

EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA USO RESPONSABLE DE AGUAS RESIDUALES DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN EN SUELO AGRÍCOLA SEMIDESÉRTICO

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. 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. Luis Alberto Massa Palacios ¹, <https://orcid.org/0000-0002-6570-2869>

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 felix.belli@unica.edu.pe

Para citar este artículo: Belli Carhuayo, F. R., De la Torre Castro, R. A., Massa Palacios, L. A., Farfán Flores, J. A. y Argota Pérez, G. (2026). Educación ambiental para uso responsable de aguas residuales de lagunas de oxidación en suelo agrícola semidesértico. *Maestro y Sociedad*, 23(3), 3036-3043. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: El uso agrícola de aguas residuales requiere educación ambiental para diferenciar los aportes potencialmente útiles de los riesgos asociados con su calidad y manejo. Objetivo: Describir la educación ambiental para el uso responsable de aguas residuales de lagunas de oxidación en suelo agrícola semidesértico. Materiales y métodos: Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo, no experimental y transversal en Santiago, Ica, Perú, durante 2026. Se analizaron resultados emitidos por un laboratorio acreditado para muestras de afluente y efluente intermedio. Se consideraron DBO₅,20, DQO, nitrógeno total, fósforo total, pH, coliformes fecales y coliformes totales. Los resultados se contrastaron con referencias ambientales peruanas y se organizaron en una matriz educativa considerando implicancias beneficiosas y perjudiciales para el suelo, exposición del agricultor y orientaciones para el uso responsable. Resultados: El efluente presentó reducción de carga orgánica y nutrientes, aunque persistieron concentraciones microbiológicas elevadas. Se evidenció una condición dual: nitrógeno y fósforo representaron aportes potencialmente útiles para la nutrición vegetal, mientras DBO₅,20 y DQO indicaron presencia de materia orgánica. Los coliformes fecales y totales evidenciaron contaminación microbiológica sin beneficio agrícola directo. La principal exposición ocupacional potencial correspondió a remoción del suelo y siembra. Discusión: Los hallazgos sustentaron una orientación educativa que diferenció el aporte nutricional de la condición sanitaria del efluente. Conclusiones: La educación ambiental priorizó protección de manos, higiene y bioseguridad, evitando considerar los nutrientes como garantía de seguridad y promoviendo decisiones responsables ante un tratamiento insuficiente.

Palabras clave: agricultura, aguas residuales, bioseguridad, educación ambiental, reutilización.

ABSTRACT

Introduction: The agricultural use of wastewater requires environmental education to differentiate potentially useful contributions from risks associated with water quality and management. Objective: To describe environmental education for the responsible use of wastewater from oxidation ponds in semi-desert agricultural soil. Materials and Methods: A quantitative, descriptive, non-experimental, cross-sectional study was conducted in Santiago, Ica, Peru, during 2026. Laboratory results issued by an accredited laboratory for influent and intermediate effluent samples were analyzed.

Biochemical oxygen demand (BOD_{5,20}), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen, total phosphorus, pH, fecal coliforms, and total coliforms were considered. The results were compared with Peruvian environmental standards and organized into an educational matrix addressing beneficial and adverse implications for soil, farmer exposure, and responsible-use guidelines. Results: The effluent showed reduced organic matter and nutrient loads, although elevated microbiological concentrations persisted. A dual condition was identified: nitrogen and phosphorus represented potentially useful contributions to plant nutrition, whereas BOD_{5,20} and COD indicated the presence of organic matter. Fecal and total coliforms evidenced microbiological contamination without direct agricultural benefit. The main potential occupational exposure was associated with soil tillage and planting activities. Discussion: The findings supported an educational approach that differentiated the nutritional contribution from the sanitary condition of the effluent. Conclusions: Environmental education prioritized hand protection, hygiene, and biosafety, avoiding the consideration of nutrients as an indicator of safety and promoting responsible decision-making in the context of insufficient wastewater treatment.

Keywords: agriculture, biosafety, environmental education, wastewater, wastewater reuse.

RESUMO

Introdução: O uso agrícola de águas residuais requer educação ambiental para diferenciar contribuições potencialmente úteis dos riscos associados à qualidade e ao manejo da água. **Objetivo:** Descrever a educação ambiental para o uso responsável de águas residuais provenientes de lagoas de estabilização em solo agrícola semidesértico. **Materiais e métodos:** Foi realizado um estudo quantitativo, descritivo, não experimental e transversal em Santiago, Ica, Peru, durante 2026. Foram analisados resultados laboratoriais emitidos por um laboratório acreditado para amostras do afluente e do efluente intermediário. Foram considerados demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total, fósforo total, pH, coliformes fecais e coliformes totais. Os resultados foram comparados com referências ambientais peruanas e organizados em uma matriz educativa, considerando implicações benéficas e prejudiciais para o solo, exposição do agricultor e orientações para o uso responsável. **Resultados:** O efluente apresentou redução da carga orgânica e dos nutrientes, embora tenham persistido concentrações microbiológicas elevadas. Evidenciou-se uma condição dual: o nitrogênio e o fósforo representaram contribuições potencialmente úteis para a nutrição vegetal, enquanto a DBO_{5,20} e a DQO indicaram a presença de matéria orgânica. Os coliformes fecais e totais evidenciaram contaminação microbiológica sem benefício agrícola direto. A principal exposição ocupacional potencial esteve relacionada às atividades de revolvimento do solo e semeadura. **Discussão:** Os achados fundamentaram uma orientação educativa que diferenciou a contribuição nutricional da condição sanitária do efluente. **Conclusões:** A educação ambiental priorizou a proteção das mãos, a higiene e a biossegurança, evitando considerar os nutrientes como garantia de segurança e promovendo decisões responsáveis diante de um tratamento insuficiente.

Palavras-chave: gricultura, águas residuais, biossegurança, educação ambiental, reutilização de águas residuais.

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

INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta creciente presión hídrica debido al cambio climático, urbanización y competencia entre sectores consumidores de agua (Christou et al., 2024; Penserini et al., 2024). La reutilización agrícola de aguas residuales emerge como alternativa hídrica, aunque requiere evaluación integrada de beneficios, contaminantes y riesgos ambientales (Trotta et al., 2024; Ofori et al., 2025).

Las aguas residuales contienen nutrientes que pueden incorporarse al sistema suelo-planta mediante el riego agrícola (Macura et al., 2024; Muscarella et al., 2024). Sin embargo, su incorporación puede modificar la disponibilidad nutricional, salinidad y dinámica microbiana del suelo agrícola (Shahrivar et al., 2023; Saleh et al., 2025).

La exposición ocupacional constituye una preocupación cuando los agricultores manipulan aguas residuales durante las actividades de riego (Babalola et al., 2023). La contaminación microbiológica puede alcanzar suelo y cultivos, ampliando las posibles vías de exposición durante las labores agrícolas (Nahim et al., 2024). Los escenarios de contacto incluyen irrigación, manipulación del suelo, cosecha y contacto directo con superficies contaminadas (Babalola et al., 2023). Por ello, la gestión responsable requiere reconocer las rutas de exposición y establecer medidas preventivas adaptadas al contexto productivo (Tessem et al., 2024).

La educación ambiental puede fortalecer conocimientos necesarios para interpretar riesgos y adoptar prácticas agrícolas ambientalmente responsables (Lin et al., 2025). En aguas residuales, conocimiento y percepción del riesgo influyen sobre conductas relacionadas con prácticas seguras de riego agrícola (Esfandiari et al., 2025). Por ello, la educación debe integrar información científica, reconocimiento de riesgos y capacidades prácticas para

reducir exposiciones innecesarias (Lin et al., 2025). Este enfoque permite superar interpretaciones centradas únicamente en nutrientes y productividad agrícola (Goldman & Alkaher, 2024; Virk et al., 2026).

La reutilización agrícola exige integrar productividad, protección ambiental y salud humana dentro de una gestión basada en riesgos (Carter et al., 2025; Starling et al., 2025). Esta perspectiva demanda fortalecer decisiones informadas sobre calidad del agua, exposición ocupacional y conservación del suelo agrícola (Qadir et al., 2025).

La percepción de los agricultores sobre los riesgos del agua residual condiciona sus decisiones de manejo durante la producción agrícola (Téllez et al., 2023). Estudios recientes evidencian conocimientos incompletos sobre tratamiento, nutrientes y consecuencias ambientales del uso agrícola de aguas residuales (Sivaraman et al., 2024). Esta situación puede favorecer interpretaciones centradas en beneficios productivos, sin integrar suficientemente riesgos sanitarios y ambientales (Karimi & Ataei, 2023). En consecuencia, la educación ambiental requiere vincular evidencia analítica del agua con comprensión práctica de riesgos, nutrientes y manejo responsable (Sivaraman et al., 2024; Al-Hazmi et al., 2023).

La literatura evidencia avances sobre reutilización agrícola, pero persisten barreras asociadas con riesgos ambientales, sanitarios y aceptación productiva (Villacorta et al., 2025). La decisión agrícola también depende del conocimiento, educación, percepción del riesgo y acceso a servicios de extensión (Tassinari & Coppola, 2025). Sin embargo, estos componentes suelen analizarse separadamente, limitando una comprensión integrada del agua residual dentro del sistema agrícola. Por ello, resulta pertinente articular calidad del agua, exposición humana, condiciones edáficas y educación ambiental para fortalecer decisiones agrícolas responsables (Darko et al., 2025; Tawfik et al., 2025).

En Ica, la agricultura se desarrolla bajo condiciones semidesérticas caracterizadas por limitada disponibilidad hídrica y elevada demanda productiva. Estas condiciones favorecen el interés por fuentes alternativas de agua, cuya gestión requiere información ambiental contextualizada para reducir riesgos durante las actividades agrícolas. En este escenario, las aguas residuales provenientes de lagunas de oxidación representan un asunto ambiental y educativo que requiere diferenciar potenciales aportes nutricionales de riesgos microbiológicos y ocupacionales. Esta situación demanda fortalecer conocimientos de los productores sobre calidad del agua, exposición humana, conservación edáfica y medidas de bioseguridad. El objetivo del estudio fue describir la educación ambiental orientada al uso responsable de aguas residuales de lagunas de oxidación en suelo agrícola semidesértico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio presentó un enfoque cuantitativo, de tipo básico y nivel descriptivo, con diseño no experimental y corte transversal. Se orientó a caracterizar las condiciones básicas del agua residual y, a partir de sus resultados, establecer orientaciones de educación ambiental para su uso responsable en actividades agrícolas. La investigación se desarrolló desde enero a junio de 2026, en la laguna de oxidación del distrito de Santiago, Ica, Perú, considerando el sistema mediante el cual el efluente es conducido hacia áreas agrícolas semidesérticas.

La unidad de análisis correspondió al agua residual obtenida en dos etapas del sistema: afluente y efluente intermedio. La selección de estos puntos permitió observar las condiciones del agua durante el proceso de tratamiento y reconocer aquellas características relevantes para orientar su uso responsable en la agricultura. Las muestras fueron analizadas por Envirotest, laboratorio acreditado de Lima, Perú, mediante procedimientos establecidos para la determinación de características físico-químicas y microbiológicas del agua residual. Se consideraron DBO₅, 20, DQO, nitrógeno total, fósforo total, pH, coliformes fecales y coliformes totales. Sus valores se compararon con lo establecido por el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, que establece los LMP para efluentes de PTAR domésticas o municipales; Decreto Supremo. N.º 004-2017-MINAM, que establece los ECA para agua.

La información analítica del laboratorio se registró en una ficha según etapa, parámetro y unidad de medida. Posteriormente, los resultados fueron sistematizados para facilitar su interpretación. No se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, debido a que correspondieron a determinaciones analíticas. La interpretación consideró la comparación entre afluente y efluente intermedio, contrastándolos con referencias ambientales peruanas aplicables.

La educación ambiental constituyó el componente central del estudio. Los resultados del análisis del agua fueron utilizados como evidencia para explicar a los emprendedores agrícolas que la presencia de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo, puede representar un aporte para los cultivos, pero no significa que el agua sea segura para su uso agrícola. La orientación educativa consideró de manera sencilla las principales condiciones identificadas en

el efluente: presencia de nutrientes, carga orgánica y contaminación microbiológica. A partir de ello, se enfatizó la necesidad de adoptar medidas de bioseguridad, especialmente durante las labores de remoción del suelo y siembra, debido al contacto directo con terrenos previamente irrigados. El proceso educativo buscó fortalecer una comprensión equilibrada del agua residual, evitando tanto su percepción como recurso exclusivamente beneficioso como su interpretación exclusivamente negativa. El propósito fue promover decisiones agrícolas responsables basadas en la calidad del agua, las condiciones del tratamiento y la protección del agricultor.

El estudio garantizó integridad científica, transparencia y responsabilidad ambiental. Los resultados tuvieron fines científicos y educativos, evitando promover usos indiscriminados. La participación de emprendedores fue voluntaria, confidencial y acompañada de comunicación clara sobre los objetivos.

RESULTADOS

La Tabla 1 mostró una disminución de la carga orgánica y nutrientes entre el afluente y efluente intermedio, evidenciada por el descenso de DBO_{5,20}, DQO, nitrógeno y fósforo. No obstante, DBO_{5,20} y DQO permanecieron sobre sus respectivos LMP, mientras el pH se mantuvo dentro del intervalo establecido. Los coliformes fecales disminuyeron, pero continuaron superando los valores de referencia para LMP y ECA de riego. Los coliformes totales aumentaron ligeramente y permanecieron elevados, evidenciando tratamiento parcial y persistencia microbiológica.

Tabla 1. Características físico-químicas y microbiológicas del agua residual de la laguna de oxidación de Santiago, LMP = Límite Máximo Permitido, NMP = Número Más Probable.

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente intermedio	Referencia ambiental peruana LMP	Interpretación descriptiva
DBO _{5,20}	mg/L	665,0	224,6	100 mg/L	Disminución; el efluente supera el LMP
DQO	mg/L	1 017	453,7	200 mg/L	Disminución; el efluente supera el LMP
Nitrógeno total	mg/L	78,09	38,17	D.S. 003-2010-MINAM	Disminución de la concentración
Fósforo total	mg/L	16,86	8,693	Sin LMP específico en D.S. 003-2010-MINAM	Disminución de la concentración
pH	unidad	6,88	7,42	6,5–8,5; ECA Cat. 3-D1: 6,5–8,5	Valores dentro del intervalo de referencia
Coliformes fecales/termotolerantes	NMP/100 mL	$5,4 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$	10 000 NMP/100 mL; ECA Cat. 3-D1: 1 000 NMP/100 mL	Disminución; el efluente supera ambas referencias
Coliformes totales	NMP/100 mL	$8,4 \times 10^8$	$9,2 \times 10^8$	Sin LMP específico en D.S. 003-2010-MINAM	Concentración microbiológica elevada

La Figura 1 muestra la secuencia operativa del uso del efluente de la laguna de oxidación en el sistema agrícola. En la parte superior izquierda se observa la captación del efluente mediante un sistema de bombeo por gravedad, que permite conducir el agua desde el punto de disposición hacia las áreas productivas. En la parte superior derecha se evidencia la transportación del efluente mediante mangueras, estableciendo una conducción directa hacia los sectores destinados al cultivo. Finalmente, en la parte inferior izquierda se observa la aplicación del efluente para la irrigación del suelo agrícola, donde el agua es distribuida sobre las áreas cultivadas.

Asimismo, se evidencia una secuencia continua de captación, conducción y aplicación agrícola del efluente, sin representar necesariamente contacto directo del emprendedor agrícola con el agua durante su transporte. La etapa de aplicación constituye el punto de incorporación del efluente al sistema agrícola y, posteriormente, las actividades de remoción del suelo y siembra representan situaciones diferenciadas de contacto ocupacional con el terreno previamente irrigado.



Figura 1. Sistema de captación, conducción y aplicación del efluente en el área agrícola.

La Tabla 2 evidencia una condición dual del agua residual para la actividad agrícola. El nitrógeno y fósforo representan aportes potencialmente útiles para la nutrición vegetal, mientras DBO_{5,20} y DQO reflejan presencia de materia orgánica y sustancias incorporables al sistema agrícola. En contraste, los coliformes fecales y totales evidencian contaminación microbiológica, sin beneficio directo para el suelo. La principal exposición ocupacional se relaciona con las labores de remoción y siembra, debido al contacto con suelo y superficies previamente irrigados.

Tabla 2. Implicancias educativas de los resultados del agua residual para la actividad agrícola.

Componente evaluado	Implicancia beneficiosa para el suelo agrícola	Implicancia perjudicial para el suelo agrícola	Implicancia para la salud del agricultor	Orientación para el uso responsable
Nitrógeno total	Aporta nitrógeno para la nutrición vegetal	Su aplicación continua y sin control puede generar exceso de nitrógeno en el suelo	No constituye el principal riesgo sanitario identificado	Reconocer su aporte nutricional, pero no considerarlo indicador de seguridad
Fósforo total	Aporta fósforo para la nutrición vegetal	Su aplicación continua y sin control puede favorecer su acumulación en el suelo	No constituye el principal riesgo sanitario identificado	Considerar su aporte junto con la calidad microbiológica del agua
DBO _{5,20} elevada	Indica presencia de materia orgánica en el agua	Una carga orgánica elevada puede afectar las condiciones del suelo cuando se incorpora repetidamente.	El contacto con suelo irrigado durante la remoción y siembra puede favorecer la exposición a contaminantes	Utilizar protección e higiene durante las labores agrícolas
DQO elevada	Indica presencia de sustancias que pueden incorporarse al sistema agrícola	Su incorporación repetida puede modificar las condiciones del suelo	El contacto con suelo y superficies irrigadas constituye una vía potencial de exposición ocupacional	Reducir el contacto directo y mantener medidas de protección
Coliformes fecales elevados	No presentan beneficio agrícola	Pueden incorporarse al suelo y superficies agrícolas mediante el riego	El contacto con suelo previamente irrigado durante la remoción y siembra puede generar exposición a contaminación microbiológica	Proteger las manos, mantener higiene y evitar contacto innecesario con el suelo húmedo
Coliformes totales elevados	No presentan beneficio agrícola	Evidencian persistencia de contaminación microbiológica en el efluente	Las labores de remoción y siembra pueden favorecer el contacto con suelo y superficies expuestas al efluente	Reforzar las medidas de bioseguridad durante estas actividades

DISCUSIÓN

Los resultados mostraron una remoción parcial de la carga orgánica y nutrientes entre el afluente y efluente intermedio, aunque persistieron condiciones que limitaron la consideración del agua como segura para riego. Este comportamiento fue consistente con Al-Hazmi et al. (2023), quienes señalaron que la reutilización agrícola requiere valorar simultáneamente beneficios nutricionales, contaminantes y condiciones de tratamiento. Asimismo, Christou et al. (2024) indicaron que la reducción de determinados contaminantes no garantiza la eliminación de todos los riesgos asociados con el reúso.

La disminución de DBO_{5,20} y DQO evidenció reducción de materia orgánica, pero sus concentraciones remanentes mostraron tratamiento insuficiente. Darko et al. (2025) señalaron que la calidad del agua residual puede presentar comportamientos diferenciados entre parámetros, mientras Qadir et al. (2025) destacaron las limitaciones asociadas con tratamientos incompletos. En este estudio, esta condición justificó evitar una interpretación basada exclusivamente en el potencial agrícola del efluente.

El nitrógeno y fósforo disminuyeron durante el tratamiento, manteniendo su presencia en el efluente. Macura et al. (2024) reconocieron el potencial de las aguas residuales como fuente de nutrientes, mientras Rodrigues et al. (2025) advirtieron que este beneficio debía gestionarse conjuntamente con los riesgos derivados del reúso. Por tanto, los resultados permitieron diferenciar aporte nutricional y seguridad sanitaria, aspecto central para la educación ambiental.

El pH presentó una condición favorable; sin embargo, los indicadores microbiológicos mostraron mayor preocupación. La reducción de coliformes fecales no eliminó su presencia, mientras los coliformes totales permanecieron elevados. Ofori et al. (2025) señalaron que la evaluación sanitaria debía integrar diferentes contaminantes y rutas de exposición. Babalola et al. (2023) también identificaron riesgos ocupacionales vinculados con el contacto durante actividades de reutilización.

Los resultados sustentaron una educación ambiental orientada al equilibrio entre aprovechamiento y prevención. Esfandiari et al. (2025) relacionaron conocimiento y percepción del riesgo con prácticas agrícolas seguras. En consecuencia, la orientación al agricultor debía enfatizar que los nutrientes no garantizaban seguridad y que la remoción del suelo y siembra requerían protección e higiene.

La secuencia observada mostró que el efluente fue captado, conducido mediante mangueras y aplicado directamente al suelo agrícola, configurando una utilización continua del agua dentro del sistema productivo. Esta modalidad redujo el contacto directo del agricultor con el efluente durante su conducción, pero trasladó la atención hacia las actividades posteriores realizadas sobre el terreno irrigado. Babalola et al. (2023) señalaron que los riesgos ocupacionales asociados con aguas residuales dependieron de las actividades y vías específicas de contacto, mientras Tessema et al. (2024) relacionaron las labores agrícolas posteriores al riego con posibles exposiciones ocupacionales. En este estudio, la remoción del suelo y la siembra constituyeron los momentos de mayor relevancia para la orientación preventiva, debido al contacto directo con superficies previamente irrigadas. Esta diferenciación permitió que la educación ambiental se concentrara en las actividades efectivamente desarrolladas por el agricultor, promoviendo higiene, protección de manos y reducción del contacto innecesario con suelo húmedo.

La condición dual del agua residual para la actividad agrícola, se presentó debido a la coexistencia de nutrientes potencialmente aprovechables y componentes asociados con contaminación. El nitrógeno y fósforo representaron posibles aportes para la nutrición vegetal, pero su presencia no determinó la seguridad del agua para uso agrícola. Macura et al. (2024) señalaron que las aguas residuales podían constituir fuentes alternativas de nutrientes para la agricultura, mientras Rodrigues et al. (2025) indicaron que su aprovechamiento debía considerar simultáneamente los riesgos asociados con otros contaminantes. En consecuencia, el resultado obtenido sustentó una orientación educativa dirigida a diferenciar el valor nutricional de la condición sanitaria del recurso.

La DBO_{5,20} y DQO elevadas representaron una carga orgánica que podía incorporarse al sistema agrícola mediante el riego, mientras los indicadores microbiológicos evidenciaron una condición desfavorable sin beneficio directo para el suelo. Muscarella et al. (2024) observaron que el uso de aguas residuales podía modificar la disponibilidad de nutrientes y las comunidades microbianas del suelo, mientras Saleh et al. (2025) señalaron que los efectos dependían de las condiciones de manejo agrícola. En este estudio, estas consideraciones fueron interpretadas como implicancias potenciales, debido a que no se realizaron análisis directos del suelo. Esta delimitación evitó atribuir al efluente efectos edáficos que no habían sido comprobados experimentalmente.

Respecto a la exposición ocupacional, la principal situación identificada correspondió a las labores de remoción del suelo y siembra, debido al contacto directo con superficies previamente irrigadas. Babalola et al. (2023) identificaron riesgos ocupacionales asociados con actividades relacionadas con aguas residuales, mientras Tessema et al. (2024) relacionaron determinadas labores agrícolas con exposición a contaminantes presentes en ambientes irrigados. Por ello, la orientación educativa priorizó protección de manos, higiene y reducción del contacto innecesario con suelo húmedo. Esfandiari et al. (2025) evidenciaron que las prácticas seguras dependen de la comprensión de los riesgos, mientras Christou et al. (2024) plantearon que la reutilización agrícola debe gestionarse mediante un enfoque integral. Así, el estudio aportó una base educativa para interpretar la calidad del efluente y orientar decisiones responsables, sin afirmar efectos sanitarios o edáficos que no fueron directamente evaluados.

La principal limitación fue que el estudio caracterizó la calidad del agua residual y sus implicancias educativas, sin evaluar directamente cambios en el suelo ni efectos sanitarios en los agricultores. Por ello, las implicancias edáficas y ocupacionales se establecieron como consideraciones potenciales derivadas de los indicadores analizados.

CONCLUSIONES

El estudio describió la educación ambiental para el uso responsable de aguas residuales de lagunas de oxidación en suelo agrícola semidesértico, integrando la calidad del efluente con sus implicancias agrícolas y ocupacionales. Los resultados evidenciaron una reducción parcial de la carga orgánica y nutrientes durante el tratamiento, pero persistieron condiciones microbiológicas desfavorables en el efluente intermedio. El nitrógeno y fósforo representaron aportes potencialmente útiles para la nutrición vegetal, mientras la carga orgánica y microbiológica planteó consideraciones para el manejo agrícola. La orientación educativa permitió diferenciar beneficios nutricionales de riesgos sanitarios, enfatizando protección de manos, higiene y bioseguridad durante remoción del suelo y siembra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Hazmi, H. E., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmaeili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M. R., Badawi, M., Lima, E. C., & Mąkinia, J. (2023). Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environmental Research*, 236, 116711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>
- Babalola, F. M., Breitenmoser, L., Furlong, C., Campling, P., & Hooijmans, C. M. (2023). Occupational health risk assessment for wastewater treatment and reuse in Kanpur, India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(12), 6072. <https://doi.org/10.3390/ijerph20126072>
- Carter, L. J., Adams, B., Berman, T., Cohen, N., Cytryn, E., Elder, F. C. T., Garduño, J. A. L., Greenwald, D., Kasprzyk, H. B., Korach, R. H., & et al. (2025). Co-contaminant risks in water reuse and biosolids application for agriculture. *Environmental Pollution*, 375, 126219. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126219>
- Christou, A., Beretsou, V. G., Iakovidis, I. C., Karaolia, P., Michael, C., Benmarhnia, T., Chefetz, B., Donner, E., Gawlik, B. M., Lee, Y., Lim, T. T., Lundy, L., Maffettone, R., Rizzo, L., Topp, E., & Fatta-Kassinos, D. (2024). Sustainable wastewater reuse for agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5, 504–521. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00560-y>
- Darko, R. O., Nsonowah, P. P., Owusu-Sekyere, J. D., & Nyameche, M. (2025). Assessment of wastewater quality for irrigation use in the Central Region of Ghana. *Discover Environment*, 3, 146. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00271-1>
- Esfandiari, B. S., Firozzare, A., Durandish, A., Mararndi, H. K., Fürst, C., Värnik, R., Ajtai, I., & Azadi, H. (2025). Farmers' safe behavior of using wastewater for irrigation: The case of Northeast Iran. *Water*, 17(16), 2485. <https://doi.org/10.3390/w17162485>
- Goldman, D., & Alkahr, I. (2024). Cultivating environmental citizenship: Agriculture teachers' perspectives regarding the role of farm-schools in environmental and sustainability education. *Sustainability*, 16(16), 6965. <https://doi.org/10.3390/su16166965>
- Karimi, H., & Ataei, P. (2023). Perceived social risks and farmers' behavior in using urban wastewater in their farms. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100301>
- Lin, F., Li, J., & Wu, C. (2025). Social networks, environmental literacy, and farmers' clean low-carbon farming behaviors: Evidence from villages in China. *Ecological Economics*, 228, 108439. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108439>
- Macura, B., Metson, G. S., McConville, J. R., & Harder, R. (2024). Recovery of plant nutrients from human excreta and domestic wastewater for reuse in agriculture: A systematic map and evidence platform. *Environmental Evidence*, 13, 1–20. <https://doi.org/10.1186/s13750-024-00342-5>
- Muscarella, S. M., Alduina, R., Badalucco, L., Capri, F. C., Di Leto, Y., Gallo, G., Laudicina, V. A., Paliaga, S., & Mannina, G. (2024). Water reuse of treated domestic wastewater in agriculture: Effects on tomato plants, soil nutrient availability and microbial community structure. *Science of the Total Environment*, 928, 172259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172259>
- Nahim, G. S., Quon, H., Polo, L. M. I., Oller, I., Agüera, A., & Jiang, S. (2024). Assessment of antibiotic-resistant infection risks associated with reclaimed wastewater irrigation in intensive tomato cultivation. *Water Research*, 254, 121437. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121437>
- 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>
- Penserini, L., Cantoni, B., & Antonelli, M. (2024). Modelling the impacts generated by reclaimed wastewater reuse in agriculture: From literature gaps to an integrated risk assessment in a One Health perspective. *Journal of Environmental Management*, 371, 122715. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122715>
- Qadir, M., Drechsel, P., & Jones, E. R. (2025). Domestic wastewater treatment and agricultural reuse progress and reporting challenges. *Discover Water*, 5, 74. <https://doi.org/10.1007/s43832-025-00244-8>
- Rodrigues, S. F., Rodrigues, D. A. S., Vilela, P. B., Bastos, R. K. X., Jørgensen, N. O. G., Nielsen, J. L., Schlüter, L., Starling, M. C. V. M., & Amorim, C. C. (2025). Recycling nutrients: The promise and perils of wastewater use in global and Brazilian agriculture. *Agricultural Water Management*, 321, 109901. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109901>
- Saleh, M., Salehi, M., Khanaki, S., Ebrahimian, H., Liaghat, A. M., Mousavi, S. M., Pashapour, S., & Ashrafi, A. (2025). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties, nutrient uptakes, and crop yields of agronomic crops under different crop rotations. *Agricultural Water Management*, 316, 109585. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109585>
- Shahrivar, A. A., Hagare, D., Maheshwari, B., & Rahman, M. M. (2023). The impact of irrigation with treated wastewaters on soil and kikuyu grass nutrient compositions. *Water Environment Research*, 95(6), e10873. <https://doi.org/10.1002/wer.10873>
- Sivaraman, R., Nair, H. T., Sajith, R. M., & Perumal, S. (2024). Domestic sewage wastewater irrigation in the semi-urban

ecosystem on soil physical–chemical properties and environmental food security perspectives of two vegetables. *Natural Resources Forum*, 48(3), 784–802. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12340>

Tassinari, A., & Coppola, A. (2025). An analysis of farmers' propensity to use reclaimed wastewater in agriculture. *Sustainability*, 17(22), 10118. <https://doi.org/10.3390/su172210118>

Tawfik, R., Biro Turk, K. G., Alomair, M., Sidahmed, S., Alqurashi, R. M., Ebrahim, A., El-Kafrawy, M., Hamad, S., & Al-Karablieh, E. (2025). Enhancing treated wastewater reuse in Saudi agriculture: Farmers' perspectives. *Sustainability*, 17(17), 7633. <https://doi.org/10.3390/su17177633>

Téllez, P. V., Ocampo, F. I., Tornero, C. M. A., López, P. A., Villarreal, M. L. A., & Mendoza, H. J. C. . (2023). Percepción de los agricultores sobre el riesgo por el uso de agua residual para riego en la zona de Atlixco, Puebla. *Acta Universitaria*, 33, 1-18. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3676>

Tessema, B., et al. (2024). Incidence of diarrhea and risk factors among wastewater-irrigating urban farmers along Akaki Rivers in Addis Ababa. *International Journal of Environmental Health Research*, 35(4), 909–921. <https://doi.org/10.1080/09603123.2024.2374001>

Trotta, V., Baaloudj, O., & Brienza, M. (2024). Risks associated with wastewater reuse in agriculture: Investigating the effects of contaminants in soil, plants, and insects. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1358842. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1358842>

Virk, F. I., Ali, A., & Ain, N. U. (2026). Farmers' perception about hazards related to wastewater irrigation. *Journal of Scientific Agriculture*, 10, 30–38. <https://doi.org/10.25081/jsa.2026.v10.9872>

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