



Variabilidad y cambio climático

Artículo de investigación científica y tecnológica

Tamaño y peso de granos de café en relación con rangos altitudinales en zonas cafetaleras de Toledo, Norte de Santander (Colombia)

 José de Jesús Núñez Rodríguez^{1*},  Julio César Carvajal Rodríguez¹,

 Omaira Mendoza Ferreira¹

¹Universidad de Santander. Cúcuta, Colombia.

*Autor de correspondencia: Universidad de Santander. Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Grupo de Investigación Ciempiés, Campus Universitario, urbanización El Bosque, Av. 4 10N-61. Cúcuta, Colombia. jo.nunez@mail.udes.edu.co

Editor temático: Luis Fernando Chávez Oliveros (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 13 de febrero de 2020

Aprobado: 11 de noviembre de 2020

Publicado: 04 de junio de 2021

Para citar este artículo: Núñez Rodríguez, J., Carvajal Rodríguez, J. C., & Mendoza Ferreira, O. (2021). Tamaño y peso de granos de café en relación con rangos altitudinales en zonas cafetaleras de Toledo, Norte de Santander (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1820. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1820



Resumen

El objetivo de esta investigación fue establecer la relación del tamaño y el peso de los granos de café arábica (*Coffea arabica* L.) con respecto a cinco gradientes altitudinales, desde los 1.000 hasta los 1.800 m s. n. m., en el municipio de Toledo, departamento de Norte de Santander (Colombia). Se seleccionaron al azar cuatro fincas por gradiente y se analizaron las cosechas de 2017 y 2018, para un total de 40 observaciones. Por cada muestra se clasificaron 120 g de granos verdes según tamaño y peso con las zarandas n.º 18, 16 y 14, y se pesaron 50 granos verdes por muestra para determinar las tendencias por piso altitudinal. Los datos obtenidos se examinaron mediante análisis descriptivo, varianza y prueba t de Student. El mayor valor del tamaño de los granos retenidos en la zaranda 18 fue de 17,99 g \pm 8,16 g (piso 2) y el menor fue de 12,87 g \pm 5,30 g (piso 1); en la zaranda 16, el mayor valor fue de 87,30 g \pm 18,60 g (piso 2) y el menor fue de 62,56 g \pm 19,49 g (piso 1); en la zaranda 14, el valor mayor fue de 52,86 g \pm 18,20 g (piso 1) y el menor fue de 28,60 g \pm 10,10 g (piso 2), y en los residuos, el mayor valor correspondió al piso 5, con media de 16,03 g \pm 10,63 g, y el menor valor al piso 3, con 8,82 g \pm 3,54 g.

Palabras clave: agricultura, altitud, café, clima, rendimiento

Size and weight of coffee beans regarding altitudinal ranges in coffee-growing areas in Toledo, Norte de Santander (Colombia)

Abstract

The research objective is to establish the relationship between the size and weight of Arabica coffee beans and five altitudinal gradients, from 1,000 to 1,800 MAMSL, in the Toledo municipality, Norte de Santander, Colombia. Four farms were randomly selected per gradient, and the 2017 and 2018 harvests were analyzed, obtaining 40 observations. We classified 120 g of green beans per sample by size and weight using sieves # 18, 16, and 14, and weighed 50 green beans per sample to determine the trends by altitudinal zone. The data obtained were examined by descriptive analysis, variance, and Student's t-test. The highest value of grain size retained in sieve # 18 was 17.99 g \pm 8.16 g (Zone 2), and the lowest was 12.87 g \pm 5.30 g (Zone 1); in sieve # 16, the highest value was 87.30 g \pm 18.60 g (Zone 2), and the lowest was 62.56 g \pm 19.49 g (Zone 1); in sieve # 14 the highest value was 52.86 g \pm 18.20 g (Zone 1) and the lowest value was 28.60 g \pm 10.10 g (Zone 2). As to the residues, the highest value corresponded to floor 5 with an average of 16.03 g \pm 10.63 g, and Zone 3 obtained the lowest value with 8.82 g \pm 3.54 g.

Keywords: agriculture, altitude, climate, coffee, yield

Introducción

En América Latina, la economía del café es un legado cultural alrededor del cual se han forjado la mayoría de los pueblos de la montaña (Núñez, 2015). Sin embargo, este importante segmento socioeconómico ha comenzado a experimentar los efectos del cambio climático en su cultivo (Harvey et al., 2018; Kgosikoma et al., 2018; Sada et al., 2014). Este fenómeno medioambiental genera alteraciones en las condiciones de los ecosistemas, particularmente en las variables fisiológicas y reproductivas de las plantas (Gourdji et al., 2013; Nendel et al., 2018); migración e infestación de plagas, malezas y enfermedades (Aguirre, 2013; Čačija et al., 2017; Galindo et al., 2013; Ziska et al., 2018), y disminución en el rendimiento y la calidad de las cosechas (D'Agostino & Schlenker, 2016; Lachaud et al., 2017).

La altitud es un factor modificador de las condiciones climáticas apropiadas para el desarrollo del cultivo de café, pues la temperatura disminuye a mayor altitud. En Colombia, se presentan temperaturas de 0,61 °C/100 m en la región Andina y de 0,55-0,58 °C/100 m en las regiones Pacífico, Orinoquia y Amazonia (Jaramillo-Robledo, 2005). En relación con el cultivo de café en el país, Montoya y Jaramillo (2016) informaron que el rango de temperatura óptima está entre 18-21 °C; temperaturas por debajo de este rango prolongan el tiempo para la producción de la planta, mientras que temperaturas superiores afectan el llenado de los frutos.

La temperatura es considerada la variable climática más importante en las necesidades fisiológicas de la planta de café (Dos Santos et al., 2015); se ha evidenciado que un incremento de 1 °C en las temperaturas causa daños a los cultivos (Peltonen-Sainio et al., 2016). Asimismo, las variaciones extremas en las precipitaciones y las olas de calor ocasionan estrés fisiológico e hídrico en las plantas (Cremonese et al., 2017; Gu et al., 2016; Sun et al., 2018). Estas presiones climáticas sobre el cultivo y los caficultores impulsan el desplazamiento de las áreas tradicionales sembradas hacia gradientes altitudinales mayores en la búsqueda de mejores climas, suelos y agua (Bakri et al., 2018), que garanticen escenarios óptimos para el café (Gram et al., 2018) y una producción rentable y sostenible.

Debido a los efectos del cambio climático en los patrones de distribución y producción de los cultivos (García-Martínez et al., 2016), los caficultores han diseñado respuestas para la mitigación y la adaptación (Bakri et al., 2018) a las nuevas condiciones medioambientales, como el uso de árboles de sombra (Moreira et al., 2018; Rahn et al., 2018; Silveira et al., 2016), coberturas vegetales para la protección de los suelos (Candelaria-Martínez et al., 2014) y cambios en las faenas agrícolas de los productores (Peltonen-Sainio et al., 2016).

El efecto de mayor importancia económica y comercial del cambio climático en el cultivo de café recae sobre la calidad del grano, cuyas características físicas y químicas resultan afectadas por los déficits o los excesos de temperaturas y precipitaciones. Los incrementos de las temperaturas influyen negativamente en el rendimiento y la calidad del grano (Ramalho et al., 2018) al provocar desprendimiento de los frutos verdes y la cereza (Da Silva et al., 2017), mayor número de granos defectuosos y de bajo peso (Martins et al., 2015), modificaciones en las características y atributos sensoriales de los granos verdes y tostados (Scholz et al., 2018), y fermentaciones que afectan la calidad y seguridad de la bebida (Peixoto et al., 2017).

Asimismo, Worku et al. (2018) hacen énfasis en las complejas interacciones de la altitud, la sombra y el manejo poscosecha sobre la composición bioquímica de los granos de café arábica verde. En estudios realizados en Etiopía, Hagos et al. (2018) encontraron una correlación negativa moderada entre los contenidos de cafeína de los granos de café verde y las altitudes donde se cultivaba; es decir, a menor altitud, mayor contenido de cafeína. Por otro lado, Malau et al. (2017) hallaron una correlación positiva entre el peso de los granos verdes y la altitud en el norte de Sumatra (Indonesia), y Tolessa et al. (2016) determinaron cambios pequeños entre la altitud, la sombra y el periodo de cosecha.

En Colombia, mediante diferentes estudios, Gloria Inés Puerta Quintero evidenció que no existe relación entre la calidad de la taza de café, los suelos y la altitud (Puerta et al., 2016); no se observa asociación de menores rendimientos del café en trilla en altitudes mayores a 1.600 m s. n. m. con mayores daños por brocado y granos defectuosos en cafetales sembrados por debajo de los 1.300 m s. n. m. (Puerta-Quintero, 2016), y no se presenta influencia del café de origen, el clima, los suelos, los procesos de beneficio y la cultura cafetalera de los agricultores sobre la calidad del café colombiano (Puerta-Quintero, 2003).

El objetivo de este artículo es presentar los resultados de una investigación realizada en la zona cafetalera del municipio de Toledo (Norte de Santander) para establecer la relación del tamaño y el peso del grano de café en diferentes gradientes altitudinales, con el propósito de generar conocimiento que sirva de insumo para nuevas investigaciones y programas de transferencia tecnológica en el sector caficultor.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el municipio de Toledo, ubicado en la región centro-nororiental de Colombia, en las coordenadas 07°19'01"N y 72°28'59"O. La región posee un relieve montañoso donde se cultiva café en pequeñas y medianas extensiones y es reconocida por la calidad de su producto en los mercados internacionales (Concejo Municipal Toledo, 2016).

El abordaje metodológico corresponde a un estudio relacional cuasiexperimental, en el que el factor tratamiento fue la división en cinco gradientes altitudinales representativos de las unidades productoras de café del municipio. Las 20 fincas seleccionadas al azar en los cinco gradientes analizados siembran en sus parcelas *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), mayormente de las variedades Castillo, Colombia, Típico, Caturra y Bourbon, bajo el sistema de sombra permanente y con niveles tecnológicos medios y bajos. En el estudio se utilizó una mezcla de granos de las variedades descritas suministradas por los caficultores sin hacer distinción de cada variedad.

Para monitorear el comportamiento del tamaño de los granos de café, se diseñaron cinco intervalos de gradientes altitudinales: 1) 1.000-1.199 m s. n. m., 2) 1.200-1.399 m s. n. m., 3) 1.400-1.599 m s. n. m., 4) 1.600-1.799 m s. n. m. y 5) >1.800 m s. n. m. En cada franja altitudinal se seleccionaron cuatro unidades de análisis (fincas) al azar y se analizaron las cosechas de los años 2017 y 2018, para un total de 40 observaciones.

El beneficio del grano se realizó mediante el método húmedo con secado en patios de cemento por exposición a los rayos solares, con un promedio de 12 % de humedad. Las muestras fueron aportadas en café pergamino por los caficultores y la preparación del grano verde fue realizada por los investigadores al separar la capa del pergamino del grano por medios manuales de frotación continua, ventilación y limpieza de los granos verdes.

Las muestras de café verde fueron pesadas en una balanza electrónica. Se seleccionaron 120 gramos por muestra para su tamizado en mallas metálicas con diámetros de 7 mm (zaranda 18), 6 mm (zaranda 16) y 5 mm (zaranda 14), de acuerdo con la Resolución 5 de 2002 del Comité Nacional de Cafeteros de Colombia. Los productos del tamizado se pesaron para determinar las tendencias del tamaño por piso altitudinal y se clasificaron en granos grandes (zaranda 18), granos medianos (zaranda 16), granos pequeños (zaranda 14) y residuos o “pasilla” (< zaranda 14). Asimismo, se seleccionaron y pesaron 50 granos de café verde por muestra para determinar las tendencias de los granos por piso altitudinal.

Los datos obtenidos se examinaron mediante estimadores estadísticos descriptivos, análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de hipótesis de comparaciones múltiples con la prueba t de Student — cuando fue necesario— a través de las ecuaciones 1 (ANOVA) y 2 (primer contraste de hipótesis).

$$y_{ij} = \mu + \beta_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t \quad j = 1, 2, 3, \dots, r \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde y_{ij} = respuesta observada en el i -ésimo nivel del tratamiento o factor en su j -ésima observación o repetición; μ = media poblacional de la respuesta estimada por la media muestral \bar{y} .; β_i = efecto sobre la respuesta del i -ésimo nivel del tratamiento o factor en estudio; ε_{ij} = error aleatorio asociado a cada respuesta y_{ij} y asumido normal e independiente con media cero y varianza común sigma cuadrada $\varepsilon_{ij} \sim NID(0; \sigma^2)$.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad (i \neq j) \quad \text{Ecuación 2}$$

La hipótesis nula H_0 indica que, independientemente del piso donde sea cosechado el café, las medias de tamaño y peso de los granos son iguales; es decir, no existen diferencias significativas entre las medias de tamaño y peso de granos para todos los pisos altitudinales. La hipótesis alterna H_1 supone que al menos dos medias difieren significativamente en los diversos pisos altitudinales.

Resultados y discusión

Tendencias del tamaño de los granos por piso altitudinal

Las características físicas de tamaño de los granos, determinadas a partir de las muestras de café verde (n=120 g/piso altitudinal) tamizadas, se presentan en la tabla 1 y la figura 1.

Tabla 1. Distribución de tamaños de grano de café verde por piso altitudinal

Tamaño del grano	Piso altitudinal	Media (g)	Desviación (g)	Intervalo de confianza (95 %)
Grandes (zaranda 18)	1	12,87	5,30	4,32-12,35
	2	17,99	8,16	2,62-34,51
	3	16,84	5,22	4,26-24,24
	4	14,38	9,73	0,00-13,18
	5	15,37	5,44	5,35-24,14
Medianos (zaranda 16)	1	62,56	19,49	36,99-80,16
	2	87,30	18,60	58,65-84,69
	3	83,19	17,59	53,13-96,74
	4	83,15	20,98	46,49-83,72
	5	70,56	7,06	54,59-79,96
Pequeños (zaranda 14)	1	52,86	18,20	25,31-66,12
	2	28,60	10,10	6,57-49,44
	3	35,47	16,23	6,30-52,30
	4	33,24	11,26	23,38-58,23
	5	39,05	17,98	7,55-49,37
Residuos (< zaranda 14)	1	15,87	5,71	25,31-66,12
	2	9,04	3,02	6,57-49,44
	3	8,82	3,54	6,30-52,30
	4	12,72	5,42	23,38-58,23
	5	16,03	10,68	7,55-49,37

Fuente. Elaboración propia

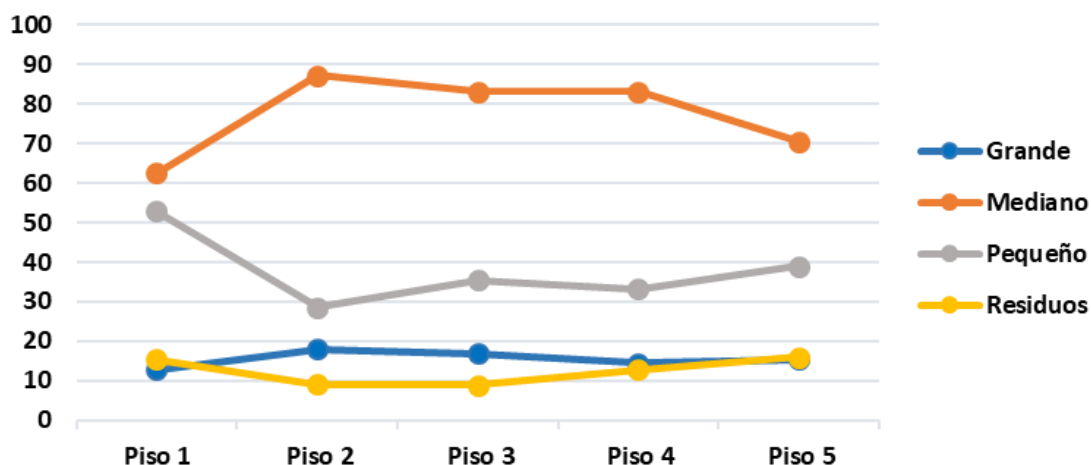


Figura 1. Distribución de tamaños de los granos de café verde por piso altitudinal.

Fuente: Elaboración propia

La distribución de tamaños de los granos por piso altitudinal, en orden descendente, evidencia que en el piso 1 (1.000-1.199 m s. n. m.) los granos medianos presentan una media de 62,56 g \pm 19,49 g; los pequeños, de 52,86 g \pm 18,20 g; los residuos, de 15,07 g \pm 5,71 g, y los grandes, de 12,87 g \pm 5,30 g. En este gradiente se observan los menores valores de granos grandes y medianos y el mayor volumen de granos pequeños con respecto a los otros pisos altitudinales.

En el piso altitudinal 2 (1.200-1.399 m s. n. m.), las medias de tamaño de granos indican que los medianos presentan el mayor peso con 87,30 g \pm 18,60 g; los pequeños tienen 28,60 g \pm 10,10 g; los grandes, 17,99 g \pm 8,16 g, y los residuos, 9,04 g \pm 3,02 g. En este gradiente se observa el mayor valor de granos medianos con respecto a los demás gradientes altitudinales estudiados.

La distribución de los tamaños de granos en el piso 3 (1.400-1.599 m s. n. m.) muestra que los granos medianos tienen un peso promedio de 83,19 g \pm 17,59 g; los pequeños, de 35,47 g \pm 16,23 g; los grandes, de 16,84 g \pm 5,22 g, y los residuos, de 8,82 g \pm 3,54 g.

En el gradiente altitudinal 4 (1.600-1.799 m s. n. m.), los granos medianos evidencian un peso promedio de 83,15 g \pm 20,98 g; los pequeños, de 33,24 g \pm 11,26 g; los grandes, de 14,38 g \pm 9,73 g, y los residuos, de 12,72 g \pm 5,42 g.

Finalmente, en el gradiente altitudinal 5 (>1.800 m s. n. m.), la distribución del tamaño presenta granos medianos con un peso promedio de 70,56 g \pm 7,06 g; pequeños con 39,05 g \pm 17,98 g; residuos con 16,03 g \pm 10,68 g, y grandes con 15,37 g \pm 5,44 g. En este gradiente se observa el mayor valor de granos residuos de los cinco pisos altitudinales analizados.

Según el ANOVA, en los tres tamaños de granos verdes se aceptaron las hipótesis nulas; es decir, las medias de los pesos de los tamaños son iguales entre los diversos pisos altitudinales. No obstante, en

las pruebas de hipótesis entre los pisos altitudinales se hallaron diferencias significativas para los tamaños de granos grandes, medianos, pequeños y residuos (tabla 2, figura 2).

Tabla 2. Comparación de las medidas del tamaño de grano de café verde

Tamaño del grano	Media (g)	Mediana (g)	Desviación (g)	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (g)	Máximo (g)	Intervalo de confianza (95 %)
Grande	12,45	10,21	7,25	58,27	0,00	30,77	9,05-15,84
Mediano	67,51	67,65	11,59	17,16	39,88	91,35	62,09-72,93
Pequeño	34,46	37,10	13,82	40,10	14,34	64,16	27,99-40,92
Residuos	14,09	12,82	7,30	51,78	6,38	36,85	10,67-17,50

Fuente: Elaboración propia

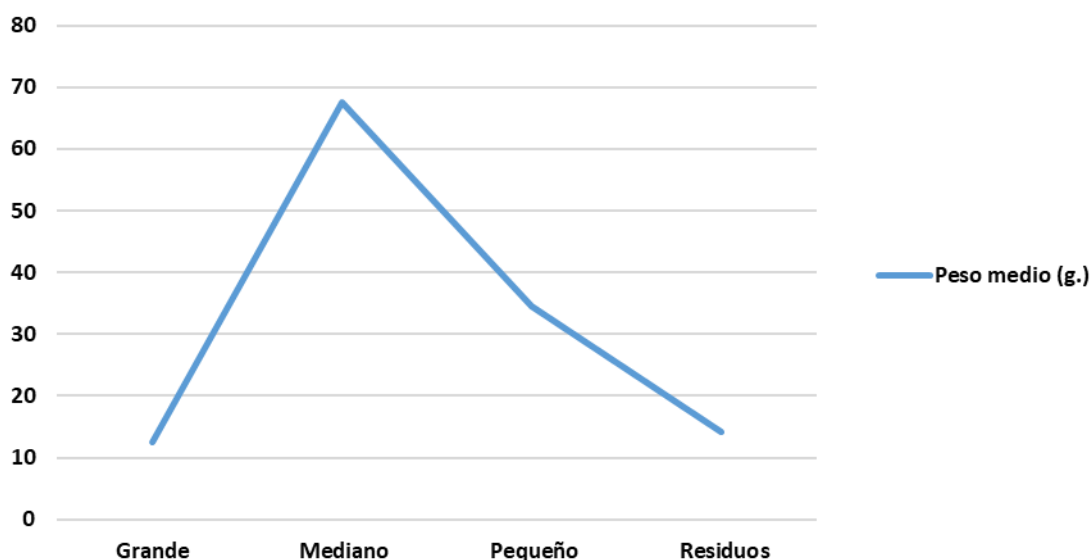


Figura 2. Comparación del peso del tamaño de los granos entre los pisos altitudinales.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los pesos para cada tamaño de grano, incluyendo los residuos, evidenció que el mayor peso se registra en el grano de tamaño mediano (67,51 g) y el menor corresponde al grano grande (12,45 g). La mediana indica que, en el grano mediano, el 50 % de los pesos fueron inferiores a 67,65 g y el 50 % de los pesos restantes se situaron por encima de dicho valor. En la variabilidad se observó disparidad; la más homogénea se dio en el grano mediano con 17,16 %. El coeficiente de variación mayor fue de 58,27 % y corresponde a los granos de tamaño grande, lo que denota alta heterogeneidad. Para los residuos, el 51,78 % de la variabilidad fue alto, debido a que contienen

muchas impurezas y restos de los granos que pasaron por la zaranda 13 (5 mm), y resultaron diferentes para cada piso altitudinal.

Estos hallazgos concuerdan con los obtenidos por Fischer y Victor (2014) en Guatemala, quienes establecieron que la producción de café de alta calidad se ubica sobre los 1.372 m de altura, de manera que las áreas bajas son apropiadas para la producción de otros rubros agrícolas. Las pulsiones climáticas presionan las migraciones altitudinales desde áreas agrícolas convertidas en marginales hacia ecosistemas con mejores condiciones de suelos, agua y clima (De Sherbinin et al., 2012; Hsiung et al., 2018; Ocampo López & Álvarez-Herrera, 2017).

Asimismo, en su estudio sobre las interacciones entre la altitud y la calidad de los granos de café, Do Carmo et al. (2020) analizaron la correlación entre ambas variables y los métodos de secado, y encontraron que los frutos de café cosechados a 1.050 m s. n. m. tienen atributos sensoriales superiores a los cultivados a 850 m s. n. m., lo que evidencia una correspondencia positiva entre la altitud y la calidad del grano. En otros estudios, Bodner et al. (2019) hallaron una interacción significativa con alta influencia en la calidad entre la altitud en la que se cosechan los frutos y el nivel de tostado de los granos, y, al estudiar la composición de ácidos grasos, Tsegay et al. (2020) encontraron una relación inversamente proporcional entre la altitud y el contenido de ácidos grasos.

En Perú, Guevara-Sánchez et al. (2019) compararon dos métodos de secado (tradicional y mecánico) con la altitud y no encontraron influencia de esta en la calidad del grano (tamaño y humedad). Por su parte, Torres (2018) determinó que, en variedades de café arábica, la humedad del grano disminuye con la altitud, mientras que los contenidos de cascarillas (residuos) aumentan y las cualidades sensoriales del grano mejoran a mayores alturas. Por otro lado, Paima (2019) halló la presencia de granos de mayor tamaño en partes altas, mayor porcentaje de granos defectuosos en zonas bajas y los mayores rendimientos en las zonas medias (1.150 m s. n. m.).

En el ámbito fitosanitario, Asfaw et al. (2019) establecieron, tras una evaluación sobre la infestación de la broca del café en diferentes pisos altitudinales, que los daños a los frutos, el número de orificios por fruto y el número de insectos adultos fueron menores en pisos medios y altos. Es decir, los efectos de la plaga son más intensos en zonas cultivadas con mayores temperaturas.

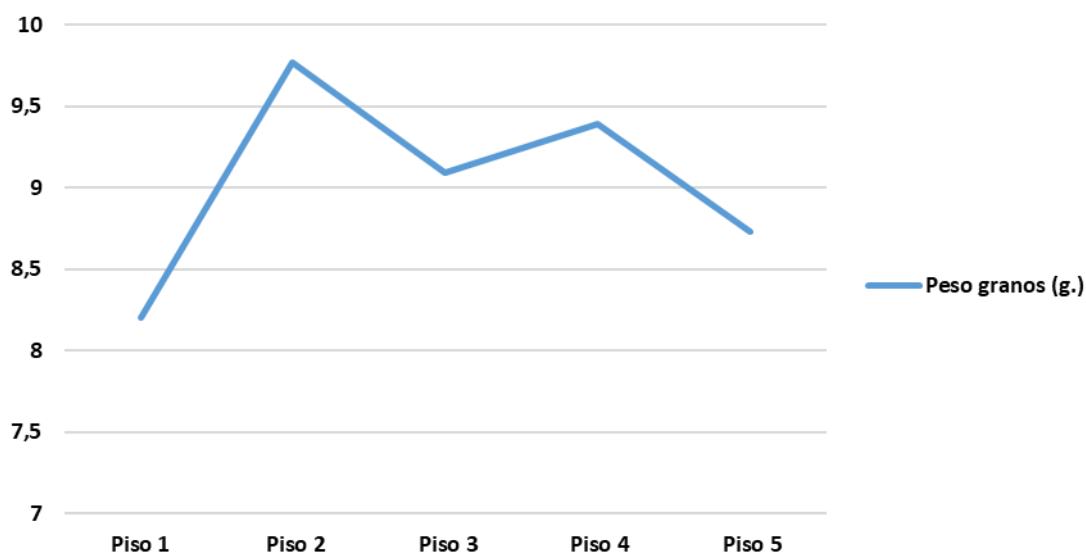
Tendencias de peso de los granos por piso altitudinal

En las variaciones del peso de los granos (n=50 granos/piso altitudinal) para los gradientes altitudinales se determinaron diferencias significativas entre los cinco pisos (tabla 3, figura 3).

Tabla 3. Peso de los granos de café por piso altitudinal

Peso de 50 granos verdes	Media (g)	Mediana (g)	Desviación (g)	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Intervalo de confianza (95 %)
Piso 1	8,20	7,74	1,0772	13,13	7,52	9,81	6,49-9,92
Piso 2	9,77	9,68	0,4281	4,38	9,40	10,32	9,09-10,45
Piso 3	9,09	9,00	0,5916	6,51	8,54	9,81	8,14-10,03
Piso 4	9,39	9,43	0,3413	3,63	9,00	9,71	8,85-9,93
Piso 5	8,73	9,00	0,5294	6,06	8,12	9,07	7,41-10,05

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.** Peso de los granos de café por piso altitudinal.

Fuente: Elaboración propia

Según los datos reportados, se puede observar que las medias de los pesos de granos verdes indican que el mayor valor se encuentra en el piso 2 (9,77 g) y el valor más bajo en el piso 1 (8,20 g). En cuanto a la variación, se aprecia una moderada diferencia con excepción del piso 1, donde el coeficiente de variación fue de 13,13 %. La menor variación se encontró en el piso 3, con 3,63 %.

En el ANOVA, el rechazo de la hipótesis nula permite inferir que las medias de los pesos difieren en al menos dos pisos altitudinales. Se observó que el café, al ser cosechado en los diferentes pisos altitudinales, produce granos que difieren significativamente al 5 % en sus pesos medios.

La prueba de comparación múltiple de medias o *t* de Student determinó que existen dos grupos homogéneos dentro de los cuales las medias no difieren significativamente unas de otras. Los pesos de los granos cosechados en los pisos 2, 4, 3 y 5 se ubican en el primer grupo homogéneo, en tanto que los pisos 1, 3 y 5 conforman el segundo grupo —el solapamiento en los grupos es natural en esta prueba—. En el primer grupo se encontraron los pisos que generan los mayores y mejores pesos. Estos resultados confirman los hallazgos encontrados en la clasificación de los granos por tamaño de los cinco pisos altitudinales estudiados.

Los resultados de las variaciones en las características físicas de peso y tamaño de los granos de café verde son coherentes con los resultados de Malau et al. (2017), quienes hallaron una correlación positiva entre el peso y la altitud; Scholz et al. (2018), quienes analizaron la influencia de las condiciones ambientales en la alteración de las características y los atributos del café verde; Alfaro (2015), quien encontró incrementos significativos de la densidad aparente y real de los granos de café oro (café verde) a mayores alturas en Costa Rica, y Martins et al. (2015), quienes informaron que el déficit hídrico y la temperatura son los factores que más intervienen en el rendimiento del café.

En estudios sobre el comportamiento del café ante las variaciones climáticas, Pham et al. (2019) reportaron que los cambios climáticos influyen negativamente en el rendimiento y generan la pérdida de áreas óptimas de cultivo. Torres et al. (2020) y Asfaw et al. (2019) evidenciaron que, a mayores temperaturas, los ataques de broca y roya del café tienen importancia económica, por lo que el desplazamiento de las zonas productoras de café hacia pisos altitudinales superiores constituye una barrera natural para la mitigación de los efectos del cambio climático en la producción del café.

Conclusiones

Los resultados evidenciaron que, en la distribución por tamaño, el mayor valor de los granos retenidos en la zaranda 18 fue de $17,99 \text{ g} \pm 8,16 \text{ g}$ (piso 2) y el menor fue de $12,87 \text{ g} \pm 5,30 \text{ g}$ (piso 1); en la zaranda 16, el mayor valor fue de $87,30 \text{ g} \pm 18,60 \text{ g}$ (piso 2) y el menor fue de $62,56 \text{ g} \pm 19,49 \text{ g}$ (piso 1); en la zaranda 14, el mayor valor fue de $52,86 \text{ g} \pm 18,20 \text{ g}$ (piso 1) y el menor valor fue de $28,60 \text{ g} \pm 10,10 \text{ g}$ (piso 2), y en los residuos o “pasilla”, el mayor valor correspondió al piso 5, con media de $16,03 \text{ g} \pm 10,63 \text{ g}$, y el menor valor al piso 3, con $8,82 \text{ g} \pm 3,54 \text{ g}$.

Los pesos por piso altitudinal indicaron que los mayores valores se registraron en los pisos 2 ($9,77 \text{ g} \pm 0,42 \text{ g}$), 3 ($9,09 \text{ g} \pm 0,59 \text{ g}$) y 4 ($9,39 \text{ g} \pm 0,34 \text{ g}$), mientras que los menores valores se presentaron en los pisos 1 ($8,20 \text{ g} \pm 1,07 \text{ g}$) y 5 ($8,73 \text{ g} \pm 0,52 \text{ g}$). En el análisis de varianza se hallaron diferencias significativas al 5 % entre los pisos altitudinales para los tamaños de granos de café grandes, medianos, pequeños y residuos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al ingeniero Javier Flores Medina, presidente de la Asociación de Lecheros de San Bernardo de Bata (Alsaber) del municipio de Toledo, por su excelente apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Descargos de responsabilidad

El estudio fue financiado por la Universidad de Santander y la Alsaber. Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, declaran estar de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Aguirre, Y. (2013). El desplazamiento de los pisos térmicos y el lenguaje semiótico de las plantas como una expresión de su estrés biológico: dos imaginarios sociales de la población caldense sobre los efectos generados por el cambio climático. *Revista Luna Azul*, 36, 55-69. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1659>
- Alfaro, V. (2015). *Efectos de la altitud sobre las características físicas y organolépticas del café de la zona de Los Santos* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio del SIBDI-UCR. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2944>
- Asfaw, E., Mendesil, E., & Mohammed, A. (2019). Altitude and coffee production systems influence extent of infestation and bean damage by the coffee berry borer. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52(1-2), 170-183. <https://doi.org/10.1080/03235408.2019.1594541>
- Bakri, S., Setiawan, A., & Nurhaida, I. (2018). Coffee bean physical quality: the effect of climate change adaptation behavior of shifting up cultivation area to a higher elevation. *Biodiversitas*, 19(2), 413-420. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190208>
- Bodner, M., Morozova, K., Kruathongsri, P., Thakeow, P., & Scampicchio, M. (2019). Effect of harvesting altitude, fermentation time and roasting degree on the aroma released by coffee powder monitored by proton transfer reaction mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, 245, 1499-1506. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03281-5>
- Čačija, M., Kozina, A., Basrčić, J., & Bažok, R. (2017). Linking climate change and insect pest distribution: an example using *Agriotes ustulatus* Shall. (Coleoptera: Elateridae). *Agricultural and Forest Entomology*, 20(2), 288-297. <https://doi.org/10.1111/afe.12259>
- Candelaria-Martínez, B., Ruiz-Rosado, O., Pérez-Hernández, P., Gallardo-López, F., Vargas-Villamil, L., Martínez-Becerra, A., & Flota-Bañuelos, C. (2014). Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(73), 87-104. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.CDR11-73.sdsm>
- Concejo Municipal Toledo. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial. Municipio de Toledo. Unidos para avanzar 2016-2019*. https://toledonortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/toledonortedesantander/content/files/000003/120_acuerdounidosparaavanzartoledo_3.pdf
- Cremonese, E., Filippa, G., Galvagno, M., Siniscalco, C., Oddi, L., Morra di Cella, U., & Migliavacca, M. (2017). Heat wave hinders green wave: the impact of climate extreme on the phenology of a mountain grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 320-330. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.016>
- Da Silva, F., Da Silva, F., Sales, R., Ferraz, G., & De Barros, M. (2017). Meteorological variables and soil moisture in the detachment force coffee fruit. *Coffee Science*, 12(4), 480-485. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v12i4.1351>

- D'Agostino, A., & Schlenker, W. (2016). Recent weather fluctuations and agricultural yields: implications for climate change. *Agricultural Economics*, 47(S1), 159-171. <https://doi.org/10.1111/agec.12315>
- De Sherbinin, A., Levy, M., Adamo, S., MacManus, K., Yetman, G., Mara, V., Razafindrazay, L., Goodrich, B., Srebotnjak, T., & Aichele, C. (2012). Migration and risk: net migration in marginal ecosystems and hazardous areas, England. *Environmental Research Letters*, 7, 1-14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045602>
- Do Carmo, K., Do Carmo, J., Krause, M., Moreli, A., & Lo Monaco, P. (2020). Quality of arabic coffee under different processing systems, drying methods and altitudes. *Bioscience Journal*, 36(4), 1116-1125. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-47890>
- Dos Santos, C. A., Leitao, A. E., Pais, I. P., Lidon, F. C., & Ramalho, J. C. (2015). Perspectives on the potential impacts of climate changes on coffee plant and bean quality. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(2), 152-163. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i2.19468>
- Fischer, E., & Victor, B. (2014). High-end coffee and smallholding growers in Guatemala. *Latin American Research Review*, 49(1), 155-177. <https://doi.org/10.1353/lar.2014.0001>
- Galindo, L., Villegas, C., Mantilla, J., Gilligan, T., & Flórez, C. (2013). Lepidópteros perforadores de los frutos del café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 434, 1-8. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/471/1/avt0434.pdf>
- García-Martínez, Y., Ballesteros, C., Bernal, H., Villarreal, O., Jiménez-García, L., & Jiménez-García, D. (2016). Traditional agroecosystems and global change implications in Mexico. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 22(4), 548-565. <https://www.agrojournal.org/22/04-05.pdf>
- Gourdji, S., Sibley, A., & Lobell, D. (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024041>
- Gram, G., Vaast, P., Van der Wolf, J., & Jassogne, L. (2018). Local tree knowledge can fast-track agroforestry recommendations for coffee smallholders along a climate gradient in Mount Elgon, Uganda. *Agroforestry Systems*, 92, 1625-1638. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0111-8>
- Gu, L., Pallardy, S., Hosman, K., & Sun, Y. (2016). Impacts of precipitation variability on plant species and community water stress in a temperate deciduous forest in the central US. *Agricultural and Forest Meteorology*, 217, 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.014>
- Guevara-Sánchez, M., Bernal, C., Saavedra-Ramírez, J., & Owaki-López, 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. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.07>
- Hagos, M., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B., Ele, E., Mohammed, A., & Mamo, H. (2018). Correlation between caffeine contents of green coffee beans and altitudes of the coffee plants grown in southwest Ethiopia. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 32(1), 13-25. <https://doi.org/10.4314/bcse.v32i1.2>
- Harvey, C., Saborio-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M., Viguera, B., Chain-Guadarrama, A., Vignola, R., & Alpizar, F. (2018). Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture & Food Security*, 7, 57. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>

- Hsiung, A., Boyle, W., Cooper, R., & Chandler, R. (2018). Altitudinal migration: ecological drivers, knowledge gaps, and conservation implications. *Biological Reviews*, 93(4), 2049-2070. <https://doi.org/10.1111/brv.12435>
- Jaramillo-Robledo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/1/Portada.pdf>
- Kgosikoma, K., Lekota, P., & Kgosikoma, O. (2018). Agro-pastoralists' determinants of adaptation to climate change. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(3), 488-500. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2017-0039>
- Lachaud, M., Bravo-Ureta, B., & Ludena, C. (2017). Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects. *Climatic Change*, 143, 445-460. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2013-1>
- Malau, S., Siagian, A., Sirait, B., & Pandiangan, S. (2017). Performance of coffee origin and genotype in organoleptic and physical quality of arabica coffee in North Sumatra Province of Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 237(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/237/1/012035>
- Martins, E., Aparecido, L., Santos, L., Mendonça, J., & De Souza, P. (2015). Weather influence in yield and quality coffee produced in South Minas Gerais region. *Coffee Science*, 10(4), 499-506. <http://doi.org/10.25186/cs.v10i4.959>
- Montoya, E., & Jaramillo, A. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café. *Revista Cenicafé*, 67(2), 58-65. <https://www.cenicafe.org/es/publications/4.Efecto.pdf>
- Moreira, S., Pires, C., Marcatti, G., Santos, R., Imbuzeiro, H., & Fernandes, R. (2018). Intercropping of coffee with the palm tree, *macauba*, can mitigate climate change effects. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257, 379-390. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.026>
- Nendel, C., Rötter, R., Thorburn, P., Boote, K., & Ewert, F. (2018). Editorial. Introduction to the Special Issue "Modelling cropping systems under climate variability and change: impacts, risk and adaptation". *Agricultural Systems*, 159, 139-143. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.005>
- Núñez, J. (2015). Tejido rural fronterizo: una tipología de campesinos tachirenses. En Universidad Pedagógica Experimental Libertador (Ed.), *Tejido social fronterizo* (pp. 251-266). Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Ocampo López, O., & Álvarez-Herrera, L. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- Paima, J. (2019). *Influencia de tres pisos altitudinales en las características físicas y sensoriales del café (Coffea arabica L.) variedad Catimor en los distritos de Lamas y Alonso de Alvarado Roque* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3236>
- Peixoto, J., Nunes, M., Baliza, D., Pereira, S., & Rosa, B. (2017). Family coffee and good agricultural practices in Bom Sucesso - MG. *Coffee Science*, 12(3), 365-373. <https://doi.org/10.25186/cs.v12i3.1298>
- Peltonen-Sainio, P., Pirinen, P., Mäkelä, H., Hyvärinen, O., Huusela-Veistola, E., Ojanen, H., & Venäläinen, A. (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal

- agriculture: I Elevated temperatures. *Agricultural and Food Science*, 25(1), 44-56. <https://doi.org/10.23986/afsci.51465>
- Pham, Y., Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*, 156, 609-630. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>
- Puerta-Quintero, G. (2003). Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia. *Avances Técnicos de Cenicafé*, 316, 1-8, https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/4.pdf
- Puerta-Quintero, G. (2016). Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. *Revista Cenicafé*, 67(1), 7-40. <https://www.cenicafe.org/es/publications/1.Calidad.pdf>
- Puerta, G., González, F., Correa, A., Álvarez, I., Ardila, J., Girón, O., Ramírez, C., Baute, J., Sánchez, P., Santamaría, M., & Montoya, D. (2016). Diagnóstico de la calidad del café según la altitud, suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Revista Cenicafé*, 67(2), 15-51. <https://www.cenicafe.org/es/publications/2.Diagnostico.pdf>
- Rahn, E., Liebig, T., Ghazoul, J., Van Asten, P., Läderach, P., Vaast, P., Sarmiento, A., Garcia, C., & Jassogne, L. (2018). Opportunities for sustainable intensification of coffee agro-ecosystems along an altitudinal gradient on Mt. Elgon, Uganda. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 263, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.019>
- Ramalho, J., Pais, I., Leitão, A., Guerra, M., Reboredo, F., Máguas, C., Carvalho, M., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A., Lidon, F., & DaMatta, F. (2018). Can elevated air [CO₂] conditions mitigate the predicted warming impact on the quality of coffee bean? *Frontiers in Plant Science*, 9, 287. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00287>
- Resolución 5 de 2002. "Por medio de la cual se modifica la Resolución No. 02 de 2002 del Comité Nacional de Cafeteros". Comité Nacional de Cafeteros de Colombia. <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/RESOL5-2002.pdf>
- Sada, R., Shrestha, A., Kumar, A., & Melsen, L. (2014). People's experience and facts of changing climate: impacts and responses. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 6(1), 47-62. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2013-0047>
- Scholz, M. B., Kitzberger, C. S., Prudencio, S. H., & Da Silva, R. S. (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>
- Silveira, H., Santos, M., Silva, V., Venturin, R., Volpato, M., Dantas, M., Carvalho, G., Setotaw, T., Moreira, F., Barbosa, J., & De Resende, M. (2016). Impacts of water deficit in ecophysiological and spectral responses of coffee intercropped with woody species. *Coffee Science*, 11(3), 318-328. <http://doi.org/10.25186/cs.v11i3.1085>
- Sun, T., Hasegawa, T., Tang, L., Wang, W., Zhou, J., Liu, L., Liu, B., Cao, W., & Zhu, Y. (2018). Stage-dependent temperature sensitivity function predicts seed-setting rates under short-term extreme heat stress in rice. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257, 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.006>
- Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2016). 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>

- Torres, Y. (2018). *Calidad física y sensorial de dos variedades de café (Coffea arábica, L.), cultivados en dos pisos altitudinales producidos en el distrito de Inkawasi - Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Unajma. <http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/420>
- Torres, N., Melchor-Martínez, E., Ochoa, J., Ramírez-Mendoza, R., Parra-Saldívar, R., & Iqbal, H. (2020). Impact of climate change and early development of coffee rust –An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. *Science of the Total Environment*, 738, 140225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140225>
- Tsegay, G., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B., Ele, E., Mohammed, A., & Mamo, H. (2020). Effect of altitude of coffee plants on the composition of fatty acids of green coffee beans. *BMC Chemistry*, 14, 36. <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00688-0>
- 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>
- Ziska, L., Bradley, B., Wallace, R., Barger, C., LaForest, J., Choudhury, R., Garrett, K., & Vega, F. (2018). Climate change, carbon dioxide, and pest biology, managing the future: coffee as a case study. *Agronomy*, 8(8), 152. <https://doi.org/10.3390/agronomy8080152>