

HUMANIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO AMBIENTAL TRANSFERIDO PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS LOCALES

Environmental education for the responsible use of wastewater from oxidation ponds in semidesert agricultural soils

Educação ambiental para o uso responsável de águas residuárias de lagoas de oxidação em solos agrícolas semidesérticos

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

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>

Mg. Juan Américo Farfán Flores ², <https://orcid.org/0000-0002-0854-2408>

Dr. C. George Argota Pérez ³, <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

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

² Universidad Nacional de Juliaca. Puno, Perú

³ Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI", Perú

*Autor para correspondencia. email rene.delatorre@unica.edu.pe

Para citar este artículo: De la Torre Castro, R. A., Massa Palacios, L. A., Belli Carhuayo, F. R., Farfán Flores, J. A. y Argota Pérez, G. (2026). Humanización del conocimiento ambiental transferido para la prevención de riesgos en actividades agrícolas locales. *Maestro y Sociedad*, 23(3), 3117-3125. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: La reutilización agrícola de aguas residuales requiere conocimiento ambiental contextualizado para prevenir riesgos en ambientes semidesérticos. **Objetivo:** Analizar la humanización del conocimiento ambiental transferido para la prevención de riesgos en actividades agrícolas locales del distrito de Santiago, Ica, Perú. **Materiales y métodos:** Se realizó un estudio cuantitativo, aplicado, descriptivo, no experimental y transversal, entre enero y junio de 2026. Se evaluaron muestras del afluente y dos efluentes de una laguna de oxidación y tres suelos agrícolas irrigados con dichos efluentes. Se determinaron parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua y características físico-químicas del suelo. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva y comparados con referencias normativas y técnicas. **Resultados:** La DBO₅,20 disminuyó 66,2 % entre el afluente y el primer efluente, mientras la DQO se redujo 55,4 %; sin embargo, ambos indicadores permanecieron por encima de sus referencias. El nitrógeno total disminuyó 51,1 % y el fósforo total 48,5 %. Los coliformes fecales disminuyeron inicialmente, pero posteriormente retornaron al nivel del afluente, mientras los coliformes totales aumentaron marcadamente en el primer efluente. En los suelos, la conductividad eléctrica indicó salinidad moderada, el nitrógeno total y la materia orgánica fueron muy bajos, y predominó la arena. **Discusión:** Los resultados evidenciaron que la reducción físico-química no implicó una respuesta microbiológica equivalente, confirmando la necesidad de interpretar integralmente la calidad del efluente y del suelo. **Conclusiones:** La humanización del conocimiento ambiental se concretó mediante la transformación de evidencia analítica en orientaciones preventivas pertinentes para las condiciones agrícolas locales.

Palabras clave: agricultura, conocimiento ambiental, prevención, riesgos, transferencia

ABSTRACT

Introduction: Agricultural reuse of wastewater requires contextualized environmental knowledge to prevent risks in semidesert environments. **Objective:** To analyze the humanization of transferred environmental knowledge for risk prevention in local agricultural activities in the district of Santiago, Ica, Peru. **Materials and methods:** A quantitative,

applied, descriptive, non-experimental, cross-sectional study was conducted between January and June 2026. Samples from the influent and two effluents of an oxidation lagoon, as well as three agricultural soils irrigated with these effluents, were evaluated. Physicochemical and microbiological parameters of the wastewater and physicochemical characteristics of the soil were determined. Data were processed using descriptive statistics and compared with regulatory and technical reference values. Results: BOD_{5,20} decreased by 66.2% between the influent and the first effluent, whereas COD decreased by 55.4%; however, both indicators remained above their respective reference values. Total nitrogen decreased by 51.1% and total phosphorus by 48.5%. Fecal coliforms initially decreased but subsequently returned to the influent level, whereas total coliforms increased markedly in the first effluent. In the soils, electrical conductivity indicated moderate salinity, while total nitrogen and organic matter were very low, with sand predominating. Discussion: The results showed that physicochemical reductions did not entail an equivalent microbiological response, confirming the need for an integrated interpretation of effluent and soil quality. Conclusions: The humanization of environmental knowledge was achieved by transforming analytical evidence into preventive guidance relevant to local agricultural conditions.

Keywords: agriculture, environmental knowledge, prevention, risks, transfer

RESUMO

Introdução: A reutilização agrícola de águas residuais requer conhecimento ambiental contextualizado para prevenir riscos em ambientes semidesérticos. **Objetivo:** Analisar a humanização do conhecimento ambiental transferido para a prevenção de riscos nas atividades agrícolas locais do distrito de Santiago, Ica, Peru. **Materiais e métodos:** Foi realizado um estudo quantitativo, aplicado, descritivo, não experimental e transversal, entre janeiro e junho de 2026. Foram avaliadas amostras do afluente e de dois efluentes de uma lagoa de oxidação, bem como três solos agrícolas irrigados com esses efluentes. Foram determinados parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água residual e características físico-químicas do solo. Os dados foram processados por meio de estatística descritiva e comparados com valores de referência normativos e técnicos. **Resultados:** A DBO_{5,20} diminuiu 66,2% entre o afluente e o primeiro efluente, enquanto a DQO foi reduzida em 55,4%; contudo, ambos os indicadores permaneceram acima dos respectivos valores de referência. O nitrogênio total diminuiu 51,1% e o fósforo total 48,5%. Os coliformes fecais diminuíram inicialmente, mas posteriormente retornaram ao nível observado no afluente, enquanto os coliformes totais aumentaram acentuadamente no primeiro efluente. Nos solos, a condutividade elétrica indicou salinidade moderada, enquanto o nitrogênio total e a matéria orgânica apresentaram valores muito baixos, com predominância de areia. **Discussão:** Os resultados evidenciaram que a redução dos parâmetros físico-químicos não implicou uma resposta microbiológica equivalente, confirmando a necessidade de interpretar integralmente a qualidade do efluente e do solo. **Conclusões:** A humanização do conhecimento ambiental concretizou-se mediante a transformação de evidências analíticas em orientações preventivas pertinentes às condições agrícolas locais.

Palavras-chave: agricultura, conhecimento ambiental, prevenção, riscos, transferência

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

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad agrícola requiere gestionar eficientemente recursos naturales estratégicos bajo condiciones ambientales, económicas y productivas cambiantes (Balaine et al., 2023; Quarshie et al., 2023). En territorios con restricciones hídricas, mejorar la eficiencia del riego constituye una estrategia relevante para sostener actividades agrícolas y reducir presiones sobre fuentes convencionales (Calderan et al., 2023; Roopnarine et al., 2023). El reúso de aguas residuales puede ampliar la disponibilidad hídrica destinada a la agricultura y contribuir al aprovechamiento de nutrientes presentes en los efluentes (Ibrahim & Hammad, 2024). Sin embargo, su utilización requiere evaluar condiciones ambientales y sanitarias, debido a posibles aportes de contaminantes y alteraciones derivadas del riego continuo (Ofori et al., 2025; Puškáčová et al., 2025).

Por ello, la evaluación del agua residual y del suelo agrícola debe integrar indicadores capaces de identificar condiciones favorables y factores potencialmente perjudiciales para la producción (Ibrahim & Hammad, 2024; Ore et al., 2025). La información obtenida mediante estos diagnósticos adquiere mayor utilidad cuando puede relacionarse con decisiones sobre manejo agrícola y prevención de riesgos productivos (Micha et al., 2023; Tumwebaze et al., 2025). No obstante, disponer de información científica no garantiza que sus resultados sean comprendidos, contextualizados y utilizados por quienes desarrollan actividades

agrícolas (Doanh et al., 2024; Lundmark et al., 2023). La transferencia efectiva requiere mecanismos que conecten conocimiento científico, experiencias productivas y necesidades concretas de los actores que utilizarán dicha información (Arifah et al., 2023; Räsänen et al., 2024).

Los agricultores no constituyen únicamente receptores de información, porque construyen conocimientos mediante experiencias acumuladas y prácticas desarrolladas dentro de sus propios territorios (Klein et al., 2024; Wasono et al., 2024). La incorporación de estos conocimientos favorece procesos de aprendizaje y gestión donde la evidencia científica puede adquirir significado según las condiciones productivas locales (Broadmeadow et al., 2023; Tran & Touch, 2024). En este contexto, la transferencia del conocimiento ambiental puede entenderse como un proceso interactivo que requiere contextualización, diálogo y participación de los actores involucrados (Suchá et al., 2024; Ligtermoet, 2025). La coproducción del conocimiento favorece que la evidencia científica trascienda su dimensión técnica y contribuya a procesos de decisión socialmente pertinentes (Caniglia et al., 2023; Cartagena et al., 2025).

A partir de esta perspectiva, el estudio propone la humanización del conocimiento ambiental como un proceso mediante el cual los resultados científicos se contextualizan, interpretan y transfieren considerando experiencias, necesidades y decisiones de los actores locales. Esta propuesta no reduce el rigor científico, sino que busca convertir información ambiental especializada en conocimiento comprensible y potencialmente utilizable para prevenir riesgos. La educación ambiental adquiere entonces una función articuladora, porque puede vincular conocimiento científico, experiencias productivas y capacidades necesarias para responder ante problemas ambientales concretos (Uddin, 2024; Arifah et al., 2023). Asimismo, la extensión universitaria puede constituir un espacio para facilitar procesos de transferencia y fortalecer la interacción entre instituciones académicas y actores productivos territoriales (Balaine et al., 2023; Lundmark et al., 2023). Este enfoque resulta pertinente en Ica, donde las condiciones ambientales y la actividad agrícola hacen relevante optimizar el uso de recursos hídricos disponibles (Calderan et al., 2023; Quarshie et al., 2023). En el distrito de Santiago, el aprovechamiento agrícola de efluentes procedentes de su laguna de oxidación plantea la necesidad de relacionar la calidad del agua, las condiciones del suelo y las decisiones de los emprendedores agrícolas locales.

El problema, por tanto, no se limita a determinar las características físico-químicas y microbiológicas del agua residual y del suelo irrigado con su efluente. También comprende la necesidad de transferir e interpretar ese conocimiento ambiental para orientar decisiones preventivas dentro de las actividades agrícolas locales (Doanh et al., 2024; Tumwebaze et al., 2025).

El objetivo fue analizar la humanización del conocimiento ambiental transferido para la prevención de riesgos en actividades agrícolas locales mediante el diagnóstico físico-químico y microbiológico del agua residual y la caracterización del suelo agrícola irrigado con su efluente en Santiago, Ica, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, con diseño no experimental y transversal, entre enero y junio de 2026, en el distrito de Santiago, provincia y departamento de Ica, Perú. El estudio tuvo orientación aplicada, debido a que los resultados del diagnóstico ambiental se utilizaron para contextualizar información científica relacionada con la prevención de riesgos en actividades agrícolas locales.

El ámbito de estudio comprendió el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante laguna de oxidación y las parcelas agrícolas locales irrigadas con su efluente, generando evidencia objetiva para contextualizar y transferir conocimiento ambiental orientado a la prevención de riesgos agrícolas.

La unidad de análisis comprendió muestras de agua residual afluyente y efluentes, además de suelos agrícolas (tuna: *Opuntia ficus-indica* L. Mill. y maíz: *Zea mays* L.) irrigados con el efluente final (Figura 1). El muestreo fue no probabilístico e intencional, seleccionándose puntos directamente vinculados con el sistema evaluado.

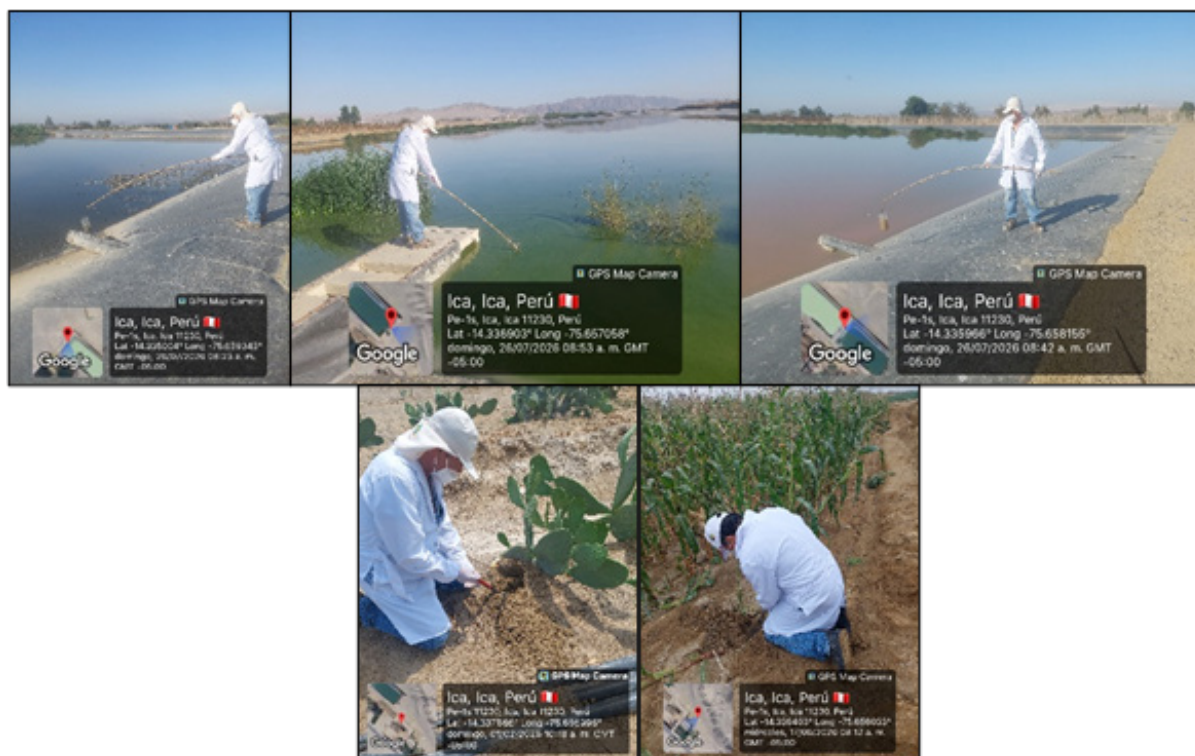


Figura 1. Afluente (superior izquierda), efluente intermedio (superior intermedio), efluente final (superior derecha), suelo agrícola (tuna: inferior izquierda; maíz: inferior derecha).

Los emprendedores agrícolas locales fueron considerados actores vinculados con el proceso de transferencia y contextualización del conocimiento ambiental, pero no constituyeron unidades estadísticas de análisis (Figura 2).



Figura 2. Participación de emprendedores agrícolas en la humanización del conocimiento ambiental transferido.

Esta diferenciación permitió separar la caracterización cuantitativa de las matrices ambientales de la dimensión educativa y social asociada con la interpretación de los resultados. La humanización del conocimiento ambiental constituyó el eje conceptual para contextualizar los hallazgos y orientar su utilización preventiva por los actores productivos locales.

El diagnóstico ambiental comprendió indicadores físico-químicos y microbiológicos del agua residual y del suelo agrícola. En el agua se determinaron pH, fósforo total, nitrógeno total, DBO₅,20, DQO, coliformes fecales y coliformes totales. En el suelo se evaluaron pH, fósforo total, conductividad eléctrica, nitrógeno total, arena, limo, arcilla y materia orgánica. Estos indicadores permitieron caracterizar las condiciones ambientales relevantes para interpretar posibles beneficios nutricionales y condiciones asociadas con riesgos para el manejo agrícola.

La interpretación contextual relacionó los resultados analíticos con las características de las parcelas y las

actividades productivas desarrolladas por los emprendedores agrícolas locales. La prevención de riesgos comprendió la identificación de condiciones que requerían vigilancia o manejo, particularmente aquellas relacionadas con carga orgánica, disponibilidad de nutrientes, conductividad eléctrica y presencia de microorganismos indicadores en el agua residual. Esta interpretación permitió transformar los resultados analíticos en información ambiental contextualizada para las decisiones agrícolas.

La información se obtuvo mediante medición ambiental directa, recolectando muestras de agua residual del afluente y dos puntos del efluente de la laguna de oxidación, además de suelo agrícola de tres parcelas irrigadas. Las muestras fueron identificadas, acondicionadas y trasladadas para análisis mediante procedimientos estandarizados según cada determinación.

La técnica comprendió la medición ambiental directa y el análisis de los registros analíticos obtenidos. El instrumento utilizado fue una ficha de registro de parámetros físico-químicos y microbiológicos, destinada a sistematizar los resultados correspondientes a las muestras de agua residual y suelo agrícola. Los datos fueron obtenidos y registrados por investigadores especializados en análisis ambiental, quienes aplicaron procedimientos estandarizados para el muestreo y la determinación de los parámetros evaluados.

La información cuantitativa se organizó en una matriz y procesó mediante IBM SPSS Statistics versión 26, aplicando estadística descriptiva. Los resultados se expresaron mediante valores individuales y rangos para cada parámetro. La interpretación se realizó mediante comparación directa entre muestras y puntos de muestreo, identificando variaciones relevantes para la prevención de riesgos agrícolas. No se aplicaron pruebas inferenciales, de normalidad ni análisis de varianza, debido a la ausencia de réplicas suficientes para estimar variabilidad y establecer diferencias estadísticas. Por ello, el análisis se mantuvo estrictamente descriptivo, sin establecer relaciones causales entre el agua residual y las condiciones del suelo.

La investigación garantizó la integridad científica, la confidencialidad de la información y la comunicación responsable de los resultados ambientales. La participación de los actores agrícolas vinculados con la transferencia del conocimiento fue voluntaria, preservándose su identidad y evitando atribuciones individuales en la presentación de los resultados.

RESULTADOS

La Tabla 1 describe la caracterización del agua residual, donde mostró un comportamiento diferenciado entre el afluente y los efluentes. Los nutrientes disminuyeron después del tratamiento, al igual que la carga orgánica, aunque esta permaneció por encima de sus referencias. El pH presentó variación moderada y se mantuvo dentro del intervalo establecido. Los indicadores microbiológicos mostraron comportamientos diferenciados: los coliformes fecales disminuyeron en el efluente intermedio y posteriormente se aproximaron al afluente, mientras los coliformes totales aumentaron excepcionalmente. En conjunto, persistió carga orgánica y variabilidad microbiológica.

Tabla 1. Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual del sistema de tratamiento de Santiago, distrito de Ica, Perú.

Parámetro	Unidad de medida	Afluente	Efluente intermedio	Efluente final	Valor de referencia
Fósforo total	mg/L	16,86	8,693	8,596	3 mg/L*
DBO5,20	mg/L	665,0	224,6	322,5	15 mg/L1
DQO	mg/L	1017	453,7	583,8	40 mg/L1
Nitrógeno total	mg/L	78,09	38,17	52,75	15 mg/L*
pH	unidad de pH	6,88	7,42	7,33	6,5–8,51
Coliformes fecales**	NMP/100 mL	5,4 × 105	9,2 × 104	5,4 × 105	1000 NMP/100 mL1
Coliformes totales	NMP/100 mL	5,4 × 106	9,2 × 108	5,4 × 106	1000 NMP/100 mL1

Leyenda: DBO5,20 = demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y 20 °C; DQO = demanda química de oxígeno; NMP = número más probable. *Los valores de 3 mg/L de fósforo total y 15 mg/L de nitrógeno total corresponden a referencias técnicas de la OMS para aguas residuales domésticas bien tratadas utilizadas en riego bajo condiciones específicas; no constituyen límites regulatorios universales. 1D.S. N.° 004-2017-MINAM, ECA para Agua, categoría 3-D1: riego de vegetales. La norma establece 15 mg/L para DBO5,20, 40 mg/L para DQO, pH de 6,5–8,5 y 1000 NMP/100 mL para coliformes termotolerantes y coliformes totales en D1.

**Los coliformes fecales son equivalentes a coliformes termotolerantes según la referencia metodológica utilizada por la ANA.

La Tabla 2 muestra diferencias en las características físico-químicas de los suelos agrícolas evaluados. Los suelos 1 y 2 presentaron pH medianamente alcalino, mientras el suelo 3 mostró condición neutra, cumpliendo

la clasificación normativa correspondiente. La conductividad eléctrica indicó salinidad moderada en los tres suelos. El nitrógeno total y la materia orgánica fueron muy bajos respecto a los valores de referencia. La granulometría evidenció predominio de arena, principalmente en el suelo 2, mientras el suelo 3 presentó mayores proporciones de arcilla y limo. El fósforo total no permitió establecer cumplimiento normativo, debido a que el referente considera fósforo extraíble como indicador de comparación.

Tabla 2. Caracterización físico-química del suelo agrícola, distrito Santiago, Ica; suelo 1 (tuna: *Opuntia ficus-indica* L. Mill, suelo 2 (maíz: *Zea mays* L.) y suelo 3 (tuna: *Opuntia ficus-indica* L. Mill y maíz: *Zea mays* L.).

Parámetro	UM	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Valor de referencia*
pH	unidades de pH	7,88	7,72	6,87	<5,0: fuertemente ácido; 5,1–6,5: moderadamente ácido; 6,6–7,3: neutro; 7,4–8,5: medianamente alcalino; >8,5: fuertemente alcalino
Fósforo total	mg/kg	3 542	5 601	4 021	<5,5 mg/kg = bajo; 5,5–11 = medio; >11 = alto
Conductividad eléctrica	dS/m a 25 °C	3,97	3,25	3,22	<1,0: efecto despreciable; 1,1–2,0: muy ligeramente salino; 2,1–4,0: moderadamente salino; 4,1–8,0: salino; 8,1–16,0: fuertemente salino; >16,1: muy fuertemente salino
Nitrógeno total	%	0,0054	0,0025	0,0065	<0,05 %: muy bajo; 0,05–0,10: bajo; 0,10–0,15: medio; 0,15–0,25: alto; >0,25: muy alto
Arcilla	%	1,71	3,92	4,49	La clasificación debe realizarse conjuntamente mediante el triángulo textural
Arena	%	68,35	83,22	80,25	
Limo	%	3,41	7,84	8,98	
Materia orgánica	%	<0,30	<0,30	<0,30	Para suelo no volcánico: <0,5 %: muy bajo; 0,6–1,5: bajo; 1,6–3,5: medio; 3,6–6,0: alto; >6,0: muy alto

*Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

La Tabla 3 evidencia la humanización del conocimiento ambiental al transformar los resultados del diagnóstico en información contextualizada y orientaciones preventivas. Las variaciones en la calidad del agua y las condiciones diferenciadas del suelo permitieron establecer implicancias concretas para la actividad agrícola, fortaleciendo la interpretación científica y su aplicación preventiva según el contexto local.

Tabla 3. Integración del diagnóstico ambiental para la contextualización del conocimiento y la prevención de riesgos agrícolas locales.

Condición ambiental identificada	Evidencia del diagnóstico	Implicancia para la actividad agrícola	Orientación preventiva contextualizada
Persistencia de carga orgánica	DBO5,20 y DQO permanecieron elevadas en ambos efluentes	Puede afectar la calidad del agua utilizada para riego	Vigilar calidad del efluente antes de utilizarlo para riego
Elevada concentración de nutrientes	N total y P total disminuyeron después del tratamiento	Aporta nutrientes, pero no sustituye necesariamente la fertilización	Ajustar fertilización considerando aportes nutricionales del efluente
Contaminación microbiológica persistente	Coliformes fecales y totales permanecieron elevados	Incrementa riesgos sanitarios durante actividades agrícolas	Reforzar higiene, protección ocupacional y manejo seguro del agua
Salinidad moderada del suelo	Conductividad eléctrica entre 3,22 y 3,97 dS/m	Puede favorecer acumulación de sales en el suelo	Vigilar salinidad y ajustar prácticas de riego
Muy bajo nitrógeno total	N total entre 0,0025 y 0,0065 %	Limita la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos	Complementar nutrición nitrogenada según requerimientos del cultivo
Muy baja materia orgánica	Materia orgánica inferior a 0,30 %	Reduce la calidad productiva potencial del suelo	Incorporar prácticas para incrementar materia orgánica del suelo
Predominio de arena	Arena entre 68,35 y 83,22 %	Favorece drenaje rápido y menor retención hídrica	Adecuar frecuencia y manejo del riego según textura

DISCUSIÓN

Se halló una reducción de nutrientes y carga orgánica después del tratamiento, aunque los efluentes conservaron concentraciones de DBO5,20 y DQO superiores a los valores de referencia, mientras el pH permaneció dentro del intervalo establecido. Este comportamiento indicó una remoción diferenciada entre parámetros y contrastó especialmente con la respuesta microbiológica, debido a que los coliformes fecales disminuyeron inicialmente, pero posteriormente recuperaron su nivel, mientras los coliformes totales mostraron un incremento marcado en el primer efluente.

Ofori et al. (2025) señalaron que los efluentes tratados destinados al riego podían mantener peligros sanitarios pese al tratamiento, por lo que coincidieron con la persistencia de condiciones microbiológicas observada en este estudio. En contraste, Ibrahim & Hammad (2024) reportaron que el uso de aguas residuales tratadas produjo condiciones compatibles con el aprovechamiento agrícola, aunque su evaluación se concentró principalmente en la transferencia de metales al suelo y cultivos, aspecto no evaluado en este estudio. Por otra parte, Roopnarine et al. (2023) señalaron que la reutilización agrícola dependía de una gestión integral de la calidad del agua, coincidiendo con la respuesta diferenciada encontrada entre parámetros. Estas coincidencias y contrastes sugirieron que la eficiencia del tratamiento no fue uniforme y refirió del indicador considerado.

Por otra parte, se observó una condición edáfica heterogénea en las parcelas agrícolas del ambiente semidesértico de Santiago, caracterizada por pH neutro a medianamente alcalino, salinidad moderada, contenidos muy bajos de nitrógeno y materia orgánica, y predominio de la fracción arenosa. La elevada proporción de arena adquirió especial relevancia en este contexto, debido a su relación con el drenaje y la limitada retención de agua y nutrientes. La salinidad moderada también constituyó una condición relevante en un territorio árido, donde el riego representa un componente esencial de la producción agrícola.

Estos resultados coincidieron parcialmente con Wang et al. (2024), quienes encontraron que el riego con aguas residuales tratadas podía incrementar la salinidad y sodificación del suelo, aunque la magnitud dependía de las condiciones edáficas y del sistema de riego. En contraste, Al-Hadithi et al. (2025) reportaron incrementos de materia orgánica y fertilidad bajo riego con agua residual tratada, evidenciando respuestas diferentes según el contexto. Asimismo, Micha et al. (2023) demostraron la utilidad del diagnóstico edáfico para orientar decisiones de fertilización. En conjunto, las diferencias con otros estudios sugirieron que la respuesta del suelo no dependió únicamente del efluente, sino también de las características propias del ambiente semidesértico, la textura y el manejo agrícola local.

La humanización del conocimiento ambiental se expresó mediante la transformación de evidencia técnica en orientaciones preventivas vinculadas con situaciones concretas de las actividades agrícolas locales. Esta articulación coincidió con Räsänen et al. (2024), quienes plantearon que el conocimiento ambiental adquiriría carácter accionable cuando se conectaba con las necesidades y decisiones de los usuarios, mientras Arifah et al. (2023) evidenciaron que los flujos de conocimiento fortalecían su utilidad cuando incorporaban las condiciones productivas locales.

En el presente estudio, esta contextualización se manifestó al relacionar la calidad del agua, la salinidad, la fertilidad y la textura del suelo con acciones diferenciadas de vigilancia, higiene, fertilización y manejo del riego. Sin embargo, Caniglia et al. (2023) señalaron que la coproducción del conocimiento en sostenibilidad implicaba participación activa de los actores durante su construcción, aspecto que contrastó con este estudio, donde los emprendedores agrícolas participaron como destinatarios del conocimiento contextualizado y no como unidades de análisis ni coproductores evaluados mediante indicadores. Asimismo, Cartagena et al. (2025) encontraron que la coproducción agroecológica podía generar transformaciones más profundas cuando existía interacción sostenida entre conocimiento científico y saber agrícola. Por tanto, el resultado evidenció una transferencia contextualizada, aunque no permitió determinar cambios posteriores en conocimientos, actitudes o prácticas de los emprendedores.

Una limitación del estudio correspondió al diseño descriptivo y transversal, sin réplicas suficientes para establecer inferencias estadísticas o relaciones causales entre la calidad del efluente y las condiciones edáficas. Sin embargo, esta delimitación no afectó la caracterización ambiental obtenida ni su utilidad para contextualizar conocimiento preventivo dirigido a las actividades agrícolas locales.

CONCLUSIONES

El estudio permitió caracterizar la humanización del conocimiento ambiental transferido para la prevención de riesgos en actividades agrícolas locales del distrito de Santiago, Ica. Los resultados evidenciaron que el tratamiento del agua residual produjo reducciones en nutrientes y carga orgánica, aunque persistieron condiciones microbiológicas y concentraciones de materia orgánica que requirieron vigilancia para su uso agrícola. En los suelos agrícolas se identificaron condiciones de salinidad moderada, contenidos muy bajos de nitrógeno y materia orgánica, además de predominio de arena, configurando características diferenciadas para el manejo productivo en un ambiente semidesértico. A partir de esta evidencia, los resultados fueron transformados en orientaciones preventivas relacionadas con vigilancia del agua, higiene, fertilización, manejo

de salinidad, incorporación de materia orgánica y adecuación del riego según textura. En consecuencia, el objetivo se justificó mediante la articulación entre diagnóstico ambiental e interpretación contextualizada, demostrando que la evidencia científica pudo convertirse en conocimiento ambiental pertinente para orientar preventivamente las actividades agrícolas locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arifah, S. D., Yassi, A., & Bahsar, D. E. (2023). Knowledge flow analysis of knowledge co-production-based climate change adaptation for lowland rice farmers in Bulukumba Regency, Indonesia. *Regional Sustainability*, 4(2), 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2023.05.005>
- Balaine, L., Läpple, D., Dillon, E. J., & Buckley, C. (2023). Extension and management pathways for enhanced farm sustainability: Evidence from Irish dairy farms. *European Review of Agricultural Economics*, 50(2), 810–850. <https://doi.org/10.1093/erae/jbac033>
- Broadmeadow, S., Nisbet, T., Palmer, R., Webb, L., Short, C. J., Chivers, C. A., Hammond, J., Lukac, M., Miller, A., Gantlett, R., & Clark, J. (2023). Incorporating technical and farmer knowledge to improve land use and management for natural flood management in lowland catchments. *Land Use Policy*, 128, 106596. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106596>
- Calderan, G. A., Contreras, M., Salgado, F. E., Tejada, G., & Zabaleta, I. (2023). The use of efficient Smart Agro 4.0 irrigation systems for cotton in Peru and its public policy implications. *World Water Policy*, 9(4), 746–755. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12157>
- Caniglia, G., Freeth, R., Luederitz, C., Leventon, J., West, S. P., John, B., Peukert, D., Lang, D. J., von Wehrden, H., Martín, L. B., Fazey, I., Russo, F., von Wirth, T., Schlüter, M., & Vogel, C. (2023). Practical wisdom and virtue ethics for knowledge co-production in sustainability science. *Nature Sustainability*, 6, 493–501. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01040-1>
- Cartagena, L. B., Hegger, D., Tittonell, P., & Runhaar, H. (2025). How transformative is agroecological knowledge co-creation? Insights from a systematic literature review. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 49(1), 124–150. <https://doi.org/10.1080/21683565.2024.2405885>
- Doanh, N. K., Linh, T. T., & Pham, T. T. L. (2024). Unleashing the power of social media: Examining farmers' adoption for agriculture knowledge exchange. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 55(4), 881–901. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-06-2023-0132>
- Ibrahim, L. A., & Hammad, D. M. (2024). Assessment of the impact of irrigating with treated wastewater on soil and crop trace metal accumulation. *Water Science*, 38(1), 324–336. <https://doi.org/10.1080/23570008.2024.2357295>
- Klein, A. O., Carlisle, L., Lloyd, M. G., Sayre, N. F., & Bowles, T. M. (2024). Understanding farmer knowledge of soil and soil management: A case study of 13 organic farms in an agricultural landscape of northern California. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 48(1), 17–49. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2270451>
- Ligtermoet, E. (2025). Knowledge co-production praxis in sustainability science: Insights from three contexts. *Geographical Research*, 63(1), 9–25. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12679>
- Lundmark, C., Nilsson, J., & Krook, R. A. (2023). Taking stock of knowledge transfer studies: Finding ways forward. *Environmental Management*, 72, 1146–1162. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01877-y>
- Micha, E., Tsakiridis, A., Ragkos, A., & Buckley, C. (2023). Assessing the effect of soil testing on chemical fertilizer use intensity: An empirical analysis of phosphorus fertilizer demand by Irish dairy farmers. *Journal of Rural Studies*, 97, 123–139. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.12.008>
- Ofori, S., Di Leto, Y., Smrčková, Š., Lopez Marin, M. A., Gallo, G., Růžicková, I., & Wanner, J. (2025). Treated wastewater reuse for crop irrigation: A comprehensive health risk assessment. *Environmental Science: Advances*, 4(2), 252–269. <https://doi.org/10.1039/D4VA00274A>
- Ore, A., Helmus, R., Narain, F. D. M., Bartholomeus, R. P., Sutton, N. B., & van Wezel, A. P. (2025). Presence of micropollutants and transformation products during subsurface irrigation with treated wastewater assessed by non-target screening analysis. *ACS ES&T Water*, 5(2), 891–901. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00930>
- Puškáčová, A., Matýsek, D., Pliska, D., Růžicková, I., & Wanner, J. (2025). Effects of recycled wastewater on soil enzymatic microbial activities during a long-term irrigation trial. *Water Science and Engineering*, 18(4), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2025.09.006>
- Quarshie, P. T., Abdulai, S., & Fraser, E. D. G. (2023). (Re)assessing climate-smart agriculture practices for sustainable food systems outcomes in sub-Saharan Africa: The case of Bono East Region, Ghana. *Geography and Sustainability*, 4(2),

112–126. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.02.002>

Räsänen, A., Sarkki, S., Haanpää, O., Isolahti, M., Kekkonen, H., Kikuchi, K., Koukkari, V., Kärkkäinen, K., Miettinen, J., Mäntymaa, E., Nieminen, M., Rahkila, R., Ruohonen, A., Sarkkola, S., Välimäki, M., Yliperttula, K., & Heikkinen, H. I. (2024). Bridging the knowledge-action gap: A framework for co-producing actionable knowledge. *Environmental Science & Policy*, 162, 103929. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103929>

Roopnarine, R., Baird, K., Hosein, M., Jackson, R., Salim, S., Cephas, A., Daley, O., Gangapersad, S., Govia, S. J., Cashman, A., Crichlow, A., & Pinongcos, F. (2023). Integrating wastewater reuse into water management schemes of Caribbean SIDS: A Trinidad and Tobago case study. *Water Policy*, 25(12), 1161–1174. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.174>

Suchá, L., Dušková, L., Leventon, J., Seidlová, A., Harmáčková, Z. V., & Bubák, Š. (2024). Knowledge based interventions for sustainable development cooperation: Insights from knowledge systems mapping in Zambia. *Sustainability Science*, 19, 1543–1559. <https://doi.org/10.1007/s11625-024-01536-z>

Tran, T. A., & Touch, V. (2024). How agricultural extension responds to amplified agrarian transitions in mainland Southeast Asia: Experts' reflections. *Agriculture and Human Values*, 41, 1773–1789. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10577-0>

Tumwebaze, R. P., Walsh, J. N., & Lannon, J. (2025). Knowledge management in the agriculture sector: A systematic literature review. *Knowledge Management Research & Practice*, 23(2), 131–148. <https://doi.org/10.1080/14778238.2024.2359419>

Uddin, M. K. (2024). Environmental education for sustainable development in Bangladesh and its challenges. *Sustainable Development*, 32(1), 1137–1151. <https://doi.org/10.1002/sd.2728>

Wasono, D. M., Muhaimin, A. W., & Isaskar, R. (2024). The effect of farmer knowledge, farmer attitudes, and farmer skills on farmer decisions in Bakalan Village, East Java Province, Indonesia. *Agro Bali*, 7(3), 972–980. <https://doi.org/10.37637/ab.v7i3.1845>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

Los autores contribuyeron de forma significativa a la concepción, planificación, ejecución y análisis de la investigación. Todos asumieron conjuntamente la responsabilidad por la veracidad, integridad y contenido del manuscrito, reconociendo su participación en la autoría y en la revisión y aprobación de la versión final. Asimismo, expresaron su compromiso con la integridad científica, el cumplimiento de las disposiciones éticas correspondientes y las buenas prácticas editoriales exigidas por la revista.