

RELACIÓN DE LOS NUTRIMENTOS DEL SUELO CON LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DEL CAFÉ ORGÁNICO

Relationship of Soil Nutrients to Physical and Sensorial Characteristics of Organic Coffee

Justino Rosas Arellano^{1‡}, Esteban Escamilla Prado² y Octavio Ruiz Rosado¹

RESUMEN

El café orgánico tiene relevancia en México por la superficie cultivada, el número de empleos que genera, los servicios ambientales que proporciona y el precio mayor que alcanza en el mercado. Para ingresar y mantenerse en estos nichos de mercado es necesario que la calidad del producto final sea constante. En este contexto es importante identificar los diferentes factores que inciden en la calidad del café. Este trabajo es parte de un estudio integral sobre el efecto de los factores agroecológicos en la calidad del café orgánico, es de tipo exploratorio y tuvo el propósito de caracterizar física y químicamente los suelos de seis regiones productoras de café orgánico en México, así como determinar su efecto sobre la calidad física del grano y sensorial de la infusión. Se realizó en los principales estados productores: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Guerrero, en donde se contó con la colaboración de ocho organizaciones productoras de café orgánico certificado. Los cafetales se ubican en terrenos abruptos, destacando Chiapas donde predominan los lomeríos con fuerte pendiente. La textura de los suelos es franca, franco-arenosa y arenafrancosa. Se identificaron nueve unidades de suelo, destacando Litosoles y Rendzinas. En el análisis químico se encontraron contenidos altos de nitrógeno (N) total, materia orgánica (MO), hierro (Fe) y fósforo (P); niveles medios de calcio (Ca), cobre (Cu) y manganeso (Mn), mientras que el potasio (K), magnesio (Mg) y zinc (Zn) se encontraron en cantidades bajas en el suelo. El Zn mostró influencia sobre la calidad física y sensorial y el Mn sobre la forma normal del grano (plano-convexa, similar a la mitad de un elipsoide); Ca, Mg y Fe en la fragancia; P en aroma; la MO y N total en nariz;

boro (B) en resabio; y el Cu en la intensidad de acidez de la bebida.

Palabras clave: *Coffea arabica*, *análisis sensorial*, *calidad*, *suelo orgánico*.

SUMMARY

The organic coffee plantations are important for Mexico because of the extension of cultivated area, the employment it creates, the environmental services it provides and the higher market prices. In order to enter and maintain these market niches it is necessary to keep product quality constant. Within this context it is important to identify the different factors that affect the quality of the coffee. This study is part of an integral research project that deals with the influence of agroecological factors on quality of organic coffee. This exploratory study aimed to characterize soil physical and chemical properties related to effects on the physical quality of the grain and sensorial quality of the infusion. The study was conducted in six organic coffee producing regions in Mexico in the main producer states of Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, and Guerrero with the collaboration of eight certified organic coffee organizations. Results confirm that coffee plantations are located on steep terrain; in Chiapas hilly sites with steep slopes predominate. Soil texture is loam, sandy loam and loamy sand. Nine soil units were identified, in which Lithosols and Rendzins were outstanding. Chemical analyses showed high levels of total nitrogen, organic matter (OM), iron (Fe) and phosphorus (P) contents; medium concentrations of calcium (Ca), copper (Cu), and manganese (Mn); whereas potassium (K), magnesium (Mg), and zinc (Zn) were found at low amounts. Zinc affected physical and sensorial quality, while Mn influences grain shape (flat convex, similar to half of an ellipsoid) type coffee; Ca, Mg, and Fe has an influence on fragrance; P on aroma; OM and total N on the nose attribute; boron (B) on aftertaste; and Cu influences acidity of the coffee infusion.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. 91700 Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México

[‡] Autor responsable (justino@colpos.mx)

² Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo. 94100 Huatusco, Veracruz, México.

Index words: *Coffea arabica*, *sensorial analysis*, *quality*, *organic soil*.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica, social, cultural y ambiental en México, en especial el que se produce con manejo orgánico. México es el principal productor de café orgánico en el mundo, con 63 699 sacos de 69 kg en 66 390 ha (Escamilla y Landeros, 2005; ICO, 2006). Este sistema tiene ventajas como la generación de alrededor de tres millones de empleos (Santoyo *et al.*, 1995; UACH, 2005); al desarrollarse bajo sombra conserva la biodiversidad y proporciona servicios ambientales (captura de carbono, producción de oxígeno y de agua).

Los cafetales mexicanos se ubican en áreas montañosas de topografía accidentada y coinciden con los lugares de mayor diversidad biológica del país, sobre todo en los sistemas de cultivo de montaña y policultivo tradicional (Jiménez y Gómez-Pompa, 1982; Escamilla y Díaz, 2002). Además, la sombra forma una cubierta vegetal casi permanente sobre el suelo durante todo el año, reduciendo los problemas de erosión causados por las fuertes lluvias que impactan los agroecosistemas cafetaleros (Moguel y Toledo, 1999). Otro beneficio más de producir bajo este sistema es que los precios en el mercado internacional se mantienen constantes. Estos cafés diferenciados se ubican como cafés de especialidad y dentro de este tipo se encuentran los cafés sustentables, los cuales cumplen de manera sistemática los principios básicos de protección al ambiente y justicia social. De acuerdo con Sosa *et al.* (2004), existen cuatro categorías de este tipo de producción: a) café orgánico, que se produce con métodos que conservan el suelo y prohíbe el uso de sustancias químicas sintéticas; b) café comercio justo, que se compra directamente a las cooperativas de pequeños productores, garantizándoles un precio de contrato mínimo que asegure su sustentabilidad; c) café de sombra, se cultiva bajo la bóveda forestal que, proporcionada en su mayor parte por la vegetación natural, es benéfico para la biodiversidad; y d) cafés de un origen geográfico particular, los cuales tienen un sobreprecio en el mercado por su origen geográfico: Blue mountain (Jamaica), Pluma Hidalgo (Oaxaca, México), Café Cerrado (Brasil), Kona (Hawái), Single Estate (Colombia), Mocha (Yemen) y Sidamo (Etiopía). Desde el año 2000 se estableció Café Veracruz Denominación

de Origen, la primera que de manera sistemática y bajo normas legales intenta posicionarse en el mercado de los especiales y que es promovida por el Consejo Regulador del Café Veracruz.

Sin embargo, para poder ingresar a estos nichos especiales de mercado, es necesario que el sistema de producción ofrezca un producto de calidad, pero además se debe procurar que ésta se mantenga constante a través del tiempo. Esto sólo se logra conociendo, controlando y manejando los factores que intervienen durante todo el proceso para lograr un producto de calidad (Sosa *et al.*, 2004).

Santoyo *et al.* (1996) y Wintgens (2004) hicieron una completa descripción de los factores que determinan la calidad del café, y los subdividieron en factores ambientales y factores agronómicos. Los factores ambientales interactúan considerablemente entre sí para dar las condiciones de un sitio y de un año determinado; se consideran: altitud, humedad disponible, heladas y tipo de suelo [textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica (MO) y fertilidad]. Los factores agronómicos son: genotipo o variedades utilizadas, prácticas culturales (nutrición, control de plagas y enfermedades), edad de la planta, poda del cafeto, regulación de la sombra, control de las hierbas y el sistema de producción que se utilice. Sin embargo, los estudios que se han hecho no son concluyentes y el impacto de estos factores se manifiesta esencialmente a través de una mejor nutrición o una mejor disponibilidad de agua para el cafeto. El efecto de la nutrición influye directamente en el tamaño y la cantidad de los granos cosechados (Santoyo *et al.*, 1996). Malavolta (1986) reporta que fertilizaciones muy elevadas con nitrógeno (N) provocan disminuciones pequeñas pero significativas en la calidad de la bebida. Además, la deficiencia de fósforo (P) puede influir negativamente en taza (muestra para catación). Robinson (1960) muestra que deficiencias de hierro (Fe) en suelos con pH neutro o alcalino producen un grano ámbar pálido, un café tostado suave y una taza falta de acidez; estas deficiencias en suelos ácidos se asocian a un exceso de manganeso (Mn) (Wallis, 1967). Santoyo *et al.* (1996) indican que si bien algún exceso, deficiencia y desbalance nutrimental afecta la calidad del café, su impacto en las condiciones de México no se ha evaluado aún, por lo que es necesario realizar estudios más precisos antes de hacer una conclusión definitiva. Pérez *et al.* (2005) mencionan que, en condiciones de baja aplicación de fertilizantes, el origen del suelo puede considerarse como

una característica muy importante en la determinación de los diferentes perfiles de café. Uno de los factores clave es la cosecha, ya que sólo los frutos que alcanzan su plena madurez llegan a su punto óptimo de calidad y todos los procesos subsecuentes contribuyen a conservarla (Pérez *et al.*, 2003).

En el mundo, en los últimos años se ha tenido un detrimento gradual en la calidad del café, causado en gran parte por los enfoques productivistas que buscaron incrementar el rendimiento en campo y reducir los costos de producción. Específicamente en México hay que agregar el sistema de cuotas en el mercado internacional que prevaleció de 1962 a 1989, lo que propició el deterioro de la calidad del café, pues no ofrecía estímulos para producir granos de calidad (Pérez *et al.*, 2003). El concepto de calidad es una construcción de tipo social; en la producción cafetalera se le ha utilizado con diferentes enfoques en el contexto ambiental, y de relaciones económicas y sociales. De manera habitual, la calidad se asocia con las características físicas del grano en oro o verde, resaltando que recientemente se están considerando los atributos sensoriales que tenga la bebida o infusión (Pérez *et al.*, 2003).

La calidad del café puede analizarse desde el punto de vista físico y sensorial. La evaluación física o catación en verde consiste en la valoración de los atributos físicos del grano del café, esencialmente en determinar: color del pergamino, rendimiento pergamino a oro, color del café en verde (oro), uniformidad del color, humedad del grano, distribución del tamaño del grano y proporción de las formas presentes del grano. Se utilizan los procedimientos que indican las normas mexicanas NMX-F-551-1996 y NOM-149-SCFI-2000 (Dirección General de Normas, 1997; Diario Oficial de la Federación, 2002). El uso de pánles de evaluación sensorial que integran a personas con ciertas aptitudes gustativas, quienes son entrenadas por métodos científicos para desarrollar su capacidad de degustación, es una herramienta de reciente introducción en este contexto; a estas personas se les denomina panelistas y debe procurarse que tengan poca o nula relación con la preparación de las muestras, antes y en el momento de evaluar. La evaluación sensorial utiliza métodos descriptivos y cuantitativos, es una secuencia predeterminada de pasos, donde el catador evalúa el café con los sentidos del olfato, gusto y las sensaciones generales que le produce en la boca. En los descriptivos se determina el buqué, el cual incluye fragancia, aroma, nariz (olor) y resabio (sabor residual); con los cuantitativos se determina la intensidad del aroma,

la acidez y el cuerpo de la bebida (Diario Oficial de la Federación, 2002; Pérez *et al.*, 2005).

En este trabajo se propuso la caracterización física y química de suelos cultivados con café orgánico en cinco regiones de México e identificar cuál es su efecto sobre la calidad, haciendo énfasis en las características físicas del grano y sensoriales de la bebida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de los Sitios, Colecta de Muestras de Suelo y Datos Complementarios

Criterios para la selección del área de estudio. Esta investigación se realizó de septiembre de 2004 a noviembre de 2005, es de tipo participativa e involucra a ocho organizaciones de productores de café orgánico, ubicadas en los principales estados productores de México: Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla y Guerrero, interesadas en conocer y mejorar la calidad del café en su área de influencia (Escamilla *et al.*, 2005). Se distribuyó la ubicación de los cafetales usando como criterio la altitud y se procedió a determinar el área geográfica de distribución para cada organización (Cuadro 1).

Ubicación de los sitios y muestreo de suelos. Esta fase se realizó en los meses de septiembre a noviembre de 2004. Se buscó el área más homogénea y representativa del cafetal. Usando los criterios de pendiente, distribución de la sombra, predominancia de alguna variedad, exposición y manejo del huerto, se delimitó un área de 625 m²; con un GPS Garmín 12 se georeferenció el sitio (latitud, longitud y altitud). Se colectó una muestra compuesta de suelo de cada área de muestreo a una profundidad de 30 cm, como indican Carvajal (1984) y Aguilar-Santelises *et al.* (1987). Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Alta Tecnología de Orizaba (LATO) en Orizaba, Veracruz. Se hicieron las siguientes determinaciones químicas: pH medido en agua (relación suelo:agua de 1:2), aluminio intercambiable por diferencia de titulación de la acidez y el hidrógeno intercambiable, la MO mediante Walkley-Black (1934), el N total por Kjeldahl, el P asimilable por Bray II. El calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) intercambiables, mediante el método de extracción por lixiviación con acetato de amonio y determinados con absorción atómica. El Fe, cobre (Cu), zinc (Zn) y Mn se extrajeron mediante el método de extracción DTPA y fueron determinados por absorción atómica. El B

Cuadro 1. Organizaciones participantes.

Estado	Organización	Altitud m
Chiapas	Unión de Campesinos Ecologistas de Acacoyahua	878-1042
Chiapas	Nubes de Oro Sociedad en Solidaridad Social	595-1432
Guerrero	Sociedad Cooperativa La Pintada	855-1503
Oaxaca	Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Ilimitada Café Ñeey	639-1230
Oaxaca	Sociedad Cooperativa Santo Domingo	960-1282
Puebla	Tosepan Titataniske Sociedad Cooperativa Agrícola Regional	620-954
Veracruz	Unión de Sociedades de Producción Rural y Agrícola Sustentables	696-1410
Veracruz	Unión Regional de Pequeños Productores de Café de Huatusco S. S. S.	805-1220

se determinó por el método de reflujo con agua caliente y se utilizó UV-VIS empleando curcumina. La textura se determinó por el método de Bouyoucos. El contenido de los elementos se agrupó de acuerdo con la clasificación propuesta por Ankerman y Large (1977).

Caracterización agroecológica del cafetal. Dentro del área de muestreo se eligieron al azar 15 plantas de café, se midió la distancia entre plantas (densidad de plantación); se determinó el estado fisiológico y fitosanitario de la planta, la variedad predominante, un inventario de las especies de árboles de sombra; con un densitómetro DRL se cuantificó la cobertura y el número de estratos de sombra.

Cuestionario al productor. Se diseñó y se aplicó un cuestionario al productor para obtener información sobre el perfil socioeconómico y el manejo agronómico; se incluyeron preguntas, como: clase de tierra, erosión, prácticas de conservación de suelos, labores culturales, aspectos fitosanitarios, datos de cosecha, producción, destino de la producción y precio de venta.

Colecta de Muestras de Café, Beneficiado y Evaluación Física y Sensorial

Colecta de muestras de café. Se realizó en los meses de noviembre de 2004 a marzo de 2005. Se cosechó en forma manual la muestra de café cereza maduro, cuidando que las cerezas tuvieran una maduración uniforme y que correspondiera a la misma variedad. Se trasladó a los beneficios de los socios para su transformación.

Evaluación física de la muestra de café en cereza maduro. De la muestra de 10 kg se pesaron tres submuestras de 200 g, se contó el número de granos totales, los dañados por la broca y los granos vanos.

Beneficiado de las muestras. Se benefició por la vía húmeda (despulpado, fermentación natural, lavado y secado a sol). La muestra de café pergamino se trasladó al Laboratorio de Prueba (LP) del Consejo Regulador del Café Veracruz (CRCV) en Xalapa, Veracruz, en donde se hizo la evaluación física y sensorial del grano de café.

Evaluación física y sensorial de las muestras de café.

Esta fase se desarrolló de los meses de marzo a noviembre de 2005 y consistió en la evaluación física de las muestras: i) análisis al pergamino (color, porcentaje de imperfecciones físicas y rendimiento pergamino a oro; ii) análisis al café verde (color, humedad, distribución del tamaño y de la forma de los granos). En la evaluación sensorial de la infusión se determinó: i) análisis del tostado: tiempo de tostado, color de tostado, temperatura promedio de tostado y número de vanos al tueste; ii) buqué de la infusión (aroma, fragancia, nariz y resabio, intensidades de acidez, cuerpo y aroma, presencia de dulzor y malos sabores).

Análisis estadístico. Con el programa Statistica, Versión 6 (Statsoft, 2003) se realizó el procesamiento y análisis correspondiente. Se hizo análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey o Duncan) para determinar diferencias estadísticas con mayor confiabilidad y con un nivel de significancia de 0.05 para ambos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Física

Ubicación. Se ubicaron 78 sitios de muestreo de 625 m² cada uno en los cinco estados: Chiapas (16), Guerrero (8), Oaxaca (20), Puebla (16) y Veracruz (18); en total abarcó a 42 localidades de 19 municipios.

Relieve. El 8% de los cafetales se ubicaron en terrenos con relieve plano, en lomeríos el 33%, en terrenos ligeramente inclinados el 34% y el 25% en laderas. Chiapas presentó las formas de relieve más abruptas, siendo las laderas (60%) y los lomeríos fuertes (40%) las formas de relieve encontrados. A diferencia de los otros estados, en el caso de Veracruz, las formas de relieve predominantes son ligeramente inclinadas, lomerío suave y terreno plano (28, 22 y 22%, respectivamente).

Esto confirma lo que diversos autores indican que los cafetales se desarrollan en relieves pronunciados con fuertes pendientes (INMECAFÉ-NESTLÉ, 1990; Wintgens, 2004).

Textura. Las texturas son del tipo franco: franco-arenosa en el 51% de los sitios y la arena-francosa en el 24%; en menor frecuencia se encontraron del tipo franco (14%), franco-limosa (10%) y la franco-arcillosa (1%). Estos resultados coinciden con lo mencionado por Carvajal (1984), INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) y Wintgens (2004), quienes indicaron que la textura en la que mejor se desarrolla el cafeto es del tamaño medio del tipo franco considerada como media.

Clases de tierra. La tierra negra (43%) se identificó en los cinco estados, predominando en Oaxaca y Veracruz. La clase barreal (25%) también se encontró en los cinco estados, predominó en Puebla, Chiapas y Guerrero; la tierra polvillo es la tercera clase (9%), identificada en Veracruz y Puebla. El 23% restante está compuesto por tierra colorada, tierra de grano, arcillosa, ciénega, arenosa, tierra barrealosa, sako (Puebla) y limo-arenosa. Es importante destacar que en otros cultivos la clasificación campesina de suelos ha incrementado su importancia, pero en el cultivo de café no se encontraron reportes. Benzing (2001) encontró que estos sistemas de clasificación campesina son altamente diferenciados enfocados principalmente sobre aspectos de fertilidad y aptitud para los cultivos, aunque su principal limitante es su carácter local y su falta de comprensión sobre la evolución de los suelos. También Sánchez *et al.* (2002), en un estudio en el cultivo de caña de azúcar realizado en el estado de Veracruz, encontraron que el factor suelo expresado en términos de clases de tierra fue muy importante en la producción del cultivo, ya que explicó el 60% de la variación del rendimiento.

Unidades de suelo. Se identificaron nueve unidades de suelo de acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO (1980), del total de sitios predominaron: Litosoles (23%) en Puebla, Cambisoles (23%) en Chiapas y Guerrero; Rendzinas (18%) en Oaxaca y en Veracruz Acrisol órtico (10%). Lo anterior coincide con lo reportado por Jiménez y Gómez-Pompa (1982) quienes mencionan que en los cafetales predominaron las unidades de suelo Andosoles y Vertisoles. En estudios realizados en Centroamérica, Bornemisza *et al.* (1999) reportan que encontraron: Acrisol, Andosol, Cambisol, Ferralsol, Gleysol, Luvisol, Nitisol, Planosol y Vertisol, los cuales coinciden en su mayoría con los encontrados en el presente estudio. Sin embargo, no reportaron a Litosoles y Feozem, los cuales

se encontraron con mayor frecuencia en esta investigación (Cuadro 2).

Caracterización Química

Resultados de los análisis químicos. El pH de los suelos varía desde 4.7 hasta 5.0. En Puebla y Veracruz se encontraron los valores de pH más bajos. En cuanto a Al^{3+} intercambiable, Oaxaca tuvo la menor cantidad (1.9 cmol kg^{-1}), mientras que Guerrero registró el promedio más alto (2.8 cmol kg^{-1}). De acuerdo con la clasificación propuesta por Jones y Wolf modificado (1984), todos los estados tienen pH clasificado como muy ácido (< 5.5). Por su parte, INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) indica que estos valores de pH son adecuados para el cafeto y que sólo es necesario hacer algún tipo de corrección cuando los valores de pH sean inferiores a 4.0.

El contenido de MO promedio fue de 5.4%, aunque tres cafetales presentaron un contenido superior al 10%, en todos los estados el contenido se ubicó dentro de niveles muy altos. De la misma manera, los contenidos de N total determinados son clasificados como muy altos. En Guerrero se presentó el porcentaje más alto de MO con 6.1% y en Chiapas el más bajo con 4.0%. Oaxaca tuvo el promedio más alto de N total (0.41%) en contraste con Chiapas (0.33%). En cuanto al P, Oaxaca presentó el menor contenido (4.44 mg kg^{-1}) y Chiapas se ubicó como el más alto (29.60 mg kg^{-1}). En Veracruz se encontró 0.55 y en Guerrero 0.19 cmol kg^{-1} de K, todos los estados en el nivel medio (Cuadro 3).

En Brasil se considera que un suelo cafetalero ideal debe contener alrededor del 5% de MO (Carvajal, 1984); por su parte, INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) recomienda en suelos con menos del 7% de MO una fertilización completa, mientras que para valores superiores al 10% de MO sugería no fertilizar. INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) propone que cuando el contenido de N total es mayor de 0.8%, el suelo no necesita fertilización nitrogenada. Martínez *et al.* (2003) obtuvieron resultados similares en suelos cafetaleros bajo manejo convencional en Veracruz, en donde reportaron cantidades que se consideran de altas a muy altas de N total. INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) sugiere que cuando el contenido de P sea mayor de 20 mg kg^{-1} no es necesario aplicar fertilización fosfórica. Para el caso del estado de Veracruz, Martínez *et al.* (2003) reportan deficiencias de este nutriente en suelos cafetaleros convencionales con niveles bajos ($< 6.5 \text{ mg kg}^{-1}$), en 74% de los sitios

Cuadro 2. Tipo de suelo de acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO en cafetales orgánicos.

Tipo de suelo	Chiapas	Guerrero	Oaxaca	Puebla	Veracruz	Sitios
Acrisol órtico	0	0	0	0	8	8
Andosol húmico	0	2	0	0	4	6
Cambisol dístrico	0	6	0	0	0	6
Cambisol eutrítico	12	0	0	0	0	12
Feozem háplico	3	0	0	0	0	3
Feozem lúvico	0	0	5	0	0	5
Litosol	0	0	1	14	2	17
Luvisol crómico	0	0	0	1	2	3
Regosol calcárico	0	0	0	1	0	1
Regosol eutrítico	1	0	1	0	0	2
Rendzina	0	0	13	0	1	14
Vertisol pélico	0	0	0	0	1	1
<i>Sitios</i>	<i>16</i>	<i>8</i>	<i>20</i>	<i>16</i>	<i>18</i>	<i>78</i>

observados, excepto en los de tipo Feozem en donde el contenido fue medio. En cuanto al contenido de K, INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) indica que debe utilizarse en el intervalo de 0.27 a 0.38 cmol kg⁻¹; en Brasil, Rena *et al.* (1986) sugieren un intervalo de 0.16 a 0.22 cmol kg⁻¹. Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con las referencias antes mencionadas se deduce que el K se encuentra en niveles adecuados para el desarrollo del cultivo de café. Respecto a Ca, Guerrero tuvo el promedio más bajo (2.59 cmol kg⁻¹) y Oaxaca el más alto (7.78 cmol kg⁻¹). El Mg bajo en Guerrero (0.47 cmol kg⁻¹) y en Oaxaca (1.93 cmol kg⁻¹) el más alto. En cuanto al B, Veracruz (0.39 mg kg⁻¹) tuvo el mayor promedio en contraparte con Oaxaca (0.20 mg kg⁻¹). El Fe se encontró en cantidades muy altas en los cinco estados; Chiapas tuvo el valor más bajo (28.96 mg kg⁻¹) y Puebla el más alto (40.85 mg kg⁻¹). El contenido más alto de Mn lo presentó Oaxaca con 50.01 mg kg⁻¹, el más bajo lo tuvo Guerrero con 4.65 mg kg⁻¹, suficiente para el desarrollo del cafeto (INMECAFÉ-NESTLÉ, 1990). En Puebla el promedio de Cu fue 1.36 mg kg⁻¹, clasificado como alto; Guerrero presentó el menor

contenido (0.30 mg kg⁻¹) que lo ubica en nivel bajo. Respecto al Zn, Chiapas (0.72 mg kg⁻¹) presentó el promedio más pobre de los cinco estados (Cuadro 4). De acuerdo con INMECAFÉ-NESTLÉ (1990), el contenido de Cu es suficiente en Guerrero, mientras que en Chiapas lo es el Zn.

El intervalo óptimo necesario para un buen desarrollo del cultivo, de acuerdo con INMECAFÉ-NESTLÉ (1990) es de 4 a 6 cmol kg⁻¹ de Ca: en Brasil, Rena *et al.* (1986) mencionan que los óptimos van de 3 a 4 cmol kg⁻¹. De acuerdo con estas referencias, sólo el estado de Guerrero presenta valores que indican deficiencia, mientras que en los demás estados se deduce que la cantidad que hay en el suelo es suficiente para el desarrollo del cafeto. De acuerdo con INMECAFÉ-NESTLÉ (1990), el contenido mínimo para el cultivo del café es de 2 cmol kg⁻¹ de Mg. Sin embargo, en Brasil investigaciones de Rena *et al.* (1986) indican que el intervalo óptimo de Mg es de 0.6 a 1.0 cmol kg⁻¹. De acuerdo con lo anterior, para INMECAFÉ-NESTLÉ todos los estados presentaron valores insuficientes. Al respecto, Carvajal (1984) indica que el cafeto es muy

Cuadro 3. Contenido nutrimental de los suelos muestreados (promedios en cada estado).

Estado	pH (H ₂ O) [†]	Materia orgánica [‡]	Nitrógeno total [†]	Fósforo [†]	Potasio [†]
		%	%	mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹
Chiapas	5.0 b	4.05 a	0.33 a	29.60 b	0.26 a
Guerrero	5.0 b	6.12 b	0.38 a	12.48 ab	0.19 a
Oaxaca	4.9 ab	5.37 ab	0.41 a	4.44 a	0.20 a
Puebla	4.7 a	5.54 ab	0.41 a	27.85 b	0.27 a
Veracruz	4.7 a	5.87 b	0.40 a	21.24 ab	0.55 b

Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de [†]Tukey al 5%, [‡]Duncan al 5%.

Cuadro 4. Contenido nutrimental de los suelos muestreados (promedios+ en cada estado)

Estado	Ca [†]	Mg [‡]	B [†]	Fe [†]	Mn [†]	Cu [†]	Zn [‡]	Al [†]
	- - -	cmol kg ⁻¹ - - -	mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	- - - -	mg kg ⁻¹ - - - -	cmol kg ⁻¹
Chiapas	6.53 ab	0.73 a	0.22 a	28.96 a	18.99 ab	0.80 ab	0.72 a	2.15 ab
Guerrero	2.59 a	0.47 a	0.25 a	29.98 a	4.65 a	0.30 a	2.15 b	2.76 b
Oaxaca	7.78 b	1.93 b	0.20 a	36.29 a	50.01 c	0.92 ab	1.20 ab	1.91 a
Puebla	6.31 ab	0.90 a	0.27 a	40.85 a	38.94 bc	1.36 b	1.97 b	2.16 ab
Veracruz	6.93 ab	1.19 ab	0.39 b	34.48 a	30.49 abc	0.74 ab	1.13 ab	2.73 b

Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de [†]Tukey al 5%, [‡]Duncan al 5%.

susceptible a la deficiencia de B y que en plantas deficientes los frutos no cuajan; este autor menciona también que en Costa Rica y Colombia se ha puesto especial atención en el uso periódico y continuo de fertilizantes que contengan este elemento. Pérez *et al.* (2005) encontraron en el estado de Veracruz valores bajos y medios (< 0.4 mg kg⁻¹), situación semejante a la que se obtuvo en el presente estudio. Pérez *et al.* (2005) encontraron para la región central de Veracruz valores altos de P en suelos cafetaleros, excepto Feozem, en donde los valores de nutrimentos fueron extremadamente altos. Benzing (2001) menciona que en un estudio en Ecuador el 85% de las muestras analizadas presentaron contenidos altos de Fe, resultados similares a los obtenidos en el presente estudio. En cuanto al Mn, Carvajal (1984) indica que el cafeto es muy susceptible a su deficiencia al igual que al Zn; en Brasil, se reportó valores de 5 a 10 mg kg⁻¹ como óptimos para el desarrollo del cafeto (Rena *et al.*, 1986); de esta forma se deduce que los valores existentes en el suelo son suficientes para el desarrollo del cultivo. En el caso de Veracruz, Martínez *et al.* (2003) encontraron deficiencias de Cu, cantidades inferiores a 0.8 mg kg⁻¹ en suelos cafetaleros con manejo convencional, resultando similar al obtenido en este trabajo. En cuanto al Zn, los resultados son similares a los obtenidos por Pérez *et al.* (2005) para el caso de cafetales convencionales de Veracruz.

Efecto de los Nutrimentos sobre la Calidad Física del Grano

Santoyo *et al.* (1996) mencionan que la forma característica del grano es conocida como planchuela y que es la forma preferida con fines de comercialización; sin embargo, los granos pueden producir algunas deformaciones o anomalías que son de origen genético o ambiental. La planchuela es un grano típico de forma plano-convexa, similar a la mitad de

un elipsoide; las otras formas del grano pueden ser: triángulos, gigantes, caracoles y conchas.

Cantidades altas de Zn (5.0 a 8.0 mg kg⁻¹) estuvieron asociadas con los porcentajes de forma planchuela más bajos (81.3), mientras que valores muy bajos (< 1.0 mg kg⁻¹) tuvieron el porcentaje más alto (88.5). A valores medios de Mn (14 a 29 mg kg⁻¹) correspondió el mayor porcentaje de granos planchuela (89.5), aunque la tendencia no fue clara (Cuadro 5).

Efecto de los Nutrimentos sobre la Calidad Sensorial de la Infusión

Con el método descriptivo-cuantitativo de la evaluación sensorial se obtuvo el buqué, de acuerdo con las especificaciones de la NOM-149-SCFI-2001 (Diario Oficial de la Federación, 2002). En ella se definen algunos conceptos importantes como: fragancia (compuestos orgánicos desprendidos al moler el café tostado), aroma (gases de la bebida recién preparada), nariz o sabor (vapores arrastrados al tragar la infusión), resabio o sabor residual (la sensación de sabor percibida después de la gustativa). En la fragancia se identificaron los siguientes subgrupos aromáticos: caramelos (55%), chocolates (36%), nueces (3%), pirolíticos (3%), florales (1%), frutales (1%) y fenólicos (1%). En el Cuadro 6 puede observarse que bajas concentraciones de Ca (4.4 cmol kg⁻¹) mostraron tendencia para identificar nueces, mientras que en concentraciones más altas (19.2 cmol kg⁻¹) se identificaron fenólicos. Bajas cantidades de Fe (1 mg kg⁻¹) están asociadas con pirolíticos, mientras que el subgrupo nueces se identificó cuando fue alto el contenido de Fe (38.9 mg kg⁻¹). Bajo Mg (0.9 cmol kg⁻¹) se asoció con chocolates, en contraparte se identificó frutales con altos contenidos de este mismo elemento (6.0 cmol kg⁻¹).

En cuanto al aroma de la infusión se identificaron los subgrupos: caramelos (51%), chocolates (40%),

Cuadro 5. Influencia de los nutrimentos zinc y manganeso en el porcentaje de granos con la forma de planchuela.

Elemento	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Zinc (mg kg ⁻¹)	NE †	81.3 a	86.6 ab	88.3 b	88.5 b
Manganeso (mg kg ⁻¹)	88.8 bc ‡	85.2 a	89.5 c	88.8 bc	85.7 ab

Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de † Tukey al 5%, ‡ Duncan al 5%. NE = no encontrado.

nueces (3%), frutales (3%), pirolíticos (3%). En el Cuadro 7 puede observarse que el Mg mostró cierta influencia, ya que a bajas concentraciones (1.0 cmol kg⁻¹) se identificó el subgrupo chocolates, mientras que altas concentraciones (3.2 cmol kg⁻¹) con frutales. Los subgrupos que se identificaron en nariz (sabor) fueron: frutales (49%), chocolates (35%), pirolíticos (14%), caramelos (1%) y especiados (1%). La MO y el N mostraron influencia en el atributo nariz o sabor de la infusión. Altos contenidos de estos nutrimentos (11.9% de MO, 0.8% N total) mostraron influencia para especiados. En contraste, con bajo contenido de MO (4.1%) se identificó caramelos y pirolíticos con 0.3% de N total. En el resabio o sabor residual, el B mostró influencia y se identificaron los subgrupos: chocolates (6%), pirolíticos (18%) y frutales (14%). El contenido bajo de B (4.1 mg kg⁻¹) mostró influencia para identificar pirolíticos; en contraparte, frutales fue identificado cuando la concentración de B fue alta (4.95 mg kg⁻¹).

El Cuadro 8 muestra que el contenido bajo de P (< 6.5 mg kg⁻¹) influyó en percibir una baja intensidad en el aroma y con alto contenido de P (> 13.0 mg kg⁻¹) se obtuvo la intensidad más alta (Escala de 1 a 5). Un contenido muy bajo de Cu (< 0.3 mg kg⁻¹) se asoció con la intensidad más alta de la acidez (Escala de 1 a 5).

CONCLUSIONES

- Los cafetales con sistema de manejo orgánico de México se caracterizan por la diversidad de suelos; la mayoría de ellos se ubican en terrenos con relieve abrupto y con textura franca. En este estudio se identificaron nueve unidades de suelo (FAO–UNESCO) y nueve clases de tierra de acuerdo con la clasificación regional campesina.
- Son suelos con pH muy ácido y con contenido alto de Al intercambiable, materia orgánica (MO), N total, Fe y P; en cuanto a este último se excluye Oaxaca. Con valores superiores al medio, pero sin llegar al alto fueron los que presentaron Mn; en este mismo nivel se encontraron B y Cu al igual que el Mg en Oaxaca. El K se encontró en cantidades bajas, excepto en Veracruz que se ubicó en el valor medio. El Ca se ubicó en valores de medio a bajo (Guerrero). En cuanto al Mg, los promedios estatales son bajos, menos Oaxaca ubicado en el nivel medio; B y Cu también se encontraron en este mismo nivel.
- Los suelos de cafetales cultivados con manejo orgánico tuvieron influencia sobre las características físicas del grano y sensoriales de la bebida. Se encontró que valores altos de Zn y Mn están asociados con el menor porcentaje de granos tipo planchuela.

Cuadro 6. Influencia del contenido de calcio, hierro y magnesio en los subgrupos aromáticos de la fragancia.

Nutrimento	Nueces	Chocolates	Florales	Caramelos	Pirolíticos	Frutales	Fenólicos
Calcio (cmol kg ⁻¹)	4.4 a †	5.5 a	5.6 ab	6.7 ab	8.4 ab	13.6 ab	19.2 b
Hierro (cmol kg ⁻¹)	38.9 ab †	29.8 ab	33.8 ab	35.6 ab	1.0 b	25.6 ab	37.2 ab
Magnesio (cmol kg ⁻¹)	1.1 a †	0.9 a	1.3 a	1.2 a	1.2 a	6.0 b	1.6 a

† Valores con la misma letra en cada fila son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey al 5%.

Cuadro 7. Influencia de los nutrimentos magnesio, materia orgánica (MO), nitrógeno total y boro sobre tres atributos de la bebida.

Atributo	Nutrimento	Nueces	Chocolates	Florales	Caramelos	Pirolíticos	Frutales	Especiados
Aroma	Mg (cmol kg ⁻¹)	0.70 a ‡	1.03 a	1.37 a	1.15 a	1.35 a	3.19 b	NE
Nariz	MO (%)	NE †	4.81 a	NE	4.11 a	4.95 a	5.66 a	11.87 b
Nariz	N total (%)	NE †	0.36 a	NE	0.40 ab	0.35 a	0.40 ab	0.79 b
Resabio	B (mg kg ⁻¹)	NE †	4.81 b	NE	NE	4.11 a	4.95 b	NE

Valores con la misma letra en cada fila son iguales de acuerdo con la prueba de † Tukey al 5%, ‡ Duncan al 5%, NE = no encontrado.

Cuadro 8. Influencia de los nutrimentos fósforo y cobre sobre la intensidad de dos atributos de la bebida.

Atributo	Elemento	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Aroma	Fósforo (mg kg ⁻¹)	- ‡	3.52 a	3.46 ab	3.44 b	-
Acidez	Cobre (mg kg ⁻¹)	3.65 ab †	3.12 b	3.73 ab	3.47 ab	3.85 a

Valores con la misma letra en cada fila son iguales de acuerdo con la prueba de † Tukey al 5%, ‡ Duncan al 5%.

- El Ca, Mg y Fe mostraron influencia sobre la fragancia de la infusión y se identificaron los subgrupos: nueces, chocolates, florales, caramelos, pirolíticos, frutales y fenólicos.

- El Mg mostró influencia en el aroma, principalmente asociado con el subgrupo aromático frutales. Los subgrupos que se identificaron fueron: nueces, chocolates, florales, caramelos, frutales y pirolíticos; la intensidad estuvo influenciada por P.

- La MO y el N mostraron cierta influencia en el sabor (nariz) de la infusión y los subgrupos identificados fueron: chocolates, caramelos, pirolíticos, frutales y especiados.

- El B mostró influencia en resabio o sabor residual de la infusión; se identificó: chocolates, frutales y pirolíticos.

- El Cu mostró influencia negativa sobre la intensidad de la acidez.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la SAGARPA y al CONACyT por el financiamiento de este estudio que formó parte del proyecto “Influencia del sombreado y las variedades en la calidad del café orgánico en cinco regiones de México” (SAGARPA-2003-C01-156/B1), desarrollado por el Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, la Universidad Autónoma Chapingo (CRUO/CENIDERCAFE) y el INIFAP Campo Experimental Xalapa. Asimismo se agradece a las ocho organizaciones productoras de café orgánico certificado por su entusiasta e invaluable colaboración y a los laboratorios LATO de la Universidad Veracruzana y al Laboratorio de Pruebas del Consejo Regulador del Café Veracruz por su participación.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Santelises, A., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Ankerman D. and R. Large. 1977. Soil and plant analysis. A & L Agricultural Laboratories. Memphis, TN, USA.
- Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica. Fundamentos para la región andina. Neekar-Verlag. Villingen-Schwenningen, Alemania.
- Bornemisza, E., J. Collinet y A. Segura. 1999. Los suelos cafetaleros de América Central y su fertilización. Capítulo 3. In: B. Benoît y B. Rapidel (eds.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Editorial Agroamerica. San José, Costa Rica.
- Carvajal, J. F. 1984. Café: cultivo y fertilización. Instituto Interamericano de la Potasa. San José, Costa Rica.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. NOM-149-SCFI-2000. Café Veracruz. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. México, D. F.
- Dirección General de Normas. 1997. NMX-F-551-1996. Café verde. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D. F.
- Escamilla P., E. y S. Díaz C. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Fundación Produce de Veracruz. Veracruz, México.
- Escamilla P., E. y C. Landeros S. 2005. Cafés de especialidad. Colegio de Postgraduados-Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo. Veracruz, México.
- FAO-UNESCO. 1980. Mapa mundial de suelos. Volumen I. Legend. Roma, Italia.
- INMECAFÉ-NESTLÉ. 1990. El cultivo del cafeto en México. Instituto Mexicano del Café. Compañía Nestlé. México, D. F.
- Jiménez, A. E. y A. Gómez-Pompa. 1982. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. Editorial CECOSA. Xalapa, Veracruz, México.
- Malavolta, E. 1986. Nutrição, adubação e colagem para o cafeeiro. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Associação Brasileira para lá investigassem del fósforo y potássio. São Paulo, Brasil.
- Martínez P., D., E. Pérez P., J. G. Partida S., E. Escamilla P. y F. J. López G. 2003. La calidad integral en café. Estrategia para su comercialización. Foro Nacional de Vinculación de Investigación. Chapingo, Estado de México.
- Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Revista El Jarocho Verde 11: 3-12.
- Pérez P., E., J. G. Partida S. y D. Martínez P. 2003. Ambiente, manejo agronómico y calidad en café (folleto). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo. Veracruz, México.
- Pérez P., E., J. G. Partida S. y D. Martínez P. 2005. Determinación de las subdenominaciones de origen del Café Veracruz (estudio preliminar). Revista Geografía Agrícola 35: 35-56.
- Rena A. B., E. Malavolta, M. Rocha e T. Yamada. 1986. Cultura do cafeeiro. Addociação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do fosfato. Piracicaba, SP, Brasil.

- Robinson, J. B. D. 1960. Amber bean. *Kenya coffee* 25: 91-93.
- Sánchez G., P., C. A. Ortiz S., M. del C. Gutiérrez C. y J. D. Gómez D. 2002. Clasificación campesina de tierras y su relación con la producción de caña de azúcar en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 20: 359-369.
- Santoyo C., V. H., S. Díaz C y B. Rodríguez P. 1995. Sistema agroindustrial café en México. Diagnóstico, problemática y alternativas. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México.
- Santoyo C., V. H., S. Díaz C., E. Escamilla P. y J. D. Robledo M. 1996. Factores agronómicos y calidad del café. Universidad Autónoma Chapingo-Confederación Mexicana de Productores de café. Chapingo, Estado de México.
- Sosa M., L., E. Escamilla P. and S. Díaz C. 2004. Organic coffee. pp. 339-354. *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.
- StatSoft. 2003. Statistica. Data análisis software system. Version 6. Stat Soft. Tulsa, OK, USA.
- UACH (Universidad Autónoma Chapingo). 2005. Acciones de fomento productivo y mejoramiento de la calidad del café de México. Evaluación nacional externa. Universidad Autónoma Chapingo-Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Consejo Mexicano del Café. Veracruz, Veracruz, México.
- Vázquez A., A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. 2ª ed. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Wallis, J. A. N. 1967. La calidad del café arabica en Kenya y Tanzania. *CAFÉ-IICA.* Enero-Marzo 1972: 19-26.
- Wintgens, J. E. 2004. *Coffee: growing, processing, sustainable production. A guide book for growers, processors, traders and researchers.* Wiley-VCH Verlag. Weinheim, Germany.