



Received: Nov 15, 2025 / Accepted: Dec 01, 2025

Artículo Original

## Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo, para el cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) variedad fuerte

### Characterization of the physical and chemical properties of the soil for the cultivation of avocado (*Persea americana* Mill.) variety fuerte

V. A. Cáceres-Salazar<sup>1\*</sup> , M. Asís-López<sup>1</sup> , S. E. Soria-Albinagorta<sup>1</sup> , B. P. Yanac-Carrión<sup>1</sup> 

<https://doi.org/10.51431/par.v7i2.1080>



#### RESUMEN

**Objetivo:** Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos destinados al cultivo de palto variedad Fuerte, con el fin de identificar deficiencias nutricionales y proponer estrategias de manejo diferenciadas. **Metodología:** Se analizaron 263 muestras de suelo mediante un muestreo estratificado, evaluando pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y textura. Se aplicó además un análisis de clúster para agrupar zonas con características edáficas similares. **Resultados:** Los suelos presentaron predominio de texturas francas y franco-arenosas, pH ligeramente alcalino, niveles bajos de materia orgánica y nitrógeno, y valores de fósforo y potasio dentro de rangos aceptables. El análisis multivariado reveló que la fertilidad química, más que la textura, fue el principal factor diferenciador entre los grupos. **Conclusiones:** Implementar programas de fertilización diferenciados y prácticas sostenibles orientadas a incrementar la materia orgánica y optimizar el uso de nutrientes, mejorando así la productividad y sostenibilidad del cultivo de palto en la región.

**Palabras clave :** palto, fertilidad de suelos, fertilización, nutrientes, *Persea americana*.

#### ABSTRACT

**Objective:** To characterize the physical and chemical properties of soils used for the cultivation of 'Fuerte' variety avocado, in order to identify nutritional deficiencies and propose differentiated management strategies. **Methodology:** Two hundred and sixty-three (263) soil samples were analyzed using stratified sampling, evaluating pH, organic matter, total nitrogen, phosphorus, potassium, electrical conductivity, and texture. A cluster analysis was also applied to group areas with similar edaphic characteristics. **Results:** The soils were predominantly loamy and sandy-loam in texture, with a slightly alkaline pH, low levels of organic matter and nitrogen, and phosphorus and potassium values within acceptable ranges. Multivariate analysis revealed that chemical fertility, rather than texture, was the main differentiating factor among the groups. **Conclusions:** Implement differentiated fertilization programs and sustainable practices aimed at increasing organic matter and optimizing nutrient use, thereby improving the productivity and sustainability of avocado cultivation in the region.

**Keywords:** organic fertilizer; compost; environmental pollution; healthy agriculture

<sup>1</sup>Institución: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Ancash

\* Autor para correspondencia: [accaceres@unasam.edu.pe](mailto:accaceres@unasam.edu.pe)

## Introducción

El palto (*Persea americana Mill.*), es una variedad de importancia comercial, producido principalmente en los valles interandinos y costa del Perú (Ocas, 2020; Lahav & Whiley, 2002). El fruto es de importancia nutricional debido al contenido de fibra dietética, vitaminas E y K, minerales como el magnesio y potasio, además mejora la absorción de los carotenoides luteína y zeaxantina (Dreher & Davenport, 2013; Ford & Liu, 2020). Los árboles de aguacate pueden subsistir de 30 a 50 años, por lo tanto, las cantidades anuales efectivas de nutrientes agregadas deben corresponder a las cantidades anuales perdidas (Silber et al. 2018).

El palto 'Fuerte', es una de las más populares en la producción comercial, cuyo manejo nutricional requiere un enfoque integral considerando que su cultivo demanda entre 2-5% de materia orgánica debidamente compostada, lo cual mejora las propiedades físicas y químicas del suelo y repercute en el incremento del rendimiento (Janardhan et al., 2021), de acuerdo al Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], (2020) la M.O en palto, región sierra debe ser mayor igual a 3.5%. El sistema radicular del palto consta de una raíz principal y raíces secundarias superficiales que absorben agua y nutrientes para su crecimiento y desarrollo (Mejía-Bonilla et al., 2024). Considerando que las raíces son muy superficiales y su mayor abundancia se presenta en la capa superior del suelo (Jaramillo, 2012), el cultivo se adapta a diversos tipos de suelo desde arenosos hasta arcillosos, siendo ideal una profundidad de entre 0.8 y 1.0 metros (Garrido et al., 2013), con suelos óptimos de textura ligera, profundos, bien drenados y con pH 5.5-6.8, aunque tolera suelos franco arcillosos o arcillosos con buen drenaje (Pozo, 2012). De acuerdo al INIA (2020) es adecuado un pH entre 6.5-7.2 y textura de suelo que considere un nivel de aireación al 25%.

Las recomendaciones de fertilización de macronutrientes (N, P, K) empleadas en diferentes zonas de producción de aguacate son frecuentemente generales y se aplican sin considerar el contenido nutricional del suelo y el estado nutricional de los árboles, causando aplicaciones inadecuadas que reducen la productividad y contaminan acuíferos (Salazar-García, 2002). La fertilización representa una de las prácticas más importantes para incrementar el crecimiento vegetativo, la productividad y la

calidad de la fruta (Abd El-Moniem et al., 2022), siendo fundamental que el plan de fertilización se elabore en función de los resultados de previo análisis químicos del suelo y del follaje, para evitar problemas de fijación de elementos, deficiencias nutricionales y contaminación por excesivas dosis (Peña, 2020), además, de gastos insulsos.

La demanda de diversos nutrientes por parte de la planta depende de la etapa fenológica, la periodicidad de las aplicaciones y la integración de todo el ecosistema (Silver et al., 2019), siguiendo una relación nutricional específica de 2N:1P:2K, donde es fundamental mantener equilibrios adecuados entre K, Ca y Mg para prevenir antagonismos que bloqueen la absorción de estos elementos (Martínez et al., 2014). Lemus et al., (2010) reporta que 30 toneladas de frutos cosechados y follaje, extraen en promedio: 120N (kg/ha), 50P2O5 (kg/ha) y 160 K2O (kg/ha). En el palto 'Fuerte', de acuerdo a Salazar-García (2002), los elementos removidos en Kg/20 toneladas de esta variedad fue 64N, 55P2O5 y 100.8 K2O, en cuanto a microelementos no reporta nutrimentos removidos; adicional a ello, de acuerdo a especialistas en palto de la sierra del Perú, la extracción por kg/1 tonelada es de 8.2N, 2.5P, 13.1K, 0.55Ca y 0.47Mg, a inicio de producción. Además, se debe considerar que la máxima demanda de nitrógeno ocurre durante el crecimiento de brotes y frutos, mientras que en suelos fértiles el fósforo requiere aplicaciones bajas o nulas excepto en deficiencias claras (>20 kg P/ha/año), el potasio se requiere en cantidades similares al nitrógeno ajustándose al nivel productivo del huerto y textura del suelo, y las deficiencias de micronutrientes de hierro y zinc se asocian a suelos con caliza (carbonato de calcio) en los cuales el pH generalmente es superior a 8.0 (Ibacache & Sierra, 1998).

Por otra parte, el establecimiento de relaciones N/K óptimas constituye un factor clave para el manejo nutricional eficiente (Viera et al., 2021), aunque diversos estudios han demostrado que la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados y potásicos no se traduce en incrementos proporcionales de la producción (Tapia et al., 2003), siendo necesario reducir las dosis de ambos minerales durante la fase de cuajado del fruto (Montgomery y Castro, 2017).

Dentro de los procesos bioquímicos del

suelo, la mineralización constituye un mecanismo fundamental mediante el cual el nitrógeno orgánico es transformado por microorganismos especializados en formas asimilables, principalmente amonio y nitrato (Binkley y Hart, 1989). Esta transformación es crucial para la disponibilidad de nitrógeno en el sistema suelo-planta. En este contexto, Flores-Márquez (2007) establece una tasa de mineralización del 20% a partir del nitrógeno total (Nt), valor que constituye un parámetro de referencia para estimar la contribución del nitrógeno orgánico a la nutrición vegetal y, por tanto, para el diseño de programas de fertilización nitrogenada.

Para el manejo nutricional óptimo de los cultivos, es fundamental considerar las relaciones entre los principales cationes del suelo. Según Moro-Gonzales (2015), la relación Ca/Mg debe mantenerse en un valor de 5, ya que valores superiores evidencian deficiencia de magnesio. De manera similar, la relación Mg/K debe fluctuar entre 3 y 18 para ser considerada aceptable, mientras que la relación Ca/K debe presentar valores inferiores a 30, pues valores superiores indican deficiencia de potasio. En el contexto de la evaluación de la calidad química del suelo, la salinidad se cuantifica mediante la conductividad eléctrica (CE), de acuerdo Ayers (1977) el valor de la CE del extracto saturado del suelo en palto debe ser menor igual a 1.3 mmhos/cm a 25°C o dS/m; mientras que la sodicidad se determina en función de la concentración de Na<sup>+</sup> en relación con los cationes divalentes (Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>), expresada como porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (Andrade et al., 2020). Estas relaciones catiónicas constituyen indicadores clave para el desarrollo de estrategias de fertilización balanceada.

En este contexto, este estudio tiene como objetivo caracterizar la fertilidad química y la textura de los suelos destinados al cultivo de palto (*Persea americana* Mill. var. *Fuerte*) en la provincia de Carhuaz – Áncash, con el fin de identificar deficiencias nutricionales y proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en el manejo sostenible de este importante recurso agrícola.

## Metodología

### Área de estudio

El estudio se realizó en la provincia de Carhuaz (9°16'S, 77°31'W), a altitudes entre 2,500 y 3,000 msnm, siendo los centros poblados seleccionados: Nivin, Ampu, Llanllapu, Pampa Grande, Hornuyoc, Mallhuapampa, caracterizadas por un clima templado seco.

### Figura 1

#### Área de estudio



#### Diseño muestral

Productores de palto “variedad fuerte” de la provincia de Carhuaz siendo total de 832 productores.

La cantidad de muestra es n= 263 parcelas, tipo de muestreo estratificado:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 PQN}{\epsilon^2 (N - 1) + Z^2 PQ}$$

De donde

n: Tamaño de la muestra

N: Población total

Z: margen de seguridad valor de tabla (distribución normal) a un nivel de confianza establecido

P: Probabilidad de ocurrencia con un valor de 50 %

Q: Probabilidad de no ocurrencia con un valor de 50%: Margen de error

Y: Para seleccionar la muestra se usará el muestreo de tipo probabilístico por conveniencia del investigador, debido a la disponibilidad de acceso e interés del productor.

### Recolección de muestras

La recolección de muestras de suelo se realizó mediante muestreo estratificado, considerando distintos grupos de agricultores, distribuidos en diferentes distritos de la provincia de Carhuaz.

Este enfoque permitió representar la variabilidad espacial y tipológica de los sistemas productivos de palto (*Persea americana Mill.*) variedad Fuerte.

El muestreo se desarrolló en tres etapas:

#### Paso 1: Planificación

- Definición de objetivos, vías de acceso, revisión de estudios previos y delimitación de áreas de interés.
- Determinación de tipo de muestreo, número y distribución de puntos, profundidades y equipo requerido.
- Medidas para asegurar la calidad y preservación de las muestras.

#### Paso 2: Toma de muestras

- Se excavaron hoyos para extraer muestras a dos profundidades: 0–30 cm (capa superficial) y 30–60 cm (subsuperficial).
- Se raspó la superficie para eliminar restos vegetales, evitando pérdida de suelo.
- Corte en “V” para obtener una porción central de aproximadamente 3 cm de espesor, descartando bordes.
- Recolección de submuestras en puntos georreferenciados según croquis de muestreo.
- Homogenización en baldes plásticos, eliminación de piedras, raíces y contaminantes.
- Obtención de una muestra compuesta de 0.5–1 kg mediante el método de cuarteo.
- Embolsado en plástico resistente, con cierre seguro para evitar contaminación cruzada.

#### Paso 3: Etiquetado y transporte

Etiqueta visible con identificación única, localidad, código del proyecto, fecha y hora.

Registro en bitácora de campo.

Transporte al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) para su análisis.

### Análisis de laboratorio

En cada muestra compuesta se determinaron los siguientes parámetros:

- pH en agua (1:2.5) – método potenciométrico.
- Materia orgánica (MO) – método Walkley–Black.
- Textura – método hidrométrico de Bouyoucos.
- Conductividad eléctrica (CE) – conductímetro.
- Nitrógeno total (N) – método Kjeldahl.
- Fósforo disponible (P) – métodos Bray II y Olsen, según el pH del suelo.
- Potasio intercambiable (K) – extracción con acetato de amonio y determinación por fotometría de llama.

### Análisis de cluster

Para lograr identificar patrones de homogeneidad en las propiedades edáficas, se realizó un análisis de clustering sobre las variables físico-químicas del suelo. En primer lugar, los datos fueron preprocesados a través del análisis de outliers y, debido al carácter composicional de las fracciones texturales (Arena, Limo, Arcilla), se utilizó la transformación log-ratio de Aitchison. Posteriormente, todas las variables fueron estandarizadas mediante un escalado robusto basado en mediana e IQR, con la finalidad de evitar distorsiones provocadas por observaciones extremas.

El agrupamiento se realizó mediante el algoritmo K-Means ++, tomando en cuenta tres índices de validación interna para determinar el número óptimo de clústeres (Coeficiente de Silueta, Índice de Davies-Bouldin y Gap Statistic). Para validar las diferencias estadísticas entre clústeres, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, y la caracterización final se llevó a cabo describiendo los centroides de cada

grupo.

## Resultados y Discusión

Caracterización de las propiedades química por zona

**Tabla 1**

*Caracterización de las propiedades químicas en Ampu-Carhuaz*

Parámetro	Mean	Median	Min	Max	Std
Ph	7,746	7,750	7,200	8,170	0,240
MO%	1,905	1,940	1,286	2,640	0,264
Nt%	0,095	0,097	0,064	0,132	0,013
P_ppm	16,721	20,000	3,000	26,000	7,262
K_ppm	131,488	128,000	84,000	162,000	20,150
CE_dS_m	0,212	0,184	0,027	0,690	0,121

Los resultados de la caracterización química de los suelos en Ampu-Carhuaz muestran un pH promedio de 7.75, con valores que varían entre 7.20 y 8.17, lo que indica una reacción ligeramente alcalina. Este rango sugiere condiciones químicas favorables para la mayoría de los cultivos andinos, aunque una ligera alcalinidad puede limitar la disponibilidad de ciertos micronutrientes como el hierro (Fe), el manganeso (Mn) y el zinc (Zn) (Lindsay y Norvell, 1978; Havlin et al., 2023). Según la clasificación propuesta por la FAO (2006), los suelos con pH entre 7.4 y 8.4 son considerados alcalinos moderados, lo cual puede deberse a la presencia de carbonatos en el material parental o al bajo lavado de bases por la limitada precipitación local.

El contenido de materia orgánica (MO%) presenta un valor medio de 1.90%, lo que se clasifica como bajo a moderado en comparación con suelos agrícolas de zonas altoandinas que suelen superar el 3%. Esta condición podría estar asociada a prácticas de manejo agrícola intensivas, escasa incorporación de residuos vegetales o una baja cobertura vegetal. Dado que la materia orgánica influye directamente en la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes (Brady y Weil, 2017), este valor sugiere la necesidad de estrategias de manejo orientadas a incrementar el contenido orgánico mediante prácticas sostenibles, como la aplicación de compost o abonos verdes.

Los resultados del análisis del suelo muestran que el nitrógeno total (0,095 %) está en un rango relativamente bajo, lo cual podría estar

explicando una limitación del crecimiento si no se acompaña de fertilización adecuada; esto concuerda con estudios que identifican al nitrógeno total como un indicador central de la fertilidad del suelo y su variabilidad espacial atribuible a factores como los usos de la tierra y los manejos agronómicos (Lin et al., 2024). Por su parte, el fósforo disponible de 16,72 ppm se encuentra justo en el límite inferior de lo que algunos sistemas consideran “óptimo” (por ejemplo, 20–40 ppm según recomendaciones para cultivos en el medio oeste de EE. UU (Mallarino, 2023), lo que sugiere que aunque puede haber capacidad de respuesta a fertilización, también existe riesgo de que en ciertas áreas con solo 3 ppm el fósforo sea claramente deficiente.

El potasio disponible (131,49 ppm, rango 84–162 ppm) cae dentro del rango que algunas guías agronómicas consideran “óptimo” para suelos con capacidad de intercambio catiónico moderada (aproximadamente 130–155 ppm; Ohio State University Extension, 2022), lo que sugiere que no habría una carencia crítica de K, aunque los valores hacia 84 ppm podrían requerir monitoreo o enmienda. Finalmente, la conductividad eléctrica (CE promedio de 0,212 dS/m, rango de 0,027–0,690 dS/m) indica que el suelo presenta una salinidad muy baja, dado que los umbrales problemáticos para muchos cultivos superan los 2–4 dS/m o más (Hassani et al., 2020), por lo que en este aspecto las condiciones son favorables para el desarrollo vegetal. En conjunto, los resultados sugieren un suelo con condiciones químicas razonablemente buenas para el cultivo, pero con márgenes de mejora —especialmente en nitrógeno y fósforo— que podrían incrementarse mediante un programa de fertilización y enmiendas de materia orgánica para mejorar la disponibilidad de nitrógeno total, evitando así posibles limitaciones al rendimiento.

**Tabla 2**

*Caracterización de las propiedades químicas en Llanllapu-Carhuaz*

Parámetro	Mean	Median	Min	Max	Std
pH	7,760	7,825	7,060	8,140	0,271
MO%	1,931	1,939	1,712	2,114	0,097
Nt%	0,097	0,097	0,087	0,106	0,005
P_ppm	18,929	21,000	5,000	26,000	5,916
K_ppm	128,85	129,000	96,000	158,000	18,170
CE_dS_m	0,162	0,166	0,048	0,219	0,048

El análisis de los resultados revela condiciones químicas del suelo que, aunque aceptables, sugieren ciertas áreas de mejora. El pH promedio de 7.76, con valores entre 7.06 y 8.14, se sitúa por encima del rango óptimo típico para mayoría de cultivos (6.5-7.5), lo que puede empezar a afectar la disponibilidad de ciertos nutrientes como el fósforo y el potasio, ya que su comportamiento cambia en suelos moderadamente alcalinos (Xia et al., 2024). La materia orgánica media del 1.93 % (rango 1.71–2.11 %) indica una baja-moderada reserva de carbono orgánico y nutrientes, lo cual es relevante pues la materia orgánica influye en la disponibilidad de nitrógeno total y otros nutrientes (Jackson & Meetei, 2018).

En efecto, el nitrógeno total promedio de 0.097 % (0.087–0.106 %) es relativamente bajo, lo que puede limitar la mineralización y disponibilidad de nitrógeno para los cultivos, dado que estudios recientes muestran que contenidos de MO inferiores al 3 % suelen asociarse con tasas de mineralización de nitrógeno reducidas (Zhao et al., 2025). El fósforo disponible promedio (18.93 ppm, 5.00–26.00 ppm) está dentro de un rango de respuesta moderada, pero los valores mínimos indican que algunas zonas podrían ser deficientes y requerir enmiendas para evitar limitaciones nutricionales. El potasio disponible de 128.86 ppm (96.00–158.00 ppm) sugiere una base adecuada para potasio, aunque los niveles más bajos del rango pueden necesitar monitoreo para mantener la fertilidad. Finalmente, la conductividad eléctrica promedio de 0.162 dS/m (0.048–0.219 dS/m) indica condiciones de baja salinidad y por tanto favorables para el desarrollo vegetal. En conjunto, los datos sugieren un suelo con buen potencial, pero que podría beneficiarse de estrategias de fertilización orientadas a incrementar la materia orgánica y la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, especialmente donde se presentan los valores mínimos, para optimizar la productividad del sistema de cultivo.

**Tabla 3**

*Caracterización de las propiedades químicas en Mallhuapampa - Carhuaz*

Parámetro	Mean	Median	Min	Max	Std
pH	8,110	8,110	7,810	8,410	0,424
MO%	2,202	2,202	1,968	2,436	0,331
Nt%	0,110	0,110	0,098	0,122	0,017
P_ppm	19,000	19,000	15,000	23,000	5,657
K_ppm	147,50	147,500	138,000	157,000	13,435
CE_dS_m	0,199	0,199	0,137	0,261	0,088

La conductividad eléctrica presentó una media de 0.199 dS/m, con un rango de 0.137 a 0.261 dS/m.

El valor promedio de pH (8.11) obtenido indica que el suelo presenta una reacción alcalina, condición que puede afectar la disponibilidad de nutrientes como fósforo, hierro, manganeso y zinc, los cuales tienden a disminuir en suelos con pH superiores a 7.5 (Horiba, 2024). El contenido de materia orgánica (2.20 %) se encuentra en el límite inferior de lo adecuado, ya que suelos agrícolas productivos suelen presentar entre 3 % y 6 % (Loveland & Webb, 2003), lo que sugiere necesidad de enmiendas orgánicas. Por su parte, el nitrógeno total (0.110 %) es bajo en comparación con niveles óptimos reportados por Cornell Cooperative Extension (Franklin County, 2020), quienes indican que valores menores a 0.20 % pueden limitar la productividad vegetal. En cuanto al fósforo disponible (19 ppm), se ubica dentro del rango medio considerado adecuado para cultivos (15–25 ppm), lo que coincide con las recomendaciones de Watson y Mullen (2007). El potasio disponible (147.5 ppm) se encuentra dentro de niveles óptimos para suelos de baja capacidad de intercambio catiónico, según los umbrales propuestos por Waypoint Analytical (2019).

Finalmente, la conductividad eléctrica (0.199 dS/m) indica un suelo sin problemas de salinidad, dado que valores inferiores a 2 dS/m se consideran seguros para la mayoría de los cultivos. En conjunto, estos resultados muestran un suelo alcalino, con deficiencia leve de materia orgánica y nitrógeno, pero con fósforo y potasio en niveles adecuados y baja salinidad, lo que sugiere la necesidad de estrategias de manejo orientadas a mejorar la fertilidad mediante la incorporación de materia orgánica y fertilización nitrogenada.

**Tabla 4**

*Caracterización de las propiedades químicas en Nivin - Carhuaz*

Parámetro	Mean	Median	Min	Max	Std
pH	6,908	7,030	5,390	7,870	0,709
MO%	2,028	1,937	1,316	3,694	0,435
Nt%	0,101	0,097	0,066	0,185	0,022
P_ppm	15,80	16,000	2,000	26,000	6,791
K_ppm	137,82	118,00	74,000	787,000	99,112
CE_dS_m	0,185	0,166	0,074	0,383	0,082

En la zona evaluada, los valores medios de pH (= 6,91), materia orgánica (MO = 2,03 %), nitrógeno total ( $N_t = 0,101$  %), fósforo disponible (P = 15,80 ppm), potasio disponible (K = 137,82 ppm) y conductividad eléctrica (CE = 0,185 dS/m) reflejan un suelo de reacción ligeramente ácida a neutra, con contenido orgánico moderadamente bajo, nitrógeno total también en rangos bajos, fósforo al límite crítico y potasio adecuado, además de salinidad prácticamente nula, lo que coincide en buena medida con estudios andinos recientes que reportan pH promedio de 6,77, ausencia de problemas de salinidad y heterogeneidad en la materia orgánica (Samaniego et al., 2025). El rango de pH observado (5,39–7,87) es más amplio que el documentado por Anic (2010) para suelos montanos, lo cual sugiere variabilidad edáfica significativa en la zona (Anic et al., 2010).

La materia orgánica bajo 3 % es coherente con trabajos en los Andes peruanos que muestran una tendencia decreciente de MO en suelos agrícolas de alta montaña (Samaniego et al., 2025). Asimismo, la relación entre pH y disponibilidad de nutrientes también ha sido documentada: Samaniego et al. (2025) señalan que valores de pH en torno a 6,7 favorecen la mayoría de cultivos, mientras que la CE promedio de la zona está muy por debajo de los 1 dS/m, lo que confirma la ausencia de salinidad relevante. Por tanto, los resultados de esta zona sugieren la necesidad de reforzar la materia orgánica y el nitrógeno total, así como de manejar cuidadosamente el fósforo disponible, en el contexto de un suelo que por su pH y EC ofrece buenas condiciones básicas para cultivo.

**Tabla 5**

*Caracterización de las propiedades químicas en Ormuyc-Carhuaz*

Parámetro	Mean	Median	Min	Max	Std
pH	7,594	7,670	7,410	7,730	0,148
MO%	1,979	1,948	1,836	2,116	0,108
Nt%	0,117	0,097	0,092	0,193	0,043
P_ppm	8,000	9,000	4,000	12,000	3,391
K_ppm	132,00	132,000	126,000	136,00	3,742
CE_dS_m	0,241	0,206	0,145	0,369	0,086

El conjunto de propiedades químicas medido en la zona —pH promedio 7.59 (rango 7.41–7.73), materia orgánica 1.98 % (1.84–2.12 %), N total 0.117 % (0.092–0.193 %), P disponible 8.00 ppm (4–12 ppm), K disponible 132.00 ppm (126–136 ppm) y CE 0.241 dS/m (0.145–0.369 dS/m)—describe un suelo cercano a la neutralidad pero en el límite superior del rango neutro, con baja materia orgánica y nitrógeno total moderadamente bajo, fósforo en rango claramente bajo-crítico para respuesta de cultivo, potasio aparentemente adecuado y conductividad eléctrica que indica ausencia de salinidad problemática; esto concuerda con la literatura que muestra que pH alrededor de 6–7 es el más favorable para la disponibilidad de la mayoría de nutrientes y que variaciones hacia pH más altos disminuyen disponibilidad de micronutrientes y P (Ricci, 2021), mientras que niveles de materia orgánica próximos al 2 % se consideran bajos para mantener buena calidad de suelo y funciones ecosistémicas (Loveland & Webb, 2003); además, los umbrales críticos de fósforo reportados por revisiones y guías técnicas sitúan valores de corte en torno a 10–20 ppm (dependiendo del método de extracción y cultivo), por lo que un P de 8 ppm sugiere necesidad de fertilización o prácticas de incremento de disponibilidad (Ohio State Univ., 2024), y la interpretación de K debe hacerse según CEC y tipo de suelo aunque valores 130 ppm suelen ser considerados suficientes para muchos cultivos (Waypoint Analytical, 2019).

Finalmente, la CE media observada (0,241 dS/m) está muy por debajo de umbrales de riesgo para la mayoría de cultivos ( $\geq 2$  dS/m o más sensibles entre 1–2 dS/m), por lo que la salinidad no parece ser un factor limitante (Colorado State Univ. Extension, 2012). En conjunto, los resultados sugieren priorizar prácticas de aumento de materia orgánica (p. ej. enmiendas

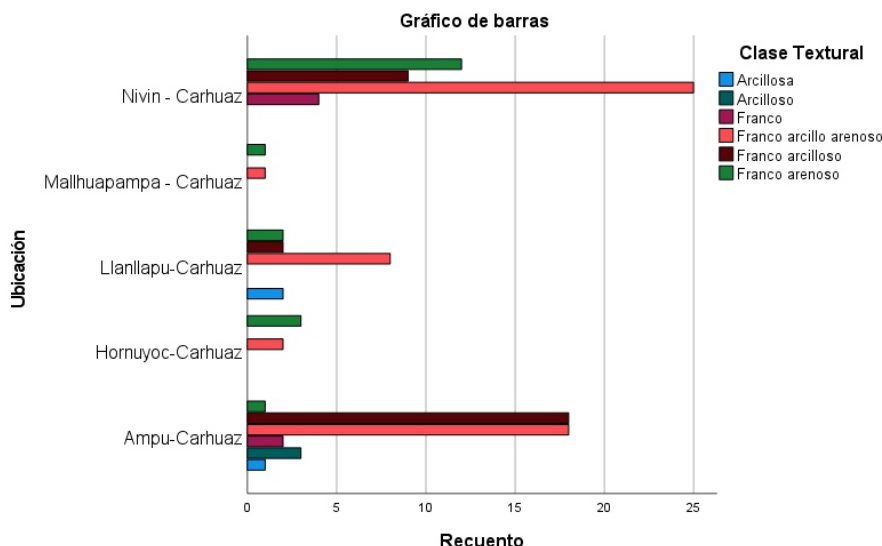
orgánicas, rotaciones con cobertura), manejo dirigido del nitrógeno y enmiendas/estrategias para elevar la disponibilidad de fósforo, considerando siempre la prueba específica de extracción de P y la caracterización físico-

química (pH, CEC) del suelo local antes de recomendaciones de fertilización precisas (Loveland & Webb, 2003; Ohio State Univ., 2024).

*Caracterización de propiedades físicas por zona*

**Figura 2**

*Clasificación textural de las zonas de estudio*



La variación de texturas identificada en las zonas de Nivín – Carhuaz (franco), Mallhuapampa – Carhuaz (franco arenoso), Llanllapu – Carhuaz (franco equilibrio), Hornuyoc – Carhuaz (arcillosa/franco-arcillosa) y Ampu – Carhuaz (franco) se alinea con hallazgos internacionales sobre cómo la textura del suelo condiciona tanto la retención de agua como la aireación y disponibilidad de nutrientes: suelos de textura franca (“loam”) ofrecen un equilibrio óptimo entre capacidad de retención de agua, aireación y permeabilidad, lo que favorece la productividad agrícola (Harefa, 2025); en cambio, los suelos más arenosos, como el franco arenoso de Mallhuapampa, presentan un drenaje rápido y baja capacidad de retención hídrica, lo que coincide con lo reportado por Harefa (2025) al evaluar la resiliencia al secano en suelos de textura variada; por su parte, las texturas arcillosas o franco-arcillosas (como en Hornuyoc) tienen mayor capacidad de retención de agua y nutrientes —debido a mayor área superficial y capacidad de intercambio catiónico— pero muestran menor aireación, riesgo de compactación y drenaje lento (Cai et al., 2021); en este contexto, las zonas con textura franca (Nivín, Llanllapu, Ampu) presentan

ventaja agronómica, mientras que en las de textura franco-arenosa o arcillosa conviene implementar manejo de riego, drenaje y laboreo adecuado para optimizar su uso.

*Caracterización de los suelos mediante análisis de clúster*

El análisis de clúster mostró que la partición más adecuada corresponde a dos grupos, de acuerdo con los índices de validación interna. La distribución de individuos entre los clústeres fue marcadamente asimétrica: El clúster 1 agrupó el 93.9% de las muestras (107 muestras), mientras que el clúster 2 representó solo el 6.1% (7 muestras).

El contraste estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis reveló que no existieron diferencias significativas en las fracciones texturales (Arena, limo, arcilla), ni en fósforo y conductividad eléctrica (p-valor>0.05). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en Ph, materia orgánica, nitrógeno total y potasio, lo cual demuestra que la separación entre clústeres está determinada principalmente por las propiedades químicas del suelo y no por su textura.

**Tabla 7**

Caracterización de variables edáficas por clúster v prueba de Kruskal Wallis

Variable	Clúster 1 n=107	Clúster 2 n=7	p-valor	Diferencia significativa
Arena (%)	50.5	54.71	0.230	No
Limo (%)	22.19	21.86	0.938	No
Arcilla (%)	27.83	23.43	0.169	No
pH	7.40	7.10	0.040	Sí
Materia Orgánica (%)	1.91	2.92	<0.001	Sí
Nitrógeno Total (%)	0.095	0.159	<0.001	Sí
Fósforo (ppm)	16.21	16.86	0.736	No
Potasio (ppm)	126.22	155.71	<0.001	Sí
CE (dS/m)	0.196	0.180	0.920	No

El Clúster 1 se caracterizó por tener contenidos medios de arcilla (27.83%), un pH ligeramente superior (7.40), niveles bajos de materia orgánica (1.90%) y nitrógeno total (0.09%), además de un potasio intercambiable en torno a 126.22 ppm.

Por el contrario, el Clúster 2 mostró suelos más arenosos (54.71%), menor arcilla (23%), pH ligeramente más bajo (7.10) y concentraciones mayores de materia orgánica (2.92%), nitrógeno (0.15%) y potasio (155.71 ppm).

En conjunto, estos resultados sugieren que la fertilidad química constituye el principal criterio diferenciador entre los grupos, mientras que la textura del suelo no representa un factor discriminante en la clasificación. Esta evidencia permite proponer estrategias de fertilización diferenciadas según el perfil de cada clúster, priorizando la mejora de materia orgánica y nitrógeno en los suelos del Cluster 1, que concentran la mayoría de las parcelas de Carhuaz.

## Conclusiones

El análisis químico y textural de los suelos de la provincia de Carhuaz – Áncash evidenció una marcada variabilidad en los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, pH

y conductividad eléctrica entre las zonas evaluadas, identificándose sectores con concentraciones por debajo de los valores críticos de referencia para el cultivo de palto, lo que podría limitar su crecimiento y productividad. Las texturas predominantes —francas y franco-arenosas— ofrecen buenas condiciones de aireación y drenaje, aunque requieren un manejo adecuado de la fertilidad y la humedad para evitar la lixiviación y asegurar una disponibilidad equilibrada de nutrientes. Asimismo, la comparación con valores críticos confirmó deficiencias puntuales, especialmente en nitrógeno y materia orgánica, y desequilibrios en algunos macroelementos, lo que respalda la necesidad de diseñar programas de fertilización diferenciados según las condiciones edáficas de cada zona.

## Referencias

- Abd El-Moniem, E. A. A., Thabet, A. Y. I., Abdelaziz, A. M., Baiea, M. H. M., & Amin, O. A. (2022). Reducing chemical fertilizers partially by using natural alternative sources of organic fertilizers and its impact on “Hass” avocado trees. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(131), 1255-1264. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.135737.5978>
- Andrade-Foronda, D., & Gutiérrez-Rodríguez, E. (2020). Estimación del Porcentaje de Sodio Intercambiable en función de la Relación de Adsorción de Sodio para suelos afectados por sales en el Valle Alto de Cochabamba. *Revista de Agricultura (Bolivia)*, 62, 31-36. <https://hdl.handle.net/2268/260239>
- Anic, V., Hinojosa, L. F., Díaz-Forester, J., Bustamante, E., de la Fuente, L. M., Casale, J. F., ... & Ginocchio, R. (2010). Influence of soil chemical variables and altitude on the distribution of high-alpine plants: the case of the Andes of central Chile. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42(2), 152-163. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-42.2.152>
- Ayers, R. S. (1977). Quality of water for irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 135-154. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001138>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson.

- Binkley, D., & Hart, S. C. (1989). *The Components of Nitrogen Availability Assessments in Forest Soils*. In: Stewart, B.A. (eds) *Advances in Soil Science*. *Advances in Soil Science*, vol 10. Springer, New York, N Y. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8847-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8847-0_2)
- Colorado State University Extension. (2012). *Diagnosing saline and sodic soil problems*. <https://extension.colostate.edu/resource/diagnosing-saline-and-sodic-soil-problems/>
- Cai, G., Carminati, A., Abdalla, M., & Ahmed, M. A. (2021). Soil textures rather than root hairs dominate water uptake and soil-plant hydraulics under drought. *Plant Physiology*, 187(2), 858-872. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab271>
- Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(7), 738-750. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2006). *Guía para la descripción de suelos*. Roma. [chrome-extension://efaidnbnmnnnibpcajpcgclefin dmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b54d0348-dfce-413c-bd5d-142b3a14a049/content](https://efaidnbnmnnnibpcajpcgclefin dmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b54d0348-dfce-413c-bd5d-142b3a14a049/content)
- Franklin County Cooperative Extension. (2020). *Soil organic matter fact sheet*. Cornell Cooperative Extension. <https://franklin.cce.cornell.edu/resources/soil-organic-matter-fact-sheet>
- Flores-Márquez, J. P., Corral-Díaz, B., & Sapien-Mediano, G. (2007). Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas. *Terra latinoamericana*, 25(4), 409-417. <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1395>
- Ford, N. A., & Liu, A. G. (2020). The forgotten fruit: A case for consuming avocado within the traditional Mediterranean diet. *Frontiers in nutrition*, 7, 78. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00078>
- Garrido, E. R., Noriega-Cantú, D. H, Gutiérrez-Del Valle, A., González-Mateos, R., Prereyda-Hernández, J., & Leyva-Mayo, A. (2013). Potential areas for growing avocado (*Persea americana* L.) cultivar “Hass” in the state of Guerrero, Mexico. *Agroproductivity*, 6 (5), 52 - 57. <https://revista-agroproductivity.org/index.php/agroproductivity/article/view/484/362>
- Hassani, A., Azapagic, A., & Shokri, N. (2020). Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(52), 33017-33027. <https://doi.org/10.1073/pnas.2013771117>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2023). *Soil Fertility and Fertilizers: an introduction to nutrient management*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/148361>
- Harefa, D. (2025). The influence of soil texture types on land resilience to drought in South Nias. *Jurnal Sapta Agrica*, 4(1). <https://doi.org/10.57094/jsa.v4i1.2585>
- Horiba. (2024). *Soil pH and nutrient availability in agriculture*. HORIBA Scientific. <https://www.horiba.com/usa/water-quality/applications/agriculture-crop-science/soil-ph-and-nutrient-availability/>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2020). *Manejo de la Fertilización del Cultivo de Palto* [Charla técnica virtual]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=GZrNq36p7v8>
- Ibacache G., A & Sierra B., C. (1998). *Fertilización del palto*. La Serena: Serie *Intihuasi*, <https://hdl.handle.net/20.500.14001/33705>
- Jackson, K., & Meetei, T. T. (2018). Influence of soil pH on nutrient availability: *A. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 11(4), 707-713.
- Janardhan Bhole, S., Ochoa, D. S., Al Houssari, A., Zelaya, A. L., Yang, R., Chen, Z., ... & Eltantawy, E. (2021). The avocado (*Persea americana* Mill.): a review and

- sustainability perspectives. *Biology and Life Sciences*. <https://doi.org/10.20944/preprints202112.0523.v1>
- Jaramillo, C. (2012). *Preparación del Árbol de Aguacate a la Floración* (Ibagué, Tolima, Colombia: CPT), p.19.
- Lahav, E., & Whiley, A. W. (2002). *Irrigation and Fertilization of Avocado*. FAO Plant Production and Protection Paper.
- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., & Celedón, J. (2010). *El cultivo del palto*. Boletín INIA, 129, 81.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Lin, N., Mei, X., Li, J., Jiang, R., Wu, M., & Zhang, W. (2024). Estimating and mapping the soil total nitrogen contents in black soil region using hyperspectral images towards environmental heterogeneity. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1401107. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1401107>
- Loveland, P., & Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage research*, 70(1), 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00139-3)
- Martínez-Castillo, J. P., Muena-Zamorano, V., & Ruiz-Schneider, R. (2014). *Nutrición y fertilidad en paltos*. Instituto de de Investigaciones Agropecuarias, boletín INIAN° 83.
- Mallarino, A. (2023, February 28). *Newly updated phosphorus and potassium guidelines*. Iowa State University Extension and Outreach. <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2023/02/newly-updated-phosphorus-and-potassium-guidelines>
- Mejía-Bonilla, P., Merino, J., Moreno, J., Gaona, P., Noboa, M., Viteri, P., & Park, C. H. (2024). Physical characterization of soil profiles from the main avocado (*Persea americana* Mill) producing areas in Ecuador. *Peruvian Agricultural Research*, 6 ( 2 ) . <https://doi.org/10.51431/par.v6i2.971>
- Montgomery, L., & Castro, S. (2017). *Preparación de soluciones nutritivas para fertirriego en aguacate*. In Memorias del IV Congreso Latinoamericano del Aguacate. [http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias\\_VCLA/2017/Memorias\\_VCLA\\_2017\\_PG\\_243.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_243.pdf).
- Moro-González, A. (2015). Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. AQM Laboratorios. <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Ohio State University Extension. (2022, October 18). Developing phosphorus and potassium recommendations. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/agf-0515>
- Ohio State University Extension. (2024). Soil phosphorus and crop response to phosphorus applications (factsheet). <https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-0146>
- Ocas, N. I. (2020). *Exportación de palta Hass peruana a mercados internacionales. Una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos 10 años*. [Tesis de bachiller. Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24697>
- Peña, R. A. (2020). Manual técnico para la interpretación de análisis de suelos y fertilización de cultivos. Universidad de la Salle.
- Pozo Gerardini, E. (2012). Cultivo del palto (*Persea americana*). Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, 5 – 12. <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/7b7c99fe-6c47-47cc-93a1-2b31d4532bbe/content>
- Ricci, L., Moreau, J. L., Petrova, N., Olsson, T., & Al-Mansoori, F. (2021). Soil pH and Its Effect on Nutrient Availability in Acidic and Alkaline Soils. *Interactions*, 17, 18. [https://www.soilfuturejournal.com/uploads/archives/20250729203812\\_10.pdf](https://www.soilfuturejournal.com/uploads/archives/20250729203812_10.pdf)

- Salazar-García, S. (2002). Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INPOFOS, INFAP. Querétaro, México. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11591/45312\\_61864.pdf?sequ](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11591/45312_61864.pdf?sequ)
- Samaniego, T., Sales, B., & Solórzano, R. (2025). Assessment of Soil Quality in Peruvian Andean Smallholdings: A Comparative Study of PCA and Expert Opinion Approaches. *Sustainability*, 17(17), 7610. <https://doi.org/10.3390/su17177610>
- Silber, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., & Assouline, S. (2018). Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Scientia Horticulturae*, 241, 231-240. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.094>
- Silver, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., Noy, M., Peres, M., Duari, D., Narkis, K., Assouline, S. (2019). Irrigation of 'Hass' avocado: effects of constant vs. Temporary water stress. *Irrigation Science*, 37, 451 – 460. DOI: [10.1007/s00271-019-00622-w](https://doi.org/10.1007/s00271-019-00622-w)
- Tapia, L. M., Aguilera, J. L., Rocha, J. L., Cruz, S., & Castellanos, J. Z. (2003). Índices de referencia nutricional N, P y K en aguacate (*Persea americana*, Mill) var. "HASS" bajo fertirriego en Michoacán, México. In Proceedings V World Avocado Congress (pp. 401-407).
- Watson, M., & Mullen, R. (2007). Understanding soil tests for plant-available phosphorus. Unpublished, 3373, 1-4. [https://agcrops.osu.edu/sites/agcrops/files/imce/fertility/Soil\\_Tests\\_Plant\\_Avail.pdf](https://agcrops.osu.edu/sites/agcrops/files/imce/fertility/Soil_Tests_Plant_Avail.pdf)
- Waypoint Analytical. (2019). *How to interpret a soil test report*. Waypoint Analytical Laboratories. <https://www.waypointanalytical.com/Docs/technicalarticles/howtointerpretasoiltestreport.pdf>
- Viera, W., Cartagena, Y., Toaquiza, J., Gaona, P., Viteri, P., Sotomayor, A., & Medina, L. (2021). Response of Hass' avocado under different nitrogen and potassium fertilizer regimes in subtropical Ecuador. In IV International Symposium on Horticulture in Europe-SHE2021 1327, 175-180. [10.17660/ActaHortic.2021.1327.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1327.23)
- Xia, Y., Feng, J., Zhang, H., Xiong, D., Kong, L., Seviour, R., & Kong, Y. (2024). Effects of soil pH on the growth, soil nutrient composition, and rhizosphere microbiome of *Ageratina adenophora*. *PeerJ*, 12, e17231. <https://doi.org/10.7717/peerj.17231>
- Zhao, Y., Bian, Q., Dong, Z., Rao, X., Wang, Z., Fu, Y., & Chen, B. (2025). The input of organic fertilizer can improve soil physicochemical properties and increase cotton yield in southern Xinjiang. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1520272. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1520272>