



## Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivado bajo sistemas agroforestales en Cusco, Perú

### Relationship between soil characteristics and altitude with the sensory quality of coffee grown under agroforestry systems in Cusco, Peru

Fanny Rosario Márquez<sup>1,\*</sup> ; Policarpo Quispe<sup>1</sup> ; Norith Molleapaza<sup>2</sup> ; Sara Cabrera<sup>3</sup> ; Joel Peña<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Escuela profesional de Ingeniería Agronómica Tropical. El Arenal S/N, Quillabamba, Cusco. Peru.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela profesional de Agronomía Tropical. Av. de la Cultura, Nro. 733, Cusco. Peru.

<sup>3</sup> Universidad Andina del Cusco, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Industrial. Urbanización Ingeniería Larapa Grande A-7, San Jerónimo, Cusco. Peru.

<sup>4</sup> Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Facultad de Ingeniería, Escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente. Av. Jorge Chávez 1160, Madre de Dios. Peru.

Received May 15, 2020. Accepted September 30, 2020.

#### Resumen

El Perú produce cafés de diversas calidades porque posee ecosistemas muy diversos, la producción de cafés especiales es una oportunidad de mejora económica y social para los pequeños productores considerando que el precio del café está relacionado con la calidad sensorial de la bebida en nichos de mercado cada vez mayores. En este estudio se evaluó el efecto de las características fisicoquímicas del suelo y la altitud de las fincas sobre la calidad sensorial del café en 56 fincas de café de altura en sistemas agroforestales de la selva alta del Cusco, se realizó la caracterización física y química de los suelos de fincas ubicadas entre 1312 a 1910 msnm de la zona de Tunquimayo - Quellouno - Cusco y se evaluó la calidad sensorial del café utilizando metodología de la SCAA. Se encontró que la acidez y la concentración de aluminio de los suelos aumenta con la altitud, los niveles de fósforo disponible, calcio y potasio cambiables son bajos; mientras que el magnesio cambiante es alto. En la prueba de calidad sensorial del café, el 50% de las fincas obtuvo puntajes de 80 - 84, los mismos que califican como café especial del tipo Muy Bueno; la altitud contribuyó positivamente a que los atributos como la apreciación personal, la dulzura, el balance, el aroma y el sabor del café se incrementen; concluyéndose que la altitud y las características del suelo como fósforo (P) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) influyen en la calidad sensorial del café.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*; sistemas agroforestales; calidad sensorial; altitud; fertilidad del suelo.

#### Abstract

Peru produces coffees of different qualities because it has very diverse ecosystems, the production of specialty coffees is an opportunity for economic and social improvement for small producers considering that the price of coffee is related to the sensory quality of the drink in ever larger market niches. In this study, the effect of the physical-chemical characteristics of the soil and the altitude of the farms on the sensory quality of coffee was evaluated in 56 high-altitude coffee farms in agroforestry systems of the upper jungle of Cusco, the physical and chemical characterization was carried out of the soils of farms located between 1312 and 1910 meters above sea level in the Tunquimayo - Quellouno - Cusco area and the sensory quality of the coffee was evaluated using SCAA methodology. It was found that the acidity and the aluminum concentration of the soils increases with altitude, the levels of available phosphorus, calcium and exchangeable potassium are low, while the changeable magnesium is high. In the coffee sensory quality test, 50% of the farms obtained scores of 80 - 84, the same ones that qualify as Very Good specialty coffee; the altitude contributed positively to the increase in attributes such as personal appreciation, sweetness, balance, aroma and flavor; concluding that the altitude and soil characteristics such as phosphorus (P) and cation exchange capacity (CEC) influence the sensory quality of coffee.

**Keywords:** *Coffea arabica*; agroforestry systems; sensory quality; altitude; soil fertility.

#### Cite this article:

Márquez, F.R.; Quispe, P.; Molleapaza, N.; Cabrera, S.; Peña, J. 2020. Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivado bajo sistemas agroforestales en Cusco, Perú. *Scientia Agropecuaria* 11(4): 529-536.

\* Corresponding author  
E-mail: [fanny.marquez@uniq.edu.pe](mailto:fanny.marquez@uniq.edu.pe) (F.R. Márquez).

## 1. Introducción

El café, para ser considerado de calidad, debe tener buenas características físicas y organolépticas (Rodríguez *et al.*, 2012), las mismas que asegurarían buenos precios de venta, mejorando los ingresos económicos de los agricultores y la sustentabilidad de las fincas (Márquez *et al.*, 2016).

El mercado internacional del café reconoce como cafés especiales, a los que tienen más de 80 puntos en las pruebas sensoriales, y son excelentes a los que están encima de 86 puntos (Renard, 2010).

Las pruebas de calidad sensorial lo realizan catadores especializados siguiendo estrictamente los protocolos de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA por sus siglas en inglés), la misma que involucra 10 atributos, siendo el máximo puntaje 100, donde las calificaciones cualitativas finales del café son: imbebible, pasable, bueno, muy bueno, excelente, extraordinario y ejemplar o único (SCAA, 2015).

Son muchos, los factores involucrados con la calidad del café, entre ellos está la variedad de café utilizada, tal es así que Figueiredo *et al.* (2018) encontraron que algunos genotipos de Bourbon resultaron adecuados para la producción de cafés especiales, el ambiente (como la altitud donde se cultiva el café, características físico químicas del suelo, latitud, niveles de sombra), la cosecha y pos cosecha (como la forma de despulpado, fermentado y secado), el procesamiento industrial (tipo de tostado y molienda), y los métodos de extracción (Rodríguez *et al.*, 2012; Selmar *et al.*, 2014; Suárez *et al.*, 2015; Silveira *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2016; Ko *et al.*, 2017; Gamonal *et al.*, 2017; Guevara *et al.*, 2019;). Además, existe una gran variabilidad del perfil sensorial del café a nivel de países, microrregiones y sitios de siembra (Borém *et al.*, 2020). Lara (2005) y Caviedes (2017) encontraron que, en condiciones ambientales de temperatura baja, el café toma más tiempo para el proceso de maduración del fruto, produciéndose bajo estas condiciones granos con mejores características físicas (granos más grandes, más pesados y con menos defectos). Estas condiciones favorables ocurrieron en las fincas de café ubicadas a mayor altitud. Así mismo, Lara (2005) reporta que, en estas condiciones la cafeína, los ácidos clorogénicos y la materia grasa (compuestos determinantes de la calidad) están más concentrados en los granos de café. Sin embargo, en estudios más recientes Figueiredo *et al.* (2018) y Barbosa *et al.* (2019), encontraron que los cafés de calidad superior tienen menor contenido de cafeína. En Etiopía (Girma *et al.*, 2020), encontró que

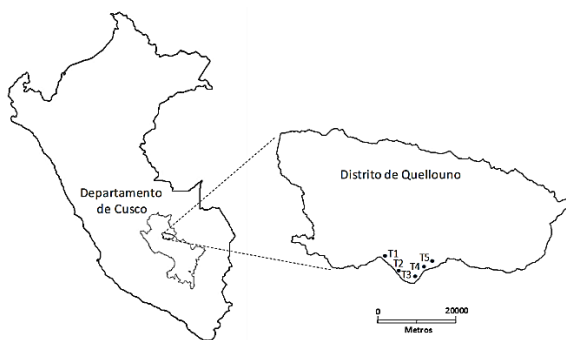
la cafeína disminuye a medida que se incrementa la altitud mientras que las concentraciones de ácido nicotínico aumentan al incrementarse la altitud. La composición química de los granos de café verde pueden ser indicativos de la calidad sensorial de la bebida de café (Barbosa *et al.*, 2019).

En el Perú se producen más de 425 mil hectáreas de café y Cusco contribuye con más de 58 mil ha (INEI, 2012). En la provincia de La Convención en el 2011, la variedad Typica fue la que se cultivaba en más del 80% del área cafetalera, este porcentaje se redujo por la “crisis de la roya del café” causada por *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome a nivel de Latinoamérica (Avelino *et al.*, 2015), siendo reemplazada por variedades resistentes a roya. Los productores de café de la zona de estudio (localidad de Tunquimayo) son pequeños agricultores, con cultivos perennes y de economía restringida, calificadas como del Tipo I (Merma y Julca, 2012), que comercializan su producción a través de asociaciones, cooperativas y empresas privadas cafetaleras bajo criterios de calidad física (Márquez *et al.*, 2016). Con la finalidad de evaluar el efecto del ambiente en la calidad sensorial del café, planteamos los siguientes objetivos: caracterizar los suelos en la zona de estudio, evaluar la calidad sensorial del café variedad Typica y establecer relaciones entre la calidad sensorial y las características ambientales en la que se desarrolla el café.

## 2. Materiales y métodos

### Área de estudio: localidad de Tunquimayo

La localidad de Tunquimayo, forma parte del distrito de Quelluno (Figura 1), en la provincia de La Convención, se encuentra entre 1300 y 1950 metros de altitud con temperaturas que varían de 18 a 25 °C y 1200 mm de precipitación pluvial promedio anual, el mismo que corresponde a un paisaje montañoso con topografía accidentada.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio (T1, T2, T3, T4 y T5 son los sectores muestreados en Tunkimayo).

### Población y tamaño de muestra

La población de estudio estuvo conformada por 285 fincas cafetaleras, de las cuales 56 fincas fueron consideradas como muestra, teniendo en cuenta los siguientes criterios: plantaciones de café con 10 a 15 años de antigüedad, variedad de café: Typica, con arreglo agroforestal bajo sombra, pendiente topográfica de la finca: 25 a 35% y que no hayan recibido fertilización en los últimos 4 años.

### Análisis de suelos

Las muestras de suelo se obtuvieron de las 56 fincas a una profundidad de 20 cm, para lo cual, en cada finca se tomó 15 submuestras de donde se extrajo una muestra de 1 kg, las mismas que fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Agraria La Molina para los análisis de: pH del suelo, Conductividad eléctrica, Materia orgánica, Fósforo disponible, Potasio disponible, Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), Acidez intercambiable ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ), Textura del suelo (cuantificación del contenido de arena, limo, y arcilla), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Cationes cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) y de elementos menores tales como el Boro, Hierro y Azufre.

### Obtención de muestras de café

La cosecha de granos se realizó de la parte media de 20 plantas seleccionadas al azar en cada finca, colectándose 5 kg de frutos maduros, se despulpó de forma manual, se puso a fermentar por 12 horas en baldes de plástico y se lavó con agua limpia. El secado se realizó inmediatamente después del lavado mediante exposición solar sobre malla hasta obtener 11 a 12% de humedad.

### Análisis de la calidad sensorial

Fue realizado por tres catadores especializados y con licencia Q Grader, quienes usaron el método de la SCAA, en los ambientes del laboratorio de Control de calidad de café de la Municipalidad Distrital de Quellouno. El procedimiento fue el siguiente: se tomó 120 g de café verde por muestra, se tostó 8 horas antes de la cata, por 8 a 10 minutos a una temperatura de 200 a 220 °C hasta lograr el tostado medio y se molió finamente. Para la cata se prepararon tres tazas por muestra y se agregó 12 g de café molido y 100 ml de agua purificada, libre de olores, transparente, libre de cloro a 93 °C de temperatura, seguidamente se determinó y registró la fragancia/aroma, luego se agregó 100 ml más de agua caliente a cada taza y se esperó 4 minutos (antes que el café libere los aromas atrapados), luego con un par de cucharas se retira la espuma que se forma en la superficie de la bebida, se espera unos minutos

para la decantación y para que se enfríe a 75 °C, posteriormente se determinó el sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, taza limpia, uniformidad, dulzor y puntaje de catador (SCAA, 2015).

Las sesiones de cata se realizaron por mesas de 10 muestras y tres tazas por muestra. Cada catador registró su apreciación en los formatos de cata de la SCAA. La nota final utilizada para los análisis estadísticos es el promedio de las calificaciones de los tres catadores.

### Altitud

Se registraron las variaciones altitudinales de las fincas con la ayuda de un GPS modelo Garmin 76 Marine Navigator, determinándose la altitud en metros sobre el nivel del mar en el área más representativa de la parcela.

### Análisis de datos

Para el análisis de los estadísticos descriptivos y los gráficos de boxplot se usó el software RStudio versión 1,2,5. Los análisis y gráficos de correlación y de ameba se realizaron mediante el software Excel. Para el gráfico de biplot y el análisis de componentes principales (en este caso los datos fueron transformados en escala de 0 - 1, se utilizó el método de covarianza), se usó el software Fitopac2. Para el análisis de correlación múltiple se usó el software RStudio versión 1,2,5 y para el gráfico de dispersión de datos se utilizó el paquete ggplot2 en RStudio.

## 3. Resultados y discusión

En la zona de estudio, el cultivo de café está asociado a especies forestales tales como guaba (*Inga sp*), nogal (*Juglans neotropica*), frutales como palta (*Persea americana*), naranja (*Citrus sinensis*) y mango (*Mangifera indica*) en sistemas agroforestales (SAF), el mismo que provee sombra al cultivo y mejora la calidad sensorial del café (Odeny et al., 2015; Lambot et al., 2017; Sepúlveda y Carrillo, 2015), protege al suelo de la erosión y evaporación (Villatoro-Sánchez et al., 2015), reduce la transpiración de la planta y es apropiado para mitigar el estrés hídrico, además que provee servicios ecosistémicos al ambiente (Cerdea et al., 2017).

### Características de los suelos

Se encontró que el café se desarrolla con mayor frecuencia en suelos con pH que van de 4,50 - 5,50, condiciones ideales para el cultivo de café, similares a las reportadas por Rosas et al. (2008); y con menor frecuencia en suelos con pH de 4,16 - 4,49 (que son extremadamente ácidos) y suelos con pH de

5,60 -7,29, siendo el promedio para la zona de estudio de 5,29 (Tabla 1). De acuerdo con la Figura 2a, el pH de los suelos va disminuyendo a medida que se va ascendiendo en la cuenca donde están las fincas cafetaleras.

En promedio, los suelos de la zona de estudio tienen un nivel muy alto de materia orgánica (MO) promedio (5,35%) y, de acuerdo con Hameed et al. (2018), es consecuencia de factores ecológicos como la presencia de SAF con plantas de sombra, restos de poda, deshierbe y otros factores. Se encontró con mayor frecuencia niveles de MO entre 4 - 6%, siendo esta, la proveedora de nitrógeno y la promotora de la presencia de vida en el suelo (Hameed et al., 2018). El fósforo disponible promedio fue 7,35 ppm, el mismo que está en un nivel bajo y con mayor frecuencia se encontró 2,1 - 10 ppm. Así mismo se observó un aumento creciente del fósforo en el suelo en condiciones de pH neutro (Figura 2b).

La capacidad de intercambio catiónico promedio fue 18,59 meq/100 g, la misma que está en un nivel bajo, encontrándose con mayor frecuencia 15 - 25 meq/100 g. El calcio cambiante promedio fue 9,56 meq/100 g, el mismo que está en un nivel bajo y con mayor frecuencia se encontró 10 - 15 meq/100 g, estos niveles de calcio va disminuyendo con la altitud (Figura 2a), y de acuerdo con la Figura 2b, el calcio va aumentando con el pH (hay más calcio en condiciones de pH cercanas al neutro), contrariamente, el nivel

promedio de magnesio cambiante es alto (3,34 meq/100 g), observándose el mismo patrón que el calcio, ya que va disminuyendo con la altitud y va aumentando en condiciones de pH neutro (Figura 2b). El potasio cambiante promedio fue 0,31 meq/100 g, el mismo que está en un nivel bajo a muy bajo dependiendo de la cantidad de arcilla del suelo concordante con los hallazgos de Rosas et al. (2008), se observa también que estos niveles aumentan con el pH (Figura 2b).

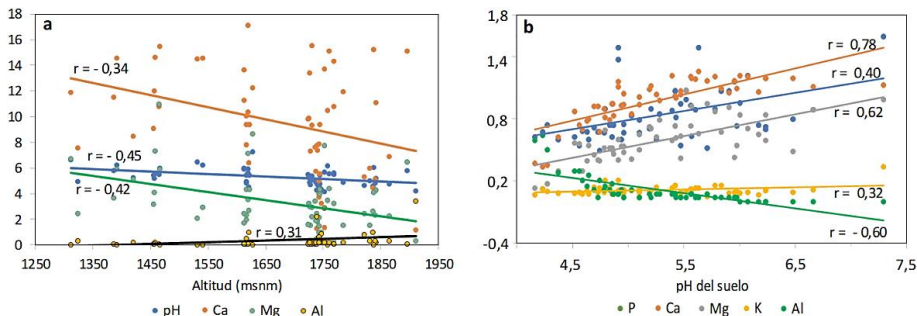
Respecto a las relaciones catiónicas Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K no son ideales en la mayoría de las fincas, similares a los reportes de Cerda (2015) evidenciándose que hay serias deficiencias de potasio en el suelo. Contrariamente, la relación Ca/Mg es ideal en la mayoría de los casos.

La acidez cambiante promedio fue 0,36 meq/100 g, encontrándose con menor frecuencia niveles de 0,60 - 3,40 meq/100 g, donde el suelo tiene problemas de toxicidad de aluminio, tal como lo reporta Rosas et al. (2008), inhibiendo el crecimiento radicular y reduciendo la absorción de nutrientes en los cultivos (Eekhout et al., 2017; Bojórquez et al., 2017).

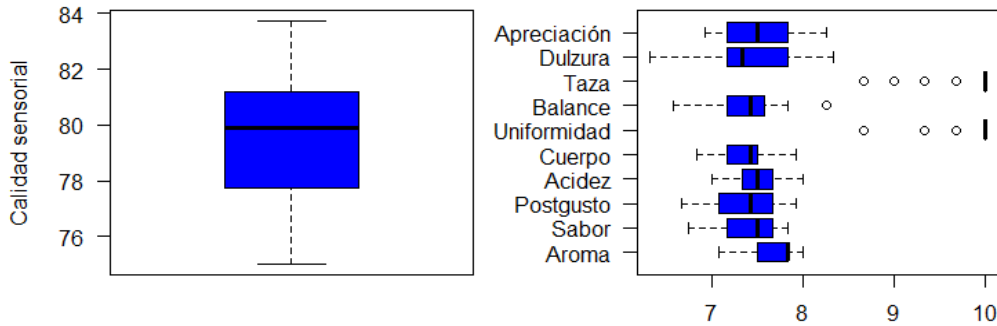
A mayor altitud se encontró mayores niveles de acidez cambiante (Figura 2a), este nivel aumentó en condiciones de pH ácidos (Figura 2b), afectando la fertilidad del suelo por efecto del aumento de concentración de aluminio y permitiendo la pérdida de los cationes por lixiviación.

**Tabla 1**  
Datos de estadísticos descriptivos importantes del suelo

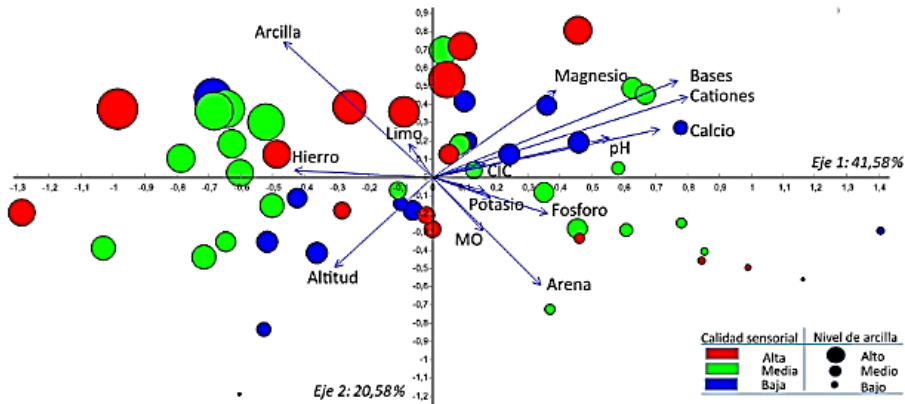
| Análisis de suelos   | Estadísticos descriptivos |        |        |                     |          |
|----------------------|---------------------------|--------|--------|---------------------|----------|
|                      | Mínimo                    | Máximo | Media  | Desviación estándar | Varianza |
| pH                   | 4,16                      | 7,29   | 5,29   | 0,65                | 0,42     |
| Materia orgánica (%) | 1,84                      | 11,96  | 5,35   | 2,05                | 4,20     |
| Fósforo (ppm)        | 2,10                      | 38,10  | 7,35   | 7,13                | 50,88    |
| Potasio (ppm)        | 44,00                     | 696,00 | 133,75 | 95,85               | 9186,48  |
| Arena (%)            | 21,00                     | 73,00  | 46,57  | 11,83               | 139,89   |
| Limo (%)             | 12,00                     | 46,00  | 28,86  | 7,23                | 52,34    |
| Arcilla (%)          | 9,00                      | 41,00  | 24,36  | 7,82                | 61,11    |
| CIC (meq/100g)       | 7,83                      | 29,12  | 18,59  | 3,59                | 12,92    |
| Calcio (meq/100g)    | 1,19                      | 17,13  | 9,56   | 4,08                | 16,68    |
| Magnesio (meq/100g)  | 0,32                      | 10,95  | 3,34   | 2,21                | 4,88     |
| Potasio (meq/100g)   | 0,13                      | 1,17   | 0,31   | 0,15                | 0,02     |
| Aluminio (meq/100g)  | 0,00                      | 3,40   | 0,37   | 0,65                | 0,42     |



**Figura 2.** Relaciones existentes entre algunas características químicas del suelo con a) la altitud de la finca y b) el pH del suelo (eje "y" transformado:  $\log_{10}(y+1)$ ).



**Figura 3.** Estadísticos de calidad sensorial (izquierda) y atributos de la calidad sensorial del café (derecha).



**Figura 4.** Biplot del Análisis de Componentes Principales de la calidad sensorial del café y de las características fisicoquímicas del suelo. Calidad sensorial del café: Baja ( $\leq 77$ ), Media (78-80), Alta ( $\geq 80$ ). Niveles de arcilla: Bajo ( $\leq 20\%$ ), Medio (21 - 30%), Alto ( $\geq 30\%$ ).

**Calidad sensorial**

El percentil 50 o el 50% de las fincas evaluadas (Figura 3, izq.) presentaron un café especial de calidad Premium las mismas que alcanzaron puntajes de 80 - 84 en la calidad sensorial, de acuerdo con la escala de calificación de la SCAA (2015). La calidad sensorial promedio en la zona de estudio fue de 79,58 puntos y el valor mínimo fue 75 y el máximo 83,75 puntos.

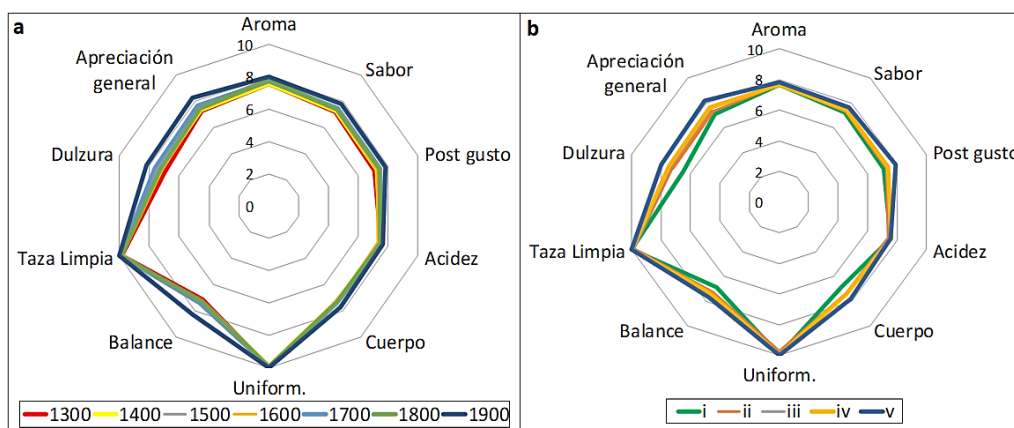
La calidad sensorial presentó Taza limpia, Uniformidad y Aroma como atributos de mayor puntaje. Los valores promedio obtenidos en cada atributo: Aroma 7,69, Sabor 7,41, Postgusto 7,38, Acidez 7,52, Cuerpo 7,39, Uniformidad 9,96, Balance 7,38, Taza Limpia 9,92, Dulzura 7,41 y Apreciación General 7,54 (Figura 3, der.). Se debe considerar que los valores de los atributos de 7 - 7,9 son considerados como “muy buenos” y de 9 - 9,90 como “extraordinarios” (SCAA, 2015).

La calidad de café de la zona de estudio (Tunquimayo) ha sido muy reconocida en concursos locales, provinciales y nacionales debido a la altitud de la zona, la metodología de producción y el beneficio húmedo (tratamiento pos-cosecha). Según Borem et al. (2020), el beneficio húmedo determina la

percepción del sabor floral en la bebida del café. Los productores de café utilizan variedades de la especie *Coffea arabica*, que tienen un sabor fino según Toledo et al. (2016), de igual modo Figueiredo et al. (2018), señalan a la variedad Bourbon como fuente de café especial en Brasil. El café de Tunquimayo se produce en sistemas agroforestales, fertilizan con fuentes orgánicas, realizan cosecha selectiva, despulpan el mismo día de la cosecha, realizan el fermentado por más de 20 horas, lavan con agua limpia y secan sobre mallas bajo cubierta plástica. Por otro lado, Caviedes (2017) en un área aledaña a la zona de estudio encontró valores de calidad sensorial entre 65 - 82, los mismos que fueron influenciados principalmente por los defectos del grano cosechado, siendo el de mayor impacto los daños causados por la broca del café (*Hypothenemus hampei*).

**Efectos ambientales sobre la calidad sensorial**

La calidad sensorial alta y media (burbujas roja y verde respectivamente) del café está influenciada por los niveles alto y medio de arcilla que tiene el suelo (burbuja grande y mediana: mayor contenido y contenido medio de arcilla respectivamente) (Figura 4).



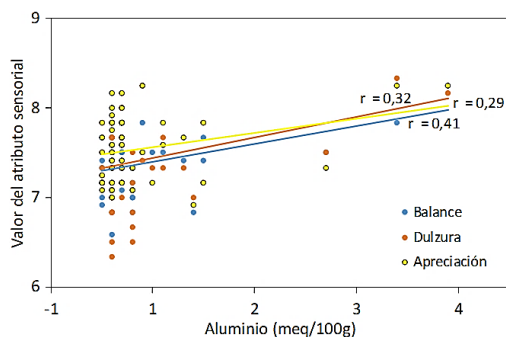
**Figura 5.** Efectos sobre los atributos sensoriales de a) la altitud de las fincas y b) la capacidad de intercambio catiónico del suelo: i ( $\leq 11$ ), ii (12 - 15 meq/100g), iii (16 - 20 meq/100g), iv (21-25 meq/100g), v ( $\geq 26$  meq/100g).

La ubicación de las fincas cafetaleras en zonas altas cercanas a los 1900 msnm contribuyó a que algunos atributos sensoriales del café tales como apreciación personal, dulzura, balance, aroma y sabor del café mejoraran significativamente la calidad sensorial del café (Figura 5a). La gradiente altitudinal de 598 m (entre el punto más bajo y alto de la zona de estudio) favorece una diversidad de climas debido a que ocurre una disminución de la temperatura ambiental de 0,65 °C por cada 100 m de elevación, lo cual permite que los frutos logren completar su maduración en mayor tiempo y proporciona condiciones para incrementar la materia grasa que favorece la intensidad de las características organolépticas: aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia (Lara, 2005) esta respuesta ha sido mencionada por diversos autores que ratifican el efecto de la altitud sobre la calidad sensorial (Suárez et al., 2015; Silveira et al., 2016; Duicela et al., 2017; Hameed et al., 2018; Borém et al., 2020), aunque Ferreira et al. (2016) consideran que no solo el ambiente influye en la calidad sensorial del café. Girma et al. (2020) concluyen que la naturaleza inherente de los granos y la altitud son parámetros cruciales que afectan la composición bioquímica del café.

De la misma manera, niveles superiores o iguales a 26 meq/100 g de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, produjeron efectos similares en la calidad sensorial del café, tal es así que los atributos sensoriales del café: apreciación general,

dulzura, balance, cuerpo y post gusto contribuyeron a una mejor calificación de la calidad sensorial del café (Figura 5b).

Correlacionando los atributos sensoriales con el contenido de aluminio del suelo, se encontró una mayor correlación positiva entre el aluminio y el balance (atributo sensorial) con un valor de  $r = 0,41$  (Figura 6), sin embargo, Suárez et al. (2015) encontraron una correlación positiva entre contenido de K, Na y Al con el aroma.



**Figura 6.** Correlación entre el aluminio del suelo y los atributos sensoriales de balance, dulzura y apreciación.

El análisis de correlación múltiple entre calidad sensorial del café y las variables ambientales evaluadas evidencia que el fósforo (P), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la altitud, son las variables que tienen más influencia en la calidad sensorial del café (Tabla 2) y la ecuación predictiva sería:

$$\text{Calidad sensorial} = 67,6720 - 0,0906 * P + 0,2735 * \text{CIC} + 0,0045 * \text{Altitud}$$

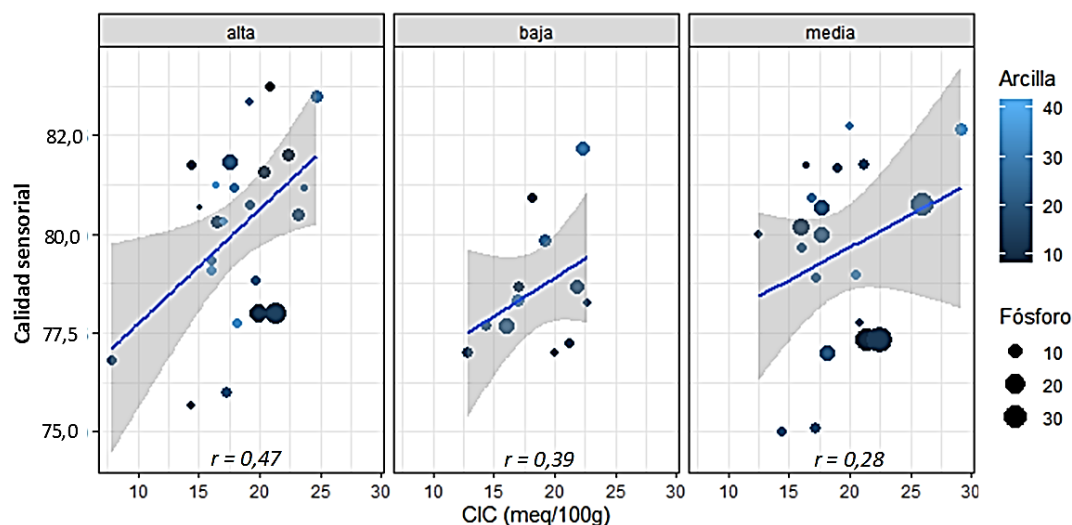
**Tabla 2**

Resultados de la correlación múltiple entre la calidad sensorial del café y las variables ambientales evaluadas en las fincas cafetaleras

| Variable   | Estimado | Error estándar | Valor de t | Pr(> t ) | Significación |
|------------|----------|----------------|------------|----------|---------------|
| Intercepto | 67,672   | 31,526         | 21,466     | 0,0000   | ***           |
| Fósforo    | -0,0906  | 0,0376         | -2,412     | 0,0194   | *             |
| CIC        | 0,2735   | 0,0745         | 3,674      | 0,0006   | ***           |
| Altitud    | 0,0045   | 0,0017         | 2,613      | 0,0117   | *             |

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Múltiple R: 0,5529



**Figura 7.** Dispersión de datos de la calidad sensorial y la capacidad de intercambio catiónico del suelo en función del contenido de arcilla y del fósforo del suelo, además del nivel altitudinal de las fincas de café: baja (1312 - 1541 msnm), media (1612 - 1739 msnm), alta (1740 - 1910 msnm).

En concordancia con el análisis de correlación múltiple, el gráfico de la **Figura 7** muestra que existe un coeficiente de correlación alto ( $r = 0,47$ ) entre la calidad sensorial del café y la capacidad de intercambio catiónico del suelo para las fincas que se encuentran en la zona más alta de estudio. Este coeficiente de correlación es más bajo ( $r = 0,28$ ) en la zona media de estudio.

#### 4. Conclusiones

La mayoría de las fincas tiene suelos con pH que van de 4,50 a 5,50, encontrándose los suelos más ácidos en las zonas más altas, donde hay mayor concentración de aluminio. Por efecto de la asociación del café con árboles en sistemas agroforestales, el contenido de materia orgánica de los suelos es alto y el fósforo disponible es bajo. Los niveles de calcio y potasio son bajos y los de magnesio altos. El café de la zona de estudio fue de calidad Premium en el 50% de los casos, los atributos sensoriales tales como balance, dulzura y apreciación personal contribuyeron a mejorar la calidad sensorial del café en las zonas más altas, el mismo efecto produjo las concentraciones altas de capacidad de intercambio catiónico del suelo; así mismo, el análisis de correlación múltiple mostró que, la calidad sensorial del café está influenciada por el contenido de fósforo del suelo, capacidad de intercambio catiónico y altitud del lugar. Por lo tanto, se recomienda cultivar café encima de 1500 m de altitud y fertilizar de forma completa. En trabajos futuros se debe investigar la composición química del café verde y su relación con la calidad sensorial del café.

#### ORCID

F.R. Márquez <https://orcid.org/0000-0002-0759-3318>  
 P. Quispe <https://orcid.org/0000-0002-1685-0574>  
 N. Molleapaza <https://orcid.org/0000-0002-8881-9795>  
 S. Cabrera <https://orcid.org/0000-0003-0897-1170>  
 J. Peña <https://orcid.org/0000-0002-6909-627X>

#### Referencias bibliográficas

- Avelino, J.; Cristancho, M.; Georgiou, S.; *et al.* 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security* 7(2): 303-321.
- Barbosa, M.; Scholz, M.B.; Kitzberger, C.S.; *et al.* 2019. Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. *Food Chemistry* 292: 275-280.
- Bojórquez, E.; Escalante, C.; Echevarría, I.; *et al.* 2017. Aluminum, a Friend or Foe of Higher Plants in Acid Soils. *Front Plant Sci.* 8:1767.
- Borém, F.; Cirillo, M.; Alves, A.; *et al.* 2020. Coffee sensory quality study based on spatial distribution in the mantiqueira mountain region of Brazil. *Sensory Stud.* 35(2): 1-15.
- Caviedes, M. E. 2017. Influencia de los defectos físicos del grano de café (*Coffea arabica* L.) en el perfil de taza de los productores beneficiarios de la empresa Bio azul. Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, Cusco. Perú. 145 pp.
- Cerda, M. 2015. Evaluación de la degradación química de suelos cocaleros y propuesta de mitigación en Kimbiri, Cuzco. 2014. *Revista Investigación* 23: 57-60.
- Cerda, R.; Allinne, C.; Gary, C.; *et al.* 2017. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy* 82: 308-319.
- Duicela, L.; Velásquez, S.; Farfán, D. 2017. Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 18: 67-77.
- Eekhout, T.; Larsen, P.; De Veylder, L. 2017. Modification of DNA checkpoints to confer aluminum tolerance. *Trends Plant Sci.* 22(2): 102-105.
- Ferreira, W.; Queiroz, D.; Silvac S.; *et al.* 2016. Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of the Coffee Beverage from the Matas de Minas Region, Brazilian Southeast. *American Journal of Plant Sciences* 7(8): 1291-1303.

- Figueiredo, L.P.; Borém, F.M.; Ribeiro, F.C.; *et al.* 2018. Sensory analysis and chemical composition of 'bourbon' coffees cultivated in different environments. *Coffee Science* 13: 122-131.
- Gamonal, L.; Vallejos-Torres, G.; López, L. 2017. Sensory analysis of four cultivars of coffee (*Coffea arabica* L.), grown at different altitudes in the San Martín region - Peru. *Ciência Rural* 47(9): 1-5.
- Girma, B.; Gure, A.; Wedajo, F. 2020. Influence of Altitude on Caffeine, 5-Caffeoylquinic Acid, and Nicotinic Acid Contents of Arabica Coffee Varieties. *Journal of Chemistry* 2020: 1-7.
- Guevara, M.; Bernales, C.; Saavedra, J.; *et al.* 2019. Effect of altitude on coffee (*Coffea arabica* L.) quality: Comparison between mechanical and traditional drying. *Scientia Agropecuaria* 10(4): 505-510.
- Hameed, A.; Hussain S.A.; Suleria H. 2018. Coffee Bean-Related "Agroecological Factors Affecting the Coffee". In: Merillon JM., Ramawat K. (eds) *Co-Evolution of Secondary Metabolites*. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. Switzerland, pp 1-67.
- INEI. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario 2012, Sistema de consulta de datos versión 1.0.
- Ko, J.-G.; Jung, J.-H.; Yoon, H.H. 2017. Sensory Quality Characteristics of Colombia Coffee under Various Processing and Roasting Conditions of Green Beans. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life* 27(4): 365-377.
- Lambot, C.; Herrera, J.C.; Bertrand, B.; *et al.* 2017. Cultivating Coffee Quality-Terroir and Agro-Ecosystem. In Folmer, B. (eds) *The Craft and Science of Coffee*, pp 17-49.
- Lara, L. 2005. Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de Nicaragua. Tesis de maestría, Universidad CATIE, Turrialba, Costa Rica. 92 pp.
- Márquez, F.; Julca, A.; Canto, M.; *et al.* 2016. Environmental Sustainability in Coffee Farms After an Organic Certification Process At La Convencion (Cusco, Perú). *Ecología Aplicada* 15(2): 125-132.
- Merma, I.; Julca, A. 2012. Tipología de productores y sostenibilidad de cultivos en Alto Urubamba, La Convención-Cusco. *Scientia Agropecuaria* 3(2): 149-159.
- Odeny, D.; Chemining'wa, G.; Shibauro, S.; *et al.* 2015. Sensory Attributes of Coffee under Different Shade Regimes and Levels of Management. *Food Science and Quality Management* 46: 19-26.
- Ramos, M.F.; Ribeiro, D.E.; Cirillo, M.Â.; *et al.* 2016. Discrimination of the sensory quality of the *Coffea arabica* L. (cv. Yellow Bourbon) produced in different altitudes using decision trees obtained by the CHAID method. *Science of Food and Agriculture* 96(10): 3543-3551.
- Renard, M. 2010. In the Name of Conservation: CAFE Practices and Fair Trade in Mexico. *Journal of Business Ethics* 92: 287-299.
- Rodríguez, E.; Suárez, J.; Vega, G. 2012. Atributos sensoriales de taza en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) en el sur de Colombia. *Ingeniería & Amazonía* 5(2): 80-88.
- Rosas, J.; Escamilla, E.; Ruiz, O. 2008. Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana* 26(4): 375-384.
- SCAA. 2015. SCAA Protocols: Cupping Specialty Coffee. Published by the Specialty Coffee Association of America. Version: 16dec2015. 10 pp.
- Selmar, D.; Kleinwächter, M.; Bytof, G. 2014. Metabolic responses of coffee beans during processing and their impact on coffee flavor. In R. F. Schwan & G. H. Fleet (Eds.), *Cocoa and coffee fermentations* (pp. 431-476). Boca Raton, FL: CRC
- Sepúlveda, R.; Carrillo A. 2015. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 210: 25-35.
- Silveira, A.; Pinheiro, A.; Ferreira, W.; *et al.* 2016. Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. *Revista Ceres* 63(4): 436-443.
- Suárez, J.; Rodríguez, E.; Durán, E. 2015. Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica* 64(4): 342-348.
- Toledo, P.; Pezza L.; Pezza H.; *et al.* 2016. Relationship between the different aspects related to coffee quality and their volatile compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15(4): 705-719.
- Villatoro-Sánchez, M.; Le Bissonnais, Y.; Moussa, R.; *et al.* 2015. Temporal dynamics of runoff and soil loss on a plot scale under a coffee plantation on steep soil (Ultisol), Costa Rica. *Journal of Hydrology* 523: 409-426.