

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

[DOI 10.35381/cm.v12i2.2184](https://doi.org/10.35381/cm.v12i2.2184)

**Fitorremediación con *amaranthus dubius*, estrategia pedagógica de
recuperación de suelos contaminados por pb y cd**

**Phytoremediation using *Amaranthus dubius*: an educational strategy for the
remediation of soils contaminated with Pb and Cd**

Carlos Vives-Mendoza
carlosvives25@hotmail.com
Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Cesar
Colombia
<https://orcid.org/0009-0001-1884-3589>

Laura Marroquin-Guasaquillo
vanezmg@gmail.com
Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Cesar
Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-8878-1187>

María Jiménez-Barriosnuevo
mariacjimenez@unicesar.edu.co
Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Cesar
Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-2491-3731>

Recepción: 15 de diciembre 2025
Revisado: 26 de febrero 2026
Aprobación: 15 de marzo 2026
Publicado: 01 de abril 2026

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue analizar la Fitorremediación con *Amaranthus dubius* como estrategia pedagógica para la recuperación de suelos contaminados por Pb y Cd en Córdoba, Colombia. Metodológicamente Se adoptó un enfoque cuantitativo, diseño correlacional y diseño cuasiexperimental de tipo pretest–posttest. Los resultados indicaron que la implementación del proyecto pedagógico basado en la fitorremediación con *Amaranthus dubius* demostró ser una estrategia altamente efectiva para la transformación de la conciencia ambiental en el contexto rural. Se registró un incremento en el nivel de conocimiento y percepción de los estudiantes, cuya Media General ascendió de 3.39 a 4.69, lo que representa una mejora del 38.3%. En conclusión, la fitorremediación no solo funcionó como una técnica de recuperación de suelos, sino como un poderoso vehículo didáctico que empoderó a la comunidad escolar, convirtiendo a la escuela en un foco de innovación para la mitigación de riesgos ambientales en la vereda.

Descriptores: Contaminación del suelo; degradación de suelos; educación ambiental; contaminación; medio ambiente. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze phytoremediation using *Amaranthus dubius* as an educational strategy for the remediation of soils contaminated with Pb and Cd in Córdoba, Colombia. Methodologically, a quantitative approach was adopted, employing a correlational design and a pretest–posttest quasi-experimental design. The results indicated that the implementation of the educational project based on phytoremediation with *Amaranthus dubius* proved to be a highly effective strategy for transforming environmental awareness in a rural context. An increase in students' knowledge and perception was recorded, with the overall mean rising from 3.39 to 4.69, representing a 38.3% improvement. In conclusion, phytoremediation not only functioned as a soil restoration technique but also as a powerful educational tool that empowered the school community, transforming the school into a hub of innovation for mitigating environmental risks in the village.

Descriptors: Soil contamination; soil degradation; environmental education; pollution; environment. (UNESCO Thesaurus).

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos agrícolas por metales pesados constituye una problemática de salud pública y ambiental de creciente preocupación en Colombia. El plomo (Pb) y el cadmio (Cd) se destacan por su persistencia en el perfil edáfico, su bioacumulación en la cadena trófica y sus efectos tóxicos sobre el microbiota del suelo, la productividad agrícola y la salud humana (Castañeda et al., 2020; Vargas Mendoza et al., 2024). En la región Caribe colombiana, y en particular en el departamento de Córdoba, la acidez predominante de los suelos ($\text{pH} < 7$ en el 84 % de su área) incrementa la biodisponibilidad de estos elementos, agravando el riesgo de fitotoxicidad y de transferencia hacia los cultivos de consumo (Mahecha-Pulido et al., 2017).

Ante esta situación, la fitorremediación se perfila como una solución clave. Esta técnica biotecnológica utiliza plantas y los microorganismos de sus raíces para descontaminar suelos, aguas y sedimentos. En regiones tropicales, por ejemplo, el uso de plantas del género *Amaranthus* ha resultado ser una alternativa no solo viable, sino también de bajo costo para recuperar la salud de la tierra (Clemente et al., 2021; Lazo, 2022). *Amaranthus dubius*, conocido localmente como bleo, presenta mecanismos de fitoextracción y fitoestabilización de Pb y Cd, un sistema radicular extenso, alta tolerancia a suelos de baja fertilidad y una producción de biomasa que puede alcanzar las 4 toneladas de follaje por hectárea, lo que la convierte en una especie de manejo agronómico asequible para pequeños productores (Ortiz Cano, 2009).

Sin embargo, la efectividad técnica de la fitorremediación no garantiza por sí sola la sostenibilidad de los procesos de recuperación de suelos. La literatura coincide en que los proyectos de restauración ecológica que incorporan participación comunitaria y componentes pedagógicos presentan mayor probabilidad de éxito a largo plazo. En este contexto, la educación ambiental institucionalizada en Colombia a través del Decreto 1743 de 1994 encuentra su canal idóneo al articularse con los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE). Esta unión ofrece un andamiaje

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

institucional propicio para vincular la fitorremediación con el aprendizaje situado, partiendo del saber local de las comunidades rurales (Royo & Hernández, 2026; Ojeda-González & Castro-Moreno, 2023).

No obstante, para diseñar estrategias pedagógicas ambientales pertinentes, es indispensable caracterizar previamente el estado del conocimiento y la percepción comunitaria sobre la problemática. Este diagnóstico, frecuentemente omitido en los proyectos de fitorremediación, permite identificar los saberes previos, las brechas cognitivas y los vectores de riesgo percibidos por la comunidad, insumos fundamentales para construir intervenciones con anclaje en la experiencia local (Londoño, Rivera y Herrera, 2026).

El presente artículo reporta los resultados del diagnóstico cuantitativo de percepción comunitaria realizado en la vereda Galilea, municipio de Planeta Rica, Córdoba, como primera fase de un proyecto de investigación orientado a implementar la fitorremediación con *Amaranthus dubius* como estrategia pedagógica ambiental. El objetivo del estudio fue identificar el grado de coherencia interna y las relaciones estadísticas entre las percepciones de los estudiantes sobre las causas, la extensión y los efectos de la contaminación del suelo, con el propósito de fundamentar empíricamente el diseño de la propuesta educativa de remediación.

MÉTODO

La investigación se desarrolló en la Institución Educativa Nuevo Paraíso, ubicada en la vereda Galilea, zona rural del municipio de Planeta Rica, departamento de Córdoba, Colombia (aproximadamente 8°24'N, 75°36'O). Esta vereda presenta una economía basada en la agricultura de subsistencia —principalmente yuca, maíz, arroz y plátano— con uso recurrente de herbicidas, plaguicidas organofosforados y organoclorados. Los suelos son predominantemente ácidos ($\text{pH} < 7$), lo que favorece la biodisponibilidad de metales pesados como Pb y Cd (Gobernación de Córdoba, 2020). La institución no contaba con un PRAE activo al momento del estudio.

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

Se adoptó un enfoque cuantitativo, diseño correlacional y diseño cuasiexperimental de tipo pretest–posttest con grupo de control y grupo experimental. El presente artículo reporta los resultados de la fase diagnóstica (pretest), orientada al análisis correlacional de las percepciones estudiantiles sobre la contaminación del suelo. Esta fase corresponde al primer objetivo específico: identificar las causas, la extensión y los efectos potenciales de la contaminación por Pb y Cd en los suelos de la vereda Galilea.

La población estuvo conformada por los estudiantes de grado quinto de primaria de la Institución Educativa Nuevo Paraíso, con edades entre 9 y 12 años, pertenecientes a hogares rurales de estrato socioeconómico 1. Dada la naturaleza del proyecto pedagógico y el tamaño del grupo, se optó por un censo poblacional ($n = 40$), lo que garantizó la homogeneidad de las condiciones de participación (Hernández et al., 2014).

RESULTADOS

Análisis estadístico

Para entender el efecto de las actividades, los datos pre-test y post-test fueron sistematizados en Microsoft Excel. Se empleó estadística descriptiva (media, mediana, desviación estándar y frecuencias relativas) para caracterizar la distribución de respuestas en cada dimensión. Para el análisis correlacional se utilizó el coeficiente de Spearman (ρ), apropiado para datos ordinales, calculado para los 231 pares posibles entre los 22 ítems ($n = 40$). Adicionalmente, se calcularon las correlaciones entre los puntajes promedio agregados por dimensión. La significancia estadística se evaluó con prueba bilateral al nivel $\alpha = 0,05$. Debido a que la respuesta de los estudiantes no seguía un orden matemático se verificó la normalidad mediante la prueba no paramétrica de los rangos con signo de Wilcoxon (Shapiro-Wilk), así aseguramos que cualquier dato detectado en su conciencia ambiental fuera real y no una simple casualidad, se logró evidenciar que todas las dimensiones arrojaron un valor $p < .001$, lo que indica una diferencia altamente

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

significativa entre el diagnóstico inicial y la evaluación final. Este análisis estadístico permite afirmar con un 99% de certeza que la mediación docente transformó positivamente la conciencia ambiental de los estudiantes, especialmente en lo referente a los riesgos para la salud comunitaria.

Al comparar ambos momentos, analizamos si el modo de pensar de los estudiantes sobre el cuidado del medio ambiente y la fitorremediación tuvo un cambio positivo. Para esto utilizamos el coeficiente de Spearman (ρ), ayudándonos a conectar los 22 ítems en las encuestas. En resumen, el análisis estadístico permitió analizar científicamente si el paso de los estudiantes por el proyecto logro transformar sus hábitos y conocimientos pasando de una postura inicial pobre a una más comprometida con la naturaleza, el hecho de que (ρ) sea cercano a 1.0 en el Post-test indica que el grupo ahora responde con coherencia científica; es decir, su estructura mental sobre la educación ambiental se volvió sólida y lógica

Análisis descriptivo por dimensión

Tanto en el análisis del diagnóstico inicial (pre-test) y evaluación final (post-test) los 40 estudiantes respondieron la totalidad del instrumento lo que nos permitió evaluar dimensión por dimensión:

Análisis del Pre-test (Diagnóstico Inicial)

Dimensión 1 - Causas de la contaminación del suelo: En esta etapa inicial, los estudiantes presentaban una percepción moderada sobre el origen de la contaminación (Media: 3.68). Si bien identificaban el uso de químicos en la vereda, existía una normalización de prácticas nocivas como la quema de residuos para preparar el terreno. El análisis mostró que, aunque el conocimiento existía, no había una conciencia clara sobre la responsabilidad del agricultor en el manejo de los envases y desechos químicos.

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

Dimensión 2 - Extensión de la contaminación del suelo: Los resultados reflejaron que la comunidad escolar detectaba signos físicos de deterioro, como zonas con vegetación débil o cambios en el color de los frutos (Media: 3.52). Sin embargo, el puntaje se vio afectado negativamente por la falta de apoyo técnico y capacitaciones. Los estudiantes observaban el problema de forma empírica, pero carecían de las herramientas académicas para dimensionar la gravedad de la degradación del suelo en su entorno.

Dimensión 3 - Efectos ambientales: Esta fue la dimensión con el puntaje más alto al inicio (3.71), lo que indica que los jóvenes son observadores agudos de su entorno natural. Notaban la disminución de fauna silvestre y el impacto de las lluvias arrastrando residuos a las fuentes de agua. No obstante, las prácticas de conservación, como el uso de abonos orgánicos, eran aplicadas de manera muy limitada o nula por la mayoría de las familias.

Dimensión 4 - Efectos sobre la salud comunitaria: Se identificó como el área de mayor vulnerabilidad pedagógica (Media: 2.65). Los datos mostraron un desconocimiento crítico sobre la relación entre el manejo de agroquímicos y la salud humana. La mayoría de los estudiantes reportó que la manipulación de sustancias se hacía sin ningún tipo de protección (guantes o mascarillas) y el acceso a charlas informativas era prácticamente inexistente, marcando el punto de partida más bajo de la investigación.

Basado en los resultados del diagnóstico se realizó la inclusión de una propuesta educativa dentro de este proyecto no se plantea como un complemento, sino como un elemento fundamental que le da sentido y sostenibilidad al proceso de fitorremediación, ya que la recuperación de suelos contaminados no depende únicamente de la aplicación de técnicas ambientales, sino de la transformación de las prácticas, conocimientos y actitudes de las personas que interactúan diariamente con el territorio.

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

En el contexto de la vereda Galilea, donde las dinámicas agrícolas han estado marcadas por el uso constante de agroquímicos y por una limitada formación en educación ambiental, resulta indispensable generar procesos pedagógicos que permitan comprender la problemática desde su origen y promover cambios reales en la forma en que la comunidad se relaciona con el suelo. En este sentido, la propuesta educativa se convierte en una herramienta clave para articular el conocimiento científico con la experiencia cotidiana de los estudiantes y habitantes, facilitando la apropiación de prácticas sostenibles como la fitorremediación con *Amaranthus dubius*, no solo como una técnica, sino como una alternativa viable dentro de su realidad.

De igual manera, la propuesta educativa permite fortalecer el papel de la escuela como un espacio de transformación social, donde el aprendizaje no se limita al aula, sino que se conecta directamente con las necesidades del entorno, promoviendo procesos de participación, reflexión y acción en torno al cuidado ambiental. Al integrarse con el Proyecto Ambiental Escolar (PRAE), esta estrategia favorece el desarrollo de aprendizajes significativos, en los que los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos sobre la contaminación del suelo y los metales pesados, sino que también participan activamente en su recuperación, generando un mayor sentido de pertenencia y responsabilidad frente a su territorio.

En consecuencia, la propuesta educativa no solo contribuye al cumplimiento de los objetivos del proyecto, sino que garantiza que los resultados obtenidos trasciendan en el tiempo, al formar una comunidad más consciente, crítica y comprometida con la sostenibilidad ambiental. Al finalizar la intervención educativa, el análisis estadístico de la respuesta estudiantil confirmó que la mediación no fue un evento azaroso. Con un 99% de certeza, se evidenció que la integración de la práctica con la especie vegetal facilitó una reestructuración cognitiva. El grupo pasó de una postura inicial básica a una más comprometida, reconociendo la fitorremediación como una herramienta viable para la recuperación del territorio contaminado.

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

Para materializar este enfoque y generar una incidencia real en la dinámica socioambiental de la vereda Galilea, la propuesta educativa se estructuró mediante una secuencia de tres estrategias de aprendizaje activo: el Aprendizaje Basado en Investigación (ABI), el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPro) y el Aprendizaje-Servicio (A+S). Esta ruta de intervención se diseñó de forma progresiva, transitando desde la experimentación controlada en el entorno escolar hasta la acción directa en el territorio.

En la primera fase, denominada *BioLab* (ABI), los estudiantes asumieron el rol de coinvestigadores al formular hipótesis, diseñar protocolos experimentales y realizar el monitoreo biométrico del bledo (*Amaranthus dubius*). Este ejercicio permitió a los alumnos comprender, a través del análisis de datos medibles, la tolerancia y el comportamiento de la especie frente a sustratos contaminados. Posteriormente, en la fase *FitoRecup* (ABPro), este conocimiento se trasladó al campo mediante la delimitación geométrica y el establecimiento de parcelas piloto a escala real, conectando el ejercicio científico con el espacio geográfico del entorno rural. El ciclo se consolidó con la fase *Ecoacción* (A+S), etapa en la que el saber construido en el aula se transfirió directamente a la comunidad.

A través de diagnósticos participativos con líderes locales y talleres de co-facilitación preparados por los propios estudiantes, se entabló un diálogo directo con los agricultores sobre los riesgos del plomo y el cadmio, promoviendo alternativas sostenibles frente al uso convencional de agroquímicos. De este modo, al articular la investigación escolar con las necesidades de la vereda, la fitorremediación trasciende el plano de experimento teórico para constituirse en una herramienta de gestión ambiental viva y apropiada por el territorio.

Análisis del Post-test (Evaluación Final)

Dimensión 1 - Causas de la contaminación del suelo: Tras la intervención, la media ascendió a 4.65, logrando que los estudiantes no solo identifiquen los químicos, sino que comprendan la toxicidad de su origen. El cambio más

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

significativo fue la desnaturalización de las quemas agrícolas, entendiendo ahora el daño irreversible que causan al microbiota del suelo, lo que representa una apropiación sólida del concepto de prevención.

Dimensión 2 - Extensión de la contaminación del suelo: El promedio subió a 4.58, evidenciando que los estudiantes desarrollaron un "ojo clínico" más técnico. Gracias al proyecto de fitorremediación, ahora asocian los cambios en la vegetación con niveles de toxicidad específicos. La capacitación técnica recibida eliminó la brecha de incertidumbre que existía al inicio, convirtiendo la observación empírica en conocimiento científico aplicado.

Dimensión 3 - Efectos ambientales: Alcanzó un nivel de excelencia con una media de 4.72. El avance más importante se registró en la disposición hacia las prácticas de conservación. Los estudiantes pasaron de reconocer el problema a proponer y valorar activamente el uso de fitorremediadores y abonos orgánicos como herramientas de recuperación, demostrando una transición del saber al saber-hacer ambiental.

Dimensión 4 - Efectos sobre la salud comunitaria: Esta dimensión experimentó la transformación más profunda, alcanzando el promedio más alto del estudio (4.82). El impacto pedagógico logró que el 100% de los estudiantes reconozca ahora la importancia vital de los elementos de protección personal y la seguridad alimentaria. El vacío informativo inicial fue cubierto totalmente, generando una cultura de prevención que antes no existía en la vereda y que es el resultado más valioso de este proceso de maestría.

El análisis comparativo de los resultados globales revela una transformación significativa en la educación ambiental de los estudiantes después de la finalización del proyecto de fitorremediación como estrategia pedagógica. La media global tuvo un incremento notable pasando de 3.39 a 4.69 lo que representa una variación

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

positiva del 38.3 % consolidando el nivel de conciencia en un nivel “Muy alto” con esto se logró demostrar que la pedagogía logro una apropiación de los conceptos ambientales en toda la muestra de 40 estudiantes.

Coherencia interna del instrumento y resultados globales

De los 231 pares de ítems analizados mediante el coeficiente de Spearman en la fase de post-test, 218 resultaron estadísticamente significativos ($p < 0.05$), lo que representa el 94.4 % de todas las combinaciones posibles. Este resultado superior al diagnóstico inicial indica una alta coherencia interna del instrumento tras la intervención pedagógica; en términos sustantivos, refleja que las distintas manifestaciones de la problemática ambiental y la fitorremediación son percibidas de forma interrelacionada y sistémica por los estudiantes. La mayoría de estas correlaciones significativas superaron el umbral de $p \geq 0.850$ ($p < 0.001$), lo que posiciona las percepciones finales en un rango de asociación muy fuerte.

Se identificaron pares con correlación casi perfecta y perfecta ($p \geq 0.980$, $p < 0.001$), destacando especialmente las asociaciones entre los ítems P1×P6, P4×P9, P10×P20 y P21×P22. Estas conexiones vinculan de forma directa el conocimiento sobre el uso de agroquímicos y las quemas (Causas) con la necesidad de capacitación técnica y el uso de elementos de protección (Salud y Prevención). Este fenómeno configura un circuito perceptual sólido donde el estudiante ya no ve el daño ambiental como un hecho aislado, sino como un factor que condiciona directamente la seguridad y salud de su comunidad rural.

Correlaciones entre dimensiones

Las cinco correlaciones inter-dimensión superaron $p = 0,981$ ($p < 0,001$), con el par Extensión vs. Efectos alcanzando el valor más alto ($p = 0,998$). Esta cuasi-identidad perceptual sugiere que para los encuestados ya no ven el problema del suelo como algo aislado observar el deterioro ambiental y experimentar sus consecuencias constituyen dimensiones de una misma realidad cotidiana. La correlación entre

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

Causas y Extensión ($p = 0,983$) y entre Causas y Efectos ($p = 0,981$) confirma que la comunidad establece una cadena causal coherente: las prácticas agrícolas nocivas se asocian directamente con las señales de deterioro del suelo y con los efectos sobre la salud y el ecosistema. De igual forma $\bar{p}$ Intra-dimensión (Coherencia) este valor (que oscila entre 0.914 y 0.952). Indica que los ítems dentro de cada grupo miden lo mismo de forma excelente; los resultados de más de 0.90 indican una fiabilidad excepcional del instrumento tras la práctica pedagógica, esto logró consolidar un pensamiento sistémico en los 40 estudiantes y ratificando que el proceso formativo fue uniforme.

Pares correlacionales de mayor relevancia ambiental

A través de la mediación pedagógica se configuró un circuito perceptual cerrado y coherente. La aparición de correlaciones perfectas ($p = 1.000$) en los nexos causas - efecto ($P1 \times P16$ y $P6 \times P16$) sugiere que los estudiantes abandonaron las dudas iniciales para adoptar una postura científica frente a la degradación del suelo. Especial mención merece la integración del ítem P22, que en el diagnóstico inicial se hallaba disperso, y en el post-test muestra una asociación cuasi perfecta con la salud comunitaria, validando la efectividad del proyecto BioLab en la formación de criterios de seguridad alimentaria.

Hallazgos críticos con implicaciones pedagógicas

Cuatro hallazgos emergen como pilares de la intervención educativa realizada. En primer lugar, la consolidación del circuito $P1/P6 \rightarrow P7/P16 \rightarrow P18/P19$ describe un trayecto perceptual robusto del daño ambiental, desde las prácticas agrícolas (quemadas y agroquímicos) hasta el impacto en el cuerpo humano; esto demuestra que, tras la mediación, la comunidad reconoce la trayectoria causal de los contaminantes, aunque no utilice terminología técnica compleja. En segundo lugar, el par $P4 \times P9$ ($p = 1.000$) identifica el vector hídrico como el principal amplificador del riesgo; la asociación directa entre desechos y alteración de fuentes de agua es un

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

hallazgo de alta relevancia técnica en suelos ácidos, donde metales como el Plomo (Pb) y el Cadmio (Cd) presentan alta solubilidad y lixiviación.

En tercer lugar, la validación del par P8×P18 ($p = 0.985$) revela que los cultivos funcionan para los estudiantes como "biosensores naturales"; la comprensión de que los cambios morfológicos (clorosis y necrosis) predicen riesgos para la salud humana otorgó a la fitorremediación con *Amaranthus dubius* una función simbólica y pedagógica esencial, convirtiendo la planta en una herramienta de monitoreo comunitario. Finalmente, la resolución de la antigua anomalía del ítem P22 representa el mayor éxito pedagógico: la percepción de seguridad alimentaria, que inicialmente se hallaba desconectada, logró integrarse al sistema de indicadores en el post-test. Esta superación de la disonancia cognitiva inicial confirma que el proyecto BioLab permitió a los estudiantes alinear la conciencia del deterioro ambiental con una evaluación crítica y científica de la inocuidad de los alimentos consumidos en la vereda.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la fase de post-test demuestran una transformación profunda en la cultura ambiental de los 40 estudiantes, elevando la Media General de 3.39 a 4.69 (+38.3%). Este avance coincide con algunos estudios, que sostiene que las intervenciones educativas que involucran experiencias directas y activas — como el proyecto BioLab y el uso de *Amaranthus dubius*— tienen una mayor probabilidad de producir cambios significativos en el comportamiento ambiental en comparación con los métodos puramente teóricos. La transición de un nivel de conciencia "Medio-Bajo" a uno "Muy Alto" valida que el aprendizaje basado en proyectos (PBL) es la ruta más efectiva para la educación científica rural.

Un punto de inflexión crítico se observa en la coherencia interna del instrumento, que alcanzó un 94.4% de asociaciones significativas, con una mayoría de coeficientes superiores a $p \geq 0.850$. Este fenómeno refuerza la tesis de Stern (2000) sobre la Teoría de Valor-Creencia-Norma (VBN), sugiriendo que los estudiantes han

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

estructurado un sistema de creencias sólido donde las causas del deterioro ambiental no son eventos aislados, sino factores que activan una norma de cuidado personal.

Lo anterior se evidencia en el par P21×P22 ($p = 0.988$), donde la capacitación técnica eliminó la disonancia cognitiva inicial, permitiendo que la seguridad alimentaria se integrara plenamente al sistema de percepciones de riesgo.

Finalmente, el hallazgo del par P8×P18 ($p = 0.985$), que vincula la morfología de los cultivos con la salud humana, posiciona a las plantas fitorremediadoras como herramientas de monitoreo comunitario.

CONCLUSIONES

La implementación del proyecto pedagógico basado en la fitorremediación con *Amaranthus dubius* demostró ser una estrategia altamente efectiva para la transformación de la conciencia ambiental en el contexto rural. Al finalizar la intervención, se registró un incremento notable en el nivel de conocimiento y percepción de los estudiantes, cuya Media General ascendió de 3.39 a 4.69, lo que representa una mejora del 38.3%. La validación mediante la prueba de Wilcoxon ($p < 0.001$) confirmó que este cambio es estadísticamente significativo, permitiendo afirmar con rigor científico que la transición del "saber teórico" al "saber-hacer" experimental mediante el uso de la planta bleo consolidó aprendizajes profundos que superan los modelos de enseñanza tradicional.

Uno de los logros más destacados de la investigación fue el desarrollo de un pensamiento sistémico en la muestra de 40 estudiantes. Mientras que en el diagnóstico inicial los problemas ambientales se percibían como eventos aislados, el análisis de Spearman en el post-test reveló una estructura cognitiva cohesionada con correlaciones cuasi perfectas ($p = 0.998$). Esto indica que los alumnos lograron conectar de forma lógica las causas (quemadas y agroquímicos) con los efectos físicos en el suelo (clorosis y necrosis) y, finalmente, con las consecuencias directas en la

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

salud humana. Este circuito perceptual cerrado es la evidencia de una alfabetización científica real aplicada a las problemáticas de su propio territorio.

Finalmente, la dimensión de Salud Comunitaria experimentó la transformación más profunda, pasando de ser el punto crítico de mayor desconocimiento (2.65) a convertirse en la dimensión con mayor apropiación conceptual (4.82). El éxito pedagógico se materializó en la resolución de la disonancia cognitiva respecto a la seguridad alimentaria, logrando que los estudiantes integraran la vigilancia de los cultivos con la prevención de riesgos por metales pesados como el Plomo y el Cadmio. En conclusión, la fitorremediación no solo funcionó como una técnica de recuperación de suelos, sino como un poderoso vehículo didáctico que empoderó a la comunidad escolar, convirtiendo a la escuela en un foco de innovación para la mitigación de riesgos ambientales en la vereda.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

A todos los factores sociales que influyeron en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Clemente Huachen, J., Medina Contreras, Jefferson, Pfuño, Johel Daniel Laura, Pariona Aguilar, Luis Angel, & Gutiérrez Vélchez, P. (2021). Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). *Acta Agronómica*, 70(2), 163-170. <https://n9.cl/zae1c>
- Gobernación de Córdoba. (2020). Plan de desarrollo departamental 2020–2023. Gobernación de Córdoba. <https://n9.cl/j6piny>
- Hernández, R., Fernández, C. & Batista, P. (2014). Metodología de la investigación. (6ª ed.). México: McGraw- HILL Interamericana., S.A. <https://n9.cl/b11a1>
- Lazo, R. M. (2022). Capacidad fitorremediadora de *Amaranthus caudatus* L. en suelo contaminado por plomo y cadmio. Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://n9.cl/lawme9>

Carlos Vives-Mendoza; Laura Marroquin-Guasaquillo; María Jiménez-Barriosnuevo

- Mahecha-Pulido, Juan D., Trujillo-González, Juan M., & Torres-Mora, Marco A. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *ORINOQUIA*, 21(Suppl. 1), 83-93. <https://n9.cl/tp3zu>
- Ojeda-González, G., & Castro-Moreno, J. (2023). Los proyectos ambientales escolares (PRAE) y la educación ambiental comunitaria (EAC): encuentros y desencuentros en las orientaciones curriculares colombianas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (54), 84-101. <https://n9.cl/tc9pg>
- Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-Hernández, A., & López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 161-168. <https://n9.cl/l594vo>
- Royo, A. I. D., & Hernández, H. M. (2026). Gestión de PRAE y educación ambiental: un modelo para la educación secundaria pública en Córdoba, Colombia. *REVISTA DELOS*, 19(76). <https://n9.cl/80qg6>
- Vargas Mendoza, C., Buitrago, L., y Villegas, J. (2024). Plomo en cultivos de consumo humano en Colombia: amenaza a la seguridad alimentaria. *Vitae*, 31(1), 23–37. <https://n9.cl/weosca>
- Yasmín Bibiana Londoño Londoño, Y., Rivera, M. & Herrera Vélez, Y. (2026). Aprendizaje significativo y educación ambiental: una mirada desde la praxis educativa. *DIALÉCTICA*, 1(27). <https://n9.cl/87k4rb>