

EXTENSIÓN UNIVERSITARIA MEDIANTE DIAGNÓSTICO FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO SEMIDESÉRTICO E INTERCAMBIO CON EMPRENDEDORES AGRÍCOLAS LOCALES

University extension through physicochemical diagnosis of semidesert soil and knowledge exchange with local agricultural entrepreneurs

Extensão universitária por meio do diagnóstico físico-químico do solo semidesértico e intercâmbio com empreendedores agrícolas locais

Dr. C. Luis Alberto Massa Palacios ^{1*}, <https://orcid.org/0000-0002-6570-2869>

Dr. C. Félix Ricardo Belli Carhuayo ¹, <https://orcid.org/0000-0002-2885-8071>

Dr. C. Rene Anselmo De la Torre Castro ¹, <https://orcid.org/0000-0001-7658-6851>

Dr. C. George Argota Pérez ², <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", Ica, Perú

² Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI", Perú

*Autor para correspondencia. email lmassa@unica.edu.pe

Para citar este artículo: Massa Palacios, L. A., Belli Carhuayo, F. R., De la Torre Castro, R. A. y Argota Pérez, G. (2026). Extensión universitaria mediante diagnóstico físico-químico del suelo semidesértico e intercambio con emprendedores agrícolas locales. *Maestro y Sociedad*, 23(3), 2984-2993. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: La sostenibilidad agrícola semidesértica requiere integrar conocimiento científico y experiencia local mediante diagnóstico edáfico. **Objetivo:** Describir la extensión universitaria basada en diagnóstico edáfico como estrategia de intercambio de conocimientos con emprendedores agrícolas para interpretar condiciones del suelo y manejar cultivos. **Materiales y métodos:** Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo, no experimental y transversal entre enero y junio de 2026. Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo, no experimental y transversal entre enero y marzo de 2026. Se evaluaron suelos de tuna y maíz mediante parámetros físico-químicos registrados con detector multiparámetro CHTR-8IN1-01. Los datos se analizaron con estadística descriptiva y prueba t-Student. La extensión universitaria se desarrolló mediante interpretación conjunta con emprendedores agrícolas. **Resultados:** Los suelos asociados al cultivo de tuna presentaron mayores valores medios de nitrógeno (26,42 mg/kg), fósforo (37,08 mg/kg), potasio (85,50 mg/kg), humedad (25,46 %) e índice de fertilidad (295,58 unidades) respecto al maíz. La temperatura del suelo mostró diferencia significativa entre sistemas agrícolas (21,56 °C vs. 19,93 °C; $p = 0,0072$), mientras que pH, conductividad eléctrica, humedad, macronutrientes e índice de fertilidad no evidenciaron diferencias estadísticas. La extensión universitaria integró información edáfica y experiencia productiva mediante interpretación conjunta del suelo, fortaleciendo la comprensión de sus condiciones y relación con los cultivos. **Discusión:** El diagnóstico físico-químico permitió comprender el suelo y evidenció la articulación entre conocimiento académico y saber productivo mediante extensión universitaria agrícola. **Conclusiones:** La extensión universitaria basada en evidencia edáfica fortaleció el intercambio de conocimientos y orientó decisiones agrícolas sostenibles en sistemas productivos semidesérticos.

Palabras clave: edafología, emprendimiento, extensión universitaria, producción agrícola.

ABSTRACT

Introduction: Sustainable semidesert agriculture requires integrating scientific knowledge and local experience through soil diagnosis. **Objective:** To describe university extension based on soil diagnosis as a knowledge exchange strategy with agricultural entrepreneurs for interpreting soil conditions and supporting crop management. **Materials and methods:** A quantitative, descriptive, non-experimental, and cross-sectional study was conducted between January and March 2026. Tuna and maize soils were evaluated through physicochemical parameters recorded using a CHTR-8IN1-01 multiparameter

soil detector. Data were analyzed using descriptive statistics and Student's t-test. University extension was developed through joint interpretation activities with agricultural entrepreneurs. Results: Soils associated with tuna cultivation showed higher mean values of nitrogen (26.42 mg/kg), phosphorus (37.08 mg/kg), potassium (85.50 mg/kg), moisture (25.46%), and fertility index (295.58 units) compared with maize soils. Soil temperature showed a significant difference between agricultural systems (21.56 °C vs. 19.93 °C; $p = 0.0072$), whereas pH, electrical conductivity, moisture, macronutrients, and fertility index did not show statistically significant differences. University extension integrated soil information and productive experience through joint interpretation of edaphic conditions, strengthening the understanding of soil behavior and its relationship with crops. Discussion: Physicochemical soil diagnosis enabled a contextualized understanding of edaphic conditions and demonstrated the articulation between academic knowledge and productive expertise through agricultural university extension. Conclusions: University extension based on edaphic evidence strengthened knowledge exchange and supported sustainable agricultural decision-making in semi-desert production systems.

Keywords: agricultural production, edaphology, entrepreneurship, university extension.

RESUMO

Introdução: A agricultura sustentável em regiões semidesérticas requer a integração do conhecimento científico e da experiência local por meio do diagnóstico do solo. Objetivo: Descrever a extensão universitária baseada no diagnóstico edáfico como estratégia de intercâmbio de conhecimentos com empreendedores agrícolas para interpretar as condições do solo e apoiar o manejo de cultivos. Materiais e métodos: Foi realizado um estudo quantitativo, descritivo, não experimental e transversal entre janeiro e março de 2026. Foram avaliados solos de cultivo de tuna e milho mediante parâmetros físico-químicos registrados com um detector multiparâmetro de solo CHTR-8IN1-01. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e teste t de Student. A extensão universitária foi desenvolvida mediante atividades de interpretação conjunta com empreendedores agrícolas. Resultados: Os solos associados ao cultivo de tuna apresentaram maiores valores médios de nitrogênio (26,42 mg/kg), fósforo (37,08 mg/kg), potássio (85,50 mg/kg), umidade (25,46%) e índice de fertilidade (295,58 unidades) em comparação aos solos de milho. A temperatura do solo apresentou diferença significativa entre os sistemas agrícolas (21,56 °C versus 19,93 °C; $p = 0,0072$), enquanto pH, condutividade elétrica, umidade, macronutrientes e índice de fertilidade não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. A extensão universitária integrou informações edáficas e experiência produtiva mediante interpretação conjunta das condições do solo, fortalecendo a compreensão de seu comportamento e relação com os cultivos. Discussão: O diagnóstico físico-químico permitiu compreender as condições edáficas de forma contextualizada e evidenciou a articulação entre conhecimento acadêmico e saber produtivo por meio da extensão universitária agrícola. Conclusões: A extensão universitária baseada em evidências edáficas fortaleceu o intercâmbio de conhecimentos e orientou decisões agrícolas sustentáveis em sistemas produtivos semidesérticos.

Palavras-chave: edafologia, empreendedorismo, extensão universitária, produção agrícola.

Recibido: 5/4/2026 Aprobado: 16/6/2026

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad agrícola representa un desafío para la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales, especialmente en regiones áridas y semiáridas donde las condiciones edafoclimáticas limitan la productividad (Bedolla et al., 2023; Brichi et al., 2023). Frente al cambio climático, la degradación del suelo y la escasez hídrica, resulta indispensable integrar el conocimiento científico con las prácticas agrícolas mediante estrategias que favorezcan el intercambio de conocimientos entre las instituciones de educación superior y los actores del sector productivo (Dimkpa et al., 2023; Sande et al., 2024). En este contexto, la extensión universitaria constituye un mecanismo de vinculación que facilita la aplicación social del conocimiento científico para apoyar la comprensión de los procesos edáficos y fortalecer la toma de decisiones orientadas hacia una agricultura sostenible.

En este contexto, la calidad del suelo constituye un factor determinante para el rendimiento de los cultivos (Abdu et al., 2023; El Behairy et al., 2024). Su evaluación mediante indicadores como pH, conductividad eléctrica, humedad, temperatura, nitrógeno, fósforo y potasio permite estimar la fertilidad, orientar el manejo agronómico y generar evidencia científica para sustentar el intercambio de conocimientos entre la universidad y los emprendedores agrícolas en torno a las condiciones productivas del suelo (Yahaya et al., 2023; Najdenko et al., 2024).

En zonas semidesérticas, la baja materia orgánica y las restricciones hídricas condicionan la disponibilidad de nutrientes y la productividad agrícola (Brichi et al., 2023). Por ello, la caracterización físico-química del suelo resulta esencial para formular recomendaciones técnicas adaptadas a las condiciones del territorio (Mhoro et al., 2023). En el marco de la extensión universitaria, la utilidad de esta información depende

de su adecuada interpretación y del intercambio de conocimientos entre la comunidad académica y los emprendedores agrícolas, favoreciendo decisiones productivas sustentadas tanto en la evidencia científica como en la experiencia local (Song et al., 2023).

La extensión universitaria constituye una función sustantiva de las instituciones de educación superior al promover la generación, el intercambio y la aplicación social del conocimiento. Mediante actividades de vinculación con el entorno y transferencia de conocimiento, las universidades acercan la evidencia científica a los actores productivos, favoreciendo la interpretación conjunta de problemas y oportunidades del territorio (Maake & Antwi, 2023; Xu et al., 2023). En el ámbito agrícola, este proceso fortalece la interacción entre docentes, investigadores y emprendedores agrícolas, integrando el conocimiento científico con la experiencia productiva local para respaldar decisiones orientadas al manejo sostenible del suelo y los cultivos.

La extensión universitaria en el ámbito agrícola ha evolucionado hacia enfoques participativos que promueven el intercambio de conocimientos entre la comunidad académica y los emprendedores agrícolas, integrando la evidencia científica con la experiencia productiva local (Maake & Antwi, 2023). En este marco, el diálogo de saberes favorece la construcción colectiva del conocimiento y contextualiza la información técnica de acuerdo con las condiciones productivas y ambientales de cada territorio (Xu et al., 2023; McGuire et al., 2024). De esta manera, el diagnóstico físico-químico del suelo constituye un insumo técnico que facilita la interpretación de las condiciones edáficas y respalda la toma de decisiones agrícolas, complementando el conocimiento empírico de los emprendedores sin sustituir su experiencia (El Behairy et al., 2024).

Los emprendedores agrícolas desempeñan un papel estratégico en el desarrollo rural, debido a que la sostenibilidad de sus actividades depende de decisiones relacionadas con el manejo del suelo, el agua y los cultivos (McGuire et al., 2024). Si bien estas decisiones se sustentan principalmente en la experiencia acumulada durante la práctica productiva, la información obtenida mediante el diagnóstico físico-químico del suelo aporta evidencia científica que complementa dicho conocimiento empírico. En el marco de la extensión universitaria, la interpretación conjunta de esta información favorece el intercambio de conocimientos entre la comunidad académica y los emprendedores agrícolas, fortaleciendo la comprensión de las condiciones edáficas y la valoración de alternativas de manejo, sin menoscabar la autonomía en la toma de decisiones productivas (El Behairy et al., 2024).

El departamento de Ica constituye un territorio agrícola caracterizado por condiciones áridas, donde la disponibilidad hídrica y el manejo del suelo representan factores determinantes para la productividad. En sistemas agrícolas irrigados con aguas residuales tratadas, el monitoreo de las propiedades físico-químicas del suelo resulta esencial debido a su influencia sobre la disponibilidad de nutrientes, la salinidad y la fertilidad edáfica (Ofori et al., 2024; Poma et al., 2026). En este contexto, el diagnóstico físico-químico del suelo proporciona información científica de utilidad para la extensión universitaria, al facilitar el intercambio de conocimientos con emprendedores agrícolas locales y respaldar la interpretación de las condiciones edáficas asociadas al manejo de cultivos como maíz (*Zea mays* L.) y tuna (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.).

La literatura científica evidencia escasas investigaciones que integren el diagnóstico físico-químico del suelo con la extensión universitaria como estrategia para el intercambio de conocimientos con emprendedores agrícolas en ecosistemas semidesérticos. Predominan estudios orientados a la caracterización edáfica o a la evaluación agronómica, mientras que son limitados aquellos que analizan cómo la interpretación conjunta de la información científica y la experiencia productiva local contribuye a contextualizar la toma de decisiones agrícolas. En consecuencia, persiste una limitada articulación entre el diagnóstico físico-químico del suelo y los procesos de extensión universitaria dirigidos al intercambio de conocimientos con emprendedores agrícolas en ambientes semidesérticos.

El objetivo del estudio fue describir la extensión universitaria sustentada en el diagnóstico físico-químico del suelo semidesértico como estrategia para el intercambio de conocimientos con emprendedores agrícolas locales, orientada a la interpretación de las condiciones edáficas para el establecimiento y manejo de cultivos en el distrito de Santiago, Ica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio presentó un enfoque cuantitativo, de carácter empírico-analítico y nivel descriptivo, orientado a caracterizar la calidad físico-química del suelo semidesértico y utilizar dicha información como soporte técnico

para las actividades de extensión universitaria desarrolladas con emprendedores agrícolas locales. El diseño metodológico fue no experimental y transversal, debido a que las variables fueron observadas y analizadas en su condición natural, sin manipulación experimental, considerando las características edáficas de las parcelas agrícolas evaluadas. En el marco de la extensión universitaria, los resultados del diagnóstico físico-químico fueron interpretados conjuntamente con los emprendedores agrícolas mediante sesiones de intercambio de conocimientos, donde la evidencia científica obtenida fue contrastada con la experiencia productiva y las condiciones observadas en los cultivos, sin que este proceso constituyera una intervención experimental.

El estudio se realizó entre enero y junio de 2026 en el distrito de Santiago, provincia de Ica, departamento de Ica, Perú, zona caracterizada por condiciones climáticas áridas, limitada disponibilidad hídrica y presencia de suelos con aptitud agrícola condicionada por el manejo del agua y la fertilidad edáfica. La población estuvo conformada por emprendedores agrícolas locales del distrito de Santiago dedicados al cultivo de especies adaptadas a condiciones semiáridas, principalmente tuna (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) y maíz (*Zea mays* L.), quienes desarrollan sus actividades productivas en parcelas irrigadas con agua proveniente de lagunas de oxidación y participaron en las actividades de extensión universitaria desarrolladas durante el estudio.

La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, considerando la accesibilidad territorial y la representatividad de las parcelas agrícolas dedicadas al cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) y maíz (*Zea mays* L.) en el área de estudio. La selección respondió al carácter descriptivo de la investigación y a la necesidad de disponer de unidades productivas que permitieran realizar el diagnóstico físico-químico del suelo y desarrollar las actividades de extensión universitaria (Figura 1).



Figura 1. Muestreo de la calidad del suelo de cultivo de tuna: *Opuntia ficus-indica* L. Mill. (izquierda) y maíz: *Zea mays* L. (derecha), con presencia de emprendedor agrícola, distrito de Santiago, Ica-Perú.

Se incluyeron emprendedores agrícolas mayores de edad, con actividad productiva vigente en el área de estudio, propietarios o responsables directos del manejo de las parcelas seleccionadas y que aceptaron participar voluntariamente en las actividades de diagnóstico e intercambio de conocimientos desarrolladas durante la extensión universitaria. Se excluyeron emprendedores sin actividad agrícola durante el periodo de evaluación, parcelas que no reunieron condiciones para un muestreo representativo del suelo, participantes que no completaron las actividades programadas o que no autorizaron el uso académico de la información generada.

La variable de estudio correspondió a la calidad físico-química del suelo semidesértico, conceptualizada como la capacidad del suelo para mantener condiciones adecuadas de disponibilidad de nutrientes, equilibrio químico y soporte productivo para el desarrollo vegetal (El Behairy et al., 2024). Esta variable fue evaluada mediante las dimensiones de condición química, condición física y fertilidad edáfica. La dimensión química comprendió los indicadores potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio intercambiable; la dimensión física incluyó humedad y temperatura del suelo, mientras que la fertilidad edáfica integró la interpretación de los parámetros analizados para identificar condiciones favorables o limitantes para el establecimiento y manejo de cultivos agrícolas.

Las actividades de extensión universitaria entendida como la interacción entre el conocimiento científico generado mediante el diagnóstico edáfico y la experiencia productiva de los emprendedores locales (Maaake & Antwi, 2023), fueron documentadas mediante una ficha de registro técnico elaborada para el estudio (Tabla 1), utilizada durante las sesiones de intercambio de conocimientos desarrolladas en las parcelas agrícolas. La ficha permitió registrar la fecha y lugar de la actividad, el cultivo evaluado, los parámetros físico-químicos del suelo (conductividad eléctrica, nitrógeno, potasio, fósforo, humedad, temperatura y la fertilidad) presentados a los emprendedores, los aspectos discutidos durante la interpretación conjunta del diagnóstico, las correspondencias identificadas entre los resultados analíticos y el comportamiento observado de los cultivos, así como las principales orientaciones técnicas derivadas del intercambio de conocimientos. Este registro constituyó la evidencia documental del proceso de extensión universitaria desarrollado durante la investigación.

Tabla 1. Registro de las actividades de extensión universitaria para la interpretación del diagnóstico físico-químico del suelo.

Campo	Registro
Fecha de la actividad	
Cultivo evaluado	
Emprendedores participantes	
Parámetros discutidos	
Correspondencia observada entre diagnóstico y cultivo	pH, CE, N, K, P, H, T, F Sí / Parcial / No
Aspectos comentados por los emprendedores	
Orientaciones técnicas compartidas	
Observaciones finales	

Leyenda: CE (conductividad eléctrica), N (nitrógeno), K (potasio), P (fósforo), H (humedad), T (temperatura), F (fertilidad)

La obtención de datos se desarrolló en dos etapas. En la primera, se realizó el diagnóstico físico-químico del suelo in situ mediante un detector multiparámetro CHTR-8IN1-01, que permitió registrar a los parámetros físico-químicos. Las mediciones se efectuaron mediante inserción directa de los sensores en las parcelas agrícolas seleccionadas y los resultados fueron registrados en fichas técnicas de campo para su posterior análisis (Figura 2).



Figura 2. Medición in situ de los parámetros físico-químicos del suelo agrícola mediante el detector multiparámetro CHTR-8IN1-01, distrito de Santiago, Ica-Perú.

El análisis de los datos cuantitativos se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion versión 19, complementado con procedimientos descriptivos mediante IBM SPSS Statistics versión 26. La distribución de los datos fue evaluada a través de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, considerando el tamaño muestral y la naturaleza de las variables cuantitativas analizadas. Debido al carácter descriptivo del estudio, se calcularon estadísticos de tendencia central y dispersión, representados por la media y la desviación estándar, respectivamente. La comparación de los parámetros físico-químicos entre los suelos asociados a los cultivos de tuna y maíz se efectuó mediante la prueba t de Student para muestras independientes, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y un intervalo de confianza del 95 %.

El proceso de extensión universitaria fue descrito a partir de las actividades de intercambio de conocimientos desarrolladas durante la interpretación conjunta del diagnóstico físico-químico del suelo, destacando la integración entre la evidencia científica obtenida mediante las mediciones instrumentales y la experiencia productiva de los emprendedores agrícolas en relación con las condiciones observadas en sus cultivos.

El estudio cumplió los principios éticos aplicables a investigaciones con participación humana y manejo de información productiva. Los emprendedores agrícolas participaron voluntariamente mediante consentimiento informado, donde se explicó el propósito académico, los procedimientos y el uso científico de los resultados. Se garantizó el respeto, la autonomía y la responsabilidad científica durante su desarrollo.

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra la caracterización de los parámetros físico-químicos del suelo, donde se evidenció diferencias entre las áreas destinadas al cultivo de tuna y maíz, mostrando una tendencia general hacia mayores valores de los indicadores evaluados en el suelo asociado al cultivo de tuna. El pH presentó una condición ligeramente superior en este último suelo, manteniéndose ambos dentro de un rango cercano a la neutralidad. La conductividad eléctrica mostró un incremento marcado en el suelo de tuna respecto al de maíz, acompañado de una mayor dispersión de los datos, lo que refleja diferencias en la variabilidad espacial de este parámetro. Los macronutrientes evaluados presentaron una tendencia creciente en el suelo de cultivo de tuna, con mayores concentraciones relativas de nitrógeno, fósforo y potasio en comparación con el suelo de maíz, manteniendo el mismo patrón de comportamiento entre los tres elementos.

Asimismo, la humedad del suelo fue superior en el cultivo de tuna, evidenciando una mayor retención de agua en las condiciones evaluadas, mientras que la temperatura presentó diferencias menores entre ambos sistemas de cultivo, con valores cercanos y baja variabilidad. El índice de fertilidad integró la respuesta conjunta de los parámetros analizados, mostrando una condición más elevada en el suelo de tuna frente al suelo de maíz, en correspondencia con la tendencia observada en los nutrientes, la humedad y la conductividad eléctrica.

Tabla 2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del suelo semidesértico con fines agrícola, Ica-Perú.

Parámetros físico-químicos	Unidad de medida	Suelo de cultivo de tuna	Suelo de cultivo de maíz
pH	Escala logarítmica de pH	6,9 ± 0,3	6,5 ± 0,56
Conductividad eléctrica	mS/cm	538,17 ± 234,39	204,83 ± 157,77
Nitrógeno	mg/kg	26,42 ± 11,71	9,67 ± 7,87
Potasio	mg/kg	85,5 ± 37,51	32,33 ± 25,00
Fósforo	mg/kg	37,08 ± 16,44	13,83 ± 11,03
Humedad	%	25,46 ± 7,28	12,1 ± 3,08
Temperatura	°C	21,556 ± 0,35	19,93 ± 0,52
Fertilidad	Índice de fertilidad	295,58 ± 128,88	112,17 ± 89,69

La temperatura del suelo presentó diferencias significativas entre ambos sistemas agrícolas: $p = 0,0072$ (Figura 2). Los suelos asociados al cultivo de tuna registraron una temperatura media de 21,56 °C (IC95 %: 20,78–22,34 °C), mientras que los correspondientes al cultivo de maíz presentaron un promedio de 19,93 °C (IC95 %: 19,39–20,48 °C). La diferencia media estimada fue de 1,63 °C (IC95 %: 0,51–2,74 °C).

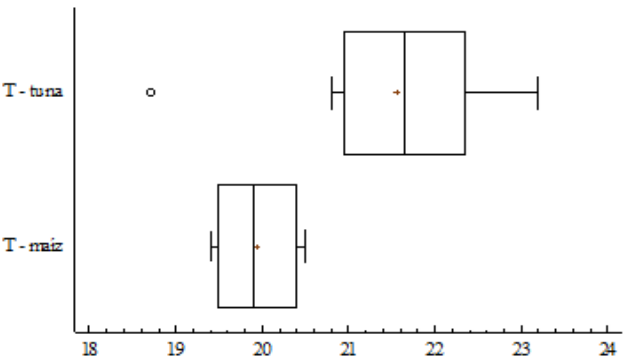


Figura 3. Análisis comparativo entre la temperatura del suelo asociado al cultivo de tuna y maíz, distrito de Santiago, Ica-Perú.

En relación con la humedad del suelo, aunque se observó una tendencia hacia mayores valores en las parcelas de tuna (25,46 %, IC95 %: 9,44–41,47 %) respecto a las de maíz (12,10 %, IC95 %: 8,86–15,34 %), la diferencia no alcanzó significancia estadística ($p = 0,2208$). La diferencia media fue de 13,36 %, con un intervalo de confianza amplio (–8,87 a 35,59 %), indicando elevada variabilidad dentro de los puntos evaluados.

La conductividad eléctrica tampoco presentó diferencias significativas entre los suelos evaluados ($p = 0,3408$). Las parcelas con tuna mostraron una media de 538,17 $\mu\text{S/cm}$ (IC95 %: 22,27–1054,06 $\mu\text{S/cm}$), mientras que las correspondientes a maíz alcanzaron 204,83 $\mu\text{S/cm}$ (IC95 %: 39,26–370,41 $\mu\text{S/cm}$). Aunque la diferencia promedio fue de 333,33 $\mu\text{S/cm}$ a favor de los suelos asociados a tuna, el amplio intervalo de confianza de la diferencia (–386,37 a 1053,03 $\mu\text{S/cm}$) confirmó que la variabilidad interna del sistema edáfico impidió establecer diferencias estadísticamente significativas en la salinidad aparente del suelo.

El pH del suelo presentó valores ligeramente superiores en las parcelas de tuna (6,90, IC95 %: 6,24–7,56) respecto a las parcelas de maíz (6,50, IC95 %: 5,91–7,09); sin embargo, esta diferencia no fue significativa ($p = 0,3936$). La diferencia media fue de 0,40 unidades de pH, con un intervalo de confianza que incluyó el valor cero (–0,57 a 1,37), indicando condiciones químicas similares entre ambos sistemas productivos.

Respecto al nitrógeno, los suelos asociados a tuna presentaron una media superior (26,42 mg/kg, IC95 %: 0,65–52,18 mg/kg) en comparación con los suelos destinados a maíz (9,67 mg/kg, IC95 %: 1,41–17,92 mg/kg). No obstante, la diferencia observada (16,75 mg/kg) no alcanzó significancia estadística ($p = 0,3379$), debido a la alta dispersión de los valores obtenidos y al intervalo de confianza de la diferencia (–19,20 a 52,70 mg/kg).

En cuanto al potasio, se observaron valores medios superiores en los suelos de tuna (85,50 mg/kg, IC95 %: 2,94–168,06 mg/kg) frente a los suelos de maíz (32,33 mg/kg, IC95 %: 6,10–58,57 mg/kg). Sin embargo, la prueba t indicó ausencia de diferencias significativas ($p = 0,3423$), con una diferencia media de 53,17 mg/kg y un intervalo de confianza de –61,98 a 168,32 mg/kg.

El índice de fertilidad del suelo mostró mayores valores promedio en las parcelas de tuna (295,58 unidades relativas, IC95 %: 11,92–579,25) respecto a las parcelas de maíz (112,17 unidades relativas, IC95 %: 21,00–203,34). Sin embargo, la diferencia estimada (183,42 unidades relativas) no presentó significancia estadística ($p = 0,3405$), debido a la elevada dispersión de los datos y al amplio intervalo de confianza de la diferencia (–212,32 a 579,15 unidades relativas).

La Tabla 3 evidencia la secuencia desarrollada durante el proceso de extensión universitaria basado en el diagnóstico físico-químico del suelo semidesértico. El proceso inició con la generación de información técnica mediante la caracterización de los parámetros edáficos, permitiendo establecer las condiciones del suelo en las parcelas evaluadas. Posteriormente, la socialización de los resultados facilitó el acceso de los emprendedores agrícolas a información objetiva sobre las características de sus unidades productivas. La interpretación conjunta permitió relacionar las mediciones obtenidas con la experiencia acumulada en el manejo de los cultivos, favoreciendo una comprensión contextualizada de las condiciones edáficas. Finalmente, la integración del conocimiento científico y productivo permitió establecer orientaciones técnicas relacionadas con el manejo agrícola de los cultivos evaluados.

Tabla 3. Evidencia del proceso de extensión universitaria mediante el diagnóstico físico-químico del suelo semidesértico con fines agrícolas, distrito Santiago, Ica-Perú.

Etapas del proceso	Evidencia generada	Resultado del intercambio
Diagnóstico edáfico	Registro de parámetros físico-químicos del suelo	Caracterización técnica de las parcelas
Socialización científica	Presentación de resultados a emprendedores	Acceso a información objetiva del suelo
Interpretación conjunta	Contraste entre mediciones y experiencia agrícola	Comprensión contextualizada de las condiciones edáficas
Integración del conocimiento	Relación suelo-cultivo-manejo	Orientación técnica para cultivos agrícolas

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidenciaron que el diagnóstico físico-químico del suelo permitió caracterizar diferencias en las condiciones edáficas asociadas a los cultivos de tuna y maíz, aunque la mayoría de los parámetros evaluados no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Esta tendencia reflejó que los suelos analizados mantuvieron comportamientos diferenciados en términos de disponibilidad de nutrientes, humedad y fertilidad integrada, pero con una elevada variabilidad espacial característica de los sistemas agrícolas desarrollados en ambientes semidesérticos. Este comportamiento fue coherente con el

enfoque metodológico descriptivo empleado, debido a que la finalidad del estudio no fue establecer relaciones causales entre cultivo y calidad del suelo, sino generar evidencia técnica para interpretar las condiciones edáficas dentro de un proceso de extensión universitaria. Abdu et al. (2023) señalaron que la evaluación de calidad del suelo depende de la integración de múltiples indicadores físico-químicos, debido a que ningún parámetro individual permite explicar completamente la funcionalidad edáfica. En concordancia, El Behairy et al. (2024) destacaron que la interpretación conjunta de indicadores permite una aproximación más precisa al estado del suelo y favorece decisiones agrícolas sustentadas en evidencia.

El comportamiento observado en el pH indicó que ambos sistemas productivos presentaron condiciones próximas a la neutralidad, lo cual representó un ambiente químico potencialmente favorable para la disponibilidad de nutrientes. La ausencia de diferencias significativas sugirió que el cultivo establecido no modificó sustancialmente la reacción química del suelo durante el periodo evaluado, aunque la tendencia ligeramente superior en las parcelas de tuna evidenció una posible diferenciación asociada al manejo agrícola o a las características propias del sistema productivo. Estos resultados coincidieron con Najdenko et al. (2024), quienes indicaron que el pH constituye uno de los indicadores más utilizados en agricultura de precisión debido a su relación con la disponibilidad de elementos esenciales y la interpretación rápida de la condición química del suelo. Sin embargo, contrastaron parcialmente con estudios desarrollados en sistemas agrícolas intensivos donde las prácticas prolongadas de fertilización o irrigación han generado modificaciones más evidentes del equilibrio químico edáfico (Bedolla et al., 2023). Esta diferencia pudo explicarse porque las parcelas evaluadas correspondieron a sistemas productivos locales con condiciones de manejo particulares y no a esquemas intensivos de producción.

La mayor tendencia de nitrógeno, fósforo y potasio observada en los suelos asociados al cultivo de tuna reflejó una condición relativa de mayor disponibilidad de nutrientes, aunque la variabilidad registrada impidió confirmar diferencias estadísticas entre sistemas. Desde una interpretación agronómica, este comportamiento sugirió que la fertilidad del suelo estuvo determinada por la interacción entre las características del cultivo, el manejo del agua y las prácticas productivas desarrolladas por los emprendedores. Yahaya et al. (2023) mencionaron que la dinámica de los macronutrientes depende de procesos complejos relacionados con la mineralización, retención y disponibilidad química en el suelo. Asimismo, Dimkpa et al. (2023) señalaron que la gestión adecuada de nutrientes resulta fundamental para mantener la productividad agrícola en regiones con limitaciones edáficas. En este sentido, los resultados obtenidos aportaron evidencia local sobre la necesidad de interpretar la fertilidad no únicamente desde valores individuales de nutrientes, sino desde su relación con las condiciones productivas del territorio.

La conductividad eléctrica presentó una tendencia superior en el suelo asociado a tuna, aunque sin diferencias significativas entre sistemas. Este comportamiento fue relevante debido a que las parcelas evaluadas fueron irrigadas con agua procedente de lagunas de oxidación, condición que puede influir sobre la acumulación de sales y nutrientes disponibles en el suelo. Ofori et al. (2024) indicaron que la reutilización de aguas residuales tratadas para irrigación puede modificar las propiedades físico-químicas del suelo, dependiendo de la calidad del agua aplicada y del tiempo de uso agrícola. De manera complementaria, Poma et al. (2026) evidenciaron que los sistemas agrícolas irrigados en zonas áridas pueden presentar procesos de acumulación secundaria de sales y nutrientes, asociados al manejo hídrico. En el presente estudio, la elevada dispersión de la conductividad eléctrica sugirió una distribución heterogénea dentro de las parcelas, por lo que la interpretación técnica durante la extensión universitaria resultó necesaria para evitar conclusiones basadas únicamente en valores aislados.

La diferencia significativa encontrada en la temperatura del suelo entre ambos cultivos constituyó uno de los principales patrones estadísticos identificados. Este resultado indicó que las condiciones microambientales asociadas al sistema productivo pudieron influir sobre el comportamiento térmico del suelo, posiblemente relacionado con diferencias en cobertura vegetal, arquitectura del cultivo y dinámica de humedad superficial. Aunque la temperatura edáfica suele recibir menor atención frente a indicadores químicos, representa un factor relacionado con la actividad biológica del suelo y los procesos de transformación de nutrientes. Brichi et al. (2023) señalaron que la salud del suelo depende de la interacción entre propiedades físicas, químicas y biológicas, donde las condiciones ambientales regulan procesos esenciales para la sostenibilidad agrícola. Por ello, la incorporación de este indicador dentro del diagnóstico permitió ampliar la comprensión de las condiciones productivas observadas en las parcelas evaluadas.

La humedad del suelo mostró una tendencia favorable hacia las parcelas de tuna, aunque sin significancia estadística debido a la dispersión de los datos. Este resultado reflejó que la retención hídrica pudo estar influenciada por factores locales como textura del suelo, distribución del riego, cobertura vegetal y características

del cultivo. En ambientes semidesérticos, donde la disponibilidad de agua constituye una limitación productiva, la interpretación integrada de humedad y fertilidad adquiere especial importancia para orientar prácticas agrícolas sostenibles. Song et al. (2023) demostraron que la distribución espacial de nutrientes y propiedades del suelo en regiones semiáridas está condicionada por múltiples factores ambientales y de manejo. Por ello, los resultados obtenidos reforzaron la necesidad de emplear diagnósticos contextualizados que permitan relacionar las mediciones técnicas con las condiciones reales de producción.

El índice integrado de fertilidad presentó una tendencia superior en el suelo asociado a tuna, resultado que sintetizó el comportamiento conjunto de los parámetros analizados. Sin embargo, la ausencia de diferencias significativas evidenció que la variabilidad edáfica limitó la diferenciación estadística entre sistemas agrícolas. Desde la perspectiva metodológica, este hallazgo confirmó la importancia de utilizar índices integradores como herramientas de interpretación y no como indicadores aislados de productividad. Abdu et al. (2023) plantearon que los índices de calidad del suelo permiten organizar múltiples variables para comprender mejor la funcionalidad del sistema edáfico, aunque requieren una interpretación acorde con las características ambientales y productivas del territorio.

Respecto al componente de extensión universitaria, los resultados demostraron que el diagnóstico físico-químico funcionó como un medio para articular el conocimiento científico generado por la universidad con la experiencia productiva de los emprendedores agrícolas. La secuencia desarrollada, desde la medición del suelo hasta la interpretación conjunta de los resultados, evidenció un proceso participativo donde la información técnica fue contextualizada mediante el conocimiento local sobre manejo agrícola y comportamiento de los cultivos. Este enfoque coincidió con Maake y Antwi (2023), quienes señalaron que la extensión universitaria agrícola adquiere mayor efectividad cuando incorpora las necesidades y experiencias de los productores dentro del proceso de transferencia del conocimiento. Asimismo, Xu et al. (2023) indicaron que las tecnologías y herramientas aplicadas en extensión agrícola fortalecen la comunicación entre instituciones académicas y actores rurales cuando se integran con estrategias participativas.

En este sentido, la principal contribución del estudio no radicó únicamente en la caracterización físico-química del suelo, sino en demostrar que el diagnóstico edáfico puede convertirse en una herramienta de extensión universitaria orientada al intercambio de conocimientos con emprendedores locales. A diferencia de investigaciones centradas exclusivamente en la evaluación agronómica del suelo, este trabajo incorporó una dimensión de interacción universidad-territorio, donde la evidencia científica complementó la experiencia agrícola sin sustituirla. McGuire et al. (2024) resaltaron que los procesos de innovación agrícola requieren relaciones colaborativas y reconocimiento del conocimiento de los actores locales para generar transformaciones sostenibles. Por tanto, los resultados obtenidos sugirieron que la extensión universitaria basada en evidencia técnica constituye una estrategia pertinente para fortalecer la interpretación de las condiciones edáficas y apoyar decisiones relacionadas con el establecimiento y manejo de cultivos en ecosistemas semidesérticos.

CONCLUSIONES

El estudio permitió describir la extensión universitaria sustentada en el diagnóstico físico-químico del suelo semidesértico como una estrategia para fortalecer el intercambio de conocimientos con emprendedores agrícolas locales del distrito de Santiago. La caracterización edáfica evidenció diferencias descriptivas entre los suelos asociados a tuna y maíz, con tendencias favorables en nutrientes, humedad y fertilidad integrada para el cultivo de tuna, aunque con limitada diferenciación estadística debido a la variabilidad espacial del sistema agrícola. El diagnóstico instrumental proporcionó información objetiva que, mediante la interpretación conjunta con los emprendedores, permitió relacionar las condiciones del suelo con la experiencia productiva y el comportamiento observado de los cultivos. En consecuencia, la extensión universitaria se consolidó como un mecanismo de articulación entre conocimiento científico y saber local, favoreciendo una comprensión contextualizada de las condiciones edáficas para orientar prácticas agrícolas sostenibles en ambientes semidesérticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, A., Laekemariam, F., Gidago, G., & Lakew, G. (2023). Explaining the soil quality using different assessment techniques. *Applied and Environmental Soil Science*, 2023, 6699154. <https://doi.org/10.1155/2023/6699154>
- Bedolla, R. H. I., Negrete, R. M. L. X., Gámez, V. F. P., Álvarez, B. D., & Conde, B. E. (2023). Analyzing the impact of intensive agriculture on soil quality: A systematic review and global meta-analysis of quality indexes. *Agronomy*, 13(8), 2166. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082166>

- Brichi, L., Fernandes, J. V. M., Silva, B. M., Vizú, J. d. F., Junior, J. N. G., & Cherubin, M. R. (2023). Organic residues and their impact on soil health, crop production and sustainable agriculture: A review including bibliographic analysis. *Soil Use and Management*, 39(2), 686-706. <https://doi.org/10.1111/sum.12892>
- Dimkpa, C., Adzawla, W., Pandey, R., Atakora, W. K., Kouame, A. K., Jemo, M., & Bindraban, P. S. (2023). Fertilizers for food and nutrition security in sub-Saharan Africa: An overview of soil health implications. *Frontiers in Soil Science*, 3, 1123931. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1123931>
- El Behairy, R. A., El Arwash, H. M., El Baroudy, A. A., Ibrahim, M. M., Mohamed, E. S., Kucher, D., & Shokr, M. S. (2024). How can soil quality be accurately and quickly studied? A review. *Agronomy*, 14(8), 1682. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081682>
- Maake, M. M. S., & Antwi, M. A. (2023). Determinants of the acceptability of university agricultural extension in the Gauteng province of South Africa. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2249951. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2249951>
- McGuire, E., Al-Zu'bi, M., Boa, A. M., Giang, L. T. T., Sylvester, J. M., & Valencia, L. E. M. (2024). Equity principles: Using social theory for more effective social transformation in agricultural research for development. *Agricultural Systems*, 218, 103999. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.103999>
- Mhoro, L. M., Meya, A. I., Amuri, N. A., Ndakidemi, P. A., Mtei, K. M., & Njau, K. N. (2023). Influence of farmers' socio-economic characteristics on nutrient flow and implications for system sustainability in smallholdings: A review. *Frontiers in Soil Science*, 3, 1112629. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1112629>
- Najdenko, E., Lorenz, F., Dittert, K., & Werner, O. H. (2024). Rapid in-field soil analysis of plant-available nutrients and pH for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 25, 3189–3218. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10181-6>
- Ofori, S., Abebrese, D. K., Růžicková, I., & Wanner, J. (2024). Reuse of treated wastewater for crop irrigation: Water suitability, fertilization potential, and impact on selected soil physicochemical properties. *Water*, 16(3), 484. <https://doi.org/10.3390/w16030484>
- Poma, C. R., Vilca, G. C., Cama, M. E., & Gómez, C. P. (2026). The drip irrigation paradox in an arid irrigated system: A soil quality index reveals secondary salinization and nutrient accumulation in Southern Peru. *Frontiers in Soil Science*, 6, 1789869. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2026.1789869>
- Sande, T. J., Tindwa, H. J., Alovizi, A. M. T., Shitindi, M. J., & Semoka, J. M. (2024). Enhancing sustainable crop production through integrated nutrient management: A focus on vermicompost, bio-enriched rock phosphate, and inorganic fertilisers – A systematic review. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1422876. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1422876>
- Song, S., Yang, R., Cui, X., & Chen, Q. (2023). County-scale spatial distribution of soil nutrients and driving factors in semiarid Loess Plateau farmland, China. *Agronomy*, 13(10), 2589. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102589>
- Xu, Z., Adeyemi, A. E., Catalan, E., Ma, S., Kogut, A., & Guzman, C. (2023). A scoping review on technology applications in agricultural extension. *PLOS ONE*, 18(11), e0292877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292877>
- Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., Abdullahi, M., & Haruna, A. (2023). Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review. *Pedosphere*, 33(3), 385–406. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>

AGRADECIMIENTOS

A los emprendedores, señores Mauro Allcca Flores y Daniel Enríquez Chavez Rojo, propietarios de las parcelas agrícolas evaluadas, por permitir el acceso a sus unidades productivas, facilitar el desarrollo del diagnóstico físico-químico del suelo y participar activamente en las actividades de intercambio de conocimientos desarrolladas durante la extensión universitaria.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

Los autores del manuscrito señalado, DECLARAMOS que hemos contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, estamos en condiciones de hacernos públicamente responsable de él y aceptamos que sus nombres figuren en la lista de autores en el orden indicado. Además, hemos cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Dr. C. Luis Alberto Massa Palacios, Dr. C. Félix Ricardo Belli Carhuayo, Dr. C. Rene Anselmo De la Torre Castro, Dr. C. George Argota Pérez: Proceso de revisión de literatura y redacción del artículo.