

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS CÓRDOBA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE**

**ANÁLISIS DE SUELOS, NUTRIMENTAL Y SENSORIAL DE CAFÉ DEL ESTADO DE  
CHIAPAS**

**RICARDO ABIMAEEL RUIZ CARBAJAL**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO**

**2020**

---

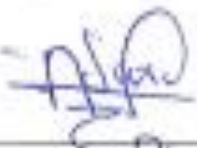
La presente tesis, titulada: **Análisis de suelos, nutrimental y sensorial de café del estado de Chiapas**, realizada por el alumno: **Ricardo Abimael Ruiz Carbajal**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. VICTORINO MORALES RAMOS

ASESOR:   
DR. JERICÓ JESÚS BELLO BELLO

ASESOR:   
DR. JUAN ANTONIO PÉREZ SATO

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México

2020

# ANÁLISIS DE SUELOS, NUTRIMENTAL Y SENSORIAL DE CAFÉ DEL ESTADO DE CHIAPAS

Ricardo Abimael Ruiz Carbajal, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020

México se encuentra entre los principales productores de café a nivel mundial (onceavo lugar) siendo Chiapas el estado que produce la mayor parte del volumen total del país (36.5% aprox.). A pesar de ser una de las bebidas mayormente consumidas no se sabe con certeza qué variables explican la calidad en taza del café. En este estudio se determinó si existen factores del suelo que tienen relación en el contenido nutrimental del grano de café verde, así como también se analizaron factores y minerales en suelo y grano de café verde para determinar la influencia que tienen en los atributos sensoriales de la taza de café, tales como aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance y apreciación global. Se analizó el contenido de macronutrientes (P, Ca, Mg, Na y K) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn y B), tanto para suelo como para grano de café verde; también se analizaron variables del suelo como: altitud, número de fertilización, arena, limo, arcilla, densidad aparente, pH agua, pH KCl, carbonatos totales, conductividad eléctrica, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico; variables del grano como: cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, humedad y cenizas. Se utilizaron muestras provenientes del estado de Chiapas, tanto de suelos como de grano de café (*Coffea arabica* L.). De acuerdo con los resultados no todas las variables del suelo que explican el contenido nutrimental en el grano de café verde. Con excepción de P, K, Ca y Cu, el resto de los elementos en los granos de café no tuvieron un valor significativo ( $P < 0.05$ ) también se logró relacionar los factores de suelo sobre el grano de café verde, siendo las más influyentes: textura, acidez titulable y el pH del agua. La composición del grano explicó un bajo porcentaje de la variabilidad observada en los atributos sensoriales del café, que impactan en los atributos sensoriales de taza. Se recomienda analizar otros factores de los estudiados aquí, para complementar la relación con los elementos que se trabajaron en este caso.

***Palabras clave***

Café verde, elementos minerales, cafeína, trigonelina, ácido clorogénico

# SOIL AND BEAN CHARACTERISTICS ON CUP QUALITY FROM THE STATE OF CHIAPAS

Ricardo Abimael Ruiz Carbajal, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020

Mexico is among the main coffee producers worldwide (eleventh place), with Chiapas being the state that produces most of the total volume of the country (approx. 36.5%). Despite being one of the most consumed beverages, it is not known with certainty what variables explain the quality of the coffee cup. In this study it was determined whether there are soil factors that are related to the nutritional content of green coffee beans, as well as to analyze factors and minerals in the soil and green coffee beans to determine the influence they have on the sensory attributes of cup of coffee, stories such as aroma, flavor, residual flavor, acidity, body, balance and global appreciation. The content of macronutrients (P, Ca, Mg, Na and K) and micronutrients (Fe, Cu, Zn, Mn and B) were analyzed, both for soil and for green coffee beans; Soil variables were also analyzed such as: altitude, fertilization number, sand, silt, clay, bulk density, water pH, pH KCl, total carbonates, electrical conductivity, organic matter and cation exchange capacity; Grain variables such as: caffeine, trigonelline, chlorogenic acid, moisture and ashes. Samples from the state of Chiapas will be used, both from soils and coffee beans (*Coffea arabica* L.). According to the results, not all soil variables that explain the nutritional content in green coffee beans. With the exception of P, K, Ca and Cu, the rest of the elements in the coffee beans did not have a significant value ( $P < 0.05$ ). Soil factors were also related to the green coffee bean, the most influential being: texture, titratable acidity and water pH. The composition of the grain specified in a low percentage of the variability observed in the sensory attributes of coffee, which impact on the sensory attributes of the cup. It is recommended to analyze other factors of those studied here, to complement the relationship with the elements that are worked in this case.

## Keywords

Green coffee, mineral elements, caffeine, trigonelline, chlorogenic acid

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por el financiamiento, a través del Proyecto 2016-01-277838 denominado “Agregación de valor al café mexicano a través de la generación y validación de innovaciones tecnológicas y desarrollo de estrategias de comercialización y mercadeo”, que ha hecho posible la realización de este trabajo de investigación de tesis.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo brindado durante mis estudios de posgrado.*

*Al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, por brindarme herramientas valiosas para mi desarrollo profesional y académico.*

*Al Dr. Victorino Morales Ramos, por el apoyo y confianza demostrada para la realización de este proyecto, así como por darme los comentarios y consejos oportunos durante todo el posgrado.*

*A los profesores que contribuyeron en mi formación durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.*

## DEDICATORIA

A mi madre

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos particulares .....	3
3. HIPÓTESIS .....	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Origen del café .....	4
4.2 Taxonomía.....	4
4.3 Morfología de la planta .....	5
4.5 Cultivo.....	7
4.6 <i>Coffea arabica</i> .....	7
4.7 Proceso .....	8
4.8 Café verde .....	10
4.8.1 Grano de café verde .....	10
4.8.2 Propiedades nutrimentales del grano de café .....	11
4.8.3 Macronutrientes y micronutrientes .....	11
4.9 El suelo.....	12
4.9.1 Estructura y composición del suelo.....	12
4.9.2 El suelo y el café .....	13
4.10 Propiedades sensoriales del café .....	16
5 LITERATURA CITADA.....	18
CAPITULO 1 .....	24
Abstract.....	24
1.1 INTRODUCTION.....	25
1.2 MATERIAL AND METHODS.....	26
1.2.1 PREPARATION OF SAMPLES .....	26
1.2.2 SOIL ANALYSIS .....	26
1.2.3 GREEN COFFEE ANALYSIS .....	27
1.2.3.1 ELEMENTAL ANALYSIS .....	27
1.2.4 SENSORY ANALYSIS.....	28
1.2.4.1 ROASTING .....	28



1.2.4.2 GRINDING .....	29
1.2.4.3 CUPPING.....	29
1.2.5 STATISTICAL ANALYSES .....	29
1.3 RESULTS AND DISCUSSION .....	30
1.3.1 CAFFEINE.....	31
1.3.2 TRIGONELLINE .....	33
1.3.3 NEOCHLOROGENIC ACID.....	33
1.3.4 ALTITUDE .....	34
1.3.5 MOISTURE.....	35
1.3.6 TEXTURE .....	36
1.3.7 TITRATABLE ACIDITY .....	36
1.3.8 PH WATER.....	36
1.3.9 ORGANIC MATTER .....	37
1.3.10 TOTAL NITROGEN .....	37
1.3.11 PHOSPHORUS .....	38
1.3.12 POTASSIUM.....	38
1.3.13 CALCIUM.....	39
1.3.14 MAGNESIUM.....	39
1.3.15 SODIUM .....	40
1.3.16 IRON.....	40
1.3.17 COPPER.....	41
1.3.18 ZINC .....	41
1.3.19 MANGANESE.....	42
1.3.20 BORON .....	42
1.4 CONCLUSION .....	43
ACKNOWLEDGMENTS.....	43
1.5 REFERENCES.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES .....	50

## LISTA DE TABLAS

Table 1. Regression models for mineral content in coffee beans as a function of soil variables.....	30
Table 2. Regression models for cup quality attributes as a function of coffee bean composition. ....	32
Table 3. . Elemental composition (mg kg <sup>-1</sup> ) of soil and coffee bean in samples from Chiapas, Mexico.....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descripción del fruto de café.....	7
Figura 2. Café verde también conocido como café oro.....	10
Figura 3. Capas del suelo .....	13

# ANÁLISIS DE SUELOS, NUTRIMENTAL Y SENSORIAL DE CAFÉ DEL ESTADO DE CHIAPAS

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Considerada por su sabor y aroma únicos, esta bebida es uno de los productos básicos más comercializados en el mundo (Cheng et al., 2016); a nivel global, México se encuentra posicionado en el onceavo lugar en producción (SIAP, 2018).

El género *Coffea* abarca alrededor de 70 especies, pero sobresalen solo dos de ellas, ya que tienen importante impacto económico en el mundo: *Coffea arabica* L., conocida como “café arábica” y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, a quien se le conoce como “café robusta”; ambas especies representan tres cuartas partes con respecto a la producción mundial de café (Cid, 2016).

Según Morris et al. (2013) la calidad del café depende de diferentes factores como su origen especie y procesamiento, sin dejar de lado la intervención de los productores, quienes pueden influir buscando dar un valor agregado al producto, por ejemplo, cafés de especialidad u orgánicos.

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En países consumidores como: Colombia, Etiopía, México, Honduras, Guatemala y Perú es más apreciado el café arábica que el café robusta, por ello constituyen la mayor parte del comercio de café arábica. (Sepúlveda et al., 2016).

Yang et al. (2016) mencionan que un café de buena calidad debe tener sensación agradable, combinación equilibrada de sabor, cuerpo, aroma y ausencia de fallas en preparación en taza.

Bressanello et al. (2017) atribuye parte de la calidad del café como producto final, a factores de origen geográfico, clima, especie, métodos de cosecha, procesamiento tecnológico (principalmente tostado y molienda), condiciones de almacenamiento y métodos de elaboración.

Se sabe entonces que existen diferentes factores para conseguir un café con buenas cualidades, sin embargo no se han relacionado las diferentes etapas de la producción de esta bebida

Entre los principales constituyentes de café verde se encuentran los carbohidratos hasta en un 50%, ya sean solubles como el galactomano o arabinogalactano, así como insolubles, por ejemplo, la celulosa; del mismo modo, posee también compuestos fenólicos como ácidos clorogénicos, proteínas, lípidos, cafeína y diferentes tipos de minerales (Mukkundur et al., 2017), mismos a los que se les atribuye cualidades importantes así como aromas y sabores.

Entre los compuestos mencionados, el café contiene una fuente importante de elementos necesarios para la dieta diaria, ya que se encuentran presentes micronutrientes como K, Ca, P, Fe, Mn, Zn y Cu; esta composición de elementos está relacionada por factores como el suelo, prácticas de campo, clima, especie, y procesamiento del producto. Cabe mencionar que el contenido final de estos compuestos, así como sus propiedades sensoriales se ven afectados en la forma de preparación (Debastiani et al., 2019).

El café adquiere nutrientes y minerales durante su crecimiento aproximadamente 650 días después de la siembra, durante la fase de crecimiento vegetativo de la planta, de esta se puede extraer entre 3.9 g y 10.5 g de calcio y 1.2 g a 2.1 g de Mg, siendo hasta los cinco años y medio que estas cantidades pueden alcanzar hasta 60 g de calcio y entre 15 y 30 g de Mg, según las condiciones del sitio en que se encuentre. Además, en promedio, por cada 1000 kg de café verde se extraen 4.3 kg de calcio, 2.3 kg de Mg y 1.2 kg de azufre, dependiendo de la variedad, suelo y manejo del producto (Sadeghian et al., 2013).

Por otro lado para la generación de aroma, sabor y color del grano de café, el tostado es una parte muy importante del proceso y la reacción de Maillard que ocurre durante este proceso, es una reacción clave, ya que a partir de ella se generan parte de los compuestos aromáticos más importantes. Los grados de tostado de café son clasificados y evaluados a partir del color; se clasifican generalmente en tres tipos: tostado claro o ligero, tostado medio y tostado oscuro; el aroma es el atributo más importante, ya que define la aceptación del consumidor (Somporn et al., 2011).

Esta investigación pretende encontrar la relación en diferentes etapas y factores que son parte de la cadena de transformación del café como son: suelo, grano de café verde y los atributos sensoriales en taza.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Determinar la relación que existe entre los contenidos nutrimentales del suelo y la composición del grano sobre los atributos sensoriales del café del estado de Chiapas

### **2.2 Objetivos particulares**

- Analizar los contenidos nutrimentales del suelo mediante análisis de laboratorio para relacionarlo con la composición nutrimental del grano de café verde
- Analizar la composición nutrimental del grano de café verde mediante análisis de laboratorio para relacionarlo con las propiedades sensoriales de la bebida

## **3. HIPÓTESIS**

Los granos de café provenientes de suelos con diferente contenido nutrimental tendrán diferente composición de macro y micronutrientes, afectando o modulando los atributos sensoriales en taza de la bebida.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Origen del café

El término turco "KAUVEH" y el término árabe "QAHWAH", ambos se refieren a alguna infusión, bebida o vino y se considera derivado de la raíz de la hierba dieron origen a la palabra "café", que. Otro derivado es el término árabe "QAHIYA", que se refiere a que "no tiene apetito", que "no causa apetito" o que "elimina el apetito" (Garg, 2016).

*Coffea arabica* tiene su centro de origen en mesetas altas con altitudes de entre 1300 y 2000 m.s.n.m., en zonas de Etiopía, mientras que *Coffea canephora* tiene origen en altitudes por debajo de los 1000 m.s.n.m. y se encuentra disperso en África tropical (Wintgens, 2008). La provincia de Kaffa en Etiopía es considerada también como el centro de origen, diversificación y diseminación de la planta de café (Garg, 2016).

### 4.2 Taxonomía

La familia Rubiaceae agrupa a 6500 especies, entre ellas la planta de café (Diaz-de-Cero et al., 2019); esta familia está comprendida de diferentes géneros como *Gardenia*, *Ixora*, *Cinchona* (Quinina) y *Rubia*, este último género es el que da el nombre a la familia Rubiaceae (Wintgens, 2008).

El género *Coffea*, el cual también se cree que es originario de Yemen, está compuesto por alrededor de unas 70 especies siendo *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner y *Coffea liberica* W. Bull ex Hiern las más reconocidas, sin embargo, desde el punto de vista económico y, debido a sus características sensoriales, generalmente se

hace referencia a las variedades de *C. arabica* y *C. canephora*, mejor conocidas como Arábica y Robusta, respectivamente (Diaz-de-Cerio et al., 2019).

*Coffea arabica* es derivada de una hibridación entre *C. canephora* (como progenitor paterno) y *Coffea eugenioides* S. Moore (como progenitor materno); generalmente las especies de café son diploides y auto incompatibles, pero en caso de *Coffea arabica* es tetraploide y auto fértil (Lim, 2013). Typica y Bourbon son los dos orígenes genéticos de arábica, de los cuales se derivan las variedades comerciales que existen en el mundo (Tran et al., 2017).

### **4.3 Morfología de la planta**

Arbusto o árbol pequeño, de 4 a 6 metros de altura (para *Coffea arabica*) y 8 a 12 metros (para *Coffea canephora*), aunque comúnmente en cultivo estas especies se podan a alturas de 2 a 3 metros para su manejo (Lashermes et al., 2008). De acuerdo con Lim (2013), la descripción de la planta de café cuenta con hojas opuestas, de color verde oscuro, brillantes, elípticaoblongas a ampliamente elípticas, de 7–20 cm de largo por 2,5–6,5 cm de ancho, con 7–10 pares de venas laterales, acuminadas o ápice agudo, base aguda, ligeramente onduladas; pecíolos cortos y estípulas deltoides y agudas. Presenta flores blancas fragantes en grupos axilares de 2–9 flores; flor de 1,0–1,5 cm de ancho, cáliz pequeño, corola tubular de 10 mm de largo con 5 segmentos de 5–7 mm de largo, 5 estambres con anteras de 7–8 mm de largo y ovario, por lo general con 2 lóculos y estigma de doble cuerpo.

Deben pasar aproximadamente de tres a cuatro años después de su plantación para que la planta de café florezca y es hasta los cinco años cuando el primer cultivo se cosecha, mientras el árbol crece se ramifica menos, sin embargo, produce más hojas y frutos (Garg, 2016).

En condiciones de luz natural, de unas 8 a 11 horas, es cuando la iniciación floral tiene su origen, cuando la madera está ligeramente endurecida ocurre la formación de las



flores, después de seis horas de la floración tiene lugar la polinización, posteriormente ocurre el proceso de fertilización en las siguientes 24 a 48 horas y finalmente se obtiene el fruto de la cereza (Farah et al.,2015), una planta puede florecer hasta dos veces al año con lluvias de, al menos, 10 mm (Lashermes et al., 2008).

#### **4.4 Fruto**

Para *Coffea arabica* la maduración de su frutos ocurre en un lapso de 7 a 9 meses mientras que para *Coffea canephora* de 9 a 11 meses,(Lashermes et al., 2008) aunque morfológicamente los frutos de *C. arabica* son más grandes que *C. canephora*, no existe mucha variación (Diaz-de-Cerio et al., 2019). Se denomina cereza o baya a los frutos rojos o púrpuras, los cuales contienen dos semillas unidas, aunque en algunos casos, entre el 10 y 15% puede contener solo una semilla (Garg, 2016).

El fruto de café tiene una forma ovoide y elíptica, aproximadamente de 10 a 18 mm de largo, crece de color verde cambiando a rojo al madurar y negro cuando se seca; sus semillas son elipsoidales con un surco en forma de “s” en el centro(Lim, 2013).

Describiéndolo de una forma más completa (figura1) del exterior hacia el interior, este fruto comprende: Piel, también llamada epicarpio o exocarpio la cual es una capa de color rojo, rosa oscuro o amarillo cubierta con una especie de cera que protege a la fruta. Posteriormente se encuentra la pulpa o mesocarpio, la cual es de textura carnosa y en frutos maduros una capa de mucílago que se adhiere al pergamino, el pergamino o endocarpio es un polisacárido parecido al papel delgado y desmenuzable. Después se encuentra la piel plateada o silverskin que es el revestimiento de la semilla compuesto de celulosa y hemicelulosa y, finalmente, dos semillas elípticas que contienen endospermo y embriones (Farah et al., 2015; Alves et al., 2017).

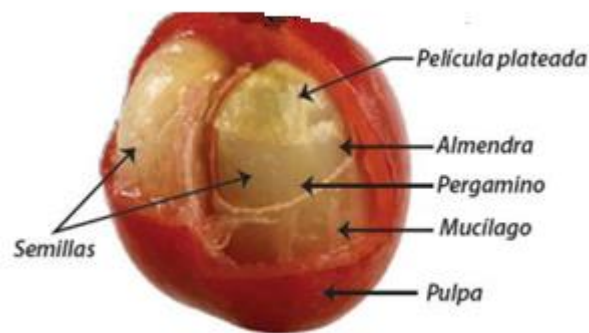


Figura 1. Descripción del fruto de café (Juárez, 2017)

#### 4.5 Cultivo

Este cultivo se realiza en regiones de temperatura moderada de zonas tropicales y subtropicales, ya que se trabajan con diferentes variedades y formas de cultivo (Alves et al., 2017).

A altitudes de 600 hasta 2000 m.s.n.m., *Coffea arabica* puede tener buen crecimiento, mientras que *C. canephora* se puede adaptar a altitudes inferiores a 600 m.s.n.m.; por otra parte, temperaturas de 15 a 24°C favorecen a *Coffea arabica* mientras que *Coffea canephora* necesita temperaturas de 24 a 30°C; las lluvias fuertes favorecen el desarrollo del fruto, sin embargo, durante la maduración requiere menos lluvia (Garg, 2016). En cuanto a las plagas, las variedades de arábica son menos resistentes que las de robusta pero los cafés de arábica se consideran de mayor calidad debido a su aroma a diferencia de robusta (Díaz-de-Cerio et al., 2019).

#### 4.6 *Coffea arabica*

Fue en el siglo XVIII cuando *Coffea arabica* se introdujo en América latina y actualmente es aquí donde se produce el 80 % de café de exportación mundial, siendo la principal fuente de ingresos de varios países (Aguilar et al., 2018).

*Coffea arabica* es más propenso a plagas y enfermedades que *C. canephora*, que es más susceptible a vientos fuertes y su tiempo de maduración es mayor. El ambiente propicio para *C. arabica* se da en suelos fértiles de arcilla, profundos y ricos en materia orgánica, pH levemente ácido, neutro o ligeramente alcalino y bases intercambiables principalmente potasio. Tiene complicaciones en arcillas pesadas y en suelos arenosos y ácidos (Lim, 2013).

#### **4.7 Proceso**

Es la calidad de la fruta cosechada lo que le da su valor, siendo la humedad un factor crítico, ya que influye en el proceso de fermentación y durante su almacenamiento y transporte puede ocurrir desarrollo de hongos, produciendo toxinas, lo que puede ocasionar un mal sabor y aroma. La cosecha de los frutos de café se lleva a cabo cuando estos tienen entre un 30% y 65% de humedad; cuando los frutos aún están verdes tienen humedades entre 66% y 70%, es hasta la maduración cuando adquieren entre el 50 y 65%, por lo que se recomienda una cosecha selectiva evitando los frutos verdes, sin embargo, la maduración del fruto no es uniforme, ni en la planta, ni en el campo (Araújo et al., 2012).

Posteriormente a la cosecha, el fruto de café debe pasar por un proceso cuya finalidad es separar la semilla de las partes restantes y obtener una buena conservación del producto final para evitar características no deseables. Durante el proceso son eliminadas varias capas del fruto, en orden de afuera hacia adentro: se remueve la piel (epicarpio o exocarpio), la pulpa (mesocarpio), el pergamino (endocarpio), la piel plateada (o silverskin) para, finalmente, encontrar las dos semillas de forma elíptica que forman el grano de café (Alves et al., 2017).

En lugares donde el fruto del café se recolecta de forma manual como Colombia, Asia y Centroamérica, generalmente se aplica el proceso húmedo, sin embargo, en los últimos

años, países que producen volúmenes grandes como Brasil, también han adoptado este sistema, ya que da un mayor valor en el mercado (Farah et al., 2015).

El método húmedo se basa en el despulpado del fruto, seguido de la fermentación, lavado y secado; este método es utilizado principalmente en cafés arábica y cafés de mayor calidad. Aunque este proceso requiere el uso de agua abundante y equipo técnico específico, permite la obtención de un café con mayor calidad y, por ende, mayor valor económico (Alves et al., 2017).

Los frutos deben estar en un estado perfecto de maduración para ser procesados por el método húmedo, para ello la selección de las cerezas debe ser cuidadosa, por lo que, regularmente, la recolección es manual, permitiendo la separación de los frutos maduros. Los frutos son llevados a los tanques de selección y se separan por gravedad, los frutos que se encuentran dentro de la maduración óptima tienen una densidad un poco mayor a la del agua, por lo tanto, se depositan en el fondo del tanque y las frutas verdes o muy maduras tienden a flotar; de esta manera ocurre la separación de los frutos maduros en perfecto estado y pasan a la siguiente fase llamada despulpado o depuración. En esta fase se elimina el epicarpio y mesocarpio del fruto, sin embargo, posterior a esto la semilla aún se encuentra cubierta por una capa gelatinosa conocida como mucílago, misma que está adherida al endocarpio; el mucílago facilita el desbrozado, reduciendo el número de semillas rotas y la fuerza aplicada. El mucílago, compuesto principalmente por pectinas, se elimina mediante fermentación donde ocurren complejas reacciones químicas y biológicas. En esta fase, el café permanece en reposo permitiendo que los procesos enzimáticos y otros naturales causen la degradación del mucílago. Es común que durante esta fase la temperatura aumente debido a la fermentación alcohólica del azúcar de la pulpa restante, lo que también ayuda a la acción enzimática de las pectinasas. Debe transcurrir un lapso de 24 a 72 horas durante la fermentación, ya que de lo contrario los granos pueden verse afectados. Aunque no es muy común, se pueden agregar enzimas comerciales o agentes químicos para aumentar la eficiencia de este proceso (Alves et al., 2017).

## 4.8 Café verde

"Café verde" es el término que se le da a las semillas del café crudas o sin tostar. Los granos de café deben ser procesados en varias etapas hasta llegar al punto en que lo conocemos, para ello los granos de café verde se limpian y se secan para posteriormente ser tostado, molido y preparado en taza (Şemen et al., 2017).



Figura 2. Café verde también conocido como café oro

### 4.8.1 Grano de café verde

El grano es cultivado en 56 países que producen un total de aproximadamente 7.76 millones de toneladas de café verde, en naciones que se ubican en áreas tropicales y subtropicales. Se calcula que unos 125 millones de personas de todo el mundo dependen del café (Escamilla, 2007).

Aguilar et al. (2018) señalan que existe un aumento en la producción mundial de café de 131.6 millones de sacos de 60 kg del año 1998 al 2000 a 151.6 millones en el periodo 2016 a 2017; del total de esta producción, el 62.8% es café arábica, el cual es producido por países como Brasil, Colombia, Honduras, Perú, Guatemala, México, Nicaragua y Costa Rica.

De composición química compleja el café verde contiene polisacáridos, monosacáridos, lípidos, esteroides, ácidos grasos, ácidos fenólicos, polifenoles, alcaloides, proteínas,

aminoácidos libres, vitaminas y minerales (Şemen et al., 2017). El contenido de estos elementos está asociado a diferentes factores como la variedad de café, las prácticas de campo, el clima, el procesamiento, pero principalmente, el suelo (Şemen et al., 2017).

Las semillas de café tienden a comportarse de manera variada si no se les da el manejo adecuado, por ejemplo, la viabilidad de algunas semillas de arábica se ve comprometida rápidamente en 4 a 6 meses de almacenamiento a temperatura ambiente. Sin embargo, cuando el almacenamiento es adaptado y controlado, puede permanecer en buen estado hasta tres años (Lashermes et al., 2008).

Los criterios más importantes aplicados al grano de café son sus atributos físicos y químicos, ya que en base a estos se determina su valor comercial en los mercados mundiales (Tran et al., 2017).

#### **4.8.2 Propiedades nutrimentales del grano de café**

Debido a la relevancia nutricional de los minerales, se ha relacionado la composición de algunos alimentos con actividades fisiológicas significativas reconocidas por 23 elementos. Algunos de estos micronutrientes han demostrado ser bioactivos, por ende, es necesario evaluar su composición durante la producción y procesamiento del alimento, ya que estos no solo se ven afectados por sus características fisiológicas y genéticas, sino también por los elementos disponibles durante su desarrollo y los procesos tecnológicos aplicados (Cruz et al., 2015).

En los granos de café verde, el K es el componente principal, ya que del 4% de los minerales en peso seco, este representa hasta el 40% (Cruz et al., 2015). La acumulación de los minerales está relacionada con la composición del suelo y las condiciones donde se cultiva el producto (Diaz-de-Cerio et al., 2019).

#### **4.8.3 Macronutrientes y micronutrientes**

La composición mineral de los granos de café verde incluyen: K, Mg, Ca, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Cu, V, Ba, Ni, Co, Pb, Mo y Cd (Mussatto et al., 2011).

El perfil mineral del grano de café verde está compuesto por al menos 30 minerales diferentes, siendo el potasio el más abundante (40 %), seguido del magnesio y fósforo (4%). Solo el contenido de manganeso es variable entre arábica y robusta, yendo de 2,5–6 mg y 1–3 mg, por cada 100 gramos de masa seca, respectivamente (Diaz-de-Cerio et al., 2019).

En algunos casos, para la evaluación del origen geográfico y autenticidad, el contenido mineral ha sido un factor determinante en las muestras de grano de café. El contenido de minerales en el grano y las propiedades sensoriales en la bebida de café reflejan el tipo de suelo y las condiciones ambientales de crecimiento. A diferencia de las vitaminas u otros compuestos orgánicos, los minerales son más estables en este alimento y, generalmente, pueden determinarse de forma más económica (Oliveira et al., 2015). Según (Garg, 2016), una taza de café puede aportar entre 1–5% de magnesio y entre 1–2% de potasio.

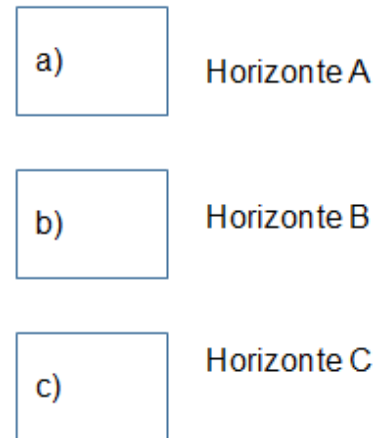
## **4.9 El suelo**

Sánchez et al. (2012) señala que la estructura del suelo es considerada el resultado de la interacción del material parental constituido por minerales primarios o formados por cristalización, cuando se degradan forman minerales secundarios como arenas, limos y arcillas, las cuales en conjunto con la materia orgánica dan pie a la presencia y disponibilidad de nutrientes, agua y ambiente atmosférico con manifestaciones a nivel micro y macroscópico.

### **4.9.1 Estructura y composición del suelo**

Los suelos desarrollan capas distintas a diversas profundidades bajo la superficie (figura 3); de manera vertical, cada una de estas capas se divide en secciones, comúnmente son tres: horizonte A, horizonte B y horizonte C (Thompson, 1998).

- a) Capa superior: rica en materia orgánica
- b) Suelo profundo: rico en arcilla
- c) Roca madre del suelo



**Figura 3. Capas del suelo (adaptado de Thompson, 1998)**

La roca madre del suelo, el clima, los organismos vivos, la topografía y el tiempo son los principales factores que influyen en la formación del suelo, pero es la roca madre quien hereda cientos de minerales al suelo (Thompson, 1998). El suelo es el soporte físico y es la fuente de elementos nutritivos para el desarrollo y producción de cualquier especie vegetal que se encuentre en él (Andrades, 2014).

#### **4.9.2 El suelo y el café**

La superficie es la parte del suelo que siempre está expuesta a las reacciones climáticas y de los seres vivos, los materiales que se descomponen en la superficie tienden a dejar concentraciones minerales y de materia orgánica; estos son fuente adecuada de nutrientes en las plantas (Thompson, 1998).

La síntesis de las moléculas orgánicas da paso al origen de moléculas complejas a partir de las moléculas simples. Las proteínas, polisacáridos, lípidos y ácidos nucleicos se concentran en los organismos vivos y, cuando esta masa viva se desprende, es rizodepositada cumpliendo su ciclo vital, es decir, muere o sufre rupturas llegando al suelo como necromasa. Esta materia orgánica viva y no viva nuevamente es metabolizada, así de esta manera ocurre un ciclaje permanente de los nutrientes



conocidos como mineralización, la cual es fuente de nutrientes y, a través de la solubilización, los minerales primarios y secundarios, con ayuda de los microorganismos, se vuelven disponibles en el suelo (Sánchez et al., 2012).

Nitrógeno: casi el 99% del nitrógeno combinado en el suelo se encuentra contenido en la materia orgánica y es la actividad microbiana quien descompone los materiales orgánicos complejos en iones inorgánicos simples para que estos sean utilizados por las plantas (Thompson, 1998). Es componente de los aminoácidos, enzimas, vitaminas, hormonas, ácidos nucleicos y la clorofila en las plantas (Benimeli et al., 2019). Este elemento, además de adicionarse como fertilizante en el crecimiento del cafetal para la formación de frutos, es importante en las reacciones de Maillard y Strcker durante el tostado (Puerta et al., 2017).

Fósforo: se presenta en el suelo de forma orgánica e inorgánica; de forma orgánica se encuentra ligado a la estructura de los compuestos y puede participar en las reacciones químicas, sin embargo, no está de forma disponible a las plantas hasta que se descomponga el material orgánico. El fosforo inorgánico proviene del mineral apatito  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , proveniente de las rocas ígneas en forma de cristales pequeños (Thompson, 1998). Este elemento adelanta la maduración de las plantas, se encuentra en los tejidos jóvenes y órganos de reserva, forma parte de los fosfolípidos y ácidos nucleicos y funciona como acumulador de energía y combustible para las actividades bioquímicas de las células vivientes formando parte del trifosfato de adenosina (ATP) (Gueçaimburu et al., 2019).

Potasio: el potasio se encuentra en el suelo como ion potasio en estructuras minerales y como ion potasio hidratado en solución o adsorbido en los puntos de intercambio catiónico (Thompson, 1998). Participa en la activación de enzimas, funcionamiento de estomas, regulación de los procesos de osmosis, fotosíntesis y transportación de sus productos de la planta (Espinosa, 1993). Forma parte de los fertilizantes para crecimiento

y resistencia de la planta, sin embargo, es parte de los compuestos químicos del sabor y aroma de café (Puerta et al., 2017).

Calcio: se encuentra en el suelo en forma de catión divalente  $Ca^{++}$ , desciende gradualmente conforme avanza la meteorización de minerales como el apatito y el lavado del suelo (Thompson, 1998). El carbonato cálcico es la principal fuente de calcio en suelos (Andrades, 2014). Activa sistemas enzimáticos, regula el crecimiento de la planta, formación de la pared celular y división normal de la célula (Andrés, 2017). Este elemento es importante para el desarrollo productivo, maduración y la obtención de granos de calidad (Puerta et al., 2017).

Magnesio: es la fuente principal de elemento de cambio en los suelos, representa de un 12 a 18% del total de bases cambiables, solo superada por la proporción 75 a 85% de los iones  $Ca^{++}$  (Thompson, 1998). Es esencial para la síntesis de almidón y proteínas (Bayon y Ditschar, 2012). Es un elemento de la molécula de la clorofila (Puerta et al., 2017).

Sodio: el contenido de sodio en el suelo puede variar desde pequeñas hasta grandes porciones de la capacidad intercambiable, dependiendo de las condiciones ambientales (McKean, 1993); tiene un importante efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad y la salinidad puede afectar cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales trae como consecuencia un desequilibrio iónico y estrés osmótico (Alcaraz, 2012).

Boro: existen diferentes formas de boro en el suelo; boro soluble en agua, boro ligado a la materia orgánica, boro en los minerales de arcilla y los borosilicatos, sin embargo, la mayor parte de boro disponible para el suelo se encuentra en la materia orgánica (Thompson, 1998). Este elemento es importante para el mantenimiento de la estructura de la pared celular, mantenimiento de la función de la membrana y de soporte, en actividades metabólicas como funciones del crecimiento y desarrollo de la planta (Malavé, 2005).

Cobre: se encuentra comúnmente en forma de  $\text{Cu}^{++}$ , su solubilidad es máxima en suelos ácidos y desciende conforme aumenta el pH (Thompson, 1998). Estabilizador de la clorofila, ya que impide su degradación precoz (Larios et al., 2014).

Hierro: es abundante en suelos y rocas, pero deficiente dada su insolubilidad principalmente el ion férrico  $\text{Fe}^{+++}$ , se acumula en suelos muy meteorizados y es constituyente de los suelos rojos en regiones tropicales (Thompson, 1998). Es componente estructural de las moléculas de porfirina y de los sistemas enzimáticos de la planta (Benavides, 1999).

Manganeso: se encuentra en el suelo mayormente con el ion  $\text{Mn}^{++}$ , una cantidad pequeña es esencial para las plantas, pero en mayor cantidad resulta tóxico (Thompson, 1998). Contribuye al proceso de respiración, a la síntesis de proteínas, al metabolismo de nitrógeno (fase inicial de la reducción de nitratos) y azúcares (Gómez y López, 2006).

Cinc: su solubilidad aumenta en suelos ácidos y disminuye en suelos alcalinos, se encuentra en cantidades pequeñas pero suficientes en la mayoría de los suelos y plantas (Thompson, 1998). Estabilizador de la estructura de las proteínas, participa en el metabolismo de los ácidos nucleicos, la fotosíntesis y el metabolismo de los carbohidratos en las plantas, además forma parte de las enzimas que participan en la percepción de factores de estrés biótico y abiótico (Amezcuca y Lara, 2017).

#### **4.10 Propiedades sensoriales del café**

La taza de café es el resultado final de una larga cadena de transformación, dando como resultado diferentes expresiones en aroma, sabor y otros componentes que pueden ser evaluados mediante diferentes técnicas (Yeretzian, 2017).

La calidad del café se evalúa en función de sus propiedades físicas y sensoriales; las características de calidad física incluyen longitud, anchura, grosor o peso, forma o color de los granos de café (Tran et al., 2017), mientras que la calidad sensorial del café se

describe por una sensación agradable, combinación equilibrada de sabor, cuerpo y acidez en ausencia de defectos, siendo el sabor el parámetro más importante para el consumidor (Ladino et al., 2016). No obstante, las variedades más estudiadas difieren en muchos aspectos, como el origen, las condiciones de crecimiento y las condiciones físicas y características químicas, que podrían cambiar la calidad y el sabor de la bebida final (Diaz-de-Cerio et al., 2019).

Se cree que algunos componentes del café en diferentes etapas antes de la bebida final pueden afectar directamente en las propiedades sensoriales de la taza, por ejemplo, que la cafeína contribuye en el amargor y en el efecto estimulante de la bebida (Barrera et al., 2019).

El Protocolo de catación de la Asociación de cafés especiales de América (SCAA) proporciona un estándar internacional para la evaluación de tazas, con la finalidad de calificar los diferentes atributos, pues, además del aroma y sabor, también se evalúan: sabor residual, acidez, cuerpo, balance, dulzura, uniformidad y taza limpia, considerando un tipo de tostado (Bressanello et al., 2017).

El aroma, así como sus demás atributos sensoriales del café, son complejos y están determinados por los compuestos químicos presentes, así como por el método utilizado para tostar el café. Más de 1000 compuestos volátiles se han identificado hasta ahora en el café tostado, las largas listas de compuestos químicos volátiles detectados en el café tostado pueden crear la ilusión de que entendemos su química (Yeretzian, 2017).

## 5 LITERATURA CITADA

- Aguilar, M. E., Ortiz, J. L., Mesén, F., Jiménez, L. D., & Altmann, F. (2018a). Cafe Arabica Coffea arabica L. En S. M. Jain & P. Gupta (Eds.), *Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants: Volume II* (pp. 39-62). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9_3)
- Alcaraz F. J. (2012). Salinidad y vegetación. *Universidad de Murcia España*, pag.11.
- Alves, R. C., Rodrigues, F., Antónia Nunes, M., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2017a). Chapter 1—State of the art in coffee processing by-products. En C. M. Galanakis (Ed.), *Handbook of Coffee Processing By-Products* (pp. 1-26). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00001-3>
- Amezcuca J. C., L. F. M. (2017). *El zinc en las plantas. Volumen 68 Número 3*, 35 pag.
- Andrades M., M. Ma. E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3ª ed.* 34 pag.
- Andrés W. (2017). *Requerimientos nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) en etapa vegetativa y reproductiva de un cultivo de mora (Rubus glaucus Benth.), ubicado en el municipio de Sylvania (Cundinamarca)*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias.
- Araújo e Silva Ferraz, G., da Silva, F. M., de Carvalho Alves, M., de Lima Bueno, R., & da Costa, P. A. N. (2012). Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. *Precision Agriculture*, 13(1), 76-89. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9223-8>
- Barrera B., O., Guzmán, N., & Orozco-Blanco, D. (2019). Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1158>

- Bayon, C., & Ditschar, D. B. (2012). *El magnesio, un macroelemento a redescubrir para su aplicación en cereales*. 2 p.
- Benavides A. (1999). *Absorción y asimilación de hierro en las plantas*.
- Benimeli M. F., P. A., D. Corbella Roberto, A. G. D., Sanzano Agustin, A. S. F., & Fernández de Ullivari Juan. (2019). *El nitrógeno del suelo*. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán. [www.edafologia.org](http://www.edafologia.org)
- Bressanello, D., Liberto, E., Cordero, C., Rubiolo, P., Pellegrino, G., Ruosi, M. R., & Bicchi, C. (2017). Coffee aroma: Chemometric comparison of the chemical information provided by three different samplings combined with GC–MS to describe the sensory properties in cup. *Food Chemistry*, 214, 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.088>
- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- Cruz, R., Morais, S., & Casal, S. (2015). Chapter 66 - Mineral Composition Variability of Coffees: A Result of Processing and Production. En V. Preedy (Ed.), *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 549-558). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00066-4>
- Debastiani, R., Iochims dos Santos, C. E., Maciel Ramos, M., Sobrosa Souza, V., Amaral, L., Yoneama, M. L., & Ferraz Dias, J. (2019). Elemental analysis of Brazilian coffee with ion beam techniques: From ground coffee to the final beverage. *Food Research International*, 119, 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.007>
- Diaz-de-Cerio, E., Guerra-Hernandez, E., Garcia-Esteba, R., Garcia-Villanova, B., & Verardo, V. (2019). 9—Analytical Approaches in Coffee Quality Control. En A. M. Grumezescu

- & A. M. Holban (Eds.), *Caffeinated and Cocoa Based Beverages* (pp. 285-336). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815864-7.00009-X>
- Escamilla Prado, E. E. (2007). *Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México*. 267 pag.
- Espinosa, J. (1993). *Potasio en suelos tropicales*. 12 pag.
- Farah, A., & Ferreira dos Santos, T. (2015). Chapter 1 - The Coffee Plant and Beans: An Introduction. En V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 5-10). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>
- Garg, S. K. (2016a). Chapter 47—Green Coffee Bean. En R. C. Gupta (Ed.), *Nutraceuticals* (pp. 653-667). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00047-4>
- Gómez, M. I., & López, M. Á. (2006). *El manganeso como factor positivo en la producción de papa (Solanum tuberosum L.) y arveja (Pisum sativum L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense*. 9.
- Gueçaimburu, J. M., Vázquez, J. M., Tancredi, F., Reposo, G. P., Rojo, V., Martínez, M., & Introcaso, R. M. (2019). Evolución del fósforo disponible a distintos niveles de compactación por tráfico agrícola en un argiudol típico. *Chilean journal of agricultural & animal sciences, ahead*, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000203>
- Juárez Bravo Arisel. (2017). *Diseño y construcción de un prototipo de seleccionadora por color para café cereza*. Colegio de Postgraduados.
- Ladino, W., Cortés-Macías, E., Guzmán, N., & Amorocho-Cruz, C. (2016). *Calidad de taza de café (Coffea arabica L.) procesado en fermentación semi-seca*. 281-283. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57773>

- 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. <https://doi.org/10.5377/calera.v14i23.2660>
- Lashermes, P., Andrade, A. C., & Etienne, H. (2008). Genomics of Coffee One of the World's Largest Traded Commodities. En P. H. Moore & R. Ming (Eds.), *Genomics of Tropical Crop Plants* (pp. 203-226). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2_9)
- Lim, T. K. (2013). *Coffea arabica*. En T. K. Lim (Ed.), *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 5, Fruits* (pp. 614-679). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3\\_32](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3_32)
- Malavé, A. (2005). Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista Científica UDO Agrícola*, ISSN 1317-9152, Vol. 5, Nº. 1, 2005, pags. 10-26, 5.
- M.C. Cid, M.-P. de P. (2016). Coffee: Analysis and Composition. *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press, 225-231. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00185-9>
- McKean Sheila J. (1993). *MANUAL DE ANÁLISIS DE SUELOS Y TEJIDO VEGETAL*.
- Morris, K. S., Mendez, V. E., & Olson, M. B. (2013). 'Los meses flacos': Seasonal food insecurity in a Salvadoran organic coffee cooperative. *The Journal of Peasant Studies*, 40(2), 423-446. <https://doi.org/10.1080/03066150.2013.777708>
- Mukkundur Vasudevaiah, A., Chaturvedi, A., Kulathooran, R., & Dasappa, I. (2017). Effect of green coffee extract on rheological, physico-sensory and antioxidant properties of bread. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1827-1836. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2613-9>



- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 661. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- Oliveira, M., Ramos, S., Delerue-Matos, C., & Morais, S. (2015). Espresso beverages of pure origin coffee: Mineral characterization, contribution for mineral intake and geographical discrimination. *Food Chemistry*, 177, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.061>
- Puerta-Quintero, G., Forero, C., & Agudelo, C. (2017). *Composición química de elementos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud*. 68, 28-60.
- Sadeghian K., S., Mejia M., B., & Gonzalez O., H. (2013). *Acumulación de calcio magnesio y azufre en los frutos de café*. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/408>
- Sánchez De P Marina, P. M. M., & E Naranjo Ruben, E. S. O. (2012). EL SUELO, SU METABOLISMO, CICLAJE DE NUTRIENTES Y PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS. *Agroecología* 7, 19-34.
- Şemen, S., Mercan, S., Yayla, M., & Açıkkol, M. (2017a). Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake. *Food Chemistry*, 215, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.176>
- Sepúlveda, W. S., Chekmam, L., Maza, M. T., & Mancilla, N. O. (2016). Consumers' preference for the origin and quality attributes associated with production of specialty coffees: Results from a cross-cultural study. *Food Research International*, 89, 997-1003. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.039>

- SIAP (Servicio de informacion agroalimentaria y pesquera). (2018). *Atlas Agroalimentario*.  
[https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)
- Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S. (2011). Effects of roasting degree on radical scavenging activity, phenolics and volatile compounds of Arabica coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor): Roasting degree on radical-scavenging activity. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(11), 2287-2296.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02748.x>
- Thompson, M. L, F. R. T. (1998). *Los suelos y su fertilidad*. Reverte.
- Tran, H. T. M., Vargas, C. A. C., Slade Lee, L., Furtado, A., Smyth, H., & Henry, R. (2017a). Variation in bean morphology and biochemical composition measured in different genetic groups of arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree Genetics & Genomes*, *13*(3), 54. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1138-8>
- Wintgens, J. N. (2008). The Coffee Plant. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 1-24). John Wiley & Sons, Ltd.  
<https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch1>
- Yang, N., Liu, C., Liu, X., Degn, T. K., Munchow, M., & Fisk, I. (2016). Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects. *Food Chemistry*, *211*, 206-214. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.124>
- Yeretzian, C. (2017). Coffee. En A. Buettner (Ed.), *Springer Handbook of Odor* (pp. 21-22). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26932-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26932-0_6)

## CAPITULO 1

### Soil-Bean-Cup relationships in *Coffea arabica* L.

Victorino Morales-Ramos; Esteban ESCAMILLA-PRADO; Ricardo Abimael RUIZ-CARBAJAL; Juan Antonio PÉREZ-SATO; Juan Alberto VELÁZQUEZ-MORALES; Roselia SERVÍN-JUÁREZ

#### Abstract

The relationships between soil characteristics and composition of coffee beans were evaluated and the influence of bean variables on cup quality attributes was computed by means of relation studies. A total of 139 coffee and soil samples were collected directly from the same number of coffee plantations in Chiapas, Mexico. Results showed that only P, K, Ca and Cu in coffee beans had a significant ( $P < 0.05$ ) relationship with the content of the same elements in soil. However, the elemental composition of coffee beans was highly influenced by soil variables, such as texture, titratable acidity and pH water. Regarding the cup quality attributes, the most important variables influencing the sensory quality were altitude of plantations and moisture of coffee beans. Caffeine had a significant influence ( $P < 0.05$ ) affecting aroma and trigonelline affected the rest of the sensory attributes, except aroma and 5-CQA improved the perception of acidity and balance in the beverage.

#### Keywords

Soil analysis, Green coffee bean, Cupping, Microelements, Trigonelline, Neochlorogenic Acid.

**Chemical compounds studied in this article:** Caffeine (PubChem CID: 2519); Trigonelline (PubChem CID: 5570); Neochlorogenic acid (PubChem CID: 5280633)

## 1.1 INTRODUCTION

Coffee is cultivated in the world by about 25 million farmers, for its unique taste and aroma; it has become the second most consumed beverage after water. According to Wintgens (2012), the genus *Coffea* comprises about 70 species, but only two of them have economic importance, *Coffea arabica* L. (Arabica coffee) and *Coffea canephora* (Robusta coffee). The sensory attributes of coffee depend on the genetic material the beans come from, the environmental conditions where the coffee plant is grown, and the handling of the bean from harvest to the brew preparation (Cheng et al., 2016). It is mentioned (Tolessa et al., 2017) that cherries in optimal state of maturity, cultivated in volcanic-origin and high altitude soils, produce the best sensory attributes in cup. However, this can be modulated by the roasting and the brewing methods. The characteristic aroma and flavor components of coffee develop during roasting, so the composition of green beans will determine the potential for the development of sensory quality, by containing the precursors of prized compounds in a cup of coffee. Among the constituents of green coffee beans, related to coffee quality, are carbohydrates (up to 50%), phenolic compounds such as chlorogenic acids (Jeszka-Skowron ., 2016; Mehari et al., 2016), mainly 5-O-Caffeoylquinic acid (5-CQA) or neochlorogenic acid; as well as caffeine, trigonelline (Babova et al., 2016), among other compounds such as lipids, proteins and minerals.

Among the minerals present in green coffee beans are N, P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn and B (Mehari et al., 2016), whose relative importance changes in different stages of bean processing (Debastiani et al., 2019), until reaching the cup where they contribute to the daily intake of these elements (Şemen et al., 2017; Stelmach et al., 2015). The accumulation of some minerals in the bean has been related to the composition of the soil (Endaye et al., 2019) and environmental conditions where the coffee plant was grown (Scholz et al., 2018), and it has even been possible to determine the authenticity and geographical origin of some coffee samples (Arana et al., 2015; Mohammed et al., 2019) by using elemental analysis of the bean as a tool.

Cup quality is evaluated by professional tasters through sensory attributes such as aroma/fragrance, flavor, aftertaste/residual flavor, acidity, body, sweetness, balance,

overall appreciation, among others, using different evaluation protocols, including the one published by the Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2015). This work was proposed under the hypothesis that mineral content in coffee beans is directly related to the mineral content of soils and the level of macro and micronutrients in the bean has an inverse relationship with the score of the main sensory attributes in the cup. To this end, the objective was established a study the soil-bean-cup relationships of samples from the main coffee-producing state in Mexico, Chiapas.

## **1.2 MATERIAL AND METHODS**

For this study, 139 coffee farms were randomly selected in the state of Chiapas, Mexico. During the months of November 2017 to February 2018, each coffee farm was visited to directly harvest a 12 kg sample of cherry-coffee, as well as to obtain a composite sample of the soil where the harvested coffee trees were planted.

### **1.2.1 PREPARATION OF SAMPLES**

A total of 139 cherry-coffee samples were obtained, with their corresponding soil samples. Each cherry-coffee sample was placed into clean water to eliminate floats and was processed on site using a manual disc pulper (Promor, Mexico), the pulped beans were fermented for 12 h using a 20 L capacity bucket, after that time they were manually washed. The washed and drained coffee was then sun-dried up to 12% moisture. Samples of 2-3 kg of parchment coffee were obtained and sent, correctly labeled, to the Coffee Quality Laboratory at Colegio de Postgraduados, for evaluation. The soil sample was obtained at a depth from 0 to 20 cm from the drip zone of the coffee trees from which the cherry-coffee sample was harvested. Each soil sample weighed from 3 to 5 kg, it was labeled and sent to a specialized laboratory for analysis.

### **1.2.2 SOIL ANALYSIS**

Soil analyses were performed following the methods and procedures described in the Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis (Motsara y Roy, 2008) with

the following precisions: soil pH was determined by pH meter (MW 802, USA) using a soil-water ratio of 1:2.5, electrical conductivity (EC) using an EC meter (MW 802, USA), texture was determined by the Bouyoucos hydrometer method, apparent density (AD) by the paraffin method (SEMARNAT, 2002), organic matter (OM) by the Walkley and Black method, total nitrogen (TN) was quantified by micro Kjeldahl method, assimilable phosphorus (P) was quantified by the Bray method for soils with pH <7.2 and the Olsen method for soils with pH >7.2, by using UV-VIS spectrophotometry, boron (B) was extracted by the hot water method and determined by UV-VIS (SEMARNAT, 2002). The interchangeable bases (K, Ca, Na and Mg) were extracted with 1N ammonium acetate at pH 7.0 and quantified by atomic absorption spectrometry (PerkinElmer AAnalyst 800, USA). For the identification of extractable microelements contained in the soil (Fe, Cu, Zn and Mn), DTPA was used and they were quantified through atomic absorption spectrophotometry (PerkinElmer AAnalyst 800, USA).

### **1.2.3 GREEN COFFEE ANALYSIS**

Green coffee beans were subjected to elemental, non-volatile and sensory analyses.

#### **1.2.3.1 ELEMENTAL ANALYSIS**

For the determination of the elements K, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn, the samples were taken to incineration during 4 hours at 550 °C, obtaining the ashes, diluting and analyzing them by atomic absorption spectrometry (PerkinElmer AAnalyst 800, USA). Nitrogen was determined by the micro Kjeldahl method (SECOFI, 1980). B was determined by UV-VIS spectrophotometry using curcumin (SE, 2001b), and P was determined by colorimetry using UV-VIS (S.E., 2001).

#### **1.2.3.2 NON-VOLATILE COMPOUNDS ANALYSIS**

Following the methodology of Malta & Chagas (2009); 10 g of green coffee beans were weighed and frozen at - 20 °C for 24 h, then they were ground using a knives' mill (Hamilton Beach, USA) in two steps. In the first step, 5 g of coffee beans were ground

and discharged, then 5 more grams were ground and used for analysis. 0.5 g of ground green coffee were weighed and poured into 50 mL of boiling water (96 °C), remaining in agitation for 3 min, the extract was passed through a conventional filter (Whatman No. 1), an aliquot of 5 mL was taken and centrifuged at 4,500 rpm for 10 min, in a Model DM0412S centrifuge (Science MED, USA), finally the supernatant passed through a 0.22 µm membrane filter. For the identification and quantification of caffeine, trigonelline and neochlorogenic acid (5-CQA), the methodology described by Malta and Chagas (2009) was adapted. An ultra- performance liquid chromatograph UPLC- Acquity I-Class (Waters, USA), coupled to a Xevo G2-XS QToF mass spectrometer (Waters, USA) was used. Three calibration curves ( $R^2= 0.999$ ) were prepared using the standards and Type I water with 18.2 Ω resistivity (Milli Q Reference, Merck, USA). The chromatography system was integrated by a C18 column (Acquity UPLC BEH 1.7 µm, 2.1 x 50 mm, Waters, USA) at 30°C, the mobile phase consisted of water: ACN (90:10 + 0.1% formic acid) at 0.4 mL/min flow, injection volume 5 µL, run time 2 minutes approximately. Samples were processed in triplicate. The electrospray ionization (ESI) source of the mass spectrometer was operated positively for caffeine and trigonelline, while for 5-CQA was negative. The standards of caffeine (C11778-1VL), hydrochlorinated trigonelline (T5509-10G) and neochlorogenic acid (C3878-1G) were purchased from Sigma Aldrich, Germany.

#### **1.2.4 SENSORY ANALYSIS**

For the sensory analysis the procedure described in the standards established in the Protocol for Tasting in Cup, published by the Technical Standards Committee of the Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2015), was applied. The sensory analysis process consisted of three steps: roasting, grinding and cupping.

##### **1.2.4.1 ROASTING**

Prior to roasting, 500 g of each parchment coffee sample were hulled (Promor, Mexico) to eliminate the husks, obtaining around 400 g of green coffee. From this sample 350 g

were taken and the defects removed, from the defect-free beans 200 g were roasted in a sample roaster (Promor, Mexico) 24 h before evaluation, for about 12 min until a medium roasting degree in the scale of SCAA (2015), with an initial temperature in the roaster drum of 180 °C.

#### **1.2.4.2 GRINDING**

For coffee grinding, a grinder (Hamilton Beach, USA) with a capacity of 80 g was used. 13.75 g of roasted coffee were ground to a medium grind (70% of the grinds pass through the mesh of 0.841 mm or U.S. Standard Sieve number 20) for every five cups per tasting, within five minutes before infusion.

#### **1.2.4.3 CUPPING**

The cup quality evaluation was performed by a group of four specialized Coffee Tasters with several years of experience in the coffee industry, under the parameters and procedures established by the Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2015). They used SCAA standardized cupping formats with nine attributes to be assessed in the following order: fragrance/aroma, flavor, residual flavor/aftertaste, acidity, body, balance, sweetness, uniformity and clean cup. Accordingly to the cupper's flavor experience with these nine attributes, they gave an overall impression score for the sample. Each attribute, including the overall score, was rated in a scale ranging from 0 to 10. Finally, a total score was computed by adding the ten individual scores. Five cups per sample were assessed.

#### **1.2.5 STATISTICAL ANALYSES**

The study of relationships between soil, bean and cup quality variables was carried out by means of multiple regression and correlation analyses. In the regression analyses, the bean variables were first used as responses and as predictors the soil variables, including the altitude of the plantations. In a second analysis, responses were the scores on the sensory attributes of the beverage and as predictors the bean variables. As a reference,



a third analysis was done with the bean and soil variables together as predictors and sensory attributes as dependent variables. Data were processed by using the R language and environment for statistical computing.

### 1.3 RESULTS AND DISCUSSION

Soil variables explained a low percentage of the variability observed in the composition of coffee beans (Table 1). The coefficients of determination ( $R^2$ ) of the adjusted linear models were low, the best fit ( $R^2=0.47$ ) was for the content of K in beans, which indicates that there are other variables, apart from soil, that can help us in explaining the composition of coffee beans. Table 1 shows that except for P, K, Ca and Cu, the rest of the elements in beans did not have a significant ( $P<0.05$ ) relationship with the content of the same elements in soil. In particular, the content of micro-elements (Fe, Cu, Zn, Mn and B) in beans was little influenced by the mineral content of soil, therefore the variability observed in the elemental content of beans may be due to other factors in soils, the environment or the genetic material the coffee samples came from. In this study it is clear from Table 1, that the elemental content in beans was highly influenced by other soil variables, such as texture and pH.

Table 1. Regression models for mineral content in coffee beans as a function of soil variables.

Soil*	NT	P	K	Ca	Mg	Na2O	Fe	Cu	Zn	Mn	B
R Sq	0.2634	0.4006	0.4716	0.2892	0.3007	0.1464	0.2085	0.3715	0.2429	0.3341	0.0123
Intercept	23877	1.63E+04	13705	1.44E+03	-1.68E+03	402.48	-9.20E+01	16.408	-10.82	83.903	5.4464
Altitude	-0.745	0.381	-3.121	-0.0975	-0.1732	-0.378					
Sand %		-121			62.35		1.302		0.0519		
Silt %	-20.59	-118.5		3.321	61.68		1.327			-0.139	
Clay %	-25.33	-122.9		2.415	60.72	9.1696	1.169				
AD (g/cm3)						452.16	-3.588	1.8981			
TA	4842.7					377			1.2922	-1.463	
H	-4983			105.3	-132		-4.318			4.2498	
Al	-4793					-434.1			-0.974		
pH wáter		-346.2	3389.8	-291.6		-430.3		4.2996	2.3691	-8.949	
pH KCl		343.8	-1793	412.1		369.41	3.323	-5.858			
TotCarb.		139.6							-0.497	4.1199	
EC (Sdm1)		-1339		-1867			-27.1	12.192			
OM (%)	-126.3			52.33			0.6615	0.2781		1.9025	
TN (mg/kg)		-0.1125	0.3925	-0.09388	-0.1208		-0.001886				
P (mg/kg)	20.59	7.094	28.304		5.562						0.3148

Ca (mg/kg)	-0.07559	-0.58	0.02115			-0.001	
Mg (mg/kg)		-3.556					
Na (mg/kg)	-24.26		5.728				
K (mg/kg)	-2.221	4.5764	0.4501	-0.6565	-1.08		
CEC (cmol/kg)		89.957				0.2084	-0.405
Fe (mg/kg)	2.051			-2.139		-0.042	0.0208
Cu (mg/kg)		248.54	26.14			1.1942	0.5564
Zn (mg/kg)		94.85	429.07	-63.55		-0.708	-1.011
Mn (mg/kg)	14.002		-1.196			0.0354	
B (mg/kg)	-398.5	-3827	222.7	-438.1	967.25		

\* Significance of regression estimators  $P < 0.05$ .

The soil-bean-cup relationships were evaluated in two steps. In the first step, the effect of soil variables on bean variables was determined (Table 1) and in the second step, the effect of bean parameters on the quality attributes of the beverage was determined (Table 2). As a reference, the joint effect of soil and bean parameters on the cup quality attributes was analyzed, obtaining the following results:

### 1.3.1 CAFFEINE

The caffeine content in green beans varied from 0.6 to 2.9%, with a mean of 1.6%, a wider range than the 1.0 to 1.6% reported by Barbosa, Scholz, Kitzberger, & Benassi (2019) in samples from Brazil, but similar to the range from 1.45 to 1.79% found by Tolessa et al. (2017), as sample averages at different heights in Ethiopia.

The equation shows the relationship with the factors most significant.

$$\text{Caffeine (\%)} = 0.606 + 0.009\text{Sand} + 0.123\text{pH KCl} - 0.100\text{OM} - 0.008\text{Na} + 0.081\text{Cu} + 1.072\text{B}$$

The caffeine content was significantly ( $P < 0.05$ ) influenced by the percentage of OM, which varied from 1.6 to 11.4%, with a mean of 5.2% in soils from Chiapas. The OM content in soils is very likely to be associated with the level of tree cover, the more shaded the coffee plantation, the higher the OM content in the soil and the lower the caffeine content in the bean; therefore, it could be assumed that the main function of this

metabolite is related to stress due to sunstroke or high temperatures. Soils of higher altitude in the state of Chiapas had a higher OM content ( $r=0.363$ ), hence it could be inferred that coffee samples coming from higher altitudes contain a lower amount of caffeine, although the correlation study showed a low but significant ( $P<0.05$ ) relation ( $r=-0.129$ ) between these two variables; similar to what was reported by Tolessa et al. (2017) and Worku, de Meulenaer, Duchateau, & Boeckx (2018) in samples from Ethiopia. Other important soil variables that explained the caffeine content were the B content and the percentage of sand. High caffeine-content beans also had high trigonelline ( $r=0.428$ ) and 5-CQA ( $r=0.329$ ) contents. Caffeine content in beans had virtually no influence on the sensory attributes of the beverage (Table 2), although Barbosa et al. (2019) and Dessalegn, Labuschagne, Osthoff, & Herselman (2008) correlated this metabolite with lower cup quality scores.

Table 2. Regression models for cup quality attributes as a function of coffee bean composition.

Coffee Bean*	Aroma	Flavor	Aftertaste	Acidity	Body	Balance	Overall
R Sq	0.14	0.1539	0.1766	0.2869	0.1614	0.2413	0.2385
Intercept	6.419	6.902	6.966	9.037	7.347	7.287	8.035
Caffeine %	-0.05738						
Trigonelline %		-0.2691	-0.2345	-1.724	-0.2171	-0.4699	-0.3867
5-CQA %				0.2613		0.04641	
Moisture %	0.1624	0.3072	0.2673	0.9827	0.1369	0.3698	0.3827
Ash %				-0.5951	0.1362		
NT mg/kg			-0.00003288	-0.000118		-0.00004014	-0.00004804
P mg/kg	-6.7E-05	-0.00012	-0.0001555	-0.000489	-0.00012	-0.0001104	-0.0002259
K mg/kg		-4.4E-05	-0.0000372	-0.000128	-2.2E-05	-0.00005752	-0.00005948
Ca mg/kg	-0.00021	-0.00035	-0.0003061	-0.001258	-0.0002	-0.0004818	-0.0005631
Mg mg/kg	0.000182		0.0001301				
Na2O mg/kg							
Fe mg/kg			0.005703		0.006571		0.007769
Cu mg/kg			-0.01504		-0.01148		-0.0132
Zn mg/kg			0.01992	-0.06483			
Mn mg/kg			0.004138		0.003276		0.004172
B mg/kg							

\* Significance of regression estimators  $P < 0.05$ .

### 1.3.2 TRIGONELLINE

Trigonelline content in green beans ranged from 0.6 to 1.8%, with a mean of 1.1%. The soil variables with the greatest influence ( $P < 0.05$ ) on the trigonelline content were OM, TN, B and the percentages of sand and clay. As shown in the equation:

$$\text{Trigonelline (\%)} = 0.249 + 0.0001\textit{altitude} + 0.0085\textit{Sand} + 0.0059\textit{Clay} - 0.067\textit{OM} + 0.00014\textit{TN} - 0.024\textit{Zn} + 0.00092\textit{Mn} + 0.389\textit{B}$$

Given the high correlation of TN ( $r=0.728$ ) and B ( $r=0.316$ ) with the OM content, it is possible that the latter variable is the one with the highest impact on trigonelline content. With the exception of aroma, trigonelline had a significant influence ( $P < 0.05$ ) affecting the rest of the sensory attributes of the beverage; especially acidity ( $\beta = -1.724$ ) and balance ( $\beta = -0.47$ ).

### 1.3.3 NEOCHLOROGENIC ACID

The content of 5-CQA in green beans varied from 1.7 to 7.2%, with a mean of 3.9%, similar values to those reported by Barbosa et al. (2019), who found levels from 1.9 to 8.9% in Brazilian coffees. The 5-CQA content was mainly influenced by soil pH, TN, CEC and the percentages of silt, clay and OM in soils. As shown in the equation:

$$\text{5-CQA (\%)} = 6.6 + 0.0004\textit{altitude} - 0.0523\textit{Silt} - 0.0226\textit{Clay} - 0.1512\textit{AT} - 0.4805\textit{pH} + 3.6046\textit{EC} - 0.16\textit{OM} + 0.0006\textit{TN} - 0.013\textit{P} - 0.00023\textit{Ca} + 0.0008\textit{Mg} - 0.013\textit{Na} + 0.06\textit{CEC} - 0.104\textit{Cu}$$

The percentage of OM had a positive correlation ( $r=0.363$ ) with altitude, but as altitude increased, so did the 5-CQA bean content ( $r=0.116$ ), contrary to what was found by Tolessa et al. (2017) and Worku et al. (2018) in samples from Ethiopia. Coffee trees cultivated in more acidic soils accumulated greater amounts of 5-CQA in their beans. It is

interesting to point out that soil pH was positively correlated ( $r=0.548$ ) with Mg content in the same substrate, but as soil pH increased, the percentage of 5-CQA in beans decreased; while as the Mg content increased, the percentage of 5-CQA in beans increased ( $\beta= 0.0008$ ) as well. A similar situation occurred between the percentage of OM and the TN content in soil ( $r=0.728$ ), as the percentage of OM increased, the percentage of 5-CQA decreased ( $\beta= -0.161$ ), while as the TN content in soil increased, the percentage of 5-CQA also increased ( $\beta= 0.0006$ ). The 5-CQA significantly impacted ( $P<0.05$ ) the acidity score ( $\beta= 0.261$ ) in the beverage, so it can be inferred that 5-CQA is one of the organic acids that most contributes to the perception of cup acidity; which is in concordance with reported by Zanin, Corso, Kitzberger, Scholz, & Benassi (2016), who mention the possibility that 5-CQA improves the cup quality of coffee; although Barbosa et al. (2019) correlated this metabolite with low cup scores. The correlation study showed that green beans with a higher moisture content also presented higher percentages of 5-CQA ( $r=0.314$ ), suggesting that moisture contributes to avoid the degradation of 5-CQA in green beans.

#### **1.3.4 ALTITUDE**

Soil variables and the elemental composition of beans (Table 3) did not explain the totality of the observed variability in the sensory attributes of coffee, but they did explain a valuable proportion of it. Regression models, adjusted with the sensory attributes as responses, presented determination coefficients that ranged from  $R^2=0.14$  for aroma to  $R^2=0.27$  for acidity. The variable that had the greatest influence on sensory attributes was the altitude (masl) at which the coffee plants were grown. The analyzed samples in this study came from an altitude range from 520 to 1,840 masl, with an average of 1,128 masl. The altitude of plantations was also significant ( $P<0.05$ ) in explaining the content of all macronutrients in beans. As the altitude of plantations increased (Table 1), beans contained a higher amount of P ( $\beta= 0.381$ ), but less TN ( $\beta= 0.745$ ), K ( $\beta= -3.121$ ), Ca ( $\beta= -0.098$ ), Mg ( $\beta= -0.173$ ) and Na ( $\beta= -0.378$ ). The altitude did not have the same relationship with the content of these elements in soil. The altitude of plantations had a positive influence ( $P<0.05$ ) improving all the quality attributes of the beverage, especially

acidity ( $\beta= 0.002$ ), balance ( $\beta= 0.0005$ ) and the overall appreciation ( $\beta= 0.0006$ ); confirming the review described by Cheng et al. (2016), who affirm that altitude is a positive factor in the quality of the coffee beverage; implying that the higher the altitude (masl) of plantations, the better the organoleptic characteristics of coffee, obtaining a higher score when evaluated by a professional taster. Tolessa et al. (2017) also found that altitude influenced the sensory attributes of the beverage, such as acidity, body, aroma, and aftertaste.

Table 3. . Elemental composition (mg kg<sup>-1</sup>) of soil and coffee bean in samples from Chiapas, Mexico.

Element (mg kg <sup>-1</sup> )	Soil			Bean		
	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	Mean±SD
TN	90	3,120	2,369±532	17,800	24,100	21,152±1,331
P	0.86	80.89	6.24±10.54	2,300	5,940	3,858±442
K	27	826	134±94	14,240	26,410	20,649±2,300
Ca	97	15,239	2,710±2,091	1,360	3,100	1,937±273
Mg	19	1,408	365±299	2,790	4,640	3,612±359
Na	3.45	78.43	11.9±8.0	190	8,300	711±665
Fe	8	162	54±30.6	28	87	40±7.0
Cu	0.11	5.65	1.81±1.16	3.54	33.23	19.4±4.1
Zn	0.15	6.54	1.23±1.07	4.9	31.0	7.70±2.44
Mn	3	112	32±27.4	20	94	34±10.9
B	0.1	1.18	0.43±0.16	2.42	10.84	6.03±29.87

### 1.3.5 MOISTURE

Moisture in green coffee samples ranged from 10.3 to 12.5%, with a mean of 11.5%, showing a significant ( $P<0.05$ ) and positive effect on all sensory attributes. Moisture is known to be a critical quality parameter because it affects the shelf life of beans. The influence of moisture on sensory quality was mainly reflected in the taste ( $\beta= 0.307$ ), acidity ( $\beta= 0.983$ ), balance ( $\beta= 0.370$ ) and the overall appreciation ( $\beta= 0.383$ ) of the beverage. Given the magnitude of the influence of this variable on sensory attributes, it is suggested that moisture content of coffee beans be adjusted to at least 12% before roasting (Table 2). The study of correlations indicated that moisture content of beans had an inverse relationship with altitude ( $r=-0.320$ ), therefore, If acidity is an attribute to be

highlighted in the cup, care must be taken to ensure that beans come from a high altitude plantation and do not dry out too much before roasting.

### **1.3.6 TEXTURE**

The texture of the coffee-growing soils in Chiapas is sandy-loam or clay-sandy-loam, with an average of 50% sand, 31% clay and 19% silt. Data indicated that as sand or clay increased, to the detriment of silt, some sensory attributes improved as well, especially acidity ( $\beta = 0.024$  and  $\beta = 0.033$ , for sand and clay, respectively). In the correlation analysis, sand and clay had a different relationship with some other soil variables. For example, titratable acidity (TA) was positively correlated with sand ( $r=0.213$ ) and negatively correlated with clay ( $r=-0.203$ ). Similar situation occurred with pH in water, P, Ca, Mg, Na, CEC, Cu and Mn, where with the exception of P, sandy soils tended to be poorer in macro and micronutrients than clay soils, therefore soil texture must be considered when deciding on the nutritional management of coffee plants.

### **1.3.7 TITRATABLE ACIDITY**

Soil TA ranged from 0.01 to 8.4 meq 100 g<sup>-1</sup>, with a mean of 0.98 meq 100 g<sup>-1</sup> and had a significant effect ( $P < 0.05$ ) in explaining the content of some elements in the coffee bean, such as TN ( $\beta = 4843$ ), Na ( $\beta = 377$ ), Zn ( $\beta = 1.292$ ) and Mn ( $\beta = -1.463$ ). TA contributed to explain six of the seven sensory attributes evaluated, positively affecting the rest of the attributes in cup except body. Its effect was particularly important in the overall appreciation ( $\beta = 2.337$ ), taste ( $\beta = 1.596$ ), aftertaste ( $\beta = 1.526$ ) and aroma ( $\beta = 0.968$ ).

### **1.3.8 PH WATER**

Soil pH in water ranged from 4.18 to 7.68  $-\log [H^+]$ , with an average of 5.7  $-\log [H^+]$ . These values were useful in explaining the following elements in beans, P ( $\beta = -446$ ), K ( $\beta = 3390$ ), Ca ( $\beta = -292$ ), Na ( $\beta = -430$ ), Cu ( $\beta = 4.30$ ), Zn ( $\beta = 2.37$ ) and Mn ( $\beta = -8.95$ ). As it can be seen, pH of soils was a relevant variable explaining the accumulation of nutrients

in beans and, except for aroma, it was important improving the rest of the sensory attributes. Its effect was mainly reflected in the acidity ( $\beta= 0.522$ ) and the overall appreciation ( $\beta= 0.371$ ) of the beverage. The literature recommends (Snoeck & Lambot, 2014) an optimal pH for the cultivation of the coffee plant from 5.5 to 6.5 however, from a cup quality point of view, data suggest that higher pH values in soil yield better results. Soils with high pH values also had a high level of total carbonates ( $r=0.784$ ), Ca ( $r=0.686$ ), Mg ( $r=0.548$ ), K ( $r=0.218$ ), Zn ( $r=0.255$ ) and Mn ( $r=0.267$ ).

### **1.3.9 ORGANIC MATTER**

The OM percentage varied from 1.6 to 11.4%, with a mean of 5.2%, so it can be said that, in general, coffee soils in Chiapas are rich in OM. This variable was helpful to explain the contents of TN ( $\beta= -126.3$ ), Ca ( $\beta= 52.3$ ), Fe ( $\beta= 0.662$ ), Cu ( $\beta= 0.278$ ) and Mn ( $\beta= 1.903$ ) in coffee beans. Soils with high OM content also had high levels of TN ( $r=0.728$ ), K ( $r=0.353$ ), Mn ( $r=0.239$ ) and B ( $r=0.316$ ), whereas coffee beans grown in these soils usually have a higher level of Cu ( $r=0.270$ ) and Mn ( $r=0.265$ ), as well as lower contents of TN ( $r=-0.205$ ) and Mg ( $r=-0.292$ ).

### **1.3.10 TOTAL NITROGEN**

The TN content variation in beans was mainly influenced (Table 1) by TA ( $\beta= 4843$ ), OM ( $\beta= -126.3$ ), Mn ( $\beta= 14$ ), the altitude of plantations ( $\beta= -0.745$ ) and the percentage of clay in the soil ( $\beta= -25.3$ ). With the exception of aroma, taste and body, TN in beans affected the rest of the sensory attributes of the beverage (Table 2), especially acidity ( $\beta= -0.00012$ ) and overall appreciation ( $\beta= -0.00005$ ). As N is a structural part of caffeine, it had a positive correlation with this metabolite ( $r=0.337$ ) but unlike caffeine, it did not enhance any sensory attribute in the cup. Beans with higher TN contents also had higher Mg ( $r=0.281$ ) and Fe ( $r=0.214$ ) contents as well.



### 1.3.11 PHOSPHORUS

The P content in beans was very similar to that reported by Worku et al. (2019) in Ethiopian coffees, although Cloete et al. (2019) reported an average three times higher in samples from Mexico. The soil variables that significantly influenced the P content in beans (Table 2) were texture, mainly the percentage of sand ( $\beta = -121$ ), and pH ( $\beta = -346$ ). Coffee beans with higher P contents came from higher altitude plantations ( $r = 0.248$ ) and/or they were cultivated in P rich soils ( $r = 0.321$ ). Beans with higher P contents had lower Cu contents ( $r = -0.456$ ). P in beans negatively affected all sensory attributes in the cup, especially acidity ( $\beta = -0.00049$ ), overall appreciation ( $\beta = -0.00023$ ) and aftertaste ( $\beta = -0.00016$ ). Given the influence of P in beans, in detriment of the sensory attributes of the beverage, and its relationship with the content of assimilable P in soil, caution is recommended when establishing P fertilization doses in coffee plantations of high altitude (> 1200 meters above sea level).

### 1.3.12 POTASSIUM

The K content variation in beans was higher than that found by Worku et al. (2019) in coffees from Ethiopia, but similar to the  $22,800 \pm 2,945$  mg kg<sup>-1</sup> reported by Cloete et al. (2019) in samples from Mexico. The soil variables that contributed in increasing the K content of beans were pH ( $\beta = 3390$ ), TN ( $\beta = 0.393$ ), P ( $\beta = 28.30$ ), K ( $\beta = 4.58$ ), Cu ( $\beta = 249$ ) and Zn ( $\beta = 429$ ); while the soil variables that contributed to decrease the K content in beans were altitude ( $\beta = -3.121$ ) of plantations, Ca ( $\beta = -0.58$ ), Mg ( $\beta = -3.56$ ) and B ( $\beta = -3827$ ) contents. Beans from Lowlands ( $r = -0.382$ ), cultivated in soils with low B content ( $r = -0.210$ ), contained more K than those from Highlands and cultivated in B rich soils. The high association ( $r = 0.681$ ) of K with the percentage of ashes in beans, indicates that K is the main mineral in coffee beans. Previously, it was noted that beans from the lowlands presented a higher percentage of moisture, and here they were associated with a higher K content, so it is not a surprise the high relationship ( $r = 0.358$ ) between K content and the percentage of moisture in beans. With the exception of aroma, the K content in beans

significantly affected the other sensory attributes of the brew, especially acidity ( $\beta = -0.000128$ ), balance ( $\beta = -0.000058$ ) and overall appreciation ( $\beta = -0.000059$ ).

### **1.3.13 CALCIUM**

The Ca content in coffee soils from Chiapas had a high variation (Table 3), while in coffee beans Ca varied little, finding values about double to those reported by Worku et al. (2019) in coffees from Ethiopia; and similar to the  $2,045 \pm 1,245$  mg kg<sup>-1</sup> reported by Cloete et al. (2019) in coffee samples from Mexico. As the contents of OM ( $\beta = 52.33$ ), Ca ( $\beta = 0.021$ ), Na ( $\beta = 5.728$ ), K ( $\beta = 0.450$ ), Cu ( $\beta = 26.14$ ) or B ( $\beta = 222.7$ ) in soil increases, the content of Ca in beans also increases. On the other hand, the soil variables that contributed to decrease the Ca content in beans were the altitude of plantations ( $\beta = -0.098$ ), pH ( $\beta = -292$ ), TN ( $\beta = -0.094$ ), Zn ( $\beta = -63.55$ ) and Mn ( $\beta = -1.196$ ) contents. Coffee soils rich in Ca contained a high percentage of clay ( $r = 0.406$ ), low TA ( $r = -0.475$ ), high pH ( $r = 0.686$ ); and high Mg ( $r = 0.502$ ), Na ( $r = 0.306$ ), K ( $r = 0.283$ ), Cu ( $r = 0.384$ ) and Mn ( $r = 0.320$ ) contents. As expected, the Ca content in soils was closely related to the total carbonate content ( $r = 0.720$ ), the electrical conductivity (EC) ( $r = 0.604$ ) and the CEC ( $r = 0.923$ ); while Ca-rich coffee beans contained high levels of Cu ( $r = 0.310$ ) and low levels of K ( $r = -0.288$ ). Ca in beans negatively affected all cup quality attributes, especially acidity ( $\beta = -0.00126$ ), balance ( $\beta = -0.00048$ ) and overall appreciation ( $\beta = -0.00056$ ). Given the influence of this element in detriment of the sensory attributes of the beverage and its relationship with the Ca content in soil and the altitude of the coffee plantations, caution is recommended when establishing doses of Ca fertilization in lowland coffee plantations (<900 meters above sea level).

### **1.3.14 MAGNESIUM**

The Mg content in beans was higher than the  $1,825 \pm 27$  mg kg<sup>-1</sup> reported by Mohammed et al. (2019) in samples from Yemen, and almost double of those found by Worku et al. (2019) in coffees from Ethiopia. The soil variables that contributed to explain the Mg content in beans were the soil texture especially the percentage of sand ( $\beta = 62.35$ ) and

the P content ( $\beta= 5.56$ ); as well as the altitude of plantations ( $\beta= -0.173$ ), TN ( $\beta= -0.121$ ), K ( $\beta= -0.657$ ), Fe ( $\beta= -2.139$ ) and B ( $\beta= -438.1$ ) contents in soil. Soils with a lower percentage of sand, in favor of a higher percentage of clay, had a higher Mg content ( $r=-0.52$ ), hence it was reasonable to verify a negative relationship ( $r=-0.20$ ) between Mg content in soils and the content of the same element in beans. Soils rich in Mg had low TA ( $r=-0.429$ ), high pH ( $r=0.548$ ) and high Ca ( $r=0.502$ ), Na ( $r=0.244$ ) and Cu ( $r=0.227$ ) contents, while coffee beans with high Mg content also had high Fe ( $r=0.349$ ) and TN ( $r=0.281$ ) contents. The Mg content in beans significantly improved the aroma ( $\beta= 0.00018$ ) and aftertaste ( $\beta= 0.00013$ ) of the beverage, without having any effect on the other sensory attributes evaluated.

### **1.3.15 SODIUM**

Na content in beans was higher than the  $3.7\pm 0.6$  mg kg<sup>-1</sup> reported by Mohammed et al. (2019) in samples from Yemen. The soil variables that significantly ( $P<0.05$ ) contributed to explain an increase of Na in beans were the percentage of clay ( $\beta= 9.17$ ), TA ( $\beta= 377$ ) and the B content ( $\beta= 967$ ); while the soil variables that explained a decrease in bean Na were the altitude of plantations ( $\beta= -0.378$ ), pH ( $\beta= -430$ ) and the K content ( $\beta= -1.08$ ) in soil. Na-rich soils were also rich in Ca ( $r=0.306$ ), Mg ( $r=0.244$ ), Cu ( $r=0.249$ ) and Mn ( $r=0.218$ ), while the Na content in beans had no relation with the rest of the elements evaluated in it; neither had a significant influence ( $P<0.05$ ) in any of the sensory attributes of the beverage.

### **1.3.16 IRON**

The Fe content in beans was similar to the 43 mg kg<sup>-1</sup> reported by Liu, You, Chen, Liu, & Chung (2014) for beans from different countries, but higher than the  $34\pm 14$  mg kg<sup>-1</sup> reported by Cloete et al. (2019) for coffee samples from Mexico; and lower than the  $55.6\pm 12.3$  mg kg<sup>-1</sup> reported by Mohammed et al. (2019) for samples from Yemen. The soil variables that contributed to significantly explain the Fe content in beans were texture, especially the percentage of sand ( $\beta= 1.302$ ), the percentage of OM ( $\beta= 0.662$ ) and the TN content ( $\beta= -0.0019$ ) in soil. Soils rich in Fe had low TA ( $r=-0.253$ ) and high Cu content

( $r=0.469$ ), while coffee beans with higher Fe content also had high TN ( $r=0.214$ ) and Mg ( $r=0.349$ ) contents. The Fe content in beans had a marginal, although statistically significant, effect improving the aftertaste ( $\beta= 0.0057$ ), body ( $\beta= 0.0066$ ) and overall appreciation ( $\beta= 0.0078$ ) of the beverage.

### **1.3.17 COPPER**

The average content of Cu in beans was higher than the 12.1 mg kg<sup>-1</sup> reported by Şemen et al. (2017), or the 14±3 mg kg<sup>-1</sup> reported by Cloete et al. (2019) in samples from Mexico; but similar to the 20.4±5.2 mg kg<sup>-1</sup> reported by Mohammed et al. (2019) in samples from Yemen. The soil variables that contributed to significantly explain the Cu content in beans were pH ( $\beta= 4.3$ ), OM ( $\beta= 0.278$ ), Cu ( $\beta= 1.194$ ), Mn ( $\beta= 0.035$ ), Ca ( $\beta= -0.001$ ), Fe ( $\beta= -0.042$ ) and Zn ( $\beta= -0.708$ ). Coffee soils rich in Cu were characterized by a high percentage of clay ( $r=0.316$ ), in detriment of the percentage of sand ( $r=-0.335$ ), low TA ( $r=-0.33$ ), as well as high TN ( $r=0.235$ ), Ca ( $r=0.384$ ), Mg ( $r=0.227$ ), Na ( $r=0.249$ ), Fe ( $r=0.469$ ) and Mn ( $r=0.339$ ) contents; while Cu-rich beans had high Ca ( $r=0.310$ ), but low P ( $r=-0.456$ ) contents. The content of Cu in beans significantly affected, although marginally, the aftertaste ( $\beta= -0.0150$ ), body ( $\beta= -0.0115$ ) and overall appreciation ( $\beta= -0.0132$ ) of the beverage, in agreement to what was reported by Clemente et al. (2018).

### **1.3.18 ZINC**

The content of Zn in beans was close to the 8.6 mg kg<sup>-1</sup> reported by Liu et al. (2014) and Şemen et al. (2017), or to the 7.2±1.6 mg kg<sup>-1</sup> reported by Mohammed et al. (2019) in samples from Yemen; although higher than the 5±4 mg kg<sup>-1</sup> reported by Cloete et al. (2019) in samples from Mexico. The most influential soil variables in explaining the Zn content in beans were the percentage of sand ( $\beta= 0.052$ ), TA ( $\beta= 1.292$ ), pH ( $\beta= 2.369$ ), as well as the contents of Fe ( $\beta= 0.021$ ) and Cu ( $\beta= 0.556$ ). Coffee soils rich in Zn were also of low TA ( $r=-0.329$ ), high pH ( $r=0.255$ ) and high contents of P ( $r=0.239$ ), K ( $r=0.281$ ), Mn ( $r=0.331$ ) and B ( $r=0.229$ ); while the content of Zn in beans had no relation with the rest of the elements evaluated in the coffee bean. The content of Zn in beans significantly

influenced, although marginally, the aftertaste ( $\beta = 0.0199$ ) and acidity ( $\beta = -0.0648$ ) of the brew, in accordance with what was reported by Lacerda et al. (2018), who mentioned that Zn in beans can improve the cup quality of the beverage.

### **1.3.19 MANGANESE**

The Mn content in beans was similar to the 32.2 mg kg<sup>-1</sup> reported by Liu et al. (2014), but higher than the 27±8 mg kg<sup>-1</sup> reported by Cloete et al. (2019) for green coffee samples from Mexico, or the 22.9±5.6 mg kg<sup>-1</sup> reported by Mohammed et al. (2019) in samples from Yemen. Coffee plants that accumulated the highest amount of Mn in their beans were those grown in soils with low percentage of silt ( $\beta = -0.139$ ), low TA ( $\beta = -1.463$ ), low pH ( $\beta = -8.949$ ), low Zn content ( $\beta = -1.011$ ); but with high percentage of OM ( $\beta = 1.903$ ) and total carbonates ( $\beta = 4.120$ ). Coffee soils rich in Mn were characterized by low TA ( $r = -0.376$ ), high pH ( $r = 0.267$ ), high percentage of OM ( $r = 0.239$ ), high TN ( $r = 0.206$ ), Ca ( $r = 0.320$ ), Na ( $r = 0.218$ ), K ( $r = 0.264$ ), Cu ( $r = 0.339$ ), Zn ( $r = 0.331$ ) and B ( $r = 0.440$ ); although with a low content of P ( $r = -0.242$ ); while coffee beans with high content of Mn had low content of K ( $r = -0.254$ ). The Mn content in beans had a significant, although marginal, influence improving the sensory attributes of aftertaste ( $\beta = 0.0041$ ), body ( $\beta = 0.0033$ ) and overall appreciation ( $\beta = 0.0042$ ) of the beverage.

### **1.3.20 BORON**

The B content in beans was lower than reported by Liu et al. (2014), or the 9.96 mg kg<sup>-1</sup> found by Şemen et al. (2017) and much lower than the 35.2±7.4 mg kg<sup>-1</sup> in samples from Yemen as reported by Mohammed et al. (2019). Coffee soils rich in B were also rich in OM ( $r = 0.316$ ), K ( $r = 0.481$ ), Zn ( $r = 0.229$ ) and Mn ( $r = 0.440$ ); although the content of B in beans was not related to the content of the rest of the elements evaluated in the bean. The only important soil variable for explaining the B content in beans was P ( $\beta = 0.3148$ ). The low values of B in beans did not succeed in having a significant influence on the sensory attributes of the beverage.

## 1.4 CONCLUSION

The elemental composition of coffee beans from Chiapas, Mexico, was not directly related to the elemental content of soils from which the coffee samples proceeded, soil accounted for a low percentage of the observed variability in the elemental composition of the bean. With the exception of P, K, Ca and Cu, the rest of the elements in beans did not have a significant ( $P < 0.05$ ) relationship with the content of the same elements in soil. The observed mineral variability in beans may be due to other factors in the soil, the environment or the coffee plant (genetic material). The study of soil-bean relationships showed that elemental content in beans was highly influenced by other soil variables, such as texture, TA and pH water. On the other hand, bean composition explained a low percentage of the variability observed on the sensory attributes of coffee, with a maximum determination coefficient of  $R^2 = 0.27$  for acidity, in the regression models adjusted with the sensory attributes as responses. Among the bean variables that had the greatest influence on sensory attributes were the altitude (masl) at which the coffee trees were grown and the percentage of moisture in beans before roasting, both variables improved all the quality attributes evaluated in the beverage.

## ACKNOWLEDGMENTS

### ***Funding:***

This work was supported by the Sectorial Fund SAGARPA-CONACYT [grant number 2016-01-277838].

***Conflict of interest:*** The authors declare no conflict of interest.

## 1.5 REFERENCES

Arana, V. A., Medina, J., Alarcon, R., Moreno, E., Heintz, L., Schäfer, H., & Wist, J. (2015). Coffee's country of origin determined by NMR: The Colombian case. *Food*

- Chemistry*, 175, 500–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.160>
- Babova, O., Occhipinti, A., & Maffei, M. E. (2016). Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin. *Phytochemistry*, 123, 33–39.  
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.016>
- Barbosa, M. de S. G., Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., & Benassi, M. de T. (2019). Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. *Food Chemistry*, 292, 275–280.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.072>
- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 20–30.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- Clemente, J. M., Martinez, H. E. P., Pedrosa, A. W., Poltronieri Neves, Y., Cecon, P. R., & Jifon, J. L. (2018). Boron, Copper, and Zinc Affect the Productivity, Cup Quality, and Chemical Compounds in Coffee Beans. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–14.  
<https://doi.org/10.1155/2018/7960231>
- Cloete, K. J., Šmit, Ž., Minnis-Ndimba, R., Vavpetič, P., du Plessis, A., le Roux, S. G., & Pelicon, P. (2019). Physico-elemental analysis of roasted organic coffee beans from Ethiopia, Colombia, Honduras, and Mexico using X-ray micro-computed tomography and external beam particle induced X-ray emission. *Food Chemistry: X*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100032>
- Debastiani, R., Iochims dos Santos, C. E., Maciel Ramos, M., Sobrosa Souza, V., Amaral, L., Yoneama, M. L., & Ferraz Dias, J. (2019). Elemental analysis of

Brazilian coffee with ion beam techniques: From ground coffee to the final beverage. *Food Research International*, 119, 297–304.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.007>

Dessalegn, Y., Labuschagne, M. T., Osthoff, G., & Herselman, L. (2008). Genetic diversity and correlation of bean caffeine content with cup quality and green bean physical characteristics in coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(10), 1726–1730. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3271>

Endaye, M., Atlabachew, M., Mehari, B., Alemayehu, M., Mengistu, D. A., & Kerisew, B. (2019). Combining Multi-Element Analysis with Statistical Modeling for Tracing the Origin of Green Coffee Beans from Amhara Region, Ethiopia. *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01866-5>

Jeszka-Skowron, M., Sentkowska, A., Pyrzyńska, K., & De Peña, M. P. (2016). Chlorogenic acids, caffeine content and antioxidant properties of green coffee extracts: influence of green coffee bean preparation. *European Food Research and Technology*, 242(8), 1403–1409. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2643-y>

Jeszka-Skowron, M., Stanisiz, E., & De Peña, M. P. (2016). Relationship between antioxidant capacity, chlorogenic acids and elemental composition of green coffee. 73, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.018>

Lacerda, J. S., Martinez, H. E. P., Pedrosa, A. W., Clemente, J. M., Santos, R. H. S., Oliveira, G. L., & Jifon, J. L. (2018). Importance of Zinc for Arabica Coffee and Its Effects on the Chemical Composition of Raw Grain and Beverage Quality. *Crop Science*, 58(3), 1360–1370. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0373>

Liu, H. C., You, C. F., Chen, C. Y., Liu, Y. C., & Chung, M. T. (2014). Geographic



determination of coffee beans using multi-element analysis and isotope ratios of boron and strontium. *Food Chemistry*, 142, 439–445.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.082>

Malta, M. R., & Chagas, S. J. de R. (2009). Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(1), 57–61.

<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.6629>

Mehari, B., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Combrinck, S., Atlabachew, M., & McCrindle, R. (2016). Profiling of phenolic compounds using UPLC–MS for determining the geographical origin of green coffee beans from Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45, 16–25.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.09.006>

Mehari, B., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Combrinck, S., & McCrindle, R. (2016). Characterization of the Cultivation Region of Ethiopian Coffee by Elemental Analysis. *Analytical Letters*, 49(15), 2474–2489.

<https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1151023>

Mohammed, F., Guillaume, D., Dowman, S., & Abdulwali, N. (2019). An easy way to discriminate Yemeni against Ethiopian coffee. *Microchemical Journal*, 145, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.039>

Motsara, M. R., & Roy, R. N. (2008). *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. Rome: FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i0131e.pdf>. Accessed 10.01.20.

Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., Prudencio, S. H., & Silva, R. S. dos S. F. da.

- (2018). The typicity of coffees from different terroirs determined by groups of physico-chemical and sensory variables and multiple factor analysis. *Food Research International*, 114, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.058>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). NMX-F-068-S-1980 (1980). México. Retrieved from <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-068-S-1980.PDF>. Accessed 10.01.20.
- Secretaría de Economía (SE). NMX-AA-029-SCFI-2001 (2001). México, México. Retrieved from <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166773/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>. Accessed 10.01.20.
- Secretaría de Economía (SE). NMX-AA-063-SCFI-2001 (2001). México. Retrieved from <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/01/nmx-aa-063-scfi-2001.pdf>. Accessed 10.01.20.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-021-RECNAT-2000 (2002). México: DOF 31 December 2002. Retrieved from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. Accessed 10.01.20.
- Şemen, S., Mercan, S., Yayla, M., & Açıkkol, M. (2017). Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake. *Food Chemistry*, 215, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.176>
- Snoeck, J., & Lambot, C. (2014). Fertilization. In Jean Nicolas Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (Second, pp. 246–269). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch8a>
- Specialty Coffee Association of America (SCAA). (2015). *Protocols Cupping Specialty*

Coffee. Retrieved from <http://www.scaa.org/?page=resources&d=coffee-protocols>.

Accessed 10.01.20.

Stelmach, E., Pohl, P., & Szymczycha-Madeja, A. (2015). The content of Ca, Cu, Fe, Mg and Mn and antioxidant activity of green coffee brews. *Food Chemistry*, 182, 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.105>

Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2849–2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>

Wintgens, J. N. (2012). The Coffee Plant. In J. N. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers* (Second, pp. 1–24). Germany: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527619627>

Worku, M., de Meulenaer, B., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2018). Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. *Food Research International*, 105, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.016>

Worku, M., Upadhayay, H. R., Latruwe, K., Taylor, A., Blake, W., Vanhaecke, F., ... Boeckx, P. (2019). Differentiating the geographical origin of Ethiopian coffee using XRF- and ICP-based multi-element and stable isotope profiling. *Food Chemistry*, 290, 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.135>

Zanin, R. C., Corso, M. P., Kitzberger, C. S. G., Scholz, M. B. dos S., & Benassi, M. de T. (2016). Good cup quality roasted coffees show wide variation in chlorogenic

acids content. *LWT*, 74, 480–483. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.012>

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES**

La relación entre los diferentes factores estudiados no explica en su totalidad los efectos que pueden tener un componente sobre otro. Para el caso de los componentes nutrimentales del suelo afectando la composición elemental de los granos de café. No se encontró significancia en la mayoría de los elementos estudiados.

El mismo caso ocurrió en la relación de los elementos del grano de café influyendo en los atributos sensoriales de la bebida, ya que no todos los elementos estudiados tienen impacto relevante en estos. Por otro lado, se pudieron comparar y corroborar algunos resultados de otros autores que muestran valores semejantes a los de esta investigación, sin embargo, se necesita más información para poder determinar y entender cómo funciona de una manera más concreta la larga cadena del procesamiento del café.

Se recomienda evaluar otras características que pueden complementar los resultados en este estudio, en el caso del suelo: tipos de fertilización, desgaste o erosión del suelo, edad del cafetal, entre otros, siendo el mismo caso para el grano de café: proteínas, vitaminas, lípidos y, para los atributos en taza, el análisis de compuestos aromáticos que son de gran importancia en la bebida final. También es importante analizar y comprender las diferentes etapas del procesamiento, ya que existen diferentes métodos para su cultivo, cosecha, transformación y preparación.