del total de café cosechado se pesaron 10 kg de frutos maduros, después de un proceso de selección en el que se eliminaron los frutos que no tuvieron maduración uniforme y algunas impurezas (hojas, pedúnculos, etc.) y se procedió a homogeneizar la muestra. De la muestra del total de café cereza se obtuvieron tres submuestras, cada uno de 100 g, en las que se determinó las variables: peso promedio de fruto (g), porcentaje de frutos dañados por la broca del café, porcentaje de frutos vanos o vacíos (flotan en el agua) y eficiencia o rendimiento del proceso de beneficiado de café cereza a pergamino (kg). Se recopiló la información de los registros y se procedió a reintegrar las submuestras a la muestra original para proceder al beneficiado. Los datos de los atributos físicos se determinaron en el Laboratorio de Calidad de Café de la UACH-CRUO de Huatusco, Veracruz en los meses de febrero a junio de 2017, evaluándose semanalmente cinco muestras. Los datos físicos determinados fueron: rendimiento industrial del proceso de beneficiado de café pergamino a oro (kg), color del café oro, porcentaje de granos normales (tipo planchuela),

porcentaje de los granos anormales (caracol, triangulo, conchas, elefantes) y tamaño de los granos, medido en zarandas o malla con orificios, para determinar el tamaño grande (preparación europea).

Las muestras de café se sometieron al procedimiento de los cafés lavados o suaves (vía húmeda), que incluye las fases de despulpado, fermentado natural, lavado y secado al sol. Para esto se utilizaron despulpadoras de cilindro o de tambor y de disco. La muestra de café despulpado se colocó en recipientes de plástico para su fermentación y se revisó continuamente la remoción total del mucilago y cuando termino la fermentación se procedió a lavar la muestra.

El café lavado se colocó en costalillas de plástico para su secado al sol. Este proceso requirió de 3 a 10 días en función de las condiciones ambientales prevalecientes, hasta obtener un café pergamino seco con 12.5 % de humedad. El café pergamino se trasladó y almaceno en las instalaciones de la UACH, en Huatusco, Veracruz. Las muestras se empacaron en bolsas plásticas y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su catación. En el almacenamiento de las muestras de café se les asigno una numeración en función del periodo de cosecha, para así evitar problemas de añejamiento del café. La evaluación sensorial de la infusión de café se realizó en el Laboratorio de Calidad de Café de la UACH-CRUO en Huatusco, Veracruz, desarrollándose en los meses de febrero a junio de 2017, evaluándose cinco muestras por semana.

Para la evaluación sensorial, las muestras se tostaron y molieron en forma estandarizada. El análisis sensorial fue realizado por un panel de catadores o jueces, que describieron cuatitativa y cualitativamente los atributos de la infusión, mediante pruebas ciegas con base a los criterios de la SCAA (2003). Las variables sensoriales fueron tiempo de tueste, color del tueste, temperatura promedio del tueste y numero vanos al tueste, intensidad de aroma, intensidad de acidez, intensidad de cuerpo t número de tazas dañadas, así como el buqué de la infusión definido por los atributos denominados fragancia, aroma, nariz y resabio. En cada uno de los atributos se determinaron notas

primaria, secundaria y terciaria. En el manejo de las muestras y evaluación sensorial se usaron los procedimientos de la Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2003) y la Secretaría de Economía (2002).

Los atributos (A) evaluados fueron:

A1: Aroma: Olor de los vapores que se desprenden de una bebida recién preparada.

A2: Sabor:

A3: Resabio o sabor residual: Sensación de sabor percibida en el paladar después de la fase gustativa, provocada por el conjunto de vapores que provienen del material orgánico más pesado.

A4: Acidez: sensación gustativa primaria producida por la dilución de ácidos orgánicos y percibida con mayor intensidad en las regiones laterales de la lengua.

A5: Cuerpo: sensación táctil percibida en la boca por la presencia de sustancias insolubles líquidas o sólidas, suspendidas en la bebida.

A6: Balance

A7: Dulzor:

A8: Tazas limpias. Se refiere a los sabores indeseables detectados en seis tazas de la infusión por muestra.

A9: Apreciación:

A10: Defectos:

La evaluación es realizada de una escala de 0 a 8, donde el valor de 8 es el máximo posible. para evaluar la calidad sensorial del café se utilizó un puntaje definido por:

$$Puntaje = \sum_{i=1}^9 A_i - Defectos + 10$$

(1)

## Recomendaciones para la fertilidad de los suelos

Existen numerosas guías o recomendaciones para la fertilidad de los suelos en cafetales (Carbajal, 1984; Sadeghian, 2008; Bedoya y Salazar, 2014) lo que resulta difícil de aplicar dadas las diferencias en las recomendaciones. Por ejemplo, en el Cuadro 1 se muestran las recomendaciones de dosis óptimas para la fertilidad del suelo, realizadas por diferentes instituciones, donde se aprecian algunas diferencias con relación a las dosis.

**Cuadro 1. Rangos de fertilidad del suelo recomendados. Adaptado de Rosas (2006)**

Variable	Rango	Institución
Textura	Franca	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	Media	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
	Franca a migajón arcilloso	CENICAFÉ, Colombia
pH	4.5-5.5	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	4.9-5.6	CENICAFÉ, Colombia
	5.5-6.5	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Materia orgánica (g/kg)	70.0-100.0	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	11.4-12.6	CENICAFÉ, Colombia
Nitrógeno total (g/kg)	5.0-8.0	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
Potasio (mg/kg)	195.5-273.7	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	117.3-160.3	CENICAFÉ, Colombia
	78.2-586.5	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Fósforo (mg/kg)	15.0-20.0	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	6.0-14.0	CENICAFÉ, Colombia
	10.0-40.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Calcio (mg/kg)	801.6-1202.4	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	320.6-841.6	CENICAFÉ, Colombia
	801.6-4008.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Magnesio (mg/kg)	> 243.0	INMECAFÉ-NESTLÉ, México
	60.75-170.1	CENICAFÉ, Colombia
	121.5-1215.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Hierro (mg/kg)	10.0-50.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica



Cobre (mg/kg)	1.0-20.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Manganeso (mg/kg)	5.0-10.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica
Zinc (mg/kg)	3.0-15.0	ICAFÉ-MAG, Costa Rica

El Cuadro 2 muestra los resultados de los análisis de laboratorio para la fertilidad de los suelos.

**Cuadro 2. Resultados de la fertilidad de los suelos.**

Clave	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH	C (g/kg)	Nt (g/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
07087520001C-DS	57	19	23	6.2	50.3	2.98	1	1747.8	152.1	12.2	120.2	36	0.6	0.8	18
07087520002C-DS	57	19	23	5.6	26.7	1.52	1	1515.0	41.4	18.6	45.5	41	1.5	1.2	54
07087520003C-DS	33	36	32	6.8	41.8	3.17	3	4252.0	382.0	10.4	299.4	59	2.3	29.7	100
07087520004C-DS	41	26	34	6.4	41.8	2.77	1	2471.2	113.9	14.8	377.1	20	3.2	1.6	15
07087520005C-DS	55	20	26	6.4	51.0	3.57	1	2462.4	239.9	11.7	280.2	14	3.4	3.2	44
07087520006C-DS	55	16	30	5.9	58.1	3.10	t	1934.6	222.5	13.7	161.6	23	0.9	1.2	51
07087520007C-DS	51	18	32	5.6	25.1	<b>1.32</b>	t	<b>1162.3</b>	<b>88.4</b>	<b>11.8</b>	<b>103.0</b>	<b>18</b>	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>	<b>110</b>
07087520008C-DS	73	16	12	<b>5.2</b>	22.4	0.89	<b>1</b>	904.8	59.3	11.7	136.7	63	1.7	1.6	66
07087520009C-DS	73	16	12	6.1	70.5	4.59	t	2094.2	108.1	11.5	150.7	64	1.7	2.5	70
07087520010C-DS	67	8	26	6.2	14.1	1.09	1	1221.8	232.8	3.9	256.6	34	1.6	1.1	43
07081070011C-DS	47	20	34	5.3	35.3	1.56	t	34.4	46.9	7.7	180.9	32	0.3	0.5	33
07081080012C-DS	63	24	14	4.6	32.6	0.80	t	54.0	16.9	5.3	62.9	31	0.4	1.0	61
07081080013C-DS	59	26	16	5	59.3	2.94	t	1829.4	223.6	7.4	124.8	67	1.2	1.3	113
07081080014C-DS	51	26	24	5.3	51.0	3.23	t	1142.4	145.8	8.4	148.4	61	0.8	1.1	79
07081080015C-DS	51	26	24	4.9	55.7	2.50	t	1707.0	284.7	-9.6	120.7	82	0.6	1.0	132
07087520016C-DS	69	14	18	5.3	44.7	1.69	t	752.2	60.7	-4.1	62.5	26	0.7	0.5	63
07087520017C-DS	57	26	18	6.7	<b>49.5</b>	<b>2.41</b>	44	<b>4489.0</b>	<b>132.2</b>	<b>-5.5</b>	<b>245.4</b>	<b>28</b>	<b>1.4</b>	<b>1.7</b>	<b>16</b>
07087520018C-DS	71	20	10	6.3	7.9	0.56	<b>26</b>	1289.0	104.8	-1.8	87.5	19	0.3	0.2	4
07087520019C-DS	49	14	38	5.2	27.1	1.01	t	204.0	85.5	-8.7	204.1	24	0.4	0.5	16
07087520020C-DS	55	18	28	5.9	30.2	1.36	t	1715.8	184.1	-1.9	209.5	49	1.5	0.7	58
07087520021C-DS	49	24	28	5.6	19.2	0.70	t	79.6	10.2	4.4	87.4	32	0.3	0.1	3
07081070022C-DS	65	18	18	5.4	54.2	2.04	t	259.2	62.0	-10.6	69.1	24	0.5	0.4	44
07087520023C-DS	65	18	18	5.9	47.1	2.26	t	2083.0	155.3	-11.9	108.0	49	1.1	8.8	62
07087520024C-DS	14	21	65	6.1	59	3.5	4	2150.1	359.4	5.7	95.0	65	0.8	1.0	22
07087520025C-DS	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	4.9	21	1.1	<b>0.3</b>	393.9	137.7	16.2	63.9	22	0.3	0.4	10
07087520026C-DS	20	25	55	5.1	102	5.3	t	496.5	91.4	10.4	87.4	45	0.4	2.4	56
07087520027C-DS	14	29	57	6.1	34	1.5	13	1724.5	286.8	14.9	125.4	35	0.7	1.4	38
07087520028C-DS	12	25	63	9.8	61	3.8	3	2510.5	306.4	17.6	169.0	36	0.6	0.6	15
07087520029C-DS	14	31	55	6.2	91	6.9	0	4494.1	413.1	4.4	54.4	76	0.6	3.8	124
07087520030C-DS	24	27	49	5.4	38	2.0	8	1863.1	159.9	1.5	28.1	105	0.6	1.0	59
07087520031C-DS	12	25	63	6.1	35	1.6	33	2449.7	254.6	13.7	69.8	53	0.6	0.8	37
07087520032C-DS	20	23	57	5.4	33	1.7	12	1920.3	251.5	9.4	123.1	112	1.4	2.6	31
07087520033C-DS	16	25	59	6.1	<b>64</b>	<b>4.2</b>	10	<b>3226.4</b>	255.2	<b>0.0</b>	<b>137.8</b>	<b>135</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>50</b>

07087520034C-DS	14	21	65	5.5	45	2.1	10	2174.5	267.5	0.4	101.6	77	1.6	1.2	35
07087520035C-DS	30	25	45	<b>5.6</b>	40	2.2	6	1238.7	206.6	-1.8	23.0	111	1.2	2.9	97
07087520036C-DS	30	33	37	6.1	29	1.7	1	2546.5	389.1	4.7	40.6	179	1.0	0.8	48
07087520037C-DS	18	21	61	5.6	36	2.2	4	1781.3	162.2	-0.5	30.9	114	1.6	1.2	64
07081070038C-DS	36	17	47	5.3	23	0.9	1	300.9	114.6	0.8	84.5	19	0.1	0.4	1
07081060039C-DS	24	11	65	5.1	16	1.4	0	157.5	69.9	0.9	107.3	19	0.1	0.2	17
07081050040C-DS	16	27	57	5.3	17	0.6	2	331.9	116.8	4.5	64.1	42	0.2	0.3	46
07081070041C-DS	40	13	47	5.6	16	0.6	1	377.5	149.9	-6.4	189.3	27	0.1	0.2	12
07087520042C-DS	30	33	37	6.1	31	2.2	6	1921.9	313.6	7.1	72.1	276	1.9	2.6	57
07087550043C-DS	40	29	31	5.1	<b>19</b>	<b>1.1</b>	3	<b>340.7</b>	<b>303.8</b>	<b>23.0</b>	<b>172.7</b>	<b>88</b>	<b>1.2</b>	<b>3.5</b>	<b>57</b>
07087520044C-DS	36	31	33	6.1	21	1.9	6	2355.0	270.4	10.3	96.8	160	1.7	4.6	66
07087520045C-DS	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>47</b>	6.3	26	2.8	<b>4</b>	2560.2	517.5	4.6	144.4	85	1.2	7.2	113
07087550046C-DS	20	21	59	5.4	37	2.9	15	1374.8	97.4	11.8	54.2	123	1.2	7.8	42
07087520047C-DS	14	7	79	5.6	11	-0.1	11	382.2	63.2	8.0	44.6	200	0.9	1.7	96
07087520048C-DS	12	16	72	5.8	16	1.0	11	1361.4	172.5	9.4	53.7	75	0.8	1.8	16
07087520049C-DS	22	16	62	5.4	29	1.4	3	1032.2	215.9	8.2	149.7	135	0.6	2.1	100
07087550050C-DS	28	18	54	5.5	13	0.8	1	484.4	80.5	4.8	109.3	136	0.7	1.0	46
07087520051C-DS	26	28	46	6.7	21	1.3	4	1719.4	194.9	3.4	167.1	35	1.3	3.3	63
07087520052C-DS	18	24	58	6.8	29	1.9	7	2677.6	309.5	3.0	67.8	77	1.7	2.6	34
07087520053C-DS	24	30	46	5.9	<b>38</b>	<b>1.6</b>	5	<b>2645.3</b>	<b>376.7</b>	<b>0.0</b>	<b>62.1</b>	<b>271</b>	<b>2.8</b>	<b>3.4</b>	<b>222</b>
07087520054C-DS	38	26	36	6.3	32	1.5	6	2252.2	579.0	6.4	197.5	265	2.1	2.2	64
07087520055C-DS	28	30	42	<b>6.2</b>	21	1.3	16	3365.2	269.0	3.3	106.6	220	1.8	1.9	1
07081060056C-DS	30	30	40	5.9	25	1.6	17	1646.2	321.6	8.0	360.7	259	1.3	1.0	141
07081070057C-DS	34	28	38	5.8	24	1.2	2	1908.4	266.0	14.7	88.1	182	2.0	1.1	79
07087520058C-DS	20	20	60	6.5	42	2.9	32	3127.2	343.4	2.7	197.2	255	3.0	1.5	43
07087520059C-DS	34	24	42	6.1	23	1.4	6	2482.4	437.7	3.8	52.9	200	1.6	1.6	144
07087520060C-DS	48	22	30	5.9	25	1.6	1	1849.4	237.6	9.1	134.2	66	2.5	3.1	155
07087550061C-DS	38	26	36	5.3	27	1.7	3	1505.6	139.1	9.1	142.6	175	2.6	4.7	114
07087520062C-DS	34	40	26	5.9	37	2.3	1	1101.4	148.0	17.9	103.9	41	1.9	2.7	54
07087520063C-DS	40	36	24	5	<b>12</b>	<b>0.7</b>	1	<b>100.2</b>	<b>24.3</b>	<b>0.0</b>	<b>23.5</b>	<b>7</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>2</b>
07087520064C-DS	26	30	44	6.1	18	1.6	1	526.2	164.3	3.0	147.6	45	0.8	1.0	24

07087520065C-DS	<b>22</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	6.4	49	3.2	<b>2</b>	2155.6	217.7	5.0	307.1	81	1.1	2.4	130
07087520066C-DS	30	32	38	6.3	39	2.0	7	2585.8	180.9	9.4	143.3	90	3.5	3.6	55
07087520067C-DS	18	32	50	5.5	23	1.2	18	1817.4	197.4	15.2	77.8	158	0.6	1.0	98
07087520068C-DS	20	30	50	6.3	61	4.5	29	4784.8	487.0	7.6	126.7	207	2.1	3.5	49
07087520069C-DS	12	22	66	5.8	21	1.0	7	2102.6	231.9	18.7	13.5	94	1.0	1.9	38
07087520070C-DS	14	24	62	6.2	25	2.0	18	2461.4	202.6	4.6	123.3	95	1.0	2.5	30
07087520071C-DS	34	32	34	6	43	3.4	5	2244.4	298.7	3.3	147.8	244	2.3	2.3	70
	32	28	40	5.3	<b>30</b>	<b>1.9</b>	2	1471.0	155.5	12.9	35.0	86	1.7	1.5	95

---

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Cuadro 3 se muestran las estadísticas para las variables fisicoquímicas y el rendimiento de café pergamino a oro.

**Cuadro 3. Estadísticas de las variables de entrada y rendimiento**

Variable	Nú- mero	Media	Desv. Est.	Min	25%	50%	75%	Max
Rendimiento	414	55.7202415	1.64455487	51.15	54.9	55.62	56.2	68.5
Arena	414	49.8635749	14.9995456	12.16	40.44	49.48	62.43	79.16
Limo	414	18.9431884	7.53345632	7.6	13.64	17.62	23.6	63.6
Arcilla	414	31.2400483	13.3996245	6.88	21.6	30.88	39.96	67.64
pH Agua	414	5.65350242	0.635797	4.18	5.27	5.55	5.925	7.68
C	414	30.848715	10.3651318	9.106	24.708	30.914	37.12	65.946
N	414	2.38249034	0.51734066	0.087	2.21	2.52	2.76	3.12
P	414	6.07937198	10.1992968	0.26	1.19	2.79	5.76	80.89
Ca	414	2703.03691	2028.78339	96.8	1237.25	2357.8	3638.8	15239.4
Mg	414	369.270048	297.932761	19.28	163.2075	275.23	477.63	1407.88
Na	414	12.0123913	8.21285662	3.45	6.9	9.66	16.1	78.43
K	414	138.026449	97.8150947	26.91	76.83	117	167.31	826.02
Fe	414	54.1332367	29.8277322	8.15	29.88	50.06	74.08	162.4
Cu	414	1.7994686	1.13600068	0.11	0.94	1.64	2.46	5.65
Zn	414	1.25316425	1.07853563	0.15	0.58	0.935	1.57	6.54
Mn	414	33.6253865	27.6480978	3.09	12.17	24.88	50.31	112.32

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de los porcentajes de aciertos por las categorías definidas.

**Cuadro 4. Porcentaje de acierto por categoría definida.**

Textura	Franca	33.00	45.83
pH	V < Lim Inf	0.00	0.00
	Lim inf <= V <= Lim sup	26.00	36.11
	V > Lim sup	46.00	63.89
C (g/kg)	V < Lim Inf	69.00	95.83
	Lim inf <= V <= Lim sup	2.00	2.78
	V > Lim sup	1.00	1.39
Nt (g/kg)	V < Lim Inf	70.00	97.22
	Lim inf <= V <= Lim sup	2.00	2.78
	V > Lim sup	0.00	0.00

<b>P (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	47.00	65.28
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	5.00	6.94
	<b>V &gt; Lim sup</b>	20.00	27.78
<b>Ca (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	17.00	23.61
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	5.00	6.94
	<b>V &gt; Lim sup</b>	50.00	69.44
<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	0.00	0.00
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	47.00	65.28
	<b>V &gt; Lim sup</b>	25.00	34.72
<b>Fe (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	1.00	1.39
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	28.00	38.89
	<b>V &gt; Lim sup</b>	43.00	59.72
<b>Cu (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	31.00	43.06
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	41.00	56.94
	<b>V &gt; Lim sup</b>	0.00	0.00
<b>Zn (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	58.00	80.56
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	13.00	18.06
	<b>V &gt; Lim sup</b>	1.00	1.39
<b>Mn (mg/kg)</b>	<b>V &lt; Lim Inf</b>	5.00	6.94
	<b>Lim inf &lt;= V &lt;= Lim sup</b>	9.00	12.50
	<b>V &gt; Lim sup</b>	58.00	80.56

## CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis muestran que las variables de la fertilidad de los suelos no varían lo suficiente para mostrar valores anómalos, por lo que pueden ser usados en forma confiable y robusta. El uso de recomendaciones de fertilidad de los suelos (Carbajal, 1984; Sadeghian, 2008; Bedoya y Salazar, 2014) puede ser usado en forma confiable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abadi, M., A., P. Agarwal, E. Barham, Z. Brevdo, C. Chen, G.S. Citro, A. Corrado, J. Davis, M. Dean, S. Devin, I.J. Ghemawat, A. Goodfellow, G. Harp, M. Irving, Y. Isard, R. Jia, L. Józefowicz, M. Kaiser, J. Kudlur, D. Levenberg, R. Mane, S. Monga, D.G.

- Moore, C. Murray, M. Olah, J. Schuster, B. Shlens, I. Steiner, K. Sutskever, P.A. Talwar, V. Tucker, V. Vanhoucke, F.B. Vasudevan, O. Viegas, P. Vinyals, M. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu and X. Zheng. 2015. TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. ArXiv preprint: [arxiv.org/abs/1603.04467](https://arxiv.org/abs/1603.04467).
- Bedoya, M. y R. Salazar. 2014. Optimización del uso de fertilizantes para el cultivo de café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1433-1439
- Bertrand, B., P. Vaast, E. Alpizar, H. Etienne, F. Davrieux and P. Charmetant. 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* 26:1239-1248
- Bolaños-González, M.A., A. Libert-Amico, F. Paz-Pellat, V. Salas-Agular, G. Villalobos-Sánchez, E. Escamilla-Prado, A.S. Velázquez-Rodríguez y E.I. Morales-Reyes. 2021. Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura 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.
- Carbajal, J.F. 1984. Cafeto, cultivo y fertilización. Segunda Edición. Instituto Internacional de la Potasa. Bema, Suiza 251 p.
- Cheng, B., A. Furtado, H.E. Smyth and R.J. Henry. 2016. Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science and Technology* 57:20-30
- DaMatta, F.M., P.C. Ronchi, M. Maestri and S.R. Barros. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19:485-510
- Escamilla, E. 2012. La Calidad del café orgánico en México. Factores ambientales, genéticos, agrónomos y sociales. Editorial Academica Española ISBN-10:9783848457342 380 p.
- Escamilla, E., O. Ruiz, G. Díaz, C. Landeros, D.E. Platas, A. Zamarripa y V.A. González. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 76:5-16
- Escamilla, E., O. Ruiz, A. Zamarripa y V.A. González. 2015. Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de Geografía Agrícola* 55:45-55
- Escamilla, E. y C. Landeros. 2016. Cafes diferenciados y de especialidad. CENACAFE. Huatusco, Veracruz 54 p.
- Hein, L. and F. Gatzweiler. 2005. The economic value of coffee (*Coffea arabica*) genetic resources. *Ecological Economics* 60:176-185
- Kathurima, C.W., B.M. Gichimu, G.M. Kenji, S.M. Muhoho and R. Boulanger. 2009. Evaluation of beverage quality and green bean physical characteristics of selected Arabica coffee genotypes in Kenya. *African Journal of Food Science* 3:365-371
- Kingma, D. P. and J. Ba. 2014. Adam: A method for stochastic optimization. ArXiv preprint: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>
- Samek, W. and K.R. Müller, K.-R. 2019. Towards explainable artificial intelligence. In W. Samek, G. Montavon, A. Vedaldi, L. K. Hansen and K.-R. Müller (eds.). *Explainable AI: Interpreting, Explaining and Visualizing Deep Learning*. doi:10.1007/978-3-030-28954-6\_1 pp. 5-22

- Libert-Amico, A., C. Ituarte-Lima and T. Elmqvist. 2020. Learning from social-ecological crisis for legal resilience building: multi-scale dynamics in the coffee rust epidemic. *Sustainability Science* 15:485-501
- Libert-Amico, A. y F. Paz-Pellat. 2018. Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. *Madera y Bosques* doi:10.21829/myb.2018.2401914
- López-García, F.J., E. Escamilla-Prado, A. Zamarripa-Colmenero y J.G. Cruz-Castillo. 2016. Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 39:297-304
- López-García, F.J., J.G. Cruz-Castillo y E. Escamilla-Prado. 2021. Variedades de *Coffea arabica* L. con manejo orgánico en Oaxaca. *Acta Agrícola y Pecuaria* doi:10.30973/aap/2021.7.0071000
- Lundberg, S. M., S.-I. Lee. 2017. A Unified approach to interpreting model predictions. In I. Guyon, U. V. Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan and R. Garnett (eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 pp. 4765–4774. <http://papers.nips.cc/paper/7062-a-unified-approach-to-interpreting-model-predictions.pdf>
- Morales, E.I. y M.A. Bolaños. 2022. Producción de café de alta calidad como estrategia de sustentabilidad para los sistemas socioecológicos de café bajo sombra. *Boletín Informativo CONACYT-PMC-UAEM-UACJ-PNUD-INIFAP* 4 p. [https://pmcarbono.org/pmc/proyectos/Resiliencia\\_estabilidad\\_socieocologica\\_cafeticultura\\_mexicana\\_bajo\\_sombra.php](https://pmcarbono.org/pmc/proyectos/Resiliencia_estabilidad_socieocologica_cafeticultura_mexicana_bajo_sombra.php)
- Pérez, P., J.G. Partida y D. Martínez. 2005. Determinación de las subdenominaciones de origen del Café Veracruz (estudio preliminar). *Revista Geografía Agrícola* 35:35-56
- Pérez-Portilla, E., S. Bonilla-Cruz, J.A.M. Hernández-Solabac y J.G. Partida-Sedas. 2011. Estrategia de mejoramiento de la producción cafetalera de la organización Campesinos Ecológicos de la Sierra Madre de Chiapas: caracterización de la bebida de café. *Revista de Geografía Agrícola* 46-47:7-18
- Rosas, J. 2006. Diagnostico de la fertilidad de los suelos con manejo orgánico y su efecto sobre la calidad física y sensorial del café (*Coffea arabica* L.) en cinco regiones de México. Tesis profesional. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 104 p.
- Rosas, J., E. Escamilla y O. Ruiz. 2008. Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana* 26:375-384
- Sadeghian, S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. *Boletín Técnico* No. 32. CENICAFE Colombia 45 p.
- Santoyo, V., S. Díaz, E. Escamilla y J.D. Robledo. 1996. Factores agronómicos y calidad del café. México. Universidad Autónoma Chapingo/Confederación de Productores de Café 21 p.
- Shapley, L.S. 1953. A value for n-person games. In: H.W. Kuhn and A.W. Tucker, (eds). *Contributions to the Theory of Games*, volume II *Annals of Mathematical Studies* 28:307–317. Princeton University Press.
- Sosa, M, E. Escamilla and S. Díaz. 2004. Organic coffee. In: J.E. Wintgens (ed). *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guide Book for growers, processors, traders and researchers*. Wiley-VCH Verlag KgaA. Weinheim, Germany pp. 339-354



- UACH-INCAFECH-CONACYT. 2018. Informe del proyecto: Diseño, construcción, equipamiento y puesta en marcha de un centro estatal de innovación y transferencia de tecnología para el desarrollo de la caficultura chiapaneca (Clave 2580). Resultados de la caracterización del potencial productivo de los cafetales en las 13 regiones de Chiapas. Universidad Autónoma Chapingo, Instituto del Café de Chiapas y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 289 p.
- Wintgens, J.N. 2004. Factors influencing the quality of green coffee. In: J.N. Wintgens (ed) Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Weinheim. Wiley-VCH pp. 789-809