

Atributos físicos y fisiológicos de las semillas de café (*Coffea arabica* L).

Physical and physiological attributes of coffee seeds (*Coffea arabica* L).

Claudia Andrea Vidal-Tejeda¹, Alberto Julca-Otiniano²,
Viviana Castro-Cepero³, Leonel Alvarado-Huaman⁴,
Ricardo Roberto Borjas-Ventura⁵



Siembra 10 (2) (2023): e4523

Recibido: 27/04/2023 Revisado: 18/05/2023 / 19/06/2023 Aceptado: 17/08/2023

- ¹ Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, Perú.
✉ cvidaltejeda@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-7675-8285>
- ² Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, Perú.
✉ ajo@lamolina.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-3433-9032>
- ³ Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, Perú.
✉ vcastro@lamolina.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-8747-2665>
- ⁴ Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, Perú.
✉ lealvarado@lamolina.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-2121-2454>
- ⁵ Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, Perú.
✉ rborjas@lamolina.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-7819-1810>

*Autor de correspondencia:
rborjas@lamolina.edu.pe

Resumen

El café es una de las bebidas más consumidas y comercializadas a nivel mundial, y además la fuente de sustento para millones de personas. El conocimiento de las características físicas es esencial para el diseño y fabricación de equipos para el beneficio del grano. Este trabajo se realizó en el laboratorio de semillas de la Universidad Nacional Agraria La Molina usando 12 accesiones de *Coffea arabica*. En cada material genético se cuantificaron las características físicas y fisiológicas, como el diámetro polar, ecuatorial y el grosor, así también el diámetro aritmético, diámetro geométrico, grado de esfericidad, área superficial, volumen y porcentaje de germinación. Los resultados indicaron que UNACAF-172 y UNACAF-146 mostraron mayor diámetro polar, aritmético y geométrico. Además, presentaron mayor área superficial, volumen y peso de plántula. Al contrario, estas mismas accesiones tuvieron menor porcentaje de germinación. Asimismo, UNACAF-119 y UNACAF-90 mostraron bajos atributos físicos, aunque alto porcentaje de germinación y bajo peso de plántulas. En conclusión, el componente genético tiene un papel importante en los atributos físicos y fisiológicos de las semillas de café.

Palabras clave: accesión, cultivares, germinación, tamaño de semilla.

Abstract

Coffee is one of the most consumed and traded beverages worldwide and also the source of livelihood for millions of people. Knowledge of physical characteristics is essential for the design and manufacture of equipment for processing of coffee beans. This work was carried out in the seed laboratory of the Universidad Nacional Agraria La Molina using 12 accessions of *Coffea arabica*. In each genetic material, physical and physiological characteristics were quantified such as polar and equatorial diameter, and thickness, as well as arithmetic diameter, geometric diameter, degree of sphericity, surface area, volume and percentage of germination/volume and germination percentage. The results indicated that UNACAF-172 and UNACAF-146 showed greater polar, arithmetic and geometric diameter. In addition, they showed greater surface area, volume and seedling weight. On the contrary, these same accessions had a lower germination percentage. Similarly, UNACAF-119 and UNACAF-90 showed low physical

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

ISSN: 1390-8928

Periodicidad: semestral

vol. 10, núm 2, 2023

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.4523>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

attributes, although high germination percentage and low seedling weight. In conclusion, the genetic component plays an important role in the physical and physiological attributes of coffee seeds.

Keywords: Accession, cultivars, germination, seed size.

1. Introducción

El café es uno de los productos más consumidos después del agua (Preedy, 2015); en efecto, se consume una media de 2,25 billones de tazas de café diariamente en el mundo (Dadi et al., 2018; Jiménez-Zamora et al., 2015). Perú es uno de los principales países productores de café de la especie arábica. Asimismo, es el primer producto agrícola tradicional de exportación y es fuente de empleo para más de dos millones de peruanos en toda la cadena agroproductiva (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022). En las zonas productoras es un importante medio de vida de 230 mil familias (Junta Nacional del Café [JNC], 2020).

Respecto al beneficio del grano de café, el conocimiento del tamaño, la forma y las propiedades físicas son esenciales para el diseño y fabricación de equipos de clasificación, procesamiento y empaque (Tabatabaefar, 2003; Tabatabaefar y Rajabipour, 2005). Existen estudios sobre las características físicas en sandía (Koocheki et al., 2007), en cacao (Bart y Baryeh, 2003), en quinua (Jan et al., 2019), maíz (Pérez Mendoza et al., 2006), alcaparras (Dursun y Dursun, 2005), algarrobo (Olajide y Ade-Omowaye, 1999), sésamo (Tunde-Akintunde y Akintunde, 2004) y soya (Moreano et al., 2013). Sin embargo, aún son escasos los trabajos con cultivares de café (Saparita et al., 2019; Tesfa et al., 2019; El-Gendy et al., 2011; Dias, 2007), limitando de esta forma el diseño de equipos apropiados para el procesamiento del café, lo que es una amenaza importante para la calidad de esta bebida.

Por otra parte, la calidad fisiológica es la capacidad que tiene la semilla para germinar, emerger y desarrollar plantas vigorosas y uniformes, cualidades esenciales para la toma de decisiones porque proporcionan información necesaria a productores de semillas y plántulas de café sobre la particularidad de la germinación y el vigor de cada cultivar (Reis et al., 2010). Asimismo, la calidad fisiológica puede estar directamente relacionada con los materiales genéticos estudiados (Alixandre et al., 2021). Además, esta característica puede ser usada para medir la tolerancia de la planta a ciertos estreses abióticos, como la falta de agua (Nijabat et al., 2023) y salinidad (Rosas et al., 2019).

Como se mencionó, tanto las características físicas como fisiológicas de las semillas en general, y particularmente la del café, están directamente relacionadas con los cultivares y con el clima donde ellos crecen. Por ello, es importante evaluar constantemente estos atributos con el objetivo de proporcionar a los agricultores mayores herramientas para que mejoren el manejo de sus cafetales.

2. Materiales y Métodos

Este trabajo se realizó en el laboratorio de semillas de la Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM], Lima, Perú. El material vegetal utilizado fue semillas de *Coffea arabica* provenientes del banco de germoplasma de café de la UNALM, coordenadas geográficas 75°21'8.17" longitud oeste y 11°5'43.84" latitud sur, ubicado en la provincia de Chanchamayo, región de Junín, que presenta una temperatura y precipitación de 21-24 °C y 1829 mm año⁻¹ (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2019), respectivamente.

Los tratamientos estuvieron formados por las semillas de las accesiones de café UNACAF-24a, UNACAF-90, UNACAF-97, UNACAF-115, UNACAF-119, UNACAF-132, UNACAF-134, UNACAF-143, UNACAF-146, UNACAF-151, UNACAF-172 y UNACAF-202, las cuales fueron colectadas de cerezas completamente maduras (Tabla 1 y Figura 1). Después de la cosecha, las cerezas se despulparon manualmente para no dañarlas. También se retiró el pergamino de las semillas y luego se seleccionaron 50 semillas frescas de cada accesión para pesarlas y determinar sus características físicas.

Se cuantificaron características físicas como el diámetro polar (L, mm), el diámetro ecuatorial de la semilla (A, mm) y el espesor (W, mm) de cada semilla. Con estas variables se calcularon otros índices, como diámetro aritmético (mm) (ecuación [1]), diámetro geométrico (mm) (ecuación [2]), grado de esfericidad (%) (ecuación [3]), área de superficie (mm²) (ecuación [4]), volumen (mm³) (ecuación [5]), (Mohsenin, 1971).

Tabla 1. Accesiones de café del banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
Table 1. Coffee accessions from the germplasm bank of the La Molina National Agrarian University.

Accesión	Cultivar	Peso de 50 semillas frescas (g)	Origen
UNACAF-172	Borbón rojo	17,50	Cuzco
UNACAF-146	Villa Sarchí	12,70	Cuzco
UNACAF-202	Brasilero	13,60	Huánuco
UNACAF-134	Pache	11,57	Cajamarca
UNACAF-115	Pache	11,72	San Martín
UNACAF-97	Típica	11,40	Piura
UNACAF-24a	Típica	11,90	Chanchamayo
UNACAF-151	Típica	9,67	Cuzco
UNACAF-132	Típica	9,99	Amazonas
UNACAF-143	Geisha	11,40	Cuzco
UNACAF-119	Típica	9,70	San Martín
UNACAF-90	Colombia	9,30	Piura



Figura 1. Semillas germinadas utilizadas para este ensayo.
Figure 1. Germinated seeds used for this trial.

$$\left[\frac{(L + A + W)}{3} \right] \quad [1]$$

$$\left[(L * A * W)^{1/3} \right] \quad [2]$$

$$\left[\frac{(L * A * W)^{1/3}}{L} \right] \quad [3]$$

$$\left[\pi * \left((L * A * W)^{1/3} \right)^2 \right] \quad [4]$$

$$\left[\frac{\pi}{6} * \left((L * A * W)^{1/3} \right)^3 \right] \quad [5]$$

El atributo fisiológico se evaluó cuantificando el porcentaje de germinación, que se realizó en cámara de germinación SEEDBURO a 26 °C y en condiciones de oscuridad. Esta evaluación fue del 7 de agosto hasta el 20 de agosto, dando un total de trece días. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones y cada repetición estuvo formada por diez semillas. Se consideraron semillas germinadas a aquellas que mostraban una radícula mayor a 1 mm. Al final de este período de evaluación se midió la longitud de la radícula y el peso de cada plántula.

Los datos obtenidos se utilizaron para realizar el análisis ANOVA. Posteriormente, se cuantificó la diferencia de medias con la prueba de Tukey (95 %).

3. Resultados y Discusión

El café es uno de los bienes más comercializados a nivel mundial. Esta bebida se obtiene del grano previamente despulpado, seleccionado, secado y tostado. Para todas las actividades mencionadas, los productores utilizan equipos que están diseñados considerando las propiedades físicas de las semillas, que también se utilizan para distinguir los cultivares (Tesfa et al., 2019). Asimismo, las características fisiológicas y genéticas contribuyen a definir las propiedades físicas de las semillas (Anandakumar et al., 2022; Hu et al., 2021; Jiang et al., 2013; Kaliniewicz et al., 2018).

En esta evaluación se examinaron los atributos físicos de las accesiones de café. Como se mencionó, el componente genético tiene un papel importante en el tamaño de la semilla. De hecho, las accesiones UNACAF-172 (12,76 mm) y UNACAF-146 (12,40 mm) tuvieron el diámetro polar más largo, mientras que las accesiones UNACAF-119 (9,29 mm) y UNACAF-90 (9,13 mm) fueron las más cortas. La diferencia entre estos grupos fue de casi 30 % ($p \leq 0,05$). Para diámetro ecuatorial, la accesión UNACAF-146 tuvo el valor más alto (7,78 mm), mientras que las accesiones UNACAF-151 (6,67 mm), UNACAF-132 (6,87 mm), UNACAF-119 (6,79 mm) y UNACAF-90 (6,79 mm) tuvieron el valor más bajo.

También se midió el espesor. Para esta variable se pudo observar que las accesiones UNACAF-172 (4,47 mm) y UNACAF-202 (4,47 mm) fueron más gruesas que la accesión UNACAF-119 (3,78 mm) ($p \leq 0,05$) (Figura 2). Estos resultados pueden asociarse a los cultivares estudiados.

Las características físicas son indicadores importantes para el análisis de la calidad de los granos. Asimismo, estos rasgos físicos son esenciales para el diseño, construcción y operación de equipos (Ospina Machado, 2001) usados en beneficio del café. Si se hace un buen análisis, la calidad propia del café se mantiene o se potencia, pero en caso contrario, el producto se vería perjudicado. Su objetivo es mejorar la calidad a través de la exaltación de atributos. Los factores que determinan la calidad del café son el genotipo, el ambiente, manejo agronómico y tratamiento poscosecha (Peñuela Martínez y Sanz-Urbe, 2021).

En la evaluación de los índices físicos para el diámetro aritmético y geométrico, las accesiones UNACAF-146 (21,65 mm y 7,49 mm) y UNACAF-172 (21,57 mm y 7,45 mm) tuvieron los mayores valores, mientras que las accesiones UNACAF-119 (17,33 mm y 6,18 mm) y UNACAF-90 (17,20 mm y 6,20 mm) fueron las menores ($p \leq 0,05$) (Figura 3). Para el grado de esfericidad, la accesión UNACAF-143 (0,70 %) tuvo el valor más alto, mientras que las UNACAF-172 (0,58 %) y UNACAF-146 (0,60 %) tuvieron el valor más bajo ($p \leq 0,05$). La esfericidad es el grado de aproximación que una semilla tiene a una esfera y en cualquier semilla está en función de sus dimensiones básicas como el largo, ancho y espesor. Esta característica describe la capacidad de rodar de una semilla durante el procesamiento. La accesión UNACAF-143 tiene un valor de esfericidad de 0,70 %, encontrándose en el rango de 0,7 a 0,8, considerado esférico para una semilla (Bande et al., 2012).

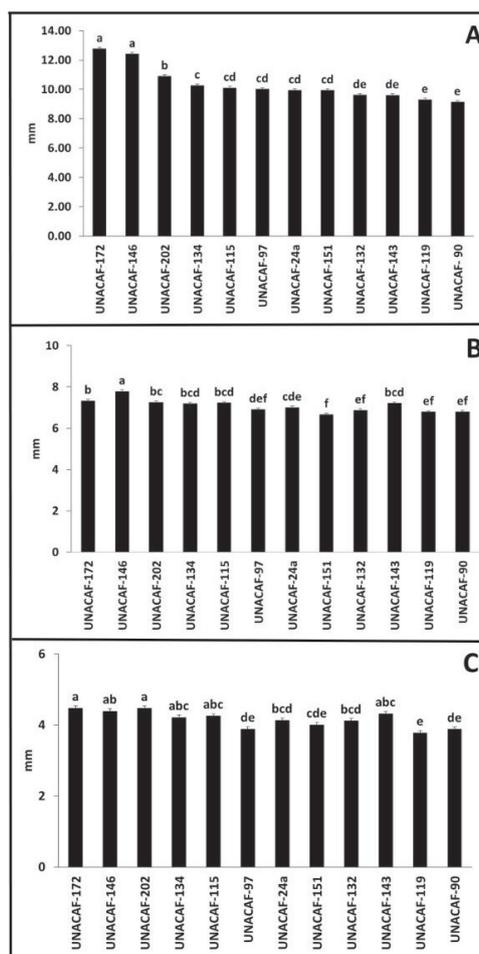


Figura 2. Rasgos físicos evaluados en este experimento. A) el diámetro polar (L) (mm), B) el diámetro ecuatorial de la semilla (mm) y C) el espesor (W) (mm).

Figure 2. Physical traits evaluated in this experiment. A) the polar diameter (L) (mm), B) the equatorial seed diameter (mm) and C) the thickness (W) (mm).

En cuanto al área superficial, las accesiones UNACAF-146 (177,35 mm²) y UNACAF-172 (175,57 mm²) fueron significativamente mayores a la accesión UNACAF-119 (120,63 mm²) que fue menor. Los resultados mostraron que el área superficial, el diámetro geométrico y el diámetro aritmético no necesariamente tendrían una relación con el grado de esfericidad. El área superficial de una semilla reviste interés en el diseño de tolvas y cámaras de procesamiento (Bande et al., 2012). Tanto el área superficial como el diámetro geométrico juegan un papel importante en el proceso de secado, para la determinación de velocidad terminal, el coeficiente de arrastre y el número de Reynolds (Mohsenin, 1986).

También se midió el volumen. Se observó que las accesiones UNACAF-146 (223,55) y UNACAF-172 (220,54 mm³) fueron superiores ($p \leq 0,05$) comparadas con las accesiones UNACAF-119 (125,17 mm³) y UNACAF-90 (126,18 mm³). Conocer el volumen es esencial para el proceso de tostado, momento en que el grano se expande, y es necesario para considerar modelos de simulación de secado (Franca et al., 2005).

En relación con la germinación (Figura 4), los resultados mostraron que las accesiones UNACAF-202 (0,98 %) y UNACAF-134 (1 %) tienen mayor porcentaje de germinación, mientras que las accesiones UNACAF-172 (0,62 %) y UNACAF-146 (0,80 %) menor porcentaje de germinación ($p \leq 0,05$). Según Popinigis (1985), el tamaño de semilla en muchas especies es indicativo de su calidad fisiológica, por lo que, dentro del mismo lote, las semillas de tamaño grande y mediano tienen un mayor índice de germinación y vigor que las de tamaño pequeño; lo que tendría relación con los resultados obtenidos en la Figura 2. Esto es importante porque la capacidad de germinación de un lote de semillas está determinada por la proporción de producción de plantas normales (Carvalho y Nakagawa, 2012). Las variables morfológicas de las semillas pueden actuar sobre la fisiología de la germinación. La forma de la semilla está influenciada por factores

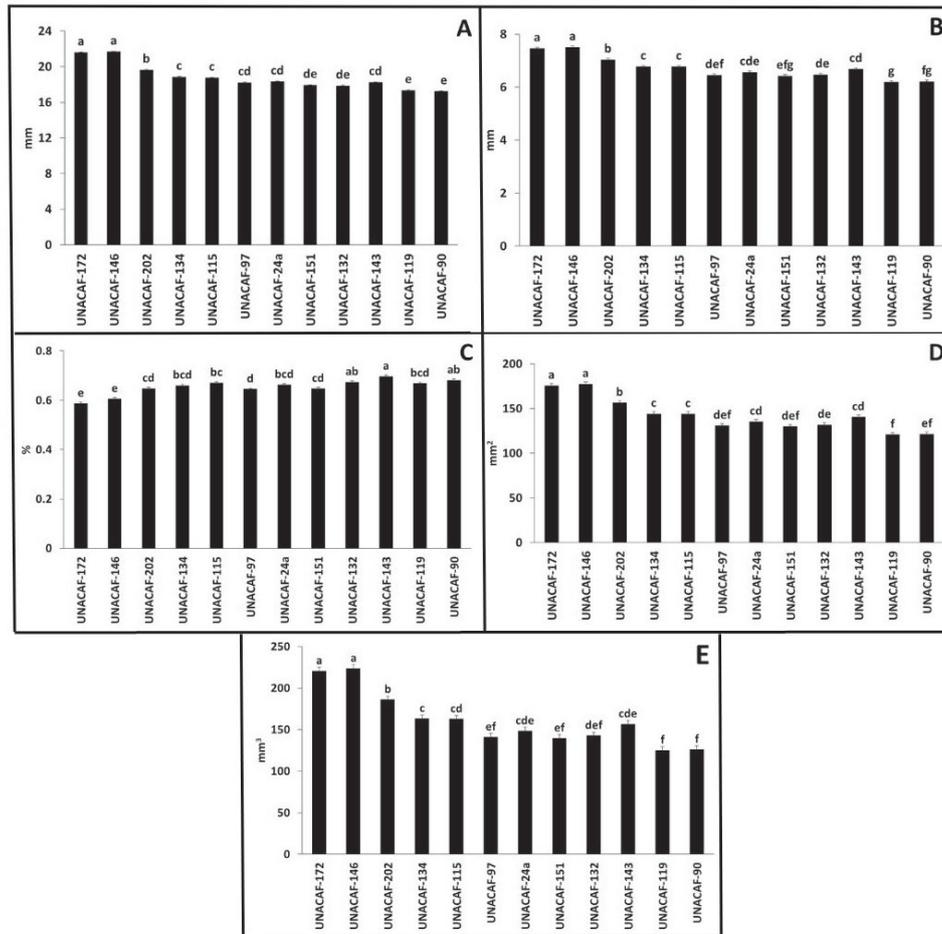


Figura 3. Índices físicos evaluados en este experimento. A) diámetro aritmético (mm), B) diámetro geométrico (mm), C) grado de esfericidad (%), D) área superficial (mm²) y E) volumen (mm³).

Figure 3. Physical indices evaluated in this experiment. A) arithmetic diameter (mm), B) geometric diameter (mm), C) degree of sphericity (%), D) surface area (mm²) and E) volume (mm³).

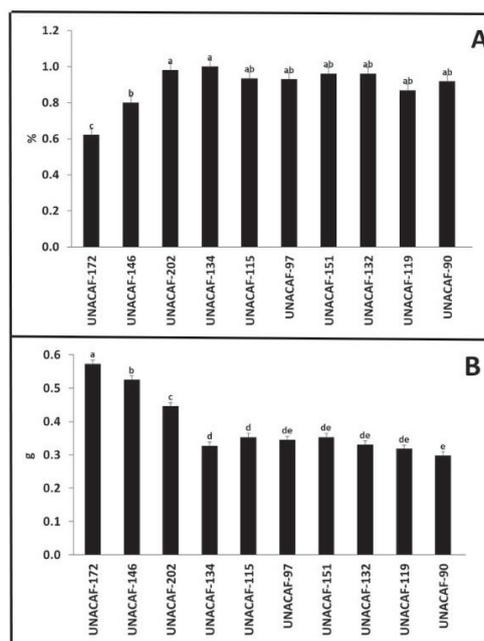


Figura 4. Porcentaje de germinación (A) y peso de las plántulas (B).

Figure 4. Germination percentage (A) and seedling weight (B).

genéticos y ambientales. En el maíz, la forma tiene un efecto sobre la calidad fisiológica de la semilla: germinación de la semilla, emergencia de la semilla y velocidad de germinación (Adebisi et al., 2005). Cuantificar la variación morfológica de las semillas puede ayudar a comprender el curso de la imbibición, así como las diferencias entre genotipos relacionados. Sin embargo, al obtener el peso de las plántulas, las accesiones 172 y 146 tienen mayor peso, lo que indicaría que no necesariamente el porcentaje de germinación tiene relación con el peso de las plántulas.

Describir los atributos físicos de las semillas de café es importante porque las semillas se dañan mecánicamente durante el procesamiento, lo que no solo reduce su calidad en términos de germinación y viabilidad, sino también la calidad de taza. La tecnología de producción agrícola del café influye en un 40 % en los atributos de calidad en taza de la bebida de café, mientras que el 60 % restante de los atributos de la calidad está determinado por la tecnología de procesamiento poscosecha (Hameed, 2018).

4. Conclusiones

Los resultados mostraron que las características físicas y fisiológicas varían dependiendo del material genético estudiado. En efecto, encontramos marcadas diferencias para los atributos estudiados. Así, las accesiones UNACAF-172 y UNACAF-146 mostraron mayor diámetro polar, aritmético y geométrico, además de presentar mayor área superficial, volumen y peso de plántula. Al contrario, estas mismas accesiones tuvieron menor porcentaje de germinación. Asimismo, UNACAF-119 y UNACAF-90 mostraron bajos atributos físicos, aunque alto porcentaje de germinación y bajo peso de plántulas.

Agradecimientos

Agradecemos al departamento de Fitotecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina por permitirnos utilizar sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Financiamiento

Este proyecto fue autofinanciado por los autores.

Contribuciones de los autores

- Claudia Andrea Vidal-Tejeda: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, redacción – revisión y edición.
- Alberto Julca-Otiniano: investigación, metodología, redacción – revisión y edición.
- Viviana Castro-Cepero: investigación, metodología, redacción – revisión y edición.
- Leonel Alvarado-Huaman: investigación, metodología, redacción – revisión y edición.
- Ricardo Roberto Borjas-Ventura: conceptualización, análisis formal, supervisión.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Adebisi, M. A., Oyewunmi, A. A., Oyekale, K. O, y Okesola, L. A. (2005). Effect of seed shape on seed characters and physiological quality in tropical maize (*Zea mays* L.). En *Proceedings of the 1st Annual Conference of the National Association of Agricultural Technologists (NAAT)* (pp. 67-72). Ibadan, Nigeria.
- Alixandre, F. T., Lopes, J. C., Ferreira, A., Sobreira, R., Alexandre, P. A. M. D. L., Guarçoni, R. C., y Fornazier, M. J. (2021). Physiological quality of seeds from traditional and new recommended groups of Arabic coffee cultivars to highland regions. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(7), 114-120. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.87.13>
- Anandakumar, T. M., Kumar, D., Shivanna, B., y Kumar, R. (2022). Physical properties of Ashwagandha seeds (*Withania somnifera* L.). A medicinal crop. *Industrial Crops and Products*, 186, 115233. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115233>
- Bande, Y. M., Adam, N. M., Azmi, Y., y Jamarie, O. (2012). Chapter 3: A review of methodologies for determination of physical properties of seeds. En N. M. Adam, y S. Sorooshian (eds.), *Engineering research methods*. Lulu Press, Inc.
- Bart, A., y Baryeh, E.A. (2003). The physical properties of Category B cocoa beans. *Journal of Food Engineering*, 60(3), 219-227. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00452-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00452-1)
- Carvalho, N. M, y Nakagawa, J. (eds.). (2012). *Sementes. Ciência, Tecnologia e Produção* (5ª ed.). Funep.
- Dadi, D., Mengistie, E., Terefe, G., Getahun, T., Haddis, A., Birke, W., Beyene, A., Luis, P., y Van der Bruggen, B. (2018). Assessment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 18(2), 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.10.007>
- Dias, L. F. L. (2007). *Avaliação de algumas propriedades físicas de grãos de café (Coffea arabica) orgânico e convencional*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1320>
- Dursun, E., y Dursun, I. (2005). Some physical properties of caper seed. *Biosystems Engineering*, 92(2), 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003>
- El-Gendy, H. A., Elrayes, A.-R. I., y Abdel-Hammed, S. F. (2011). Engineering properties of some Arabian coffee varieties. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 89(2), 615-625. <https://dx.doi.org/10.21608/ejar.2011.175942>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., Mendonça, J. C. F., y Silva, X. A. (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food chemistry*, 90(1-2), 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>
- Hameed, A., Hussain, S. A., y Suleria, H. A. R. (2018). “Coffee Bean-Related” agroecological factors affecting the coffee. En J.-M. Merillon, y K. G. Ramawat (eds.), *Co-Evolution of Secondary Metabolites* (pp. 1-67). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76887-8_21-1
- Hu, S., Yang, H., Gao, H., Yan, J., y Xie, D. (2021). Control of seed size by jasmonate. *Science China Life Sciences*, 64, 1215-1226. <https://doi.org/10.1007/s11427-020-1899-8>
- Jan, K. N., Panesar, P. S., y Singh, S. (2019). Effect of moisture content on the physical and mechanical properties of quinoa seeds. *International Agrophysics*, 33(1), 41-48. <https://doi.org/10.31545/intagr/104374>
- Jiang, W.-B., Huang, H.-Y., Hu, Y.-W., Zhu, S.-W., Wang, Z.-Y., y Lin, W.-H. (2013). Brassinosteroid Regulates Seed Size and Shape in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 162(4), 1965-1977. <https://doi.org/10.1104/pp.113.217703>
- Jiménez-Zamora, A., Pastoriza, S., y Rufián-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>
- Junta Nacional del Café [JNC]. (2022). *Perú lidera producción mundial de café orgánico*. <https://juntadelcafe.org.pe/peru-lidera-produccion-mundial-de-cafe-orgánico%EF%BF%BC/>
- Kaliniewicz, Z., Żuk, Z., y Kusińska, E. (2018). Physical Properties of Seeds of Eleven Spruce Species. *Forests*, 9(10), 617. <https://doi.org/10.3390/f9100617>
- Koocheki, A., Razavi, S. M. A., Milani, E., Moghadam, T. M., Abedini, M., Alamatyian, S., y Izadkhan, S. (2007). Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. *International Agrophysics*, 21(4), 349-359. <http://www.international-agrophysics.org/Physical-properties-of-watermelon-seed-as-a-function-of-moisture-content-and-variety,106567,0,2.html>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2022). *Perú lidera producción mundial de café orgánico*. Diario Gestión. <https://gestion.pe/economia/peru-lidera-produccion-mundial-de-cafe-orgánico-y-al-cierre-del-año-exportaciones-llegarian-a-us-1200-millones-rmmn-noticia/>

- Mohsenin, N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics, and Mechanical Properties, Volumen I* (2nd ed.). Gordon and Breach Publishers.
- Mohsenin, N. N. (1971). *Physical Properties of Plant and Animal Materials: v. 1: Physical Characteristics and Mechanical Properties* (1st ed.). Gordon and Breach Publishers. <https://doi.org/10.4324/9781003062325>
- Moreano, T. B., Braccini, A. de L., Scapim, C. A., França-Neto, J. de B., Krzyzanowski, F. C., y Marques, O. J. (2013). Physical and physiological qualities of soybean seed as affected by processing and handling. *Journal of Seed Science*, 35, 466-477. <https://www.scielo.br/j/jss/a/9cPgCkZDdfWJKPwfvT94ZDQ/?lang=en>
- Nijabat, A., Manzoor, S., Faiz, S., Naveed, N. H., Bolton, A., Khan, B., Ali, A., y Simon, P. (2023). Variation in seed germination and amylase activity of diverse carrot [*Daucus carota* (L.)] Germplasm under simulated drought stress. *HortScience*, 58(2), 205-214. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16806-22>
- Olajide, J. O., y Ade-Omowaye, B. I. O. (1999). Some physical properties of locust bean seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(2), 213-215. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0243>
- Ospina Machado, J. E. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Peñuela Martínez, A. E., y Sanz-Uribe, J. R. (2021). Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio. En *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3^a ed) (pp. 189-218). Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé]. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossío, F. V., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T. R., y Tovar Gómez, M. del R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México*, 32(3), 341-352. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60832310>
- Popinigis, F. (1985). *Fisiología da semente*. AGIPLAN.
- Preedy V. R. (ed.) (2015). *Coffee in health and disease prevention* (1st ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06959-1>
- Reis, L. S. D., Araújo, E. F., Dias, D. C. F. D. S., Sedyama, C. S., y Meireles, R. C. (2010). LERCAFÉ: novo teste para estimar o potencial germinativo de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 32, 9-16. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000100001>
- Rosas, J. T. F., Junior, E. M., Lorenzoni, R. M., Santos, F. F. L. dos, y Martins, R. N. (2019). Effect of salinity on germination of lettuce cultivars produced in Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International*, 34(5), 1-8. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v34i530183>
- Saparita, R., Hidajat, D. D., y Kuala, S. I. (2019). Statistical analysis on the geometric, physical and mechanical properties of dried robusta coffee cherry resulting from natural system processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251(1), 012041. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/251/1/012041>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2019). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Tabatabaefar, A. (2003). Moisture-dependent physical properties of wheat. *International Agrophysics*, 17(4), 207-211. <http://www.international-agrophysics.org/Moisture-dependent-physical-properties-of-wheat,106749,0,2.html#ungrouped>
- Tabatabaefar, A., y Rajabipour, A. (2005). Modeling the mass of apples by geometrical attributes. *Scientia Horticulturae*, 105(3), 373-382. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.030>
- Tesfa, M., Abera, S., y Sualeh, A. (2019). Some engineering physical properties of beans of selected cultivars of coffee (*Coffea arabica* L.) grown in South West, Ethiopia. *Asian Journal of Science and Technology*, 10(10), 10299-10307. <http://journalajst.com/sites/default/files/issues-pdf/7496.pdf>
- Tunde-Akintunde, T. Y., y Akintunde, B. O. (2004). Some physical properties of sesame seed. *Biosystems Engineering*, 88(1), 127-129. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.009>