



## Influencia de la altitud en la calidad y estabilidad térmica de granos de *Coffea arabica* L.

Influence of altitude on the quality and thermal stability of beans of *Coffea arabica* L.

Andy Adolfo Chávez Rafael<sup>1</sup>; Elizabeth Susana Ordoñez Gómez<sup>2, \*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la selva. Carretera central km. 1.21, Tingo María, Perú.

<sup>2</sup> Departamento académico Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Carretera central km 1.21, Tingo María, Perú.

ORCID de los autores:

A. A. Chávez Rafael: <https://orcid.org/0000-0002-3978-0513>

E. S. Ordoñez Gómez: <https://orcid.org/0000-0003-4502-5626>

### RESUMEN

El café peruano se cultiva entre 1200 y 1800 m.s.n.m., lo que permite obtener un café de calidad. En la investigación se evaluó la calidad física, química y sensorial, juntamente con análisis termogravimétrico (TGA) así como su derivada (DTG) de los granos de café verde oro “calidad comercial” de diferentes altitudes (zona baja: 800-1200, zona media: 1201-1500 y zona alta: 1501-1850 msnm) en Leoncio Prado - Huánuco. Respecto a la calidad física, la zona baja tuvo mayores defectos primarios (grano negro, agrio, brocados e inmaduros) y secundarios (partidos). Calidad fisicoquímica: humedad promedio fue 11,29%, la menor acidez fue en la zona alta  $1,14 \pm 0,02$  mL NaOH 0,1N/g, y la mayor cantidad de sólidos solubles fue en la zona baja con  $29,75 \pm 1,09\%$ . La calidad sensorial, en función de los atributos de catación, fue “muy bueno” para fragancia/aroma, sabor, postgusto, acidez, cuerpo y balance, “especialidad” para uniformidad, taza limpia y dulzura para la zona alta. Las correlaciones más altas fueron para fragancia/aroma y sabor (0,91), sabor y postgusto (0,95) y postgusto y acidez (0,94). La mejor calidad sensorial, según el análisis de componentes principales, fueron seis muestras de la zona alta y tres de la zona media. El mejor perfil en taza fue para zona alta ( $83,39 \pm 0,11$  puntos) y zona media ( $81,12 \pm 0,84$  puntos). Los espectros DTG del café (ZARA) y (ZBM) de 203 a 236 °C son el punto crítico para el proceso térmico que experimenta el grano, durante el tostado.

**Palabras clave:** Café; altitud; análisis termogravimétrico; análisis de componentes principales; perfil en taza.

### ABSTRACT

Peruvian coffee is grown between 1200 and 1800 m.a.s.l., which allows to obtain a quality coffee. In the research were evaluated the physical, chemical and sensory qualities, together with a thermogravimetric analysis (TGA), as well as its derivative (DTG) of “commercial quality” green coffee beans from different altitudes (low zone: 800 – 1200, middle zone: 1201 – 1500 and high zone: 1501 – 1850 m.a.s.l.) in Leoncio Prado - Huanuco. Regarding the physical quality, the low zone had the greatest primary defects (black beans, bitter, boring and unripe) and secondary (spilt beans). Physicochemical quality: the average humidity was 11.29%, the least acidity was for the high zone with  $1.14 \pm 0.02$  mL NaOH 0.1N/g, and the greatest quantity of soluble solids was in the low zone with  $29.75 \pm 1.09\%$ . The sensory quality, as a function of the cupping attributes, was “very good” for fragrance/aroma, flavor, aftertaste, acidity, body and balance, “specialty” for uniformity, clean cup and sweetness for high zone. The highest correlations were for fragrance/aroma and flavor (0.91); flavor and aftertaste (0.95); and aftertaste and acidity (0.94). The best sensory quality, according to the principal component analysis, were six samples from the high zone and three from the middle zone. The best cupping profile was for high zone ( $83.39 \pm 0.11$  points) and middle zone ( $81.12 \pm 0.84$  points). The DTG spectrums of (ZARA) and (ZBM) coffee from 203 to 236 °C are the critical point for the thermal process experienced by the bean, during roasting.

**Keywords:** coffee; altitude; thermogravimetric analysis; principal components analysis; cup profile.

## 1. Introducción

El café es un arbusto de la familia rubiáceas, alcanza de 2 a 12 m de altura y puede llegar a vivir 50 años, las especies más importantes son *Coffea arabica* L. y *C. canephora* Pierre ex Froehner (Duicela et al., 2017). Es el cultivo más importante en el mundo debido a la gran magnitud de su comercio y es el segundo más comercializado en el mundo después del petróleo, a partir de las semillas se prepara la bebida consumida por más de 2 mil millones de tazas en todo el mundo a diario (Giacalone et al., 2019). En el Perú la especie más cultivada es Catuí fruto amarillo, Caturra de fruto rojo, Gueisha, Catimor, Pache y Bourbon, cultivándose en 10 de las 24 regiones del país y la Selva Alta reconocida por el mejor rendimiento de café. La provincia de Leoncio Prado tiene diferentes pisos ecológicos, en combinación con las diferentes altitudes que van desde los 600 hasta los 1,800 msnm y con climas particulares en cada zona lo que hace propicio el cultivo del café (Egas et al., 2018). La altitud es muy importante en el cultivo del café y está relacionada con la acidez que es muy apreciada en la bebida (Belay et al., 2016), sin embargo, existe poca información científica de esta zona productora que certifique la calidad del grano y bebida.

Café cerezo es la semilla del árbol del cafeto, que se desarrolla en 32 semanas, el café pergamino se obtiene del cerezo, a la que se le extrae el epicarpio por despulpado, el mesocarpio es eliminado a través del fermentado, lavado y secado hasta una humedad entre 12 a 13%. Café verde oro es el resultado del trillado de café pergamino (López-García et al., 2016). Café tostado es el grano de color oscuro después de ser sometido al proceso de torrefacción de 200 a 220 °C (Pacheco, 2016).

La calidad de la bebida del café es la capacidad de un conjunto de características físicas, químicas y sensoriales inherentes (SCAN, 2015b), como por ejemplo la humedad debe estar comprendida entre 10 a 12% (Belay et al., 2016) y los sólidos solubles totales conformado por los azúcares, cafeína, trigolenina y ácido clorogénico, asegura el cuerpo de la bebida (Zani, 2015). La evaluación sensorial es equivalente a cualquier instrumento científico, para la bebida de café, los catadores profesionales asignan calificaciones a varios atributos y la suma proporciona la calificación final (Oyola et al., 2017). La calidad sensorial realizada en taza permite calificar a la bebida de café como muy buenos, excelentes y excepcionales (Duicela et al., 2017).

El análisis térmico permite cuantificar una propiedad física de un material en función de la temperatura; especialmente los métodos de análisis termogravimétricos (TG/DTG) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC) se utiliza para determinar el comportamiento térmico del alimento en atmósferas oxidantes o inertes. Estas técnicas proporcionan información sobre los parámetros térmicos como, la temperatura inicial de descomposición, la estabilidad termo-oxidativa y la pérdida de masa en el proceso de descomposición de un alimento (Raba et al., 2018). La termodinámica del grano es primordial, no solo para el proceso de secado, sino también para el proceso de tostado del café (Muñoz, 2018). En este marco se planteó como objetivo evaluar la calidad física, química y sensorial (atributos de catación y perfil en taza) de café verde oro de diferentes zonas de la provincia de Leoncio Prado región Huánuco y analizar la caracterización térmica en TG y dTG de granos de café verde oro y tostado.

## 2. Material y métodos

**Materia prima:** Las zonas de muestreo fueron: baja (900 – 1200 msnm), media (1201 - 1500 msnm) y alta (1501-1850 msnm); cada zona contaba con seis caseríos según la información de la Agencia Agraria Leoncio Prado y CITE agroindustrial Huallaga. Los caficultores fueron seleccionados considerando su disponibilidad de cosecha y decisión de colaboración. El café seleccionado cumplió con los siguientes requerimientos: café de la especie Arábica, proceso de beneficio vía húmeda y granos de calidad comercial. Por zona se tuvo 6 caseríos, eso hace 18 muestras con un peso de 3 kg c/u con un total de 54 kg

**Análisis Físico:** Granos defectuosos y no defectuosos: Para cada tratamiento se pesó 500 g de café pergamino y fue trillado (trilladora BONELLY, China) para obtener el grano de café verde oro, seguidamente este fue tamizado con malla N°15 (5,95 mm de diámetro). Con los granos que permanecieron en la parte superior se realizó el análisis, mediante el método desarrollado por (SCAN, 2015a), considerando defectos primarios (negro, agrio, seco, dañado por hongo, materia extraña y brocado severo) y secundarios (negro parcial, agrio parcial, pergamino, flotador, inmaduro, averanado o arrugado, conchas, partido/mordido/cortado, cáscara o pulpa seca y brocado leve).

### Análisis Físicoquímicos

**Humedad:** La metodología fue la desarrollada por [Ismail et al. \(2013\)](#) con algunas modificaciones. 5 g de café fueron secados en una estufa a 105 °C/24 h para luego enfriarse hasta 25 °C, la muestra fue pesada y el resultado se reportó en porcentaje.

**Acidez titulable:** 10 g de granos de café fueron molidos y se le adicionó 75 mL de etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) al 80% dejando en reposo por 16 h. Luego, se filtró con papel whatman N° 42, de ello se tomó 10 mL para adicionarle 3 gotas de fenoltaleína al 1% y titularlo con NaOH 0,1N. Los resultados fueron expresados como el gasto del volumen del hidróxido de sodio requerido para la neutralización ([Wamuyu et al., 2017](#)).

**Sólidos solubles totales:** La metodología guía fue propuesta por [AOAC, 973.21 \(1990\)](#); se molió el café y tamizó con una malla N° 45 (355 µm de diámetro). Se pesó 2 g de café para llevarlos a un matraz Erlenmeyer de 500 mL con 200 mL de agua caliente y se dejó hervir por 1 hora; este fue enfriado, filtrado y enrazado a 500 mL con agua destilada. Por otro lado, una muestra de 50mL fue colocado en un crisol vacío, previamente pesado, para evaporarlo por medio de baño maría; luego, el crisol fue llevado a una estufa a 105 °C/16h. Finalmente, se enfrió y pesó el crisol con la muestra y la cantidad de sólidos solubles totales fue expresado en porcentaje.

**Atributo en catación:** La catación fue calificada por el juicio de cuatro expertos en cata de café con “Q-Grade”, se utilizó el formulario de la Asociación de cafés especiales de América, considerando diez atributos (fragancia/aroma, sabor, postgusto, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia y dulzura), la calificación estuvo entre 0 (valor mínimo) y 10 (valor máximo) ([SCAA, 2015](#)). Los resultados de la evaluación sensorial se establecieron en base a una escala de dieciséis (16,00) unidades que representan los niveles de calidad con intervalos de 0,25 (un cuarto de punto) entre los valores numéricos establecidos entre “6,00” y “9,00” puntos, para un café bueno (6,00 y 6,75); muy bueno (7,00 a 7,75); excelente (8,00 a 8,75) y excepcional (9,00 y 9,75) ([Pereira et al., 2017](#)). Además, para la evaluación se tostaron los granos de café a 210 °C/ 8 a 10 min, el color de tostado fue medido por el colorímetro (CR-400 Konica Minolta) mediante el sistema CIELab, lográndose un L\* = 34,15 ± 0,13, a\* 8,65 y b\* 14,44 que califica como un tostado medio ligero ([Alessandrini et al., 2008](#)). Para la catación se disolvió 8,25 g de café molido en 150 mL de agua (0,055 g/cm<sup>3</sup>). De esta manera, se evaluó la fragancia en seco; luego, en líquido se evaluó aroma; posteriormente se realizó la acción de “romper taza” para confirmar la fragancia; de

manera similar se evaluó los atributos restantes y los resultados fueron anotados en el formulario de catación.

**Perfil en taza:** A partir de la suma de los puntajes individuales otorgados a cada atributo se obtuvo un “puntaje final”. La calificación usada fue según la escala de catación de [SCAA \(2015\)](#) donde: 90 a 100 “excepcional”, 85 a 89,99 “excelente”, 80 a 84,99 “muy bueno” y menor a 80 “muy bueno de no especialidad”.

**Análisis termogravimétrico (TG/dTG):** Se emplearon muestras de grano verde oro de la zona baja del caserío Monterrey (ZBM) por tener el menor puntaje en taza; la segunda, grano verde oro de la zona alta del caserío de Río Azul (ZARA) por tener mayor puntaje en taza; y la tercera, grano tostado de la muestra (ZARA-T). Para las 2 primeras muestras se molieron y tamizaron en una malla N° 45 (apertura de 355 µm) excepto para la tercera. Los pesos iniciales de las muestras en el crisol fueron 45,2 mg de ZBM, 45,3 mg de ZARA y 45,1 mg ZARA-T. La metodología fue la desarrollada por [Muñoz \(2018\)](#), los parámetros en el calorímetro (Setaram, Labsys evo.robot-francia) fueron: temperatura entre 30-550 °C, atmósfera de nitrógeno (30 mL min<sup>-1</sup>) (presión 0,96 bar) y velocidades de calentamiento de 10 °C min<sup>-1</sup>; en un crisol de aluminio de capacidad (75 µL). De esta manera, se evaluó las diferentes etapas de degradación térmica y los resultados se expresa en los termogramas de TG y dTG.

**Análisis estadístico:** Los resultados del análisis físico, químico y evaluación sensorial fueron evaluados mediante el análisis descriptivo cuantitativo. Además, fue realizado el análisis de matriz de correlación entre atributos, análisis de componentes principales (ACP) y un dendograma; se utilizó el programa de InfoStat 2018P. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

### 3. Resultados y discusión

#### Evaluación física y química

En el [Tabla 1](#) se muestran los resultados de los defectos en granos de café verde clasificados según la SCAA considerando dos categorías. La categoría primaria, la cual afecta al aspecto físico y la calidad de taza; en cambio la categoría secundaria solo afecta el aspecto físico. En granos completos y parcialmente negros la zona baja tuvo el mayor porcentaje 1,17% y 2,06% respectivamente, estos superan a los resultados reportados por [Gamboa et al. \(2015\)](#) 1% de granos negros. El mayor porcentaje de granos completo y parcialmente agrios correspondieron a la zona baja, estos granos posiblemente se formaron por

malas prácticas de beneficios de los frutos de café, por lo cual desarrollaron aroma desagradable y sabor agrio (Puerta, 2015). El valor máximo de los granos dañados por hongos fue para la zona baja (0,16%) y el mayor porcentaje de granos brocado severo y leve correspondió a la zona alta, 0,34% en categoría primaria y 1,28% de categoría secundaria. Los granos partidos/mordidos/cortados en la zona baja representaron un 3,19% como máximo.

El contenido de humedad de los granos de café verde oro entre las zonas no presentó diferencia estadística (Tabla 2). En las tres zonas vario entre

11,09±0,16% a 11,49±0,08%. El menor contenido de humedad fue 10,15% para la muestra ZBM, al respecto Caporaso et al. (2018) reporta en café verde oro 10,8% e indica que valores menores de humedad provocan la cristalización de la almendra y su desnaturalización. La acidez titulable de las tres zonas comprendidas entre 900 a 1800 msnm, vario entre 1,28±0,03 a 1,14±0,02 mL NaOH 0,1 N/g; lo cual fue inferior a lo reportado por Peisino et al. (2015) en cafés especiales en Brasil para una altitud de 804,06 msnm, la acidez titulable fue de 2,11 mL NaOH 0,1 N/g, mientras que en 1094,54 msnm fue de 1,85 mL NaOH 0,1 N/g.

**Tabla 1**

Categoría primaria y secundaria de granos de cafés

Defectos (%)	Zona Baja 900-1200 msnm		Zona Media 1201-1500 msnm		Zona Alta 1501-1850 msnm		
	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max.	
Categoría primarios	Negro completo	0,02	1,17	0,00	0,07	0,00	0,16
	Agrio completo	----	1,72	0,00	0,05	0,00	0,25
	Cerezo seco	----	0,11	0,00	0,04	0,00	0,03
	Dañado por hogo	----	0,16	0,00	0,07	0,00	0,05
	Brocado severo	0,02	0,11	0,00	0,20	0,00	0,34
	Materia extraña	----	----	----	----	----	----
Categoría Secundarios	Negro parcial	0,00	2,06	0,00	0,27	0,00	0,39
	Agrio parcial	0,00	0,81	0,00	0,41	0,03	0,56
	Pergamino	----	----	----	----	----	----
	Flotadores	0,00	0,69	0,00	0,15	0,00	2,19
	Inmaduros	0,15	1,21	0,10	0,57	0,00	1,48
	Averanado	0,00	0,65	0,00	0,02	0,05	1,21
	Conchas	0,08	0,58	0,04	0,29	0,14	0,66
	Partido/M./C.	1,04	3,19	0,13	1,83	0,67	2,42
	Pulpa seca	----	----	----	----	----	----
	Brocado Leve	0,00	0,53	0,05	0,55	0,16	1,28

Los datos del experimento (n=6).

**Tabla 2**

Humedad, acidez y solidos solubles totales

Z.	Código	Humedad (%)	Humedad (%)	Acidez Titulable (mL NaOH 0,1N/g)	Acidez titulable (mL NaOH 0,1N/g)	Solidos solubles (%)	Sólidos solubles totales (%)
Baja (900-1200) msnm	ZBT	11,40±0,04 <sup>b</sup>	11,22±0,13 <sup>a</sup>	1,27±0,00 <sup>b</sup>	1,28±0,03 <sup>a</sup>	36,55±0,19 <sup>a</sup>	29,75±1,09 <sup>a</sup>
	ZBFB	11,67±0,01 <sup>a</sup>		1,22±0,02 <sup>cb</sup>		29,57±0,14 <sup>d</sup>	
	ZBSA	11,19±0,05 <sup>b</sup>		1,27±0,00 <sup>b</sup>		26,53±0,15 <sup>e</sup>	
	ZBM	10,15±0,08 <sup>c</sup>		1,52±0,02 <sup>a</sup>		31,27±0,07 <sup>c</sup>	
	ZBVA	11,25±0,05 <sup>b</sup>		1,22±0,02 <sup>cb</sup>		22,20±0,04 <sup>f</sup>	
	ZBPH	11,67±0,01 <sup>a</sup>		1,19±0,00 <sup>c</sup>		32,37±0,14 <sup>b</sup>	
Media (1201-1500) msnm	ZMTO	11,36±0,01 <sup>b</sup>	11,49±0,08 <sup>a</sup>	1,26±0,00 <sup>b</sup>	1,24±0,04 <sup>ab</sup>	29,75±0,22 <sup>b</sup>	25,82±0,95 <sup>b</sup>
	ZMMM	10,92±0,12 <sup>c</sup>		1,10±0,02 <sup>c</sup>		24,72±0,04 <sup>d</sup>	
	ZMHV	11,82±0,09 <sup>a</sup>		1,10±0,02 <sup>c</sup>		27,61±0,08 <sup>c</sup>	
	ZMU	11,59±0,08 <sup>ba</sup>		1,12±0,00 <sup>c</sup>		30,80±0,02 <sup>a</sup>	
	ZMSI	11,38±0,11 <sup>b</sup>		1,36±0,02 <sup>b</sup>		20,48±0,26 <sup>f</sup>	
	ZMPP	11,86±0,01 <sup>a</sup>		1,51±0,02 <sup>a</sup>		21,56±0,08 <sup>e</sup>	
Alta (1501-1850) msnm	ZASA	11,79±0,03 <sup>b</sup>	11,09±0,16 <sup>a</sup>	1,07±0,02 <sup>b</sup>	1,14±0,02 <sup>b</sup>	29,40±0,08 <sup>c</sup>	26,15±1,07 <sup>b</sup>
	ZALP	12,13±0,01 <sup>a</sup>		1,22±0,02 <sup>a</sup>		20,38±0,02 <sup>f</sup>	
	ZARA	10,85±0,01 <sup>c</sup>		1,05±0,00 <sup>b</sup>		30,33±0,05 <sup>b</sup>	
	ZAPA	10,50±0,04 <sup>d</sup>		1,10±0,02 <sup>b</sup>		31,41±0,12 <sup>a</sup>	
	ZAFP	10,35±0,06 <sup>d</sup>		1,10±0,02 <sup>b</sup>		21,19±0,04 <sup>e</sup>	
	ZAOO	10,92±0,03 <sup>c</sup>		1,32±0,02 <sup>a</sup>		24,20±0,04 <sup>d</sup>	

Los valores respresentan (promedio ± SEM) repeticiones (n = 3) valores de una misma columna con superíndices diferentes muestran diferencia significativa con 95% de confiabilidad (p < 0 ,05).

Además, la acidez titulable tiene una relación inversa con la calidad de la bebida de café, niveles bajos de acidez son característicos de los cafés especiales (Martínez et al., 2018). Con respecto a los sólidos solubles de las zonas estudiadas variaron entre  $25,82 \pm 0,95$  a  $29,75 \pm 1,09\%$ , el valor encontrado es bueno al respecto, Macedo et al. (2017) indica que valores altos de sólidos solubles son importantes para la industrialización del café porque asegura el cuerpo de la bebida.

### Evaluación de la calidad sensorial

En el atributo de catación fragancia/aroma (Figura 1), el puntaje varió entre  $7,18 \pm 0,05$  a  $7,65 \pm 0,05$  con calificativo “muy bueno”, los puntajes se encuentran dentro de lo reportado por Duicela et al. (2017) 7,25 (variedad Caturra) y 8,25 (variedad Típica). Asimismo, Martínez et al. (2017) obtuvo un puntaje en aroma de 7,67 en café (*C. arabica* L.) variedad Caturra a 1480 msnm. Por otra parte, el menor puntaje del atributo de sabor fue para la zona baja, calificado “entre bueno y muy bueno”, lo cual es inferior a lo reportado por Ribeiro et al. (2017)  $7,04 \pm 0,33$  en *C. arabica* L. entre 970 a 1200 msnm. El atributo postgusto varió entre  $6,98 \pm 0,12$  a  $7,63 \pm 0,06$  con calificativo “bueno a muy bueno”, el valor se encuentra dentro del rango citado por Abdulmajid (2015) entre 6,88 a 7,96 puntos en variedades comerciales de café arábica a 1620 msnm, mientras que Cruz et al. (2017) estuvo entre  $7,5 \pm 0,50$  a 1600 msnm y  $7,3 \pm 0,35$  a 1400 msnm en (*C. arabica* L.) variedad Caturra, Colombia.

La acidez varió entre  $7,15 \pm 0,12$  a  $7,64 \pm 0,04$  con calificación “muy bueno”, se sabe que la acidez es una medida de la intensidad de la sensación ácida de la bebida y está vinculada a la acidez titulable (Lingle & Menon, 2017). El cuerpo tuvo un puntaje entre  $7,06 \pm 0,11$  a  $7,52 \pm 0,07$ , con calificación de “muy bueno”; posiblemente se deba a una mayor presencia de sólidos solubles y lípidos (Barbosa et al., 2019). Los atributos uniformidad, dulzura y taza limpia tuvieron máximo puntaje, el último atributo está relacionado con la ausencia de

defectos. Asimismo, en el atributo balance el mayor puntaje fue para la zona alta, lo cual está dentro del rango reportado por Reyes et al. (2016) 7,00 a 7 en café Arábica de distintas variedades. La uniformidad, taza limpia y dulzura lograron el máximo puntaje de 10 “excepcional” en las tres zonas, este resultado concuerda con los reportado por Atavillos -Dominguez et al. (2020).

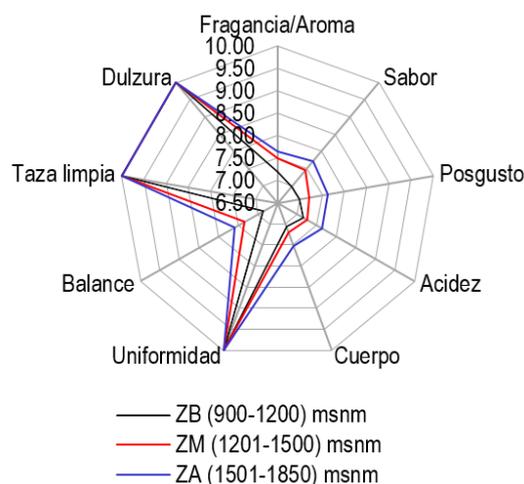


Figura 1. Representación de los atributos de catación de cafés.

### Correlación entre los atributos de catación:

Analizando la matriz de correlación (Tabla 3) entre los atributos, de fragancia/aroma con sabor tuvo una correlación de 0,91 y el atributo sabor con el postgusto, la correlación fue 0,95. Estos resultados fueron similares a lo obtenido por Abdulmajid (2015) donde la correlación entre fragancia con sabor fue 0,92 y para sabor con postgusto 0,97. Así mismo, el resultado fue superior a lo reportado por Duicela et al. (2017), entre fragancia/aroma con sabor fue 0,63 y para sabor con postgusto fue 0,86. Una correlación es directa entre el postgusto y el sabor porque este último queda en la boca después de haber probado la bebida de café. Asimismo, el sabor con la acidez presentó una correlación 0,94, esto se debe a que la acidez está asociada con la percepción de la dulzura del café.

Tabla 3

Matriz de correlación de atributos de catación

Matriz de correlación / Coeficiente						
Fuente	Fragancia /Aroma	Sabor	Postgusto	Acidez	Cuerpo	Balance
Fragancia/Aroma	1,00					
Sabor	0,91	1,00				
Postgusto	0,86	0,95	1,00			
Acidez	0,86	0,94	0,94	1,00		
Cuerpo	0,74	0,86	0,82	0,86	1,00	
Balance	0,76	0,90	0,90	0,82	0,84	1,00

**Componentes principales de los atributos de catación de café**

Según CP1 (Figura 2) podemos indicar que la acidez, sabor y postgusto están muy relacionados con los cafés producidos a altitudes mayores, porque tienen cuerpo completo, acidez ligera y buen aroma (Silveira et al., 2016). Con respecto al CP2 se resalta los atributos de cuerpo y balance; en la altitud de 900 a 1850 msnm predominan café semi duro a estrictamente duro, lo cuales tienen cuerpo predominante con tendencia a completo, acidez ligera, aroma fragante y con presencia de fineza (Ruiz-Nájera et al., 2016). Worku et al. (2018) indica que la altitud determina la calidad del café, aumenta la intensidad organoléptica del aroma, cuerpo, acidez y sabor.

En la Figura 3 el dendograma de café para diferentes zonas considerando los atributos de catación, de los cuales se diferencian tres grupos. El primero representa el 50% (6 muestras zona alta y 3 muestras de zona media), estas muestras de café tuvieron calificaciones de “muy bueno” en los atributos de fragancia/aroma, sabor, postgusto, acidez, cuerpo y balance; asimismo, calificación de “extraordinario” para uniformidad, taza limpia y dulzura. El segundo grupo representa el 38,9% (2 muestras zona media y 5 muestras de zona baja). Por último, el tercer grupo representa el 11,1% (una muestra zona media y una de zona baja), en este grupo las muestras de café tuvieron calificaciones de “bueno” en los atributos de sabor, postgusto y balance.

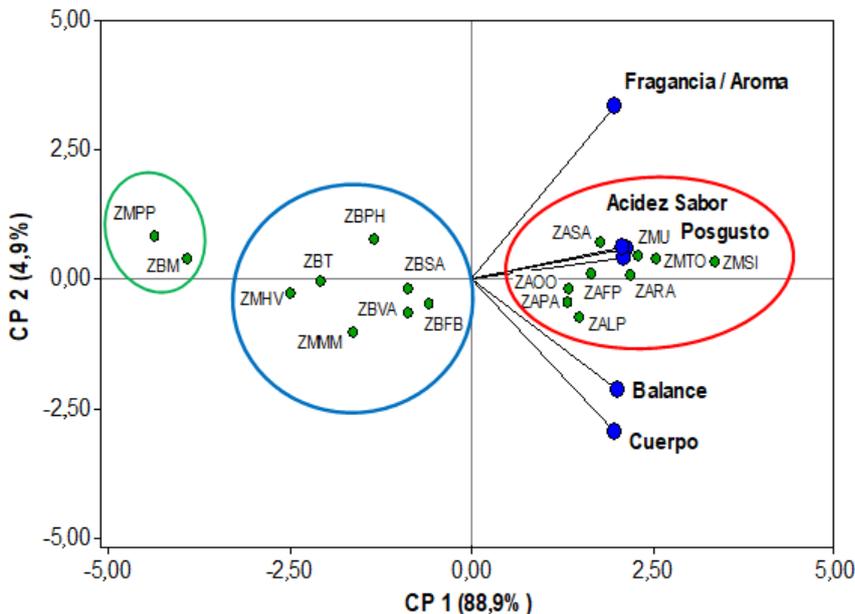


Figura 2. Análisis de componentes principales en catación.

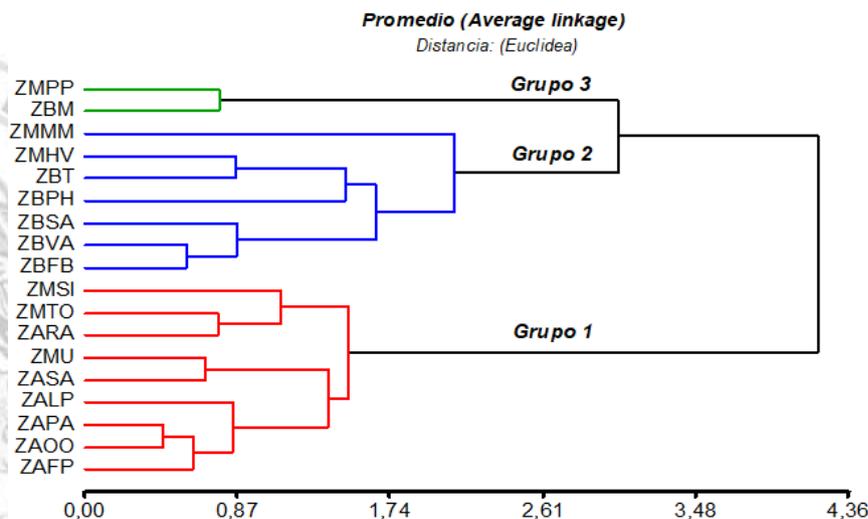


Figura 3. Dendograma considerando los atributos de catación.

Con respecto al primer grupo el resultado coincide con lo indicado por [Duicela et al. \(2017\)](#) por cada 250 msnm de aumento de altitud, la calificación sensorial se incrementa en un punto en escala SCAA. El tercer grupo tuvo una menor calificación, esto puede ser explicado por [Di Donfrancesco et al. \(2019\)](#) quienes mencionan que las temperaturas altas conducen a una menor concentración de precursores de aroma.

#### Perfil en taza

El mayor perfil en taza ([Tabla 4](#)) fue para la zona alta, seguida de la zona media, ambos calificaron como calidad especial, al respecto se considera que cafés con puntajes superiores a 80 se considera especial y pueden exportarse. Los resultados fueron muy similares a [Guevara-Sánchez et al. \(2019\)](#) en cafés cultivados en altitudes entre 873 a 1430 msnm en Perú tuvo puntajes de 81,67 a 84,25 puntos. Por otro lado, [Ribeiro et al. \(2017\)](#) indica que los frutos del café (*C. arabica* L.) cultivados entre 970 a 1200 msnm tuvieron puntaje inferior a 80. Esta variación encontrada puede ser explicado por [Sunarharum et al. \(2018\)](#) quien indica que la calidad del café depende de un gran número de factores como variedades, zona geográfica, condiciones de crecimiento, fermentación, manejo postcosecha, altitud, temperatura y la participación ambiental.

#### Análisis de termogravimetría (TG/DTG)

Según los resultados ([Tabla 5](#) y [Figura 4](#)) se reportó tres regiones en café verde molido, al

respecto [Ture \(2005\)](#), estableció tres regiones de transición la primera 26,4 °C - 194 °C, con una pérdida de masa del 6,96%; la segunda 194 °C - 393 °C, con una pérdida de masa del 61% y la tercera comprendida entre 393 °C - 786 °C, con una pérdida de masa del 28%. A sí mismo, [Muñoz \(2018\)](#) indica que los espectros del TG para café verde se dividen en tres regiones, la primera comprendida entre 58,5 °C a 324 °C con pérdida de masa de 50,26%, la segunda entre 324 a 432 °C con una pérdida de 14,67% y el tercero de 432 a 513 °C con una pérdida de 4,46% y un residuo de 24,11%.

Los resultados concuerdan con tres zonas de descomposición, pero difieren en la cantidad de masa, debido a la atmosfera inerte usado en el experimento (pirolisis) y rangos de temperatura amplias en la medición de la masa. El café tostado también presentó tres regiones en rango entre 30 a 550 °C, al respecto [Bejenari & Lisa \(2019\)](#) reportaron un comportamiento térmico de café molido en una atmosfera de nitrógeno a una temperatura de 25-600 °C la existencia de tres etapas de descomposición en la cual la segunda mostró el porcentaje más alto de pérdida de masa.

Según los espectros del DTG en café verde oro ([Figura 5](#)), las muestras ZARA y ZBM presentan una descomposición rápida comprendida entre 203,1 °C y 234,5 °C para ZARA con una temperatura de inflexión a 220,4 °C y 207 °C - 236,1 °C para ZBM con una temperatura de inflexión de 223,5 °C.

**Tabla 4**

Resultados de la clasificación de la calidad del puntaje total de cafés de diferentes zonas – Leoncio Prado

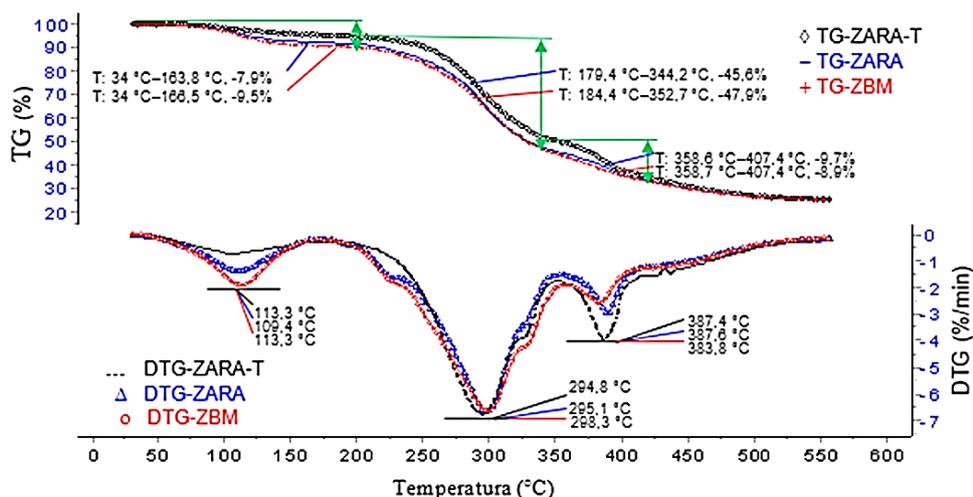
Zonas	Caseríos	Código	Puntaje	Descripción	Descripción	Puntaje promedio
Baja (900-1200) msnm	Tahuantinsuyo	ZBT	78,43	Bueno		79,04±0,44 <sup>c</sup>
	Flor de Belén	ZBFB	80,31	Muy bueno		
	San Antonio de P.	ZBSA	80,06	Muy bueno	Bueno	
	Monterrey	ZBM	76,00	Bueno		
	Juan Velásquez A.	ZBVA	80,13	Muy bueno		
	Pedro de H.	ZBPH	79,31	Bueno		
Media (1201-1500) msnm	Tres de Octubre	ZMTO	84,44	Muy bueno		81,12±0,84 <sup>b</sup>
	Manuel Mesones	ZMMM	79,25	Bueno		
	Hermilio Valdizán	ZMHV	78,00	Bueno	Muy bueno	
	José María U.	ZMU	84,06	Muy bueno		
	San Isidro	ZMSI	85,49	Excelente		
	Puente Piedra	ZMPP	75,50	Bueno		
Alta (1501-1850) msnm	San Agustín	ZASA	83,43	Muy bueno		83,39±0,11 <sup>a</sup>
	Las Palmeras	ZALP	83,06	Muy bueno		
	Rio Azul	ZARA	84,25	Muy bueno	Muy bueno	
	Puerto Alegre	ZAPA	83,06	Muy bueno		
	Felipe Pinglo Alva	ZAFP	83,00	Muy bueno		
	Once de Octubre	ZAOO	83,50	Muy bueno		

Los valores respresentan (promedio ± SEM) repeticiones (n=4).

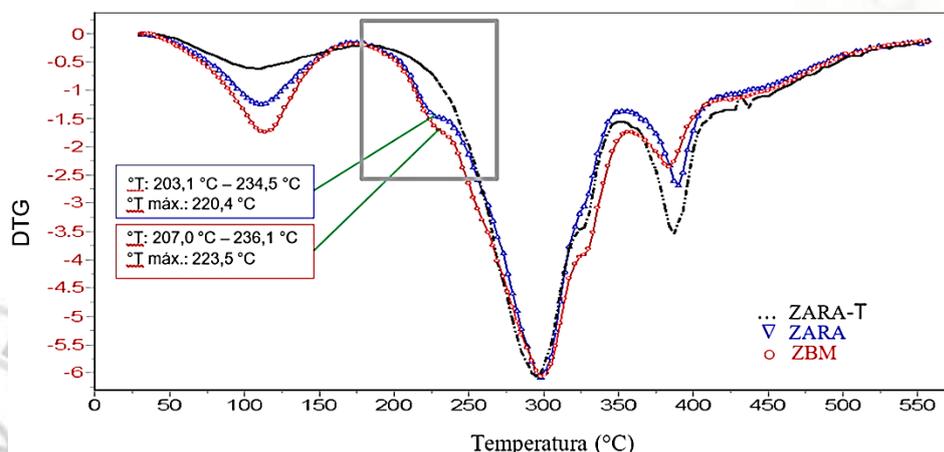
**Tabla 5**  
Resultados de Termogravimetría (TG) de granos de café verde y tostado

Café verde oro									
Región	°T inicial °C	°T máx. °C	°T final °C	ZARA			ZBM		
				$\Delta W_A$ mg	$\Delta W_A$ %	$R_A$ %	$\Delta W_B$ mg	$\Delta W_B$ %	$R_B$ %
1 <sup>ra</sup> .	34,01	113,38	166,58	3,61	7,98		4,31	9,54	
2 <sup>da</sup> .	179,46	298,40	352,70	20,67	45,64	36	21,69	48,00	34
3 <sup>ra</sup> .	358,68	383,87	407,48	4,41	9,73		4,05	8,96	
ZARA-T									
1 <sup>ra</sup> .	34,01	109,74	168,91	2,22	4,86				
2 <sup>da</sup> .	197,06	294,83	347,34	20,14	44,08	38			
3 <sup>ra</sup> .	353,54	387,45	412,67	5,67	12,42				

Dónde: ZARA-T: Café tostado zona alta, ZARA: Café verde zona alta, ZBM: Café verde zona baja, W: masa, R: Residual, °T: Temperatura.



**Figura 4.** Termogramas de TG/DTG de granos de café verde oro y tostado.



**Figura 5.** Derivada del espectro TG (DTG) de granos de café verde oro y tostado.

Las temperaturas reportadas concuerdan con los resultados de Rivera et al. (2013), para café verde revela una alta y rápida descomposición en la curva DTG entre 208-230 °C que corresponde a la transformación de sacarosa y producción de aceites. Además, indica una temperatura de inflexión en la curva en 218 °C, en el cual suceden reacciones que confieren propiedades sensoriales al café; por ello, la calidad de la

bebida de café depende del proceso térmico y la transición que experimenta el grano. De acuerdo a los resultados reportados se recomienda que el proceso de tostado debe realizarse a temperaturas superiores a 200 °C; puesto que por encima de esta se produce una descomposición y emisión de compuestos volátiles.

Del gráfico DTG se observan tres picos de máxima descomposición correspondientes a las

zonas TG, la primera zona tiene como temperatura máxima de descomposición 109,4 °C para ZARA y 113,3 °C en ZBM, la segunda zona 295,1 °C para ZARA y 298,3°C en ZBM y la tercera zona 387,6 °C para ZARA y 383,8 °C en ZBM.

#### 4. Conclusiones

La zona de producción de granos de cafés verde oro afectó la calidad física, <1200 msnm presentó mayores defectos primarios. La humedad promedio fue 11,29 %, la zona alta presentó la menor acidez y la mayor cantidad de sólidos solubles totales fue para la zona baja.

La mayor calificación de “muy bueno” fue para fragancia/aroma, sabor, postgusto, acidez, cuerpo y balance, “especialidad” para uniformidad, taza limpia y dulzura. Además, según el análisis de componentes principales los cafés de mejor calidad sensorial lo presentaron las seis muestras de zona alta y tres de zona media.

Los espectros DTG del café de zona alta (ZARA) y baja (ZBM) presentan una región de descomposición térmica entre 203 a 236 °C siendo punto crítico para el proceso de tostado del grano, esto permite proponer estudios para las variedades producidas en la zona.

#### Referencias bibliográficas

- Abdulmajid, A. (2015). Sensory evaluation of beverage characteristics and biochemical components of coffee genotypes. *Rev. Internacional Scholars Journals*, 2 (12), 281-288.
- Alessandrini, L., Romani, S., Pinnavaia, G., & Rosa, M. (2008). Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree. *Analytica Chimica Acta*, 625(1), 95-102.
- Atavillos-Dominguez, C., Reátegui, D., & Ordoñez, E. (2020). Fenoles totales, capacidad antioxidante y evaluación sensorial en café tostado. *Ciencia agroindustrial*, 10(3), 242-248.
- AOAC. (1990). Association of Official Analytical Chemists. Solids solubles in roasted coffee. Association of Analytical Chemists.
- Barbosa, M. de S., Schilz, M. dos S., Kitzberger, C.S., & 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.
- Bejenari, V., & Lisa, G. (2019). Thermal behaviour of different types of commercial coffee grounds in inert atmosphere. The influence of composition (Arabica and Robusta). *Cellulose Chemistry and Technology*, 53(9-10), 861-868.
- Belay, S., Mideksa, D., Gebrezgiabher, S., Seifu, W. (2016). Factors affecting coffee (*Coffea arabica* L.) Quality in Ehtiopia: a review. *Journal of Multidisciplinary Scientific Research*, 4(1), 22-28.
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., Grebby, S., & Fisk, I. D. (2018). Rapid prediction of single green coffee bean moisture and lipid content by hyperspectral imaging. *Journal of FoodEngineering*, 227, 10-29.
- Cruz, J.T., Rodríguez, Pérez., W., Suárez Salazar, J.C., Ordoñez Espinoza, C. M., & Vega Cano, G. (2017). Minority compounds and sensory analysis evaluation of *Coffea arabica* L. var. caturra cultivated in three different altitudinal ranges. *Acta Agronómica*, 66(2), 221-227.
- Di Donfrancesco, B., Gutierrez Guzman, N., & Chambers, E. (2019). Similarities and differences in sensory properties of high quality Arabica coffee in a small region of Colombia. *Food Research International*, 116, 645-651.
- Duicela, L., Velásquez, S., Farfan, D. (2017). Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. *Rev. Tecnología Postcosecha*, 18(1), 67-77.
- Egas, C., Gálvez, R., García, C., Granda, L. (2018). Planteamiento estratégico para el café en el Perú. Tesis de maestría, Facultad de Administración de Negocios Globales. Pontificia Universidad Católica del Perú. 170 p.
- Gamboia, Y. P., Mosquera, S.A., & Paz, I. E. (2015). Caracterización física de café especial (*Coffea arabica*) en el municipio de Chachagüi (Nariño, Colombia). *Rev. Lasallista de Investigación*, 12(1), 90-98.
- Giacalone, D., Degn, T., Yang, N., Liu, C., Fisk, I., Münchow, M. (2019). Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception. *Food Quality and Preference*, 71, 463-474.
- Guevara-Sánchez, M., Bernaldes, C., Saavedra-Ramírez, J., & Owaki-Lopez, J. (2019). Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación entre secado mecánico y tradicional. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 505-510.
- Ismail, I., Anuar, M., & Shamsudin, R. (2013). Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage. *International Food Research Journal*, 20(1), 255-264.
- Lingle, T. R., & Menon, S. N. (2017). Cupping and grading—discovering character and quality. *The Craft and Science of Coffee*. 181-203.
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz- Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz México. *Rev. Fitotecnia. Mexicana*, 39(3), 297-304.
- Macedo, L. L., Agnoletti, B. Z., Araújo, C.D., & Vimercati, W. C. (2017). Avaliação de propriedades físico-químicas de café arábica classificados quanto à qualidade da bebida. *Rev. Univap*, 22(40), 236.
- Martínez, H. E., Lacerda, J. S., Clemente, J. M., Silva Filho, J. B., Pedrosa, A. W., Santos, R. H., & Cecon, P.R. (2018). Production, chemical composition, and quality of Arabic coffee subjected to copper doses. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 53(4), 443-452.
- Martínez, V. M., Aristizábal, I. D., & Moreno, E. L. (2017). Evaluation of the composition effect of harvested coffee in the organoleptic properties of coffee drink. *Rev. Vitae*, 24(1), 47-58.
- Ruiz-Nájera, R.E., Medina-Meléndez, J.A., Gome-Castañeda, J. C., Sanchez- Yáñez, J. M., gomez-alfaro, G., & Pinto-Molina, O. (2016). Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. *Rev. Ciencia UAT*, 10(2), 33.
- Muñoz, M. J. (2018). Thermal analysis of coffee beans of variety castilla grown in Colombia. *Rev. Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 1147-1158.
- Oyola, S., Trujillo, D., & Gutierrez, N. (2017). Aplicación del proceso analítico jerárquico AHP para definir la mejor taza en evaluación de cafés especiales. *Coffee Science*, 12(3), 374.
- Pacheco, V. (2016). Estimación del tiempo de vida útil del café tostado tipo premium (*Coffea arabica*) en diferentes empaques mediante pruebas aceleradas. Tesis Ingeniero Industrias alimentarias – Universidad Nacional Agraria la Molina Lima Perú. 113 p.
- Peisino, F., Lucas, P., Wilton, C., Caten C., Costa, R., Busato, T., Pimenta L.H. (2015). Caracterização e avaliação de pH, acidez titulável e extrato aquoso de cafés finos por estratos de altitude. IX Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil: Curitiba Brazil
- Puerta, Q.G. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. Avances técnicos Cenicafé. Manizales Colombia. 12 p.
- Raba, D. N., Chambre, D.R., Copolovici, D.-M., Moldovan, C., & Copolovici, L.O. (2018). The influence of high-temperature heating on composition and thermo-oxidative stability of the oil extracted from Arabica coffee beans. *PLOS ONE*, 13(17), e0200314.
- Reyes, F., Escamilla-Prado, E., Perez-Portilla, E., Almaguer-Vargas, G., Curiel-Rodríguez, A., & Hernández, J. (2016). Evaluación de productividad, calidad física y sensorial del grano del café

- (*Coffea arabica* L.), en cafetos injertados en el CRUO, Huatusco, Veracruz. *Rev. Geografía Agrícola*, 56, 45-53.
- Ribeiro, L. S., Ribeiro, D. E., Evangelista, S. R., Miguel, M. G. da C., Ppinheiro, A. C., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2017). Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 32-38.
- Rivera, W., Velasco, X., & Rincón, C. (2013). Evaluación por TGA y FTIR de los cambios de composición producidos por la tostión en granos de café. *Rev. Colombiana de Física*, 45(3), 205-208.
- SCAA. (2015). Specialty Coffee Association of American. Protocols.
- SCAN. (2015a). Evaluación sensorial de café. Manual de evaluación. Red de asistencia de productos básicos sostenible. Guatemala.
- SCAN. (2015b). Guía de factores que inciden en la calidad del café. Red de asistencia de productos básicos sostenible. Guatemala.
- Silveira, A. de S., Pinheiro, A.C., Ferreira, W. P., Silva L. J., Rufino, J. L., & Sakiyama, N. S. (2016). Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Ceres*, 63(4), 436-443.
- Sunarharum, W.B., Yuwono, S.S., Pangestu, N.B., & Nadhiroh, H. (2018). Physical and sensory quality of Java Arabica green coffee beans. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131, 012018.
- Ture, K. (2005). Optical and thermal properties of coffee and caffeine. Master's thesis in Science in Physics, Addis Ababa University. 52 p.
- Wamuyu, K. A., Richard, K., Beatrice, M., & Cecilia, K. (2017). Effect of Different Fermentation Methods on Physicochemical Composition and Sensory Quality of Coffee (*Coffea arabica*). *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 11(06), 31-36.
- 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.
- Zani, B. (2015). Aviliacao das propriedades fisicoquímicas de café Arábica e conilon clasificados guanto a quidade d bebida. Tesis maestría. Facultad en ciencias agrarias- Universidad Federal de Espiritu Santo Brazil. 72 p.

