



Impacto de enmiendas orgánicas sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento del cultivo orgánico de palto (*Persea americana* Mill.) en Lima, Perú †

[Impact of organic amendments on soil chemical properties and yield of organic avocado (*Persea americana* Mill.) cultivation in Lima, Peru]

Dori Felles-Leandro^{1,2*}, José Zelada-López¹ and Sady García-Bendezú²

¹Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Av. Mercedes Indacochea N° 609, Huacho, Perú.

²Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, Lima, Perú. Email: dfelles@unjfsc.edu.pe

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The incorporation of organic amendments is a sustainable and environmentally responsible practice for fertilization and the restoration of agricultural soils. **Objective.** To evaluate the effect of different organic sources on soil chemical properties, yield, and fruit size distribution in an organic avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass orchard. **Methodology.** The study was conducted in a certified organic orchard during its fourth productive season. Five organic sources were evaluated: seabird guano (SG), poultry manure (PM), cattle manure (CM), compost (CO), and vermicompost (VC), each applied at a dose of 0.340 kg N/tree; a control treatment without amendments was included. The experimental design was a randomized complete block with five replications. Soil chemical properties were analyzed at the beginning and end of the trial. At harvest, the total number of fruits per tree, total yield, fruit size distribution, and percentage of export-grade fruits were recorded. **Results.** Organic amendments significantly altered soil chemical properties. All organic treatments resulted in a significant increase ($p < 0.01$) in yield, number of fruits per tree, and fruit size compared to the control. The highest proportions of production were concentrated in fruit sizes 18 (203–243 g.fruit⁻¹) and 20 (184–217 g.fruit⁻¹), which are highly valued in commercial markets. Organic treatments achieved exportable fruit percentages above 93%, while the control reached only 85%. Seabird guano did not perform as expected due to its limited nutrient content. **Implications.** The findings highlight the potential of organic sources—particularly compost, poultry manure, and vermicompost—to improve soil fertility and the productivity of organic avocado crops in coastal Peru. **Conclusions.** The application of organic amendments positively influenced both yield and exportable fruit quality in organic Hass avocado cultivation, while significantly improving soil chemical properties.

Key words: compost; vermicompost; seabird guano; organic farming; poultry manure; crop yield; fruit size.

RESUMEN

Antecedentes. La incorporación de enmiendas orgánicas constituye una práctica sostenible y ambientalmente responsable para la fertilización y recuperación de suelos agrícolas. **Objetivo.** Evaluar el efecto de distintas fuentes orgánicas sobre las propiedades químicas del suelo, el rendimiento y calibre de frutos en un cultivo orgánico de palto (*Persea americana* Mill.) variedad Hass. **Metodología.** El estudio se llevó a cabo en un huerto con certificación orgánica durante su cuarta campaña productiva. Se evaluaron cinco fuentes orgánicas: guano de las islas (GI), estiércol de gallina (EG), estiércol vacuno (EV), compost (CO) y vermicompost (VC), aplicadas a una dosis de 0.340 kg N/árbol; se incluyó un tratamiento control sin enmiendas. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se analizaron las propiedades químicas del suelo al inicio y al final del ensayo. Durante la cosecha, se registraron el número total de frutos por árbol, el rendimiento total, la distribución por calibre y el porcentaje de fruta exportable. **Resultados.** Las enmiendas orgánicas modificaron significativamente las propiedades químicas del suelo, y todos los tratamientos orgánicos incrementaron de forma significativa el rendimiento, el número de frutos por árbol

† Submitted July 23, 2025 – Accepted October 5, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6469>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = D. Felles-Leandro: <http://orcid.org/0000-0002-1210-5489>; J. Zelada-López: <http://orcid.org/0009-0007-6807-1445>; S. García-Bendezú: <http://orcid.org/0000-0002-2498-3940>

y el calibre, en comparación con el control ($p < 0.01$). Las mayores proporciones de producción se concentraron en los calibres 18 (203–243 g.fruit⁻¹) y 20 (184–217 g.fruit⁻¹), altamente valorados comercialmente. Los tratamientos con enmiendas orgánicas lograron porcentajes de fruta exportable superiores al 93%, frente al 85% del tratamiento control. El guano de las islas no logró alcanzar los resultados esperados debido a su pobreza nutricional. **Implicaciones.** Los resultados evidencian el potencial de las fuentes orgánicas, especialmente el compost, estiércol de gallina y vermicompost, para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad del palto orgánico en la costa peruana. **Conclusiones.** La aplicación de enmiendas orgánicas influyó positivamente en el rendimiento y calidad exportable del cultivo de palto orgánico variedad Hass, además de mejorar significativamente las propiedades químicas del suelo. **Palabras clave:** compost; vermicompost; guano de las islas; agricultura orgánica; estiércol de gallina; calibre de frutos.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de palto (*Persea americana* Mill.), conocido en otros países de América Latina como aguacate, ha mostrado en Perú una notable expansión tanto en términos de producción como en su exportación durante la última década. Entre los años 2013 y 2023, la producción nacional creció a una tasa anual promedio del 12% (Rabobank, 2023). En 2024, se consolidó como uno de los principales productos de agroexportación del país, alcanzando envíos por un valor de USD 1,247 millones y un volumen de 570,407 toneladas, lo que representó un incremento del 23.7% respecto al año anterior (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI], 2025; Asociación de Exportadores [ADEX], 2025). Este desempeño posicionó al Perú como el segundo exportador mundial de palta como fruta fresca en el año 2024 (ComexPerú, 2025). En paralelo, la producción orgánica de palta ha ganado relevancia en América Latina, impulsada por la creciente demanda en los mercados internacionales y los precios diferenciados frente a la palta producida bajo manejo convencional. En el contexto peruano, la superficie certificada bajo sistemas orgánicos alcanzó las 1825 hectáreas en 2020 (Redagráfica, 2021), y las exportaciones de palta orgánica generaron ingresos aproximadamente USD 20.5 millones en 2024 (ADEX, 2025a).

Las condiciones agroclimáticas de la costa peruana ofrecen un entorno favorable para la expansión del cultivo de palto, considerada un “invernadero natural” por la estabilidad térmica y ausencia de extremos marcados (Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement y Hass Avocado Board [CIRAD y HAB], 2019). En la costa norte, las temperaturas medias anuales varían entre 23 y 27.8 °C, mientras que en la costa central y sur se sitúan entre 16 y 23 °C, con un gradiente térmico más cálido hacia el norte y más fresco hacia el sur (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2023). Estos rangos coinciden con los requerimientos fisiológicos óptimos del cultivo (Shaffer *et al.*, 2013; MINAGRI y SENAMHI, 2018; MINAGRI, 2019a), lo que ha favorecido su rentabilidad y el sostenido crecimiento de las exportaciones; entre enero y junio de 2025 se

alcanzaron USD 1,034 millones, un 20 % más que en el mismo periodo de 2024 (Redagráfica, 2025). En el segmento orgánico, las exportaciones ascendieron a US\$ 31,1 millones en el primer semestre de 2025, con un incremento del 95,1 % respecto al mismo periodo de 2024 (ADEX, 2025b; SEDIR, 2025). Sin embargo, en la región Lima el rendimiento de las plantaciones orgánicas es heterogéneo y, en general, bajo, con un promedio de 7,211 kg.ha⁻¹ en 2019 (Felles-Leandro y García-Bendezú, 2022), lo que representa una reducción del 38 % frente al promedio nacional y del 41 % respecto al regional (MINAGRI, 2019b), evidenciando limitaciones específicas en el manejo de este sistema productivo.

Aunque las características del suelo en la costa peruana, principalmente la textura y la profundidad, generalmente no limitan el cultivo de palto (Felles-Leandro y García-Bendezú, 2022), este frutal se desarrolla mejor en suelos de textura franco-arenosa a arenosa, profundos, bien drenados y con buena aireación (Gardiazábal, 2004; Ferreyra *et al.*, 2012). El bajo contenido de materia orgánica constituye una limitante, ya que reduce la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de macro y micronutrientes, afectando la productividad (Sandoval Porta, 2019; Felles-Leandro y García-Bendezú, 2022). Dado que el palto posee un sistema radicular superficial y sin pelos absorbentes, requiere suelos con buen aporte de materia orgánica y bajo contenido de sales para garantizar una adecuada absorción de nutrientes (Mickelbart *et al.*, 2007; Ferreyra *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 2017). En este contexto, la incorporación de enmiendas orgánicas se presenta como una estrategia clave para mejorar la fertilidad del suelo y, en consecuencia, los niveles de productividad.

La materia orgánica desempeña un rol fundamental en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, debido a su capacidad para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, incrementar la actividad biológica y reducir las pérdidas de nutrientes por lixiviación (Oldfield *et al.*, 2019; Díaz-Pérez *et al.*, 2023). En este contexto, la agricultura orgánica se posiciona como una alternativa sostenible que puede contribuir significativamente a la recuperación y conservación de la calidad del suelo (Wen *et al.*, 2025). Este sistema de

producción, al prescindir del uso de insumos sintéticos como fertilizantes, pesticidas y reguladores hormonales (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2012), promueve prácticas que favorecen la salud del suelo y el uso racional de los recursos naturales (Nghia *et al.*, 2025).

En los sistemas de producción orgánica, el suministro de nutrientes a los cultivos depende exclusivamente del uso de enmiendas orgánicas. Sin embargo, la disponibilidad y liberación de estos nutrientes varía según el insumo utilizado, lo que puede dificultar la satisfacción de la demanda nutricional, en especial de nitrógeno (N) (Müller *et al.*, 2017; Lazicki *et al.*, 2020). La mineralización del N orgánico está estrechamente vinculada con la actividad microbiana del suelo y responde a diversos factores edáficos y ambientales (Liyanage *et al.*, 2022). Entre las fuentes más empleadas, se ha reportado que el estiércol de vacuno mineraliza alrededor del 50% del N total en el primer año, liberando un 35% y 15% en el segundo y tercer año, respectivamente (Gros, 1981). El estiércol de gallina presenta tasas de mineralización superiores a las del vacuno (Geisseler *et al.*, 2021), mientras que el guano de las islas, fertilizante orgánico natural originado por la acumulación de excretas de aves marinas en el litoral peruano y cuya extracción y comercialización está a cargo de Agro Rural (MIDAGRI), supera a ambos en velocidad de liberación de nutrientes (Lazicki *et al.*, 2020). En contraste, el compost y el vermicompost muestran tasas de mineralización más bajas, lo que proporciona una liberación de nutrientes más gradual y sostenida en el tiempo (Lazicki *et al.*, 2020; Harraq *et al.*, 2022).

El palto ha demostrado ser un cultivo adaptable a condiciones de manejo orgánico, lo cual implica la aplicación de abonos orgánicos como parte de su estrategia nutricional (Bonilla *et al.*, 2015). Diversas investigaciones han documentado respuestas positivas del cultivo ante el uso de compost y vermicompost, observándose incrementos en el rendimiento y mejora en la calidad de los frutos, asociados al suministro adecuado de nitrógeno y potasio (Tapia *et al.*, 2014). Asimismo, se ha evidenciado que la combinación de fertilizantes orgánicos con micorrizas arbusculares supera en eficiencia a los fertilizantes sintéticos, incrementando significativamente la productividad (Hernández-Valencia *et al.*, 2021). La aplicación de estiércol de gallina también ha demostrado efectos positivos sobre el rendimiento y la calidad del fruto (Hermoso *et al.*, 2011), mientras que el compost ha contribuido a mejorar la fertilidad del suelo, cubrir parcialmente las demandas nutricionales del cultivo y estimular la actividad microbiológica (Campos *et al.*, 2020; Mohale *et al.*, 2021).

A pesar de estos hallazgos, los estudios sobre la respuesta del palto a diferentes fuentes orgánicas bajo condiciones de producción certificada en la costa peruana siguen siendo limitados. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de distintas fuentes orgánicas sobre las propiedades químicas del suelo, el rendimiento y calibre de frutos en un cultivo orgánico de palto (*Persea americana* Mill.) variedad Hass.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo se llevó a cabo en una plantación ubicada en la localidad de Santa Rosalía (11°05'28.32" LS, 77°29'36.96" LO, 318 m.s.n.m.), distrito de Santa María, provincia de Huaura, región Lima, en la costa central del Perú. El clima de la zona se clasifica como desértico árido cálido (Kottek *et al.*, 2006), con temperaturas medias anuales entre 18 y 23 °C y precipitación prácticamente nulas (Castro *et al.*, 2021). El sitio de estudio se localiza en un terreno de topografía plana y homogénea.

Material vegetal

Se emplearon plantas de palto (*Persea americana* Mill.), cultivar Hass, establecidas con un marco de siembra de 5 m × 4 m (equivalente a 500 plantas.ha⁻¹) y con certificación orgánica. El estudio se desarrolló durante la campaña agrícola 2019-2020, correspondiente al cuarto año de producción. Los tratamientos fueron distribuidos al azar en el campo experimental. Cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro árboles, totalizando 120 árboles. De cada unidad experimental, se seleccionaron aleatoriamente tres árboles para la realización de las evaluaciones durante la cosecha.

Análisis de suelo

Antes del inicio del ensayo, se recolectó una muestra compuesta de la capa arable (0 - 30 cm de profundidad) para caracterizar las propiedades físico-químicas del suelo. El análisis se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, aplicando métodos estandarizados.

Se determinaron los siguientes parámetros: textura (método de Bouyoucos), pH (medición electrométrica a 25 °C), conductividad eléctrica (CE; medición electrolítica con un conductímetro a 25 °C), contenido de carbonatos de calcio (CaCO₃; método de Bernard), materia orgánica (MO; método de Walkley y Black), fósforo disponible (P; extracción con NaHCO₃ 0.5 M, pH 8.5), potasio disponible (K), y capacidad de

intercambio catiónico (CIC; extracción con acetato de amonio 1 N). Según los rangos de interpretación de Sales-Dávila *et al.* (2024), el suelo presentó textura arena franca, CE sin problema de sales, alto contenido de CaCO_3 , bajo nivel de MO, contenido medio de P y K, y baja CIC.

Al término del experimento, tras 11 meses, se realizó un segundo muestreo para el análisis mineral del suelo por cada unidad experimental, utilizando los mismos métodos analíticos de LASPAF. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tratamientos y variables evaluadas

Se evaluaron cinco fuentes orgánicas: guano de las islas (GI), estiércol de gallina (EG), estiércol de vacuno (EV), compost (CO) y vermicompost (VC). El GI fue adquirido de AGRO RURAL, entidad del MIDAGRI. El EV fue recolectado de un establo vacuno lechero, mientras que las demás fuentes se obtuvieron en el ámbito local. Según el análisis químico (Tabla 1), el contenido nutricional del CO, EV, EG y VC superó los valores mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2021). En el caso del EV, su composición se mantuvo dentro del rango reportado en investigaciones previas (Guerrero, 1993; Bedoya y Julca, 2021). Resultados superiores se observaron para el EG (Cantarero y Martínez, 2002; Guerrero, 1993; Palomino *et al.*, 2019), así como para el CO (Vásquez y Loli, 2018; Álvarez-Vera *et al.*, 2019) y el VC (Vásquez y Loli, 2018; Velecela *et al.*, 2019). En contraste, la composición nutricional del GI fue inferior a los estándares reportados para el guano peruano, cuyo contenido de nutrientes suele variar entre 10 - 14% de N, 10 - 12% de P_2O_5 y 2 - 3% de

K_2O (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2018).

Las distintas fuentes orgánicas se aplicaron con una dosis de 0.340 kg de N por árbol, equivalente a 170 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, en cumplimiento con la normativa EU 834/2007 -889/2008 sobre producción orgánica (Consejo de la Unión Europea, 2018). Se incluyó un tratamiento control sin abono orgánico. Las enmiendas fueron incorporadas al suelo en dos surcos paralelos ubicados bajo la copa de los árboles, y aplicadas de forma fraccionada: al inicio de la floración, y a los 30 y 60 después de la floración.

La fertilización fosfo-potásica se complementó con 30 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Fertiphos tropical®) y 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O (Ibiorganic potasio®), aplicados al inicio de la floración. El riego se efectuó mediante el sistema de gravedad por surcos, empleando agua proveniente del río Huaura, con una frecuencia de aplicación semanal. No se calculó la lámina de riego, ya que las evaluaciones estuvieron orientadas a las propiedades químicas del suelo, el rendimiento y el calibre de los frutos.

La evaluación de los parámetros productivos se realizó a los 240 días posteriores al cuajado de los frutos. Se cosecharon todos los frutos de tres árboles por unidad experimental. Posteriormente, se clasificaron en función de su calibre, determinado mediante la medición del diámetro ecuatorial con un calibrador metálico para paltas. Con base en este parámetro, los frutos se pesaron y se asignaron a los calibres establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 011.018:2014 (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2014) para el mercado de la

Tabla 1. Composición química de las fuentes orgánicas utilizadas en la investigación.

Parámetro	Unidad de medida	Fuente orgánica				
		Guano de las islas (GI)	Estiércol de gallina (EG)	Estiércol de vacuno (EV)	Compost (CO)	Vermicompost (VC)
pH		6.15	7.11	8.32	8.35	7.81
C.E.	$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	24.90	37.70	14.00	20.40	25.60
Humedad	% en masa fresca	13.21	19.71	24.28	43.82	39.89
M.O.	% en masa seca	8.45	28.09	58.50	38.50	29.31
N	%	3.22	1.24	1.78	1.79	1.77
P_2O_5	%	0.94	4.76	1.10	2.21	2.39
K_2O	%	1.51	2.96	1.92	1.36	1.52
CaO	%	3.58	14.63	2.78	5.56	10.36
MgO	%	1.33	2.67	0.98	1.42	1.47
Relación C/N		1.50	13.10	19.10	12.50	9.60

M.O.: Materia orgánica, C.E.: Conductividad eléctrica. Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM.

Unión Europea. Seguidamente, se clasificaron en tres categorías según el aspecto externo del fruto: Extra (calidad superior, sin defectos salvo superficiales muy leves), I (buena calidad, con defectos leves de forma, color o cáscara, superficie afectada $\leq 4 \text{ cm}^2$) y II (calidad aceptable, con defectos moderados de forma, color o cáscara, superficie afectada $\leq 6 \text{ cm}^2$), conforme a los criterios de la citada norma. Los frutos que no se ajustaron a dichas especificaciones se consideraron no exportables. Finalmente, se contabilizó el número de frutos por calibre y categoría, y se determinó su peso empleando una balanza de 50 kg. El rendimiento por categoría y el rendimiento total (incluyendo exportables y no exportables) se expresaron en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, calculados a partir del rendimiento por árbol y la densidad de plantación.

Análisis estadístico

El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones por tratamiento. La unidad experimental estuvo conformada por parcelas de cuatro árboles (80 m^2), evaluándose en total 120 árboles. La normalidad y la homogeneidad de varianzas de los datos fueron evaluadas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y los promedios se compararon utilizando la prueba HSD de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Todos los análisis

estadísticos se ejecutaron utilizando el software InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

Propiedades químicas del suelo

La Tabla 2 presenta los resultados del análisis químico del suelo al inicio y al final del estudio, tras la aplicación de diferentes fuentes orgánicas. Los tratamientos evaluados modificaron significativamente ($p < 0.01$) las propiedades químicas del suelo respecto al control, registrándose variaciones importantes en relación con los valores de referencia al inicio del ensayo.

En términos generales, se evidenció una mejora significativa en la mayoría de los parámetros analizados. En cuanto al pH del suelo, se observó una disminución significativa ($p < 0.01$) en todos los tratamientos con fertilización orgánica respecto al control (7.76), siendo esta reducción aún más marcada al compararse con el valor inicial (8.63). Los niveles de N total, así como las formas NH_4^+ y NO_3^- , fueron significativamente ($p < 0.001$) superiores en los suelos tratados con fuentes orgánicas. En particular, el VC presentó las mayores concentraciones de NO_3^- , seguido del EV y el CO. De igual forma, los contenidos de P y K disponible aumentaron significativamente ($p < 0.001$) en todos los tratamientos orgánicos en comparación con el control (Tabla 2).

Tabla 2. Resultado del análisis del suelo realizado al inicio¹ y al final² del ensayo tras la aplicación de diversas fuentes orgánicas en el cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) con manejo orgánico, en la región Lima, Perú.

Parámetro	Unidad de medida	Inicio del ensayo ¹	Tratamientos Final del ensayo ²					
			Guano de las islas (GI)	Estiércol de gallina (EG)	Estiércol de vacuno (EV)	Compost (CO)	Vermicompost (VC)	Control
pH		8.63	7.50 ± 0.02^b	7.40 ± 0.07^b	7.18 ± 0.02^c	7.20 ± 0.06^c	7.18 ± 0.12^c	7.76 ± 0.05^a
C.E.	$\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	0.23	1.04 ± 0.02^c	0.91 ± 0.01^d	0.96 ± 0.02^d	1.28 ± 0.05^a	1.21 ± 0.05^b	0.43 ± 0.05^e
M.O	%	0.52	0.66 ± 0.01^c	0.40 ± 0.01^d	0.72 ± 0.01^{bc}	1.24 ± 0.04^a	0.81 ± 0.05^b	0.22 ± 0.02^e
N	%	0.04	0.07 ± 0.01^b	0.07 ± 0.01^b	0.09 ± 0.01^b	0.11 ± 0.01^a	0.11 ± 0.01^a	0.04 ± 0.01^c
NH_4^+	ppm	9.53	16.66 ± 0.17^a	11.40 ± 0.56^c	11.20 ± 0.07^d	13.44 ± 0.52^b	13.82 ± 0.31^b	8.40 ± 0.07^e
NO_3^-	ppm	8.31	14.49 ± 0.23^d	16.55 ± 0.10^c	23.13 ± 0.16^b	22.58 ± 0.42^b	26.14 ± 0.49^a	7.36 ± 0.01^e
P	ppm	11.80	46.31 ± 0.39^e	80.46 ± 0.15^c	72.86 ± 0.15^d	122.88 ± 1.33^b	168.86 ± 2.71^a	8.98 ± 0.51^f
K	ppm	126.00	160.20 ± 1.48^b	142.80 ± 1.92^c	140.20 ± 2.28^c	139.80 ± 1.33^c	187.60 ± 2.30^a	96.20 ± 0.84^e
CaCO_3	%	3.20	3.33 ± 0.02^c	3.81 ± 0.02^a	3.30 ± 0.05^c	3.52 ± 0.09^b	3.55 ± 0.16^b	3.92 ± 0.15^a

M.O.: Materia orgánica, C.E.: Conductividad eléctrica.

¹: Análisis químico del suelo realizado al inicio del ensayo.

²: Análisis químico del suelo realizado al final del ensayo.

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM. Los valores se presentan como media $\pm$ desviación estándar (D.E.). Letras superíndices distintas indican diferencias significativas según prueba HSD de Tukey ($p < 0.05$)

Respecto al análisis comparativo de los valores iniciales y finales, el contenido de M.O. se incrementó entre 26.9% y 138.5%, alcanzando su valor máximo con el CO, mientras que el control presentó una disminución del 57.7%. La concentración de NH_4^+ aumentó entre 17.5% y 74.8%, destacando el GI, seguido del VC; en contraste, el control se redujo en 12%. El NO_3^- aumentó entre 74.4% y 214.6%, con máximos en el VC, mientras que el control disminuyó en 11.4%. El P disponible fue el macronutriente con mayor incremento, con valores que oscilaron entre 292.5% y 1431.6%, sobresaliendo el VC; en cambio, el control presentó una reducción del 24%. En lo que respecta al K disponible, los incrementos variaron entre 10.9% (CO) y 48.8% (VC), mientras que el control redujo su contenido en 23.6%. Todos los porcentajes de variación fueron calculados en base a los valores iniciales y finales obtenidos en el análisis químico del suelo.

Parámetros productivos:

Rendimiento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

La incorporación de fuentes orgánicas incrementó significativamente ($p < 0.01$) el rendimiento total de frutos de palto con respecto al control (Tabla 3), pero entre las fuentes, solo el CO fue significativamente ($p < 0.01$) superior al EV. El incremento del rendimiento con respecto al control varió de 63% para el EV hasta 104.6% para el CO. Asimismo, se observó un efecto significativo ($p < 0.01$) de las fuentes orgánicas sobre la producción de frutos de categoría "extra", en comparación con el control. El GI y el EG superaron significativamente a otros tratamientos orgánicos en rendimiento de esta categoría con 73% y

un 66% de la producción total, respectivamente. Mientras que el CO y VC alcanzaron un 58% y el EV 57% (Tabla 3). Los frutos "extra" suelen comercializarse a precios más altos en comparación con las categorías I y II, lo que representa un mayor beneficio económico para los productores.

Número de frutos por árbol

La aplicación de enmiendas orgánicas tuvo un efecto significativo ($p < 0.01$) sobre el número de frutos por árbol, en comparación con el tratamiento control (Tabla 4). Los tratamientos orgánicos registraron entre 61 y 73 frutos por árbol, superando al control, que presentó un promedio de 47 frutos. En todos los tratamientos con abonos orgánicos, los frutos clasificados como categoría "Extra" representaron entre 58% en el CO y el VC, y hasta 73% en el GI, aunque se observaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre las distintas fuentes orgánicas. Estos resultados reflejan no solo un aumento en la productividad, sino también una mejora en la calidad del fruto asociada al manejo orgánico del cultivo.

Distribución porcentual de frutos según calibre

Las fuentes orgánicas incrementaron significativamente ($p < 0.01$) el calibre de los frutos en comparación con el control (Figura 1). Para los calibres más grandes, calibre 10 (con masa de $364\text{--}462 \text{ g} \cdot \text{fruto}^{-1}$), calibre 12 ($300\text{--}371 \text{ g} \cdot \text{fruto}^{-1}$) y calibre 14 ($258\text{--}313 \text{ g} \cdot \text{fruto}^{-1}$), no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las distintas enmiendas orgánicas. Sin embargo, el GI presentó un leve aumento del 2% en la proporción de estos calibres respecto a las otras fuentes.

Tabla 3. Rendimiento de fruto en categorías exportables, no exportable y rendimiento total tras la aplicación de diversas fuentes orgánicas en el cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) con manejo orgánico, en la región Lima, Perú.

Tratamiento	Categoría exportable			Total exportable ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	No exportable	Rendimiento Total
	Extra	I	II			
Guano de las islas	5782.9 ± 766.89 ^a	1471.2 ± 578.28 ^{bc}	461.6 ± 114.62 ^{ab}	7715.8 ± 1312.98 ^{ab}	279.8 ± 159.01 ^b	7996 ± 1219.68 ^{ab}
	5450.6 ± 801.19 ^a	1966.9 ± 274.13 ^{ab}	416.6 ± 33.89 ^{ab}	7834.2 ± 695.29 ^{ab}	359.0 ± 57.92 ^{ab}	8193 ± 705.64 ^{ab}
Estiércol de vacuno	4008.6 ± 592.95 ^b	1982.9 ± 462.58 ^{ab}	557.1 ± 84.41 ^{ab}	6548.7 ± 806.36 ^b	449.2 ± 81.11 ^{ab}	6998 ± 841.20 ^b
	5007.2 ± 1061.33 ^{ab}	2703.7 ± 387.30 ^a	488.9 ± 227.20 ^{ab}	8199.8 ± 921.92 ^a	598.7 ± 223.65 ^a	8799 ± 749.82 ^a
Vermicompost	4182.8 ± 417.17 ^b	2291.4 ± 640.75 ^{ab}	400.6 ± 103.77 ^{ab}	6874.8 ± 368.57 ^{ab}	468.4 ± 172.56 ^{ab}	7343 ± 428.18 ^{ab}
	2273.1 ± 416.12 ^c	1119.7 ± 461.17 ^c	260.6 ± 145.17 ^b	3653.4 ± 200.16 ^c	646.2 ± 141.52 ^a	4300 ± 219.96 ^c
Control						

Los valores se presentan como media ± desviación estándar (D.E.). Letras superíndices distintas indican diferencias significativas según prueba HSD de Tukey ($p < 0.05$)

Tabla 4. Número de frutos por árbol en categorías exportables, no exportable y total tras la aplicación de diversas fuentes orgánicas en el cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) con manejo orgánico, en la región Lima, Perú.

Tratamiento	Categoría exportable			No exportable (descarte)	Total
	Extra	I	II		
Guano de las islas	52 ± 5.81 ^a	11 ± 4.32 ^{bc}	6 ± 1.64 ^a	2 ± 1.29 ^b	71 ± 9.40 ^{ab}
Estiércol de gallina	48 ± 6.58 ^{ab}	15 ± 1.92 ^{ab}	6 ± 0.45 ^a	4 ± 1.14 ^{ab}	73 ± 5.87 ^{ab}
Estiércol de vacuno	35 ± 5.81 ^b	15 ± 3.51 ^{ab}	7 ± 1.14 ^a	4 ± 0.10 ^{ab}	61 ± 7.13 ^b
Compost	45 ± 9.42 ^{ab}	20 ± 2.88 ^a	7 ± 3.21 ^a	6 ± 2.30 ^a	78 ± 7.46 ^a
Vermicompost	37 ± 3.91 ^b	17 ± 4.34 ^{ab}	6 ± 1.52 ^a	4 ± 1.22 ^{ab}	64 ± 2.83 ^b
Control	24 ± 4.42 ^c	12 ± 4.22 ^c	4 ± 1.95 ^a	7 ± 1.87 ^a	47 ± 0.84 ^c

Los valores se presentan como media ± desviación estándar (D.E.). Letras superíndices distintas indican diferencias significativas según prueba HSD de Tukey ($p<0.05$)

En cuanto a la distribución general de calibres, en todos los tratamientos con fuentes orgánicas predominaron los calibres 18 (203-243 g.fruto⁻¹) y 20 (184-217 g.fruto⁻¹). En contraste, el tratamiento control concentró su producción en calibres menores, principalmente entre 22 (165-196 g.fruto⁻¹) y 24 (151-175 g.fruto⁻¹).

Estos resultados son relevantes desde el punto de vista comercial, ya que los calibres comprendidos entre 14 y 22 son los más demandados por el mercado de la Unión Europea. En este sentido, los calibres 18 y 20, predominantes en los tratamientos orgánicos, presentan un alto potencial de exportación.

Rendimiento de fruta exportable (kg.ha⁻¹)

Se determinaron diferencias significativas ($p<0.01$) en el rendimiento de frutos clasificados como exportables entre los distintos tratamientos. Los tratamientos con fuentes orgánicas superaron al tratamiento control (Tabla 3), evidenciando el impacto positivo de estas enmiendas sobre la calidad comercial del fruto. Entre las fuentes orgánicas, el GI registró el mayor porcentaje de frutos exportables, alcanzando un 97%, seguido del EG con un 96%. El VC y el EV presentaron un rendimiento del 94%, mientras que el compost alcanzó un 93%. En contraste, el tratamiento control presentó el valor más bajo, con un 85% de frutos exportables.

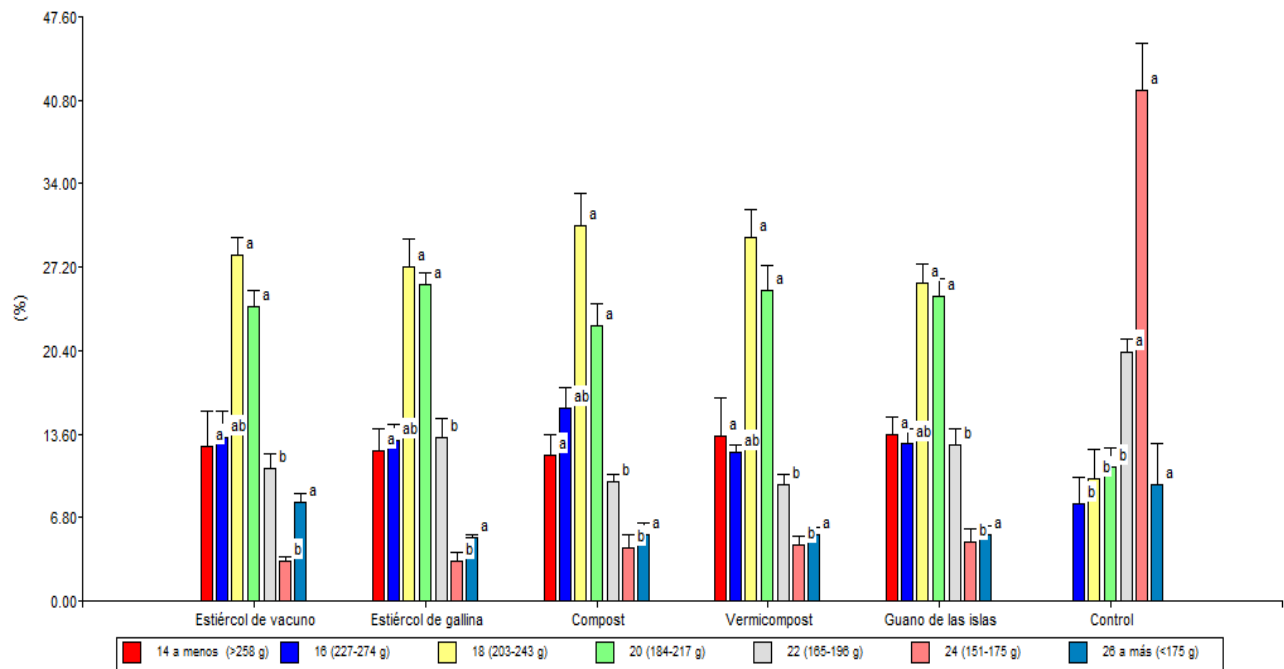


Figura 1. Distribución porcentual del rendimiento de palto (*Persea americana* Mill.) según el calibre de los frutos bajo producción orgánica con la aplicación de diferentes fuentes orgánicas. Las barras representan la media ± error estándar de la media (E.E.). Letras superíndices distintas dentro de cada calibre de fruto indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba HSD de Tukey ($p<0.05$).

DISCUSIÓN

Propiedades químicas del suelo

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de fuentes orgánicas tuvo un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre las propiedades químicas del suelo. En particular, el compost, el vermicompost y el estiércol de vacuno mostraron mayor eficacia en la mejora de parámetros clave como el pH, el contenido de materia orgánica, el nitrógeno mineral, el fósforo y el potasio disponible (Tabla 2).

El aumento en el contenido de materia orgánica es congruente con lo reportado por Oldfield *et al.* (2019) y Mohale *et al.* (2021), quienes destacaron que estas enmiendas aportan carbono de lenta descomposición y estimulan la actividad microbiana, lo que favorece la capacidad de retención de nutrientes y el equilibrio físico-químico del suelo. Del mismo modo, Díaz-Pérez *et al.* (2023) destacaron el papel fundamental de la materia orgánica en la sostenibilidad de los agroecosistemas, al mejorar las propiedades del suelo.

Asimismo, se observó una reducción significativa del valor de pH del suelo en todos los tratamientos con enmiendas orgánicas, tanto en comparación con el valor inicial (8.63) como respecto al tratamiento sin fertilización (7.76). Esta disminución puede atribuirse a la liberación de ácidos orgánicos y a la mineralización de compuestos nitrogenados presentes en los abonos orgánicos, procesos que contribuyen a la acidificación del medio edáfico (Marschner, 2012; Schlesinger y Bernhardt, 2013). En suelos fuertemente alcalinos, como los de la costa central del Perú, esta acidificación moderada resulta beneficiosa, ya que mejora la solubilidad y disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo y el hierro (Havlin y Heiniger, 2020).

En cuanto al incremento de los macronutrientes disponibles, los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos que demuestran que la aplicación de compost, estiércoles y biofertilizantes mejora significativamente la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo (Hernández-Valencia *et al.*, 2021). Esta mayor disponibilidad favorece procesos fisiológicos clave como el desarrollo del sistema radicular, la floración y el llenado de frutos, aspectos determinantes en cultivos perennes como el palto (*P. americana* Mill.).

Parámetros productivos

Los resultados del presente estudio demostraron que la aplicación de fuentes orgánicas tuvo un efecto significativamente positivo sobre los parámetros productivos del palto (*P. americana* Mill.) variedad

Hass, incluyendo el número de frutos por árbol, el calibre, el rendimiento total y el porcentaje de fruta exportable (Tablas 3, 4; Figura 1). En todos los tratamientos con abono orgánico, se observó una mayor proporción de frutos con calibres 18 y 20, los cuales son altamente valorados en el mercado europeo debido a su tamaño ideal para el empaquetado comercial y la preferencia del consumidor (Confederation of British Industry [CBI], 2024; FreshPlaza, 2025). Asimismo, los tratamientos orgánicos alcanzaron porcentajes de fruta exportable entre 93 y 97% superando al tratamiento control que registró un 85%. Estos resultados pueden atribuirse a la mejora en la disponibilidad de macronutrientes esenciales, como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como a la reducción significativa del pH del suelo (Tabla 2), lo cual favorece la absorción de nutrientes por las raíces. La acidez iónica del suelo constituye un factor determinante en la disponibilidad de macro y micronutrientes esenciales, al regular su solubilidad en la solución del suelo y su absorción por las raíces (Barrow y Hartemink, 2023; Huang *et al.*, 2025).

Entre las fuentes orgánicas evaluadas, aquellas con altas tasas de mineralización, como el guano de las islas y el estiércol de gallina, favorecieron la producción de frutos de mayor calibre y clasificados como categoría "Extra" (Tabla 3). Este resultado puede explicarse por la mayor disponibilidad de nitrógeno, nutriente esencial en el crecimiento vegetativo, la floración y la formación de frutos. En sistemas de producción orgánica, el nitrógeno suele ser un factor limitante, ya que su liberación depende de la mineralización progresiva de los abonos orgánicos aplicados (Harraq *et al.*, 2021; Lazcano *et al.*, 2021).

Diversos estudios han documentado la influencia directa entre la disponibilidad de N, P y K y el rendimiento de cultivos perennes como el aguacate (*P. americana* Mill.). El N, en particular, ha sido ampliamente reconocido por su papel central en el incremento del área foliar, el vigor del árbol, el tamaño del fruto y el rendimiento (Lynch y Goldweber, 1956; Lovatt, 2001; García-Martínez *et al.*, 2021). Aunque la dosis requerida de P es menor que la del N, este nutriente cumple una función esencial en procesos fisiológicos como la producción de ATP, la fotosíntesis, respiración y la síntesis de ácidos nucleicos, lo cual puede traducirse en incrementos de rendimiento (Khan *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2025). Por su parte, el K está asociado a la calidad del fruto, la mejora de la eficiencia en el uso del agua y la promoción de la acumulación de azúcares, lo que se refleja en frutos de mayor tamaño y masa, incrementando el rendimiento comercial (Rosecrance *et al.*, 2012).

Además de mejorar la nutrición del cultivo, las enmiendas orgánicas mejoran otras propiedades del suelo. Según Oldfield *et al.* (2019), los abonos orgánicos incrementan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mejoran la estructura del suelo y promueven la retención de humedad, contribuyendo a mitigar el impacto del estrés hídrico, un factor crítico que puede afectar negativamente el calibre de los frutos (Villalva-Morales *et al.*, 2015; Díaz-Pérez *et al.*, 2023). Estos beneficios son particularmente relevantes en el cultivo de palto (*P. americana* Mill.), dado su sistema radicular superficial y su sensibilidad a las condiciones de humedad y fertilidad del suelo (Schaffer *et al.*, 2013). A pesar de la variabilidad nutricional entre las distintas fuentes orgánicas, estudios previos han demostrado su eficacia en satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo. Campos *et al.* (2020) y Hernández-Valencia *et al.* (2021) reportaron mejoras en el rendimiento y calidad del fruto tras la aplicación de compost y estiércoles en suelos con bajo contenido de materia orgánica, situación coincidente con las características del suelo evaluado en la presente investigación.

Entre las fuentes orgánicas evaluadas, el GI destacó por promover una mayor proporción de frutos de categoría “Extra” (72.3%) y un ligero incremento en el porcentaje de frutos de mayor calibre (>258 g.fruto⁻¹), aunque sin diferencias estadísticas significativas (Figura 1). Este comportamiento se atribuye al mayor contenido de N y baja relación C/N (1.50) (Tabla 1), características que favorecen una rápida mineralización y mayor disponibilidad de N (Lazicki *et al.*, 2020). Sin embargo, el GI utilizado presentó concentraciones de nutrientes inferiores (3.22% N, 0.94% P₂O₅ y 1.51% K₂O) (Tabla 1) en comparación con el estándar peruano de guano de las islas, establecido por el MINAGRI, el cual reconoce este abono por su alta riqueza en N (10 - 14%) y P₂O₅ (10 - 12%) (MINAGRI, 2018). Esta diferencia podría explicar la ausencia de diferencias significativas en el rendimiento frente a otras fuentes orgánicas. Si bien el GI posee un amplio reconocimiento histórico como fuente rica en N y P₂O₅ (Schnug *et al.*, 2018), aún se requiere mayor investigación sobre su efecto específico en el rendimiento y calidad de fruto del cultivo de palto (*P. americana* Mill.).

Por su parte, la aplicación de EG, incrementó el rendimiento en un 90.5% respecto al control, alcanzando un rendimiento promedio de 16.4 kg.árbol⁻¹, este valor es comparable con los reportes de Hermoso *et al.* (2011), quienes obtuvieron hasta 20 kg.árbol⁻¹ utilizando estiércol de gallina compostado. La rápida liberación de N asociada al EG (Cotrino-Cabello *et al.*, 2020; Javeed *et al.*, 2023) lo posiciona como una fuente eficaz en estrategias de fertilización, especialmente en suelos de baja fertilidad (Boudjabi

and Chenchouni, 2023). El EG destacó por su contenido de macronutrientes esenciales como (P₂O₅, K₂O, CaO y MgO), así como por su relación C/N de 13.1 (Tabla 1), lo cual favorece una eficiente mineralización del N. Además, el incremento significativo de P y K disponibles en el suelo al finalizar el ensayo (Tabla 2), contribuyó al aumento del rendimiento y la calidad de los frutos, resaltando el potencial del EG como un insumo importante en la fertilización orgánica.

El CO generó un incremento del 104.6% en el rendimiento total de frutos respecto al control, además de mejorar el número y calibre de frutos (Tabla 3 y 4; Figura 1). Estos efectos se atribuyen a su elevado contenido de materia orgánica (38.50%) y su baja relación C/N de (12.5) (Tabla 1), indicativos de una adecuada madurez del compost. Estudios anteriores han señalado que una relación C/N inferior a 15 favorece la mineralización del N (Ho *et al.*, 2022). Aunque su tasa de mineralización es más lenta en comparación con la de los estiércoles (Harraq *et al.*, 2022), en este estudio fue suficiente para cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo. Asimismo, el compost aumentó los niveles de MO, P y K disponible en el suelo, además de reducir el valor de pH (Tabla 2), lo que contribuyó a la mejora general de la fertilidad del suelo.

Si bien existe poca investigación específica sobre el uso de compost en el cultivo de palto (*P. americana* Mill.), estudios previos han demostrado que su aplicación mejora el desarrollo radicular, la actividad microbiana del suelo y el rendimiento del cultivo (Tapia *et al.*, 2014; Campos *et al.*, 2020; Mohale *et al.*, 2021). En condiciones de clima árido y suelos arenosos como los evaluados en el presente estudio, el compost incrementa la capacidad del suelo para retener agua, un factor crítico para el desarrollo adecuado del palto (*P. americana* Mill.) (Díaz-Pérez *et al.*, 2023). En conjunto, estos resultados respaldan el uso del compost como enmienda eficaz para mejorar la disponibilidad de nutrientes y aumentar el rendimiento del cultivo (Brock *et al.*, 2021).

El incremento en el rendimiento y calibre de frutos observado con la aplicación de VC, en comparación con el control (Tabla 3), podría atribuirse a su baja relación C/N de (9.6) (Tabla 1). A pesar de su lenta tasa de mineralización, el VC permitió una liberación progresiva de N, favoreciendo su disponibilidad durante el ciclo del cultivo. De acuerdo con Dume *et al.* (2023), el vermicompost tiene un efecto más sostenido en el manejo nutricional debido a su liberación gradual de nutrientes, en comparación con estiércoles frescos, lo cual resulta beneficioso para los cultivos con requerimientos nutricionales prolongados. En este estudio, el análisis final del suelo demostró que

el tratamiento con VC presentó los valores más altos de nitrógeno nítrico, fósforo y potasio disponibles, superando estadísticamente al resto de los tratamientos (Tabla 2). Tapia *et al.* (2014) también reportaron que la aplicación de vermicompost y compost mejora la nutrición del cultivo y contribuye a mantener niveles adecuados de nitrato en el suelo, con efectos positivos sobre el rendimiento. Asimismo, Murugan y Swarnam (2013) destacaron que una baja relación C/N favorece la mineralización del N y su posterior nitrificación, facilitando su absorción por las plantas.

Aunque existen pocos estudios específicos sobre el efecto del VC en el rendimiento del palto (*P. americana* Mill.), sus beneficios han sido ampliamente documentados en otros cultivos. Entre sus propiedades destacadas se incluyen el aporte de nutrientes esenciales, la presencia de compuestos orgánicos con actividad hormonal y una elevada población de microorganismos benéficos que estimulan el desarrollo del cultivo (Vambe *et al.*, 2023). Además, el VC ha demostrado capacidad para reducir la salinidad del suelo mediante la síntesis de metabolitos secundarios (Alamer *et al.*, 2022), un atributo importante en el cultivo de palto (*P. americana* Mill.), que presenta sensibilidad a suelos salinos (Acosta-Rangel *et al.*, 2019; Reints *et al.*, 2020).

Finalmente, el tratamiento de EV presentó un menor rendimiento de frutos, aunque solo fue estadísticamente superado por el CO (Tabla 3). Esta menor productividad podría explicarse por su lenta descomposición, que limita la disponibilidad inmediata de N. Beef Cattle Research Council (Beef Cattle Research Council [BCRC], 2023) señaló que la descomposición gradual del estiércol de vacuno puede restringir la mineralización del N, un nutriente esencial en la productividad del cultivo. Su alta relación C/N (Tabla 1) sugiere una mineralización más prolongada, aunque en general la tasa de mineralización de N del estiércol de vacuno es superior a la del compost. Sin embargo, se estima que solo el 50% del N contenido se mineraliza durante el primer año de aplicación (Gross, 1981).

Cabe destacar que el estiércol de vacuno presentó el mayor contenido de materia orgánica (58.50%) entre las fuentes evaluadas (Tabla 1). Al finalizar el experimento, se observó un incremento en los niveles de materia orgánica, P y K en el suelo, así como una disminución significativa del pH (Tabla 2). Estas mejoras en las propiedades del suelo son particularmente importantes en contextos de suelos de baja fertilidad (Bedoya y Julca, 2021; Fu *et al.*, 2022), como los analizados en este estudio. Aunque los resultados corresponden al primer año de aplicación, y la evidencia sobre su efecto en palto (*P. americana* Mill.) aún es limitada, estudios previos con la variedad

Fuerte indicaron que el estiércol de vacuno no generó efectos significativos en rendimiento durante el primer año, aunque sí mejoró las propiedades del suelo (Bedoya y Julca, 2021). No obstante, en este estudio se observaron mejoras en el rendimiento y calibre de los frutos, lo que resalta la necesidad de investigaciones adicionales que evalúen el efecto a mediano y largo plazo del estiércol de vacuno en el cultivo de palto bajo sistemas de producción orgánica.

CONCLUSIONES

Todas las fuentes orgánicas evaluadas en esta investigación mejoraron significativamente las propiedades químicas del suelo, así como el rendimiento de frutos exportables de palto (*P. americana* Mill.) ‘Hass’ durante el primer año de aplicación. El compost y el vermicompost fueron las enmiendas más efectivas para incrementar la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En cuanto al calibre, las fuentes orgánicas favorecieron predominantemente la producción de frutos en los calibres 18 y 20, los más demandados por el mercado europeo. En función de estos resultados, se recomienda la incorporación de estas enmiendas orgánicas en los programas de fertilización de plantaciones de palto (*P. americana* Mill.) bajo sistemas de producción orgánica.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la familia Rojas Mota por haber brindado las facilidades necesarias para la realización de esta investigación en su plantación de palto. Asimismo, se agradece al equipo técnico de EUROFRESH SAC por su valioso apoyo durante la ejecución del estudio. Finalmente, se agradece a los revisores anónimos por sus observaciones y aportes, que contribuyeron a mejorar la calidad del manuscrito.

Funding. The research costs were funded by the authors.

Conflict of interest statement. There is no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Informed consent was obtained from all persons involved in the research.

Data availability. Data is available from the author for correspondence (Dori Udulia Felles Leandro: dfelles@unjfsc.edu.pe).

Author contribution statement (CRediT). **D. Felles-Leandro** – Conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, investigation, methodology, resources, supervision, validation, writing original draft, writing, review & editing. **J.**

Zelada-López – Investigation, supervision, writing, review. **S. García-Bendezú** – Conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, writing, review.

REFERENCES

- Acosta-Rangel, A.M., Li, R., Celis, N., Suárez, D. L., Santiago, L. S., Arpaia, M. L. and Mauk, P. A. 2019. The physiological response of 'Hass' avocado to salinity as influenced by rootstock. *Scientia Horticulturae*, 256, pp. 108629. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108629>
- Asociación de Exportadores [ADEX]., 2025. Frutas frescas: Panorama del mercado internacional y nacional. Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales – CIEN. https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2025/03/NC_Mar2025Frutafresca_vf.pdf
- Asociación de Exportadores [ADEX]., 2025b. Reporte de productos agrícolas orgánicos. Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales – CIEN. https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2025/08/RO_Jun2025_vf.pdf
- Alamer, K.H., Perveen, S., Khaliq, A., Zia U.I., Haq, M., Ibrahim, M.U. and Ijaz, B., 2022. Mitigation of salinity stress in maize seedlings by the application of vermicompost and sorghum water extracts. *Plants*, 11(19), pp. 2548. <https://doi.org/10.3390/plants11192548>
- Alvarez-Vera, M., Largo, A., Iglesias-Abad, S. and Castillo, J. 2019. Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), pp. 353-361. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Barrow, N. and Hartemink, A., 2023. Los efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes dependen tanto del suelo como de las plantas. *Plant Soil*, 487, pp. 21-37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Bedoya, E. and Julca, A., 2021. Efecto de la materia orgánica en el cultivo de palto variedad Fuerte en Moquegua, Perú. *Idesia(Arica)*, 39(4), pp. 111-119. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400111>
- Beef Cattle Research Council [BCRC]., 2023. Manure & nutrient management. <https://www.beefresearch.ca/topics/manure-nutrient-management/>
- Bonilla, N., Vida, C., Martínez-Alonso, M., Landa, B. B., Gaju, N., Cazorla, F. M. and De Vicente, A., 2015. Organic amendments to avocado crops induce suppressiveness and influence the composition and activity of soil microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(10), pp. 3405-3418. <https://doi.org/10.1128/AEM.03787-14>
- Boudjabi, S. and Chenchouni, H., 2023. Comparative effectiveness of exogenous organic amendments on soil fertility, growth, photosynthesis and heavy metal accumulation in cereal crops. *Heliyon*, 9(4), p. e14615. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14615>
- Brock, C., Oltmanns, M., Matthes, C., Schmehe, B., Schaaf, H., Burghardt, D., Hortst, H. and Spieß, H. 2021. Compost as an option for sustainable crop production at low stocking rates in organic farming. *Agronomy*, 11(6), p. 1078. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061078>
- Campos, J., Álvarez, M., Maldonado, R. and Almaguer, G., 2020. Aplicación de abonos orgánicos en el rendimiento y desarrollo radicular en el cultivo de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), pp. 263-274. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2301>
- Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement and Hass Avocado Board [CIRAD and HAB]., 2019. Perú making giant strides. <file:///Users/dory/Downloads/HAB-CIRAD+avocado+Peru+ANG.pdf>
- ComexPerú., 2025. Paltas y diversificación de mercados. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/paltas-y-diversificacion-de-mercados#:~:text=El%20Per%C3%BA%20se%20ubic%C3%B3%20como,con%20las%20cifras%20de%20Sunat.>
- Cantarero, R. J. and Martínez, O. A., 2002. Evaluación de tres tipos de fertilizantes (gallinaza,

- estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Variedad NB-6. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Agraria, UNA.
<https://repositorio.una.edu.ni/1853/1/tnf04c229.pdf>
- Castro, A., Dávila, C., Laura, W., Cubas, F., Ávalos, G., López, C., Vilena, M., Urbiola, J., Trebejo, I., Menis, L. and Marín, D., 2021. Climas del Perú: mapa de clasificación climática nacional. In Climas del Perú: mapa de clasificación climática nacional. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI y Ministerio del Ambiente - MINAM.
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Confederation of British Industry [CBI]., 2024. Entering the European market for avocados.
<https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/avocados/market-entry>
- Consejo de la Unión Europea., 2018. Reglamento (UE) 2018/848 del parlamento Europeo y del consejo de 30 de mayo de 2018, sobre la producción y etiquetado de los productos ecológicos.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-80995>
- Cotrina-Cabello, V.R., Alejos-Patiño, I.W., Cotrina-Cabello, G.G., Córdova-Mendoza, P. and Córdova-Barrios, I.C., 2020. Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Pano, Perú. *Centro Agrícola*, 47(2), pp. 31-40.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0253-57852020000200031&script=sci_arttext&tlng=en
- Díaz-Pérez, F.J., Díaz, R., Valdés, G., Valdebenito-Rolack, E. and Hansen, F., 2023. Effects of microalgae and compost on the yield of cauliflower grown in low nutrient soil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(2), pp. 181-194.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392023000200181>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M. and Gonzáles, L., 2020. Grupo InfoStat, Software estadístico. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
<https://www.infostat.com.ar/>
- Dume, B., Hanc, A., Svehla, P., Michal, P., Chane, A. D. and Nigussie, A., 2023. Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, p. 115255.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115255>
- Felles-Leandro, D. and García-Bendezú, S., 2022. Factores físicos y técnicos que influyen en el rendimiento de palto orgánico (*Persea americana* Mill.), en Perú. *Chilean Journal of Agricultural y Animal Sciences*, 38(3), pp. 243-258.
<https://doi.org/10.29393/CHJAA38-24ARVP10024>
- Ferreira, R., Selles, G., Gil, P., Celedón, J. and Maldonado, P., 2012. Effect of soil available water depletion on plant water status, fruit size and yield of avocado trees cv. 'Hass'. In *Seventh International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops - Greensys*, 1038, pp. 393-400.
https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/f66598c2-7e3b-4cc6-9729-1b745ff0d36c?utm_source=chatgpt.com
- Fresh Plaza., 2025. Global market overview avocados.
https://www.freshplaza.com/north-america/article/9736613/global-market-overview-avocados/?utm_source=chatgpt.com
- Fu, Y., de Jonge, L.W., Moldrup, P., Paradelo, M. and Arthur, E., 2022. Improvements in soil physical properties after long-term manure addition depend on soil and crop type. *Geoderma*, 425, p. 116062.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116062>
- García-Martínez, R., Cortés-Flores, J.I., López-Jiménez, A., Etchevers-Barra, J.D., Carrillo-Salazar, J.A. and Saucedo-Veloz, C., 2021. Rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate 'Hass' de huertos con diferente fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), pp. 205-218.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2232>
- Gardiazábal, F. 2004. Riego y nutrición en paltos. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. 2º Seminario Internacional de Paltos. Quillota, Chile. pp. 1-21.
<https://www.avocadosource.com/Journals/2>

- [Seminario/2 Seminario Gardiazabal Fertilizacion y Riego SPAN.pdf](#)
- Geisseler, D., Smith, R., Cahn, M. and Muramoto, J., 2021. Nitrogen mineralization from organic fertilizers and composts: Literature survey and model fitting. *Journal of Environmental Quality*, 50(6), pp. 1325-1338. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20295>
- González-Vences, R., Cajuste-Bontemps, L., Sanchez-Escudero, J., Gómez-Merino, F. C. and Trejo-Téllez, L. I., 2024. Efficient detection of nutrient deficiencies and development of corrections in avocado through the Compositional Nutrient Diagnosis (CND). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52(1), pp. 13118-13118. <https://doi.org/10.15835/nbha52113118>
- Gros, A., 1981. Abonos, guía práctica de la fertilización. Séptima edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 560 p.
- Guerrero, J., 1993. Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico del suelo. Lima, Edición RAAA (Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos).
- Harraq, A., Sadiki, K., Bourioug, M. and Bouabid, R., 2022. Organic fertilizers mineralization and their effect on the potato *Solanum tuberosum* performance in organic farming. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(4), pp. 255-266. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.09.003>
- Havlin, J. and Heiniger, R., 2020. Soil fertility management for better crop production. *Agronomy*, 10(9), p. 1349. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091349>
- Hermoso, J.M., Torres, M.D. and Farré, J.M., 2011. Efectos de materias orgánicas en árboles adultos de Hass. *Proceedings VII World Avocado Congress*. Cairns 5 al 9 September. Australia. http://www.avocadosource.com/WAC7/Section_09/HermosoJM2011b.pdf
- Hernández-Valencia, A., Tapia-Vargas, L., Hernández-Pérez, A. and Larios-Guzmán, A., 2021. Evaluación de fertilizantes orgánicos y su efecto en la nutrición y desarrollo del aguacate. *Contribuciones tecnológicas para el futuro forestal y agropecuario Veracruzano 2021*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), pp. 66-73. ISBN 978-607-37-1360-3.
- Ho, T.T.K., Le, T.H., Tran, C.S., Nguyen, P.T., Vo, T.D.H., Thai, V.N. and Bui, X.T., 2022. Compost para mejorar el cultivo sostenible del suelo y la productividad de los cultivos. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, p. 100211. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100211>
- Huang, J., Fisher, P., Argo, W., Jeong, K. and Altland, J., 2025. Solubilidad de macronutrientes en respuesta al pH de sustratos de contenedores sin suelo. *J Soil Sci Plant Nutr*, 25, pp. 3224-3240. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02331-0>
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2021. *Fertilizantes. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales* [Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021]. <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2014. *Norma técnica peruana 011.018:2014 de palta*. Quinta edición. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), Lima, Perú. <https://docplayer.es/95447403-Proyecto-de-norma-tecnica-pntp-peruana-2014.html>
- Javeed, H.M.R., Ali, M., Kanwal, N., Ahmad, I., Jamal, A., Qamar, R., Andaleeb, H., Jabeen, R., Radicetti, E. and Mancinelli, R., 2023. Nitrogen mineralization in texturally contrasting soils subjected to different organic amendments under semi-arid climates. *Land*, 12(5), p. 989. <https://doi.org/10.3390/land12050989>
- Khan, F., Siddique, AB., Shabala, S., Zhou, M. and Zhao, C., 2023. El fósforo desempeña un papel clave en la regulación de las respuestas fisiológicas de las plantas al estrés abiótico. *Plants*, 12 (15), p. 2861. <https://doi.org/10.3390/plants12152861>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F., 2006. World map of the Köppen- Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), pp. 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>

- Lazcano, C., Zhu-Barker, X. and Decock, C., 2021. Effects of organic fertilizers on the soil microorganisms responsible for N₂O emissions: A review. *Microorganisms*, 9(5), p. 983. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9050983>
- Lazicki, P., Geisseler, D. and Lloyd, M., 2020. Nitrogen mineralization from organic amendments is variable but predictable. *Journal of Environmental Quality*, 49(2), pp. 483-495. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20030>
- Liyanage, M., Hanafi, M.M., Sulaiman, M.F., Ismail, R., Gunaratne, G., Dharmakeerthi, S., Rupasinghe, G. and Mayakaduwa, A., 2022. Consequences of nitrogen mineralization dynamics for soil health restoration of degraded tea-growing soil using organic amendments. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(2), pp. 199-210. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392022000200199>
- Lynch, S.J. and Goldweber, S., 1956. Some effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the yield and tree growth of avocados. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 69, pp. 289-292. https://www.avocadosource.com/Journals/FS_HSP/FSHSP_VOL_69_PG_289-292_1956.pdf
- Lovatt, C.J., 2001. Fertilizantes nitrogenados aplicados al suelo en el momento oportuno aumentan el rendimiento y el tamaño del fruto del aguacate Hass. *Journal-American Society for Horticultural Science*, 126 (5), pp. 555-559. https://www.avocadosource.com/Journals/A_SHS/ASHS_2001_126_5_PG_555-559.pdf
- Marschner, H., 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic press. ISBN 0123849055, 9780123849052. p. 651.
- Mickelbart, M. V., Melser, S. and Arpaia, M. L., 2007. Salinity-induced changes in ion concentrations of 'Hass' avocado trees on three rootstocks. *Journal of Plant Nutrition*, 30(1), pp. 105-122. <https://doi.org/10.1080/01904160601055137>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]., 2025. Comercio internacional agropecuario. Exportaciones. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas - DGESEP - DEA. <https://sicoexa.midagri.gob.pe/SICOEXA/Series/IndexSeries>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]., 2018. Manual de abonamiento con guano de las islas. Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural –AGRORURAL. Dirección de abonos. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Lima, Perú. <https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL%20DE%20ABONAMIENTO%20CON%20G.I..pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]., 2019a. La situación del mercado internacional de la palta. Su análisis desde una perspectiva de las exportaciones peruanas. Dirección general de Políticas agrarias. Lima, Perú. <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/estudios/2019/28-la-situación-del-mercado-internacional-de-la-palta/file>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]., 2019b. Anuario estadístico de producción agrícola 2018. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias (SIEA). Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP). Lima, Perú. 371 p. https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego and Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [MINAGRI and SENAMHI]., 2018. Requerimientos agroclimáticos del cultivo de palto. Ficha técnica N° 12. Dirección general de políticas agrarias. Dirección de estudios económicos e información agraria. <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/material-de-divulgacion/fichas-tecnicas/2018/39-requerimientos-agroclimaticos-del-cultivo-de-palto/file>
- Mohale, M.P., Manyevere, A., Dube, E. and Zerizghy, M., 2021. Short-term effect of eucalyptus wood-based compost on biological fertility of soils under avocado plantations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(13), pp. 1574-1589. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1892721>

- Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, H.K., Smith, P., Clocke, P., Leiber, F., Stolze, M. and Niggli, U., 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, 8(1), p. 1290. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- Muñoz, D., Jaime, E., Gonzales, J., Gómez, R. and Romero, M., 2017. Efecto de la conductividad eléctrica del agua de riego sobre dos portainjertos de aguacate. In *Congreso Nacional de riegos*. Tarragona. España.
- Murugan, A.V. and Swarnam, T.P., 2013. Nitrogen release pattern from organic manures applied to an acid soil. *Journal of Agricultural Science*, 5(6), pp. 174-184. <http://doi.org/10.5539/jas.v5n6p174>
- Nghia, N.K., Robatjazi, J., Vy, V.D., Tecimen, H.B., Lasar, H.G., Lesueur, D., Bai, S.H. and Luan, D.T., 2025. Effect of organic farming practices on soil health improvement of coconut farms. *Environmental Technology & Innovation*, 38, p. 104067. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104067>
- Oldfield, E.E., Bradford, M.A. and Wood, S.A., 2019. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), pp. 15-32. <https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>
- Palomino, L., Vega, R., Lara, C., Gomero, L. and García, S., 2019. Evaluación de cinco residuos avícolas como fuentes de nitrógeno mineral disponible. *Idesia (Arica)*, 37(3), pp. 121-129. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300121>
- Rabobank., 2023. World Avocado Map 2023: Global growth far from over. RaboResearch, Food & Agribusiness. The food & agribusiness bank. <https://research.rabobank.com/far/en/sectors/fresh-produce/world-avocado-map-2023-global-growth-far-from-over.html>
- Redagráfica., 2025. Exportación de palta/aguacate desde Perú superó por primera vez los US\$ 1.034 millones en el primer semestre. https://redagricola.com/exportacion-de-palta-aguacate-desde-peru-supero-por-primera-vez-los-us-1-034-millones-en-el-primer-semestre/?utm_source=chatgpt.com
- Redagráfica. 2021. Fuerte recuperación de cultivos orgánicos en Perú impacta en precios de exportación. <https://redagricola.com/recuperacion-de-cultivos-organicos-en-peru/>
- Reints, J., Dinar, A. and Crowley, D. 2020. Dealing with water scarcity and salinity: adoption of water efficient technologies and management practices by California avocado growers. *Sustainability*, 12(9), p. 3555. <https://doi.org/10.3390/su12093555>
- Rosecrance, R., Lovatt, C.J. and Faber, B., 2012. Management Tools for Fertilization of the 'Hass' Avocado. In *Fertilizer research and education program conference*. p. 107. https://www.cdfr.ca.gov/is/ffldrs/pdfs/2011_Proceedings_FREP.pdf#page=113
- Sales-Dávila, B., Samaniego-Vivanco, T.D., Durand-Pasco, K.A., Norabuena-Segovia, Á.A., Calderón-Espinoza, R.J., Ortega-Vega, J.M. and Munayco-Peralta, K.E., 2024. Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego. In *urn: isbn: 978-9972-44-151-6*. Lima, Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/579d9e8f-663e-47f9-828d-a816b511a50f>
- Sandoval Porta, D., 2019. Efecto de los fertilizantes organominerales en el rendimiento del cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) variedad Hass [Tesis de Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8582>
- Servicio para el Desarrollo Integral Rural [SEDIR]., 2025. El Auge de la Palta Peruana: Un Análisis de las tendencias de exportación de 2016 a 2025. https://sedir.org.pe/noticia/463/el-auge-de-la-palta-peruana-un-analisis-de-las-tendencias-de-exportacion-de-2016-a-2025?utm_source=chatgpt.com
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]., 2023. Monitoreo de las temperaturas del aire en la costa peruana. Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica – DMA. Subdirección de predicción climática. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02268-SENA-69.pdf>
- Singh, A., Khare, S. and Gupta, P., 2025. Sulfur and phosphorus transporters in plants: Integrating

- mechanisms for optimized nutrient supply. *Plant Physiology and Biochemistry*, p. 109918.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109918>
- Schaffer, B., Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W., 2013. The Avocado: Botany, production and uses. An online publication by CABI. Available at:
<https://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20133051561>
- Schlesinger, W.H. and Bernhardt, E.S., 2013. Biogeochemistry: an analysis of global change. Third Edition.
<https://doi.org/10.1093/obo/9780199830060-0111>
- Schnug, E., Jacobs, F. and Stoven, K., 2018. Guano: The White Gold of the Seabirds. *Seabirds*, 1, pp. 79-100.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.79501>
- Tapia, L., Larios, A., Hernández, A., and Guillén, H., 2014. Nutrición orgánica del aguacate cv. "Hass" y efecto nutrimental y agronómico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), pp. 463-472.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263130497010>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]., 2012. Certificación orgánica.
https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/OFPA_08062020_MexSpa.pdf
- Vambe, M., Cooposamy, R.M., Arthur, G. and Naidoo, K., 2023. Potential role of vermicompost and its extracts in alleviating climatic impacts on crop production. *Journal of Agriculture and Food Research*. 12(10), p.100585.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100585>
- Vázquez, J. and Loli, O., 2018. Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), pp. 43-52.
<http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>
- Velecela, S., Meza, V., García, S., Alegre, J. and Salas, C., 2019. Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 10(2), pp. 229-239.
<http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.08>
- Villalva-Morales, A., Damián-Nava, A., González-Hernández, V. A., Talavera-Mendoza, O., Hernández-Castro, E., Palemón-Alberto, F., Diaz-Villaseñor, G. and Sotelo-Nava, H., 2015. Nutrición química y orgánica en aguacate Hass en Filo de Caballos, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(11), pp. 2169-2176.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.794>
- Wen, Y., Yao, W., Yu, T., Cheng, L., Zhang, Q., Yang, J., Lin, F., Zhu, H., Gunina, A., Yan, Y., Mganga, Z., Zeng, Z. and Zang, H., 2025. Long-term organic farming improves the red soil quality and microbial diversity in subtropics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381, p. 109410.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109410>