



Análisis comparativos de suelos de cinco distritos de la cuenca del valle de cañete y su influencia en la fertilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Comparative analysis of soils from five districts of the Cañete Valley basin and their influence on the fertility of corn (*Zea mays* L.) crops

Juan Saldivar Villarroel^{1*} , Héctor Aguirre-Espinoza² , Raymunda Veronica Cruz Martínez¹ 

RESUMEN

Se realizó un análisis comparativo de suelos agrícolas en cinco distritos de la cuenca del valle de Cañete (Perú), con el objetivo de evaluar su influencia en la fertilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de especialidad. Se recolectaron 7 muestras compuestas, integradas por 20 submuestras a 30 cm de profundidad, considerando textura, color y topografía. Obteniendo como resultados que, en promedio los suelos presentaron textura franca, pH neutro a ligeramente alcalino (7.74), contenido medio de materia orgánica (4.40 %), porcentaje de sodio intercambiable de 11.49 % y capacidad de intercambio catiónico efectivo (C.I.C.E.) de 16.66 mEq/100 g. A nivel distrital, se identificaron variaciones edáficas: Nuevo Imperial mostró textura franco arcillosa y mayor contenido de materia orgánica (5.31 %), mientras que Quilmaná e Imperial presentaron textura franco limosa y bajos niveles de sodio intercambiable (<0.3 %). San Vicente destacó por su mayor materia orgánica (6.13 %) y San Luis por su alto P.S.I. (73.26 %). En conjunto, las propiedades edáficas reflejan condiciones favorables para el desarrollo del maíz de especialidad, con potencial para alcanzar altos rendimientos y calidad organoléptica. Estos resultados aportan evidencia útil para la planificación agrícola, el manejo sostenible del suelo y la mejora de la productividad regional.

Palabras clave: propiedades fisicoquímicas, edafotipos agrícolas, indicador agronómico, productividad edáfica, textura granulométrica.

ABSTRACT

A comparative analysis of agricultural soils was conducted in five districts of the Cañete Valley basin (Peru) to evaluate their influence on the fertility of specialty corn (*Zea mays* L.) crops. Seven composite samples were collected, composed of 20 subsamples at 30 cm depth, considering texture, color, and topography. The results showed that, on average, the soils had a loamy texture, neutral to slightly alkaline pH (7.74), average organic matter content (4.40 %), exchangeable sodium percentage of 11.49 %, and effective cation exchange capacity (E.C.E.C.) of 16.66 mEq/100 g. At the district level, edaphic variations were identified: Nuevo Imperial showed clay loam texture and higher organic matter content (5.31 %), while Quilmaná and Imperial had silt loam texture and low levels of exchangeable sodium (<0.3 %). San Vicente stood out for its higher organic matter (6.13 %) and San Luis for its high P.S.I. (73.26 %). Overall, the edaphic properties reflect favorable conditions for developing specialty corn, with the potential to achieve high yields and organoleptic quality. These results provide useful evidence for agricultural planning, sustainable soil management, and the improvement of regional productivity.

Keywords: physicochemical properties, agricultural edaphotypes, agronomic indicator, edaphic productivity, granulometric texture.

¹Universidad Nacional de Cañete, Cañete, Perú

²Universidad Nacional Agraria la Selva, Tingo María, Huánuco, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: jsaldivar@undc.edu.pe

I. INTRODUCCION

El maíz se posicionó como uno de los cereales de mayor producción a nivel global, desempeñando un papel clave en la seguridad alimentaria y la nutrición humana. Durante los dos últimos años, la producción global alcanzó los 1.229 millones de toneladas mientras que el consumo fue de 1.224 millones reflejando un crecimiento respecto al periodo anterior (Hu et al., 2025). Su elevado contenido de almidón (alrededor del 70 %) influye directamente en la calidad del grano y sus derivados. Dichas propiedades fueron determinantes para su aprovechamiento alimentario. El cultivo extensivo de maíz requiere un elevado nivel de mecanización en todas sus etapas, desde la preparación del terreno hasta la cosecha (Oliveira et al., 2025). Esto implica una significativa inversión en maquinaria agrícola, cuyo uso optimiza los recursos y mejora los rendimientos. En regiones como el norte de China, el maíz ha expandido sostenidamente su superficie sembrada, y su manejo técnico incluye la reincorporación de residuos como el rastrojo, lo cual influye en la calidad del suelo y la eficiencia en la gestión de residuos orgánicos (Che et al., 2025).

En el norte de China, el maíz se consolidó como un cultivo dominante, incrementando progresivamente su superficie sembrada y su rendimiento. Cuando se empleó a grano, la paja fue triturada por la cosechadora y reincorporada al terreno. En cambio, cuando se cosechó para ensilaje, fue recolectada tras su trituración. El rastrojo, como subproducto, permaneció usualmente en el campo, influyendo en la gestión de residuos agrícolas y en la salud edáfica (Che et al., 2025).

Este cereal presentó altos requerimientos de nitrógeno para expresar su máximo potencial productivo. La fertilidad del suelo, especialmente en relación con este nutriente, resultó decisiva tanto para el desarrollo vegetativo como para la formación del grano. El rendimiento del cultivo dependió en gran medida de una adecuada disponibilidad de nitrógeno, razón por la cual su gestión eficiente fue clave (Agnew et al., 2022).

Entre los principios esenciales para conservar la salud del suelo, se destacaron la cobertura permanente con

residuos vegetales, la diversificación de cultivos y el mantenimiento del sistema radicular durante todo el año. Estas prácticas representaron tres de los cinco principios clave para preservar la calidad del suelo agrícola (Klopp et al., 2025). Ante eventos climáticos extremos, como lluvias intensas o sequías prolongadas, se adoptarán estrategias de manejo orientadas a fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas. En este sentido, suelos bien gestionados facilitaron el drenaje, la retención hídrica y la estabilidad térmica, además de mostrar una mayor capacidad de recuperación ante la compactación y el deterioro estructural. Estas características influyeron directamente en los servicios ecosistémicos esenciales para la sostenibilidad del sistema agrícola (Blanco-Canqui & Ruis, 2020).

Los productores que priorizaron la conservación del suelo optaron por retrasar la terminación del cultivo de cobertura hasta fechas cercanas a la siembra del maíz. No obstante, esta decisión implicó una posible disminución del rendimiento debido a la inmovilización del nitrógeno en el suelo. Esta práctica representó un compromiso entre la productividad y la salud del suelo, requiriendo decisiones que equilibraran ambos aspectos (Quinn et al., 2021).

Las necesidades nutricionales del cultivo fueron cubiertas tanto por los nutrientes presentes naturalmente en el suelo como por fuentes externas, como fertilizantes y abonos. La fertilización desempeñó un rol esencial en el incremento del rendimiento, optimizando la relación nitrógeno-fósforo (N-P) y mejorando la eficiencia en el uso del agua. Su aplicación fue determinante para lograr una agricultura más eficiente y productiva (Bijarnia et al., 2024).

Asimismo, los biofertilizantes y residuos orgánicos se consideraron alternativas viables y de bajo costo frente a los fertilizantes químicos, especialmente en sistemas de bajos insumos. Su incorporación al suelo incrementó el carbono orgánico y estimuló la actividad microbiana, favoreciendo la disponibilidad de nitrógeno y fósforo. Los microorganismos desempeñaron un papel crucial en el reciclaje de nutrientes, reflejando la calidad y condiciones del

entorno edáfico. Estas prácticas se asociaron con una agricultura más sostenible (Hafez et al., 2021).

Esta investigación tuvo como finalidad demostrar que, en la zona estudiada de la cuenca del valle de Cañete, el cultivo de maíz podría aumentar su rendimiento y productividad mediante la implementación de políticas, estrategias y herramientas orientadas a una adecuada gestión de su calidad física y desempeño agronómico. La justificación de este estudio radicó en su potencial impacto económico, ya que sus resultados podrían guiar a los productores hacia prácticas de fertilización más equilibradas y accesibles. Asimismo, se planteará el fortalecimiento de los tres pilares del desarrollo sostenible económico, social y ecológico, con miras a mejorar la calidad de vida de la población local. En este contexto, el objetivo general fue realizar un análisis comparativo de cinco parámetros edáficos en dicha cuenca y su influencia sobre la fertilidad del cultivo de maíz.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La fase de trabajo de campo se desarrolló en cinco distritos pertenecientes a la cuenca del Valle de Cañete (Nuevo Imperial, San Luis, San Vicente, Quilmaná y Imperial), situados en la provincia de Cañete, cuyas coordenadas geográficas corresponden a 13°04'42" de latitud sur y 76°23'02" de longitud oeste, a una altitud de 4 metros sobre el nivel del mar. Esta provincia presentaba una superficie agrícola de 41,838.60 hectáreas, equivalente al 9.26 % de su territorio total. En ella predominaban condiciones climáticas promedio de 21.7 °C de temperatura, una humedad relativa superior al 70 %, y una precipitación total anual de 1,165 mm. El muestreo de suelos se efectuó en parcelas de maíz sembradas bajo un sistema tradicional, utilizando híbridos de las variedades Insinia, Agricol y Dekal, con una distancia promedio de 0.20 metros entre plantas y 0.85 metros entre surcos.

Metodología

El componente edáfico fue evaluado mediante el análisis de muestras de suelo recolectadas en parcelas ubicadas en diversos sectores de la cuenca

del Valle de Cañete, alcanzando un total de siete registros analíticos. Previo al muestreo, se realizó una verificación in situ para confirmar que las parcelas hubieran recibido un manejo agronómico adecuado, el cual incluía control de malezas y manejo de plagas. La recolección de las muestras se llevó a cabo entre los meses de marzo y abril, en parcelas situadas entre los 5 y 800 metros sobre el nivel del mar, por parte del equipo del semillero de investigación GIDS (Grupo de Investigación en Desertificación y Sequías) de la Universidad Nacional de Cañete. El procedimiento de colecta se basó en criterios estándar: cada muestra correspondió a una superficie de 1 hectárea, sumando un total de 7 hectáreas; se extrajeron porciones de suelo a una profundidad de 30 centímetros desde diferentes puntos de cada parcela.

Una vez recolectadas, las muestras fueron homogenizadas y colocadas en bolsas rotuladas, con un peso aproximado de 1 kilogramo por unidad. Posteriormente, fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cañete, donde se llevó a cabo la evaluación de los parámetros físico-químicos (**Tabla 1**).

Los datos recolectados se procesaron mediante un software estadístico especializado, lo que permitió obtener estadísticas descriptivas utilizadas para analizar la variabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo en los distritos evaluados. Posteriormente, los resultados obtenidos se contrastaron con los estándares agrícolas establecidos, lo cual brindó una base consistente para reconocer patrones relevantes en la calidad del suelo.

III. RESULTADOS

En la **Tabla 2** se observan diferencias fisicoquímicas significativas entre los suelos de los distritos evaluados. El distrito de Quilmaná se caracteriza por un alto contenido de arcilla (71.15 %) y una elevada Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, lo que indica la presencia de suelos pesados con mayor capacidad de retención de nutrientes, típicamente asociados a una fertilidad superior. En contraste, los distritos de Imperial y San Luis muestran un predominio de textura arenosa, lo que sugiere suelos más ligeros, con menor retención de agua y nutrientes.

El contenido de materia orgánica también evidencia variabilidad considerable entre los distritos. San Vicente presenta el valor más alto (6.13 %), lo cual favorece la actividad microbiana y mejora la estructura del suelo, mientras que Imperial reporta el valor más bajo (3.43 %), indicando una menor calidad edáfica en este aspecto. Por otro lado, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) alcanza niveles elevados en San Luis, lo que representa un potencial riesgo de sodicidad, afectando negativamente la estructura y permeabilidad del suelo si no se implementan prácticas de manejo adecuadas.

Textura del suelo

La **Figura 1** presenta la variación de los componentes texturales de los suelos analizados. Se observa que el contenido de limo permanece relativamente constante entre los distritos evaluados, mientras que los porcentajes de arena y arcilla muestran variaciones significativas. El distrito de Quilmaná destaca por su elevada proporción de arcilla (71.15 %) y bajo contenido de arena (7.92 %), lo que indica una textura más pesada y mayor capacidad de retención hídrica y nutrientes. En contraste, San Luis exhibe la mayor proporción de arena (46.96 %) y el menor porcentaje de arcilla (19.08 %), lo que sugiere suelos más ligeros, con mejor drenaje pero menor capacidad de retención de agua y fertilidad. Esta heterogeneidad textural entre distritos puede influir de manera importante en la dinámica del agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

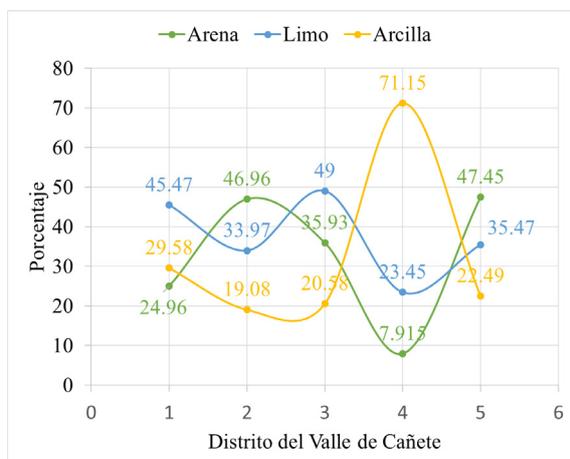


Figura 1. Parámetro textura de suelo: arena, limo, arcilla en cinco zonas de maíz.

Potencial de Hidrógeno (pH)

La **Figura 2** muestra los valores de pH del suelo en cinco distritos del Valle de Cañete, evidenciando una variabilidad que puede incidir directamente en la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento de los cultivos. Los distritos de Nuevo Imperial e Imperial presentan suelos ligeramente alcalinos, con un pH promedio de 7.77, lo cual puede favorecer la disponibilidad de ciertos macronutrientes, pero limitar otros como el hierro o el fósforo. Por su parte, San Luis y Quilmaná muestran un pH neutro (7.51), condición ideal para la mayoría de cultivos agrícolas. En contraste, San Vicente se caracteriza por un suelo moderadamente ácido, con un valor de pH de 6.25, lo que podría beneficiar cultivos que prefieren suelos ácidos, aunque también implica una mayor movilidad de metales pesados y menor disponibilidad de algunos nutrientes esenciales. Estas diferencias reflejan la necesidad de un manejo localizado del pH para optimizar la eficiencia del cultivo del maíz u otras especies en cada distrito.

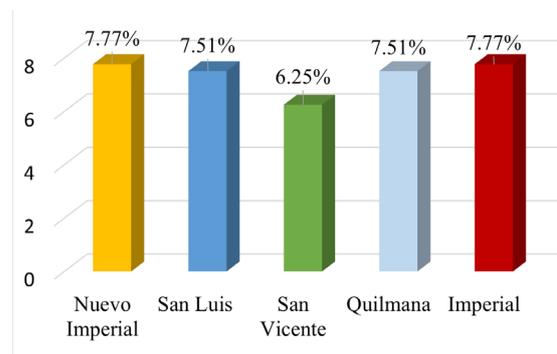


Figura 2. pH del suelo en cinco zonas maíz

Materia orgánica (MO)

La **Figura 3** muestra la variación del contenido de materia orgánica. San Vicente presenta el valor más alto (6.13 %), lo que sugiere una mayor fertilidad y actividad biológica. En contraste, Imperial registra el menor contenido (3.43 %), posiblemente asociado a prácticas agrícolas intensivas o menor incorporación de residuos orgánicos. Quilmaná y Nuevo Imperial presentan niveles intermedios, mientras que San Luis muestra valores relativamente bajos. Estas diferencias reflejan la influencia del manejo agrícola y del uso del suelo en la calidad orgánica.

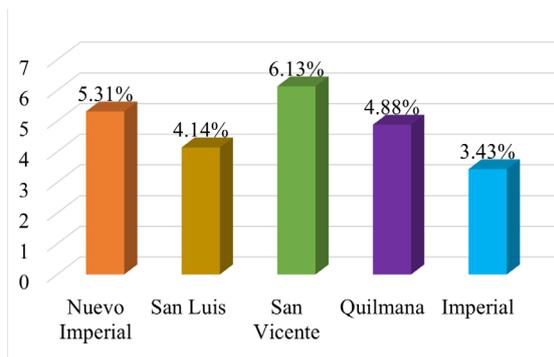


Figura 3. Contenido de materia orgánica.

Porcentaje de sodio intercambiable

En la Figura 4 se muestra una marcada variabilidad en el porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.) en los suelos evaluados. San Luis presenta el valor más alto (73.26%), lo que podría afectar negativamente la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes. En contraste, Imperial y Quilmaná exhiben niveles casi nulos, lo que sugiere suelos con mejor estabilidad física. Nuevo Imperial muestra un valor intermedio elevado (39.51%), lo que también merece atención. Estos resultados reflejan diferencias en la salinidad y el manejo hídrico entre distritos.

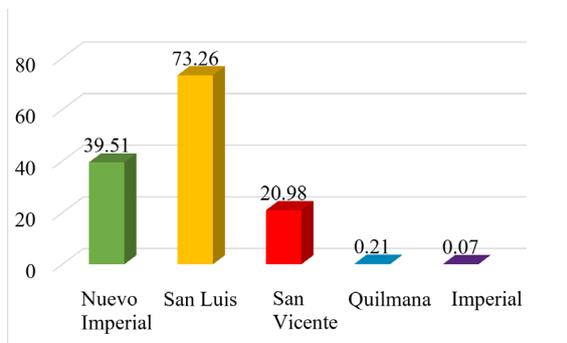


Figura 4. Porcentaje de sodio intercambiable.

Capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE)

En la Figura 5 se muestra la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.) en los suelos de cinco distritos de Cañete, destacando Quilmaná con un valor significativamente superior (44.31), lo que indica una alta fertilidad y retención de nutrientes. En contraste, San Luis presenta la menor C.I.C.E. (6.25), sugiriendo menor capacidad de sostener elementos esenciales para el cultivo. Imperial muestra un valor

intermedio (18.6), superior al de Nuevo Imperial y San Vicente. Estas diferencias reflejan la influencia de la textura y materia orgánica en la capacidad del suelo. Quilmaná sobresale como un suelo con gran potencial agrícola.

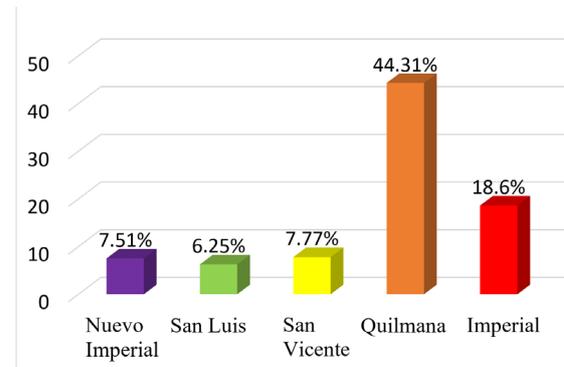


Figura 5. Capacidad de Intercambio Catiónico.

IV. DISCUSIÓN

La cuenca del valle de Cañete, ubicada en la provincia del mismo nombre, presentó zonas altitudinales claramente definidas. Dentro de esta división, la cuenca baja abarcó desde los 4 hasta los 800 m s. n. m., siendo precisamente en esta área donde se localizó la denominada zona maicera, caracterizada por poseer condiciones agroecológicas óptimas para la producción de maíz de alta calidad y buen rendimiento.

En relación con el parámetro de textura del suelo (Figura 1), el estudio evidenció que en los cinco distritos evaluados predominaron condiciones edáficas favorables para el cultivo de maíz, siendo el suelo de tipo franco el más representativo. Este tipo de suelo se mostró por su composición equilibrada de arena, limo y arcilla, lo que lo convirtió en una opción ideal para el desarrollo del cultivo (Guo et al., 2025). Asimismo, se determinó que los suelos francos presentaron una distribución más uniforme de partículas en comparación con los suelos arcillosos. Además, mostraron una estructura de agregados más estable y una mayor capacidad de retención de nutrientes, atributos que, junto con su buena retención de agua y facilidad de manejo, los posicionaron entre los suelos más adecuados para la actividad agrícola (X. Yuan et al., 2025).

En cuanto al parámetro de pH (Figura 2), el análisis

realizado evidenció que los suelos evaluados presentaron valores comprendidos entre 6.5 y 7.5, considerados óptimos para una producción sostenible del cultivo de maíz. El pH fue identificado como una de las variables más importantes para la caracterización de las propiedades edáficas, debido a su influencia directa en la disponibilidad de nutrientes. Estudios previos señalaron que el rango de pH adecuado para la mayoría de los cultivos se situó entre 6.0 y 7.5, siendo el intervalo de 6.5 a 7.0 el más favorable para el desarrollo de la mayoría de las especies vegetales (Jiang et al., 2025). Asimismo, se concluyó que un pH dentro del rango de 6.5 a 7.5 promovió significativamente la disponibilidad de nutrientes esenciales, lo cual resultó determinante para un crecimiento vegetal saludable y sostenido (Wu et al., 2025).

Respecto al parámetro de materia orgánica (**Figura 3**), los resultados obtenidos indicaron que los suelos evaluados presentaron un contenido elevado, superior al 4 %, lo cual fue considerado favorable para el cultivo de maíz. De acuerdo con los criterios agronómicos, un nivel de materia orgánica mayor al 4 % se consideró ideal para garantizar un buen rendimiento del cultivo. Durante el desarrollo fenológico del maíz, se evidenció que los cultivos respondieron positivamente a diversos factores edáficos, siendo la materia orgánica uno de los más determinantes. En este sentido, se reconoció que el contenido mínimo crítico de materia orgánica necesario para un crecimiento adecuado fue del 2 %, clasificándose su presencia como baja, media o alta, según la proporción de arena, limo y arcilla en el suelo (Mamani, 2023). Asimismo, se destacó que la materia orgánica, formada por una compleja combinación de compuestos derivados de la descomposición de residuos vegetales y animales, cumplió un rol esencial en el mantenimiento de la productividad agrícola, debido a su influencia directa sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Feng et al., 2025).

En relación con el parámetro de sodio intercambiable (**Figura 4**), los resultados obtenidos reflejaron que los suelos de los distritos evaluados presentaron un valor medio de dispersión de 26.43 %, lo cual indicó una

tendencia significativa hacia la afectación estructural del suelo. Se identificó que aquellos suelos con un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) superior al 6 % presentaron características propias de suelos sódicos, condición comúnmente asociada a zonas costeras. En este tipo de suelos, se evidenció una mayor susceptibilidad a la dispersión de partículas de arcilla en estado húmedo, lo que disminuyó notablemente la permeabilidad tanto al agua como al aire. Al secarse, estos suelos tendieron a compactarse, originando estructuras densas y endurecidas que dificultaron la penetración radicular y limitaron el desarrollo óptimo de los cultivos (Li et al., 2023). Por otro lado, la sodicidad fue reconocida como un proceso extendido de degradación del suelo, especialmente en regiones áridas y semiáridas. Este fenómeno se generó por la acumulación excesiva de iones sodio (Na^+) en relación con otros cationes solubles e intercambiables, como el calcio (Ca^{2+}), lo que alteró negativamente la estabilidad de los agregados del suelo debido al hinchamiento y dispersión de los coloides arcillosos. Como consecuencia, la estructura del suelo se debilitó, afectando su funcionalidad y repercutiendo en la productividad del cultivo de maíz (Gharaibeh et al., 2021).

Respecto al parámetro de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) (**Figura 5**), el estudio evidenció que los suelos analizados presentaron una fertilidad elevada, ya que el valor promedio alcanzado fue de 16.46 mEq/100 g, cifra superior al umbral mínimo de 12 mEq/100 g considerado ideal para una producción agrícola sostenible. Esta propiedad química fue evaluada mediante la sustitución de los cationes adsorbidos por otros de concentración conocida, permitiendo medir la capacidad del suelo para retener dichos iones. La CICE desempeñó un papel fundamental en la retención de fertilizantes y en la estabilidad química del suelo, al actuar como un regulador frente a fluctuaciones en su composición. Además, representó un indicador crucial para estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (J. Yuan et al., 2025). En la mayoría de los suelos evaluados, se observó que el intercambio catiónico fue el mecanismo predominante que

reguló eficazmente la disponibilidad de macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo vegetal (Kabala & Jedrzejewski, 2024). No obstante, los distritos de Quilmaná e Imperial registraron los valores más bajos de CICE, con 6.25 mEq/100 g y 6.74 mEq/100 g respectivamente, lo cual explicó en parte los bajos rendimientos de maíz obtenidos por hectárea en esas zonas. Ante esta situación, se sugirió la implementación de prácticas de fertilización basadas en análisis de suelos como una estrategia viable para incrementar la productividad agrícola. Finalmente, se recomendó que, para complementar el diagnóstico edafológico de los suelos estudiados, se realice una evaluación más detallada del contenido de macroelementos como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), así como de microelementos como boro y zinc (B, Zn).

V. CONCLUSIONES

El análisis de los parámetros edáficos permitió concluir que los suelos de los distritos de la cuenca del valle de Cañete presentan condiciones físicas y químicas favorables para una producción sostenible de maíz, particularmente para híbridos como Insignia, Dekal y Agricol. Desde el punto de vista físico, predominó la textura franco, considerada ideal por su equilibrio entre arena, limo y arcilla, lo que favorece la retención de agua, la aireación y el desarrollo adecuado del sistema radicular del cultivo. En cuanto a las propiedades químicas, se registró un pH promedio de 7.45, indicando una reacción neutra propicia para la disponibilidad y absorción eficiente de nutrientes. Además, el contenido de materia orgánica alcanzó un promedio de 4.40 %, reflejando una buena condición de fertilidad, esencial para mantener la actividad biológica del suelo y mejorar su estructura.

Sin embargo, se detectó un promedio elevado de sodio intercambiable (26.43 %), lo que evidencia la presencia de suelos con cierto grado de sodicidad, principalmente en zonas de influencia costera. Esta condición podría generar efectos adversos sobre la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes si no se implementan medidas de manejo adecuadas. Finalmente, la Capacidad de Intercambio Catiónico

Efectiva (CICE) registró un valor promedio de 16.46 mEq/100 g, lo que clasifica a estos suelos como altamente fértiles debido a su elevada capacidad para retener y suministrar cationes esenciales para el desarrollo del cultivo. Estos resultados indican que los suelos evaluados son aptos para el cultivo de maíz, aunque es necesario monitorear y manejar adecuadamente la sodicidad para garantizar la sostenibilidad del sistema agrícola a largo plazo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnew, J., Sprenger, C., Kendel, Z., Jefferson, P. G., Hnatowich, G., Weber-Enns, J., Shaw, L., Slowski, J., Hall, M., & Larson, K. (2022). The effect of nitrogen fertility rate and seeding rate on yield, nutritive value and economics of forage corn in a low corn heat unit region of Western Canada. *Field Crops Research*, 283, 108520. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108520>
- Bijarnia, A., Tatarwal, J. P., Yadav, R. K., Bijrania, A. L., Singh, D., & Saini, Y. (2024). Effect of fertility levels and stress mitigating chemicals on nutrient content, uptake, intercropping advantage and competition effect in cowpea-baby corn intercropping. *Heliyon*, 10(19), e38194. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38194>
- Blanco-Canqui, H., & Ruis, S. J. (2020). Cover crop impacts on soil physical properties: A review. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5), 1527-1576. <https://doi.org/10.1002/saj2.20129>
- Che, H., Zhou, H., Zhang, Y., Li, Z., Wang, X., Li, J., Chen, J., & Zhou, H. (2025). Parameter optimization and numerical analysis of the double disc digging shovel for corn root-soil complex. *Computers and Electronics in Agriculture*, 235, 110386. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110386>
- Feng, H., Han, X., Biswas, A., Zhang, M., Zhu, Y., Ji, Y., Lu, X., Chen, X., Yan, J., & Zou, W. (2025). Long-term organic material application enhances black soil productivity by improving aggregate stability and dissolved organic matter dynamics. *Field Crops Research*, 328, 109946. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109946>

- Gharaibeh, M. A., Albalasmeh, A. A., Pratt, C., & El Hanandeh, A. (2021). Estimation of exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio of salt-affected soils using traditional and dilution extracts, saturation percentage, electrical conductivity, and generalized regression neural networks. *CATENA*, *205*, 105466. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105466>
- Guo, J., Zhou, H., Jia, L., Wang, Y., & Fan, M. (2025). Effects of biochar from different pyrolysis temperatures on soil physical properties and hydraulic characteristics in potato farmland of arid and semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, *313*, 109483. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109483>
- Hafez, M., Popov, A. I., & Rashad, M. (2021). Uso integrado de fertilizantes bioorgánicos para mejorar la fertilidad del suelo, la nutrición de las plantas, el estado de germinación y el crecimiento inicial del maíz (*Zea Mays L.*). *Environmental Technology & Innovation*, *21*, 101329. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101329>
- Hu, N., Qi, W., Zhu, J., Zhao, F., Zheng, M., Zhao, C., Yan, J., & Liu, J. (2025). Effect of endogenous protein on starch before and after post-harvest ripening of corn: Structure, pasting, rheological and digestive properties. *Food Chemistry*, *473*, 143039. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143039>
- Jiang, J., Zhang, F., Xie, E., Wang, R., Deng, Y., Feng, T., Zhang, X., Xie, X., & Xu, R. (2025). El pH del suelo de arroz derivado de Ultisol, determinado in situ y en laboratorio, varió con las condiciones de inundación en la China subtropical. *Soil and Tillage Research*, *252*, 106608. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106608>
- Kabala, C., & Jędrzejewski, S. (2024). Comparison of cation exchange capacity extraction methods for soil data harmonization and soil classification in Central and East Europe. *Geoderma*, *450*, 117044. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117044>
- Klopp, H. W., Blanco-Canqui, H., Jasa, P., Slater, G., & Ferguson, R. B. (2025). Lessons about soil health and corn yield after a decade of cover crop and corn residue management. *Field Crops Research*, *326*, 109860. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109860>
- Li, N., Zare, E., Muzzamal, M., Sefton, M., & Triantafyllis, J. (2023). Improved prediction of soil exchangeable sodium percentage (ESP) using wavelet. *Computers and Electronics in Agriculture*, *209*, 107810. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107810>
- Mamani, E. H. C. (2023). Efecto de la materia orgánica en las propiedades físicas, químicas del suelo y el rendimiento del maíz morado (*Zea mays l.*) en el fundo Los Pichones Tacna – 2019. *Ciencia & Desarrollo*, *22*(1), Article 1. <https://doi.org/10.33326/26176033.2023.1.1952>
- Oliveira, L., Ortiz, B., Pate, G., Way, T., & Silva, R. (2025). Soil and crop response to varying planter's downforce in corn and cotton fields. *Smart Agricultural Technology*, *10*, 100798. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100798>
- Quinn, D. J., Poffenbarger, H. J., Leuthold, S. J., & Lee, C. D. (2021). Corn response to in-furrow fertilizer and fungicide across rye cover crop termination timings. *Agronomy Journal*, *113*(4), 3384-3398. <https://doi.org/10.1002/agj2.20723>
- Wu, B., Bai, T., Yu, W., Zhu, T., Li, D., Ye, C., Liu, M., & Hu, S. (2025). Soil pH and precipitation controls on organic carbon retention from organic amendments across soil orders: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, *207*, 109819. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109819>
- Yuan, J., E, S., & Zhao, X. (2025). Improved determination efficiency of the cation exchange capacity and exchangeable base cations in soil using stirring and extraction modifications. *Soil and Tillage Research*, *248*, 106429. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106429>
- Yuan, X., Ban, G., Luo, Y., Wang, J., Peng, D., Liang, R., He, T., & Wang, Z. (2025). Biochar effects on aggregation and carbon-nitrogen retention in different-sized aggregates of clay and loam soils: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, *247*, 106365. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106365>