

Pigmentos del suelo: una metodología educativa para comprender el suelo a través del arte

Soil Pigments: An Educational Methodology to Understand Soil through Art

Paola Brenes¹
Adriana Rojas²

DOI: 10.22458/rb.v37i1.6658

Recibido – Received: 17/ 07/ 2025 / Corregido – Revised: 16/ 03/ 2026/ Aceptado – Accepted: 22/ 05/ 2026

RESUMEN

El artículo presenta una metodología educativa innovadora centrada en el uso de pigmentos naturales derivados de arcillas para la elaboración de acuarelas, con el objetivo de facilitar la comprensión integral del suelo como sistema complejo y dinámico. La propuesta articula componentes científicos, pedagógicos y estéticos mediante un enfoque multidisciplinario, y se aplica en contextos educativos tanto formales como informales, promoviendo un aprendizaje significativo basado en la experiencia directa. A través de talleres implementados en universidades, bibliotecas y ferias ambientales, se introducen conceptos fundamentales de la edafología como la textura, la composición mineralógica y la coloración del suelo, utilizando técnicas artísticas que permiten representar visualmente sus propiedades. La metodología fomenta la participación del estudiantado y del público general, potenciando la observación consciente del entorno y la apropiación del conocimiento edáfico mediante la creatividad. Se describen detalladamente los procesos de recolección y tratamiento de suelos, formulación de acuarelas y estrategias de implementación educativa. Además, se analizan los resultados cualitativos obtenidos mediante observación participante y retroalimentación directa. Los hallazgos evidencian un aumento en la motivación, la retención de conceptos clave y una mejora en la percepción del suelo como recurso vital. Esta propuesta ofrece un modelo replicable para la educación ambiental y la conservación del suelo.

Palabras clave: educación ambiental; pigmentos naturales; suelo; aprendizaje multisensorial; arte y ciencia.

ABSTRACT

This article presents an innovative educational methodology centered on the use of natural pigments derived from clays to produce watercolors, with the aim of facilitating a comprehensive understanding of soil as a complex and dynamic system. The proposal integrates scientific, pedagogical, and aesthetic components through a multidisciplinary approach and is applied in both formal and informal educational contexts, promoting meaningful learning based on direct experience. Through workshops conducted in universities, libraries, and environmental fairs, fundamental concepts of soil science—such as soil texture, mineralogical composition, and soil color—are introduced using artistic techniques that allow for the visual representation of soil properties. The methodology encourages the participation of students and the general public, fostering conscious observation of the environment and the appropriation of soil-related knowledge through creativity. The processes of soil collection and treatment, watercolor formulation, and educational implementation strategies are described in detail. In addition, qualitative results obtained through participant observation and direct feedback are analyzed. Findings show increased motivation, improved retention of key concepts, and a strengthened perception of soil as a vital resource. This proposal offers a replicable model for environmental education and soil conservation.

Keywords: environmental education; natural pigments; soil; multisensory learning; art and science.

1 Universidad Estatal a Distancia (UNED), Laboratorio de Investigación en Agua y Suelos (LIAS), San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica. pbrenes@uned.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0003-0742-1273>

2 Universidad de Costa Rica, Sección de Química-San Ramón, Alajuela, Costa Rica. adriana.rojas_o@ucr.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0009-0005-0113-6633>

Introducción

El suelo, como ecosistema fundamental para la sostenibilidad de la vida en nuestro planeta, paradójicamente enfrenta un desafío de percepción pública: a pesar de su relevancia ecológica, suele permanecer invisible para la sociedad. Como señala Wessolek (2002), los científicos especialistas en suelos reconocen los elementos estéticos propios del recurso: la belleza cromática de los perfiles edáficos, los matices minerales de los óxidos férricos, las formas abstractas de los cortes estratigráficos, pero históricamente han enfrentado dificultades para transmitir esta dimensión estética al público general.

Esta desconexión entre el conocimiento científico especializado y la comprensión ciudadana representa una oportunidad que puede ser aprovechada en la educación ambiental y la conservación de este recurso no renovable. Tradicionalmente, la enseñanza de la edafología se ha basado en enfoques teóricos y abstractos que limitan la comprensión integral del suelo (Hartemink et al., 2014).

Las teorías constructivistas del aprendizaje sugieren que el conocimiento se construye de manera efectiva cuando las personas participan activamente en experiencias multisensoriales que conectan conceptos abstractos con aplicaciones tangibles (Kolb, 1984). El aprendizaje experiencial se basa en el principio de aprender haciendo. La educación experiencial permite a los estudiantes sumergirse en nuevas formas de pensar, fomentando la reflexión y el desarrollo de habilidades. En este sentido, los enfoques multisensoriales facilitan la comprensión de relaciones complejas, al integrar distintos canales perceptivos (Shams y Seitz, 2008).

La relación entre el arte, como elemento multisensorial, y el suelo no es nueva. Desde las civilizaciones prehistóricas, los pigmentos derivados del suelo han sido utilizados en contextos rituales, decorativos y funerarios en diversas culturas. Esta tradición demuestra el potencial intrínseco del suelo como medio de expresión cultural y educativa. Investigaciones recientes han desarrollado metodologías que integran la ciencia del suelo con la creación artística mediante el uso de pigmentos naturales (Vaughan 2022).

Sin embargo, la integración contemporánea de esta dimensión estética en procesos pedagógicos formales permanece subexplorada en el contexto latinoamericano y particularmente en Costa Rica. Ante los desafíos actuales de la educación ambiental, se requieren nuevas metodologías que promuevan una comprensión más profunda del suelo.

En respuesta a esta necesidad, se propone una metodología educativa que integra componentes científicos, pedagógicos y estéticos mediante la elaboración de acuarelas a partir de arcillas naturales. La propuesta fue desarrollada de forma colaborativa entre la Universidad de Costa Rica, específicamente la Sección de Química de la Sede Occidente y el Laboratorio de Investigación en Aguas y Suelos de la Universidad Estatal a Distancia (LIAS-UNED), y se implementó en diferentes contextos educativos tanto formales como de divulgación científica.



Metodología

Sitios de estudio

Las actividades se realizaron en el Laboratorio de Investigación en Aguas y Suelos (LIAS) de la Universidad Estatal a Distancia, ubicado en San Marcos, y en la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, entre setiembre del 2024 y julio del 2025.

La metodología se aplicó en cuatro escenarios distintos: (1) curso de Química de la Universidad de Costa Rica, Sede San Ramón, Alajuela; (2) dos ferias ambientales en la provincia de Cartago; y (3) Biblioteca Pública de Cartago. La selección de estos espacios permitió evaluar la propuesta en contextos educativos formales e informales, con poblaciones de diferentes edades y niveles académicos.

- Preparación de acuarelas

Colecta y preparación de muestras

Se recolectaron muestras de suelo de tres localidades de la región central de Costa Rica: El Rodeo, San Marcos de Tarrazú y Tablón del Guarco, ambos correspondientes al orden Inceptisol (suelos jóvenes con un desarrollo de horizontes incipiente), ubicados en zonas muy húmedas de bosque montano bajo y de uso predominantemente agropecuario.

Los sitios fueron seleccionados por su diversidad mineralógica y cromática para maximizar la gama de colores disponibles. Las muestras se obtuvieron de diferentes horizontes del perfil edáfico siguiendo protocolos estándar de muestreo. Los suelos presentan una fracción arcillosa de 46% y contenidos de limo entre 30 y 45%.

Separación de arcillas y preparación de pigmentos

La fracción arcillosa (<2 μm) se separó mediante sedimentación diferencial según la ley de Stokes. Posteriormente, las arcillas se secaron a 60°C y se tamizaron a malla 60 mesh con el fin de obtener un material fino homogéneo.

Para ampliar la paleta cromática, algunas fracciones específicas de las muestras se sometieron a altas temperaturas (500°C durante una hora), lo que permitió modificar los óxidos metálicos presentes, particularmente los compuestos férricos. Para la descripción de la paleta se utilizó *Munsell Soil Color Chart*.

Formulación de acuarelas

Se seleccionaron dos fracciones de suelo con tonalidades distintas y se prepararon al menos cuatro submuestras para valorar los aglutinantes. Los pigmentos edáficos se mezclaron con aglutinantes naturales (goma arábiga y agar) en diferentes concentraciones (1:1, 1:2 y 1:3 pigmento: mezcla de aglutinante) para determinar la formulación óptima de la mezcla.

Adicionalmente, se incorporaron glicerinas, jabones y aceites naturales para controlar el crecimiento de hongos en las acuarelas. Se evaluaron propiedades como consistencia, fluidez y adherencia sobre papel acuarela de 300 g/m². El LIAS-UNED estandarizó el protocolo de preparación y realizó la caracterización de los pigmentos obtenidos.



- Implementación pedagógica

Diseño pedagógico

La metodología educativa se estructuró en dos fases secuenciales:

- 1) Fundamentación teórica: centrada en las propiedades edáficas.
- 2) Aplicación práctica: mediante la elaboración de acuarelas a partir de suelos.

Cada sesión integró componentes conceptuales (funciones del suelo, propiedades físicas, químicas y microbiológicas) y experienciales (preparación y uso de acuarelas), lo cual favoreció el aprendizaje significativo.

Contextos educativos

Contexto formal: La metodología se implementó en el curso de Química Biorgánica de la UCR, donde estudiantes universitarios exploraron los fundamentos teórico-prácticos de la química de arcillas y pigmentos naturales. Se solicitó a los estudiantes diseñar un plan de muestreo en un área cercana a su lugar de residencia y realizar la colecta utilizando herramientas básicas como palas y palines. Cada estudiante obtuvo aproximadamente 1 kg de muestra de suelo que transportó al laboratorio para su análisis. En el laboratorio se desarrollaron sesiones teóricas sobre composición mineralógica, textura y análisis químico del suelo, integrando conceptos de ciencia edáfica con técnicas analíticas. La comprensión conceptual se evaluó mediante preguntas verbales directas durante las sesiones prácticas.

Contexto informal dirigido: Se realizaron cinco talleres de 1.5 horas en la Biblioteca Pública de Cartago, dirigidos a población adulta (n=6). Los participantes elaboraron acuarelas con muestras de suelo aportadas por ellos mismos

y crearon representaciones artísticas de perfiles edáficos como producto final.

Contexto de divulgación científica: Durante las ferias ambientales, se implementó una metodología participativa, en la cual los facilitadores del LIAS prepararon acuarelas en vivo, mientras los asistentes (niños, jóvenes y adultos) coloreaban plantillas de perfiles de suelo y creaban obras artísticas libres. Esta modalidad enfatizó la experiencia sensorial y la creatividad como vehículos de aprendizaje.

Recolección y análisis de datos

Se empleó la técnica de observación participante, con registro sistemático de percepciones, comentarios y comportamientos durante las actividades. Los datos cualitativos se recopilaron mediante notas de campo estructuradas que incluyeron:

- 1) Nivel de comprensión conceptual (previo y posterior)
- 2) Grado de participación e interés
- 3) Calidad de las producciones artísticas
- 4) Valoración de la experiencia educativa por parte de los participantes

El análisis de la información se llevó a cabo mediante categorización temática e identificación de patrones emergentes, con el fin de evaluar la efectividad de la metodología en los distintos contextos educativos.

Resultados

Se presenta la información obtenida a partir de la implementación de la metodología de elaboración de acuarelas con pigmentos edáficos en distintos contextos educativos. Se incluyen tanto los resultados técnicos asociados a la formulación y caracterización de

los pigmentos, como los resultados educativos derivados de la aplicación pedagógica. La información se organizó en función de la evaluación de las propiedades de las acuarelas, los cambios cromáticos inducidos por tratamiento térmico y la participación y respuesta de los distintos grupos de participantes, con el fin de evidenciar la efectividad de la propuesta metodológica en la comprensión del suelo como sistema.

Caracterización de las acuarelas edáficas

Una acuarela de calidad debe extenderse uniformemente sobre papel húmedo, no desprender residuos polvorientos al secar y permitir una carga eficiente en el pincel. Estas propiedades dependen directamente de la naturaleza y proporción del aglutinante. Como detalla el cuadro 1, se evaluaron dos tipos de aglutinantes en distintas concentraciones para determinar su impacto en el desempeño de la pintura.

Cuadro 1

Características de las acuarelas edáficas según el tipo y proporción del aglutinante

Tipo de aglutinante	Proporción en masa: Pigmento/ aglutinante	Características presentes en la acuarela
Agar	1:1	No puede ser cargado por el pincel. Alta viscosidad, lo que dificulta su distribución uniforme sobre el papel.
	1:2	No puede ser cargado por el pincel. Baja viscosidad, pero gelatiniza con el tiempo.
	1:3	No puede ser cargado por el pincel. Baja viscosidad, pero gelatiniza con el tiempo.
Goma arábica	1:1	No puede ser cargado por el pincel. Alta viscosidad, lo que dificulta su distribución uniforme sobre el papel.
	1:2	Viscosidad media, permite ser cargado por el pincel y ser distribuido uniformemente en el papel.
	1:3	Baja viscosidad, permite ser cargado por el pincel, pero presenta dificultad en el secado.

Nota. Elaboración propia.

Las mejores características en cuanto a la carga del pincel y la distribución uniforme de la pintura sobre el papel mojado se lograron con la goma arábica en una proporción con el pigmento 1:2 y 1:3, sin embargo, con la mayor proporción de aglutinante el secado fue muy lento.

Cambios cromáticos por tratamiento térmico

El tratamiento térmico (500 °C durante una hora) produjo variaciones significativas en los valores tonales de los pigmentos edáficos:

En el cuadro 2, se comparan las características cromáticas de las acuarelas edáficas antes y después del tratamiento térmico, utilizando el sistema de nomenclatura Munsell.



Cuadro 2

Variaciones en el valor tonal de las muestras edáficas tras ser sometidas a tratamiento térmico, 500°C durante una hora

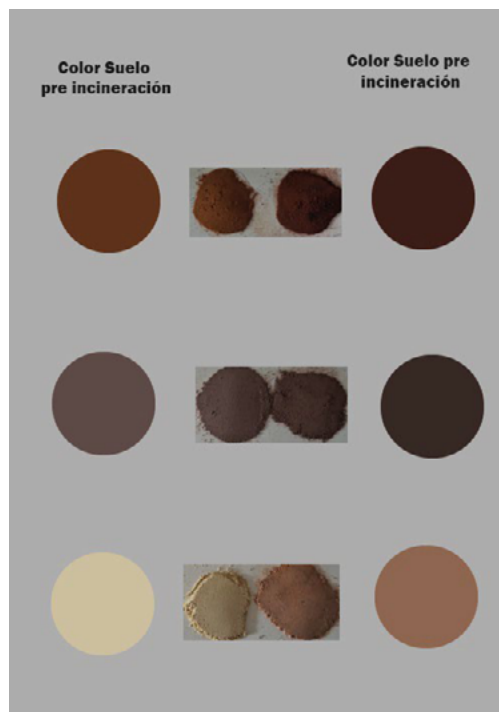
Número de muestra	Color según catálogo Munsell		Cambios en el valor tonal
	Inicial	Tras tratamiento térmico	
1	7,5R 3/6	5R 2,5/4	Oscuramiento
2	5R 4/4	10R 3/2	Oscuramiento, menor luminosidad Reducción de la materia orgánica visible
3	10YR 8/3	5YR 5/4	Oscuramiento

Nota. Elaboración de las autoras.

La figura 1 ilustra estos cambios, se evidencia que las reacciones inducidas por el calor modifican la apariencia visual del suelo y amplían la paleta cromática disponible.

Figura 1

Cambios de color en el material edáfico al ser sometido a una temperatura de 500 °C durante una hora



Nota. Fotografía de Paola Brenes, San Marcos de Tarrazú, LIAS-UNED, 01 de mayo de 2025.

Participación en los contextos educativos

La implementación del curso-taller se realizó en tres contextos diferenciados, con una muestra heterogénea de participantes, ver cuadro 3.

Cuadro 3

Registro sistemático de participación al curso-taller de elaboración de pinturas a base de arcillas, bajo contexto educativo y de grupo etario

Contexto educativo	Participantes	Modalidad	Cantidad(n), edades
Educación formal Universitaria, UCR	Estudiantes	Curso de Química	n=15, entre 17 y 20 años
Educativo no formal. Biblioteca Pública de Cartago	Adultos	Talleres dirigidos. 5 sesiones, 7,5 horas	n=6, mayores de 18 años
Divulgación masiva. Ferias ambientales	Población mixta	Dos ferias de divulgación, 10 horas	Niños: n ≥40 Jóvenes: n= variable Adultos: n= variable

Nota. Elaboración de las autoras.

El curso-taller de elaboración de pinturas a base de arcillas se implementó en tres contextos educativos diferenciados, alcanzando una muestra total heterogénea de participantes (cuadro 3). En el contexto universitario (UCR - Curso de Química), se registró la participación de 15 estudiantes universitarios con edades comprendidas entre los 17 y 20 años, durante dos sesiones con una duración total de cuatro horas académicas. El contexto de educación no formal (Biblioteca de Cartago) involucró 6 participantes adultos a través de cinco sesiones extendidas con una duración total de 7,5 horas. Finalmente, las ferias ambientales constituyeron un contexto de divulgación masiva con participación de población mixta, registrándose un mínimo de 40 niños y números variables de jóvenes y adultos distribuidos en dos eventos de divulgación científica.

Percepción y aprendizaje en los participantes. Contexto universitario

Los estudiantes evidenciaron cambios en la percepción del suelo, incluyendo:

- Mayor observación del entorno edáfico: *Gracias a esta práctica he podido prestar atención al entorno de mi casa / Siempre había considerado que la mayoría de los suelos eran iguales.*
- Reconocimiento de la variabilidad espacial del suelo: *Es interesante ver como en tan poca distancia geográfica los suelos pueden presentar tanta variación.*
- Valoración de la diversidad cromática: *Me parecen increíbles los colores que pueden generar los diferentes suelos.*

Figura 2

Uso de acuarelas edáficas elaboradas en curso de Química de la UCR



Nota. Fotografía de Adriana Rojas. UCR-Sede de Occidente, 11 de noviembre del 2024.

Contexto de educación no formal

Los participantes adultos en las sesiones de la biblioteca de la provincia de Cartago mostraron:

- Transferencia del conocimiento a contextos cotidianos
- Comprensión de conceptos básicos del suelo
- Cambios en la observación del entorno

Adicionalmente, se observó disposición hacia la transmisión intergeneracional del conocimiento. Se registraron modificaciones en los patrones de observación ambiental.

Figura 3

Registro gráfico de las actividades en la Biblioteca Pública de Cartago



Nota. Fotografía de Paola Brenes. Biblioteca Pública de Cartago.

Contexto de divulgación científica

Se identificaron diferencias por grupo etario:

- **Niños:** mayor participación artística y creatividad
- **Jóvenes:** participación selectiva
- **Adultos:** interés técnico y en replicación

Los niños manifestaron extensión temática hacia elementos ecosistémicos y aplicación artística del conocimiento, así como reconocimiento de la diversidad cromática natural.

En general, se registraron algunos comentarios realizados por los participantes en el curso- taller de elaboración de pinturas a base de arcillas, cuadro 4, según contexto educativo (evaluación del participante).

Cuadro 4
Comentarios representativos de los participantes

Contexto educativo	Participante
Educación formal Universitaria, Curso de Química. UCR	<p>“Gracias a esta práctica he podido prestar atención al entorno de mi casa.”</p> <p>“Siempre había considerado que la mayoría de los suelos eran iguales.”</p> <p>“Es interesante ver como en tan poca distancia geográfica los suelos pueden presentar tanta variación.”</p> <p>“Me parecen increíbles los colores que pueden generar los diferentes suelos.”</p>
Educativo no formal. Biblioteca Pública de Cartago Talleres dirigidos	<p>“Es increíble lo que podemos hacer con el suelo.”</p> <p>“Ahora entiendo mejor mi jardín.”</p> <p>“Por eso dicen que la tierra negra es mejor.”</p> <p>“Ahora llego y le enseño a mi mamá.”</p> <p>“Ando viendo colores del suelo cuando camino.”</p>
Divulgación masiva. Ferias ambientales	<p>Niños:</p> <p>“¿Puedo hacer más dibujos de animales del suelo?”</p> <p>“Quiero pintar paisajes con esta tierra.”</p> <p>Adultos:</p> <p>“¿Cómo hacen pigmentos del suelo?”</p> <p>“No sabía que había tantos colores.”</p>

Nota. Elaboración propia con base en la recopilación de datos durante las actividades realizadas en diversos contextos educativos.

Evaluación del desempeño

La metodología evidenció una alta efectividad en distintos contextos educativos

- Desempeño en contexto universitario

La evaluación docente reveló indicadores positivos de aprendizaje significativo (cuadro 5). Se observó asociación efectiva entre componentes teóricos y prácticos del conocimiento, acompañada de incremento en el interés hacia la química de óxidos metálicos y mejora en la comprensión de mineralogía de arcillas. Los estudiantes demostraron participación en análisis de laboratorio y formulación espontánea de hipótesis relacionadas con temas edáficos. Se registraron respuestas adecuadas a interrogantes básicas sobre el tema, generación de preguntas que evidenciaron comprensión conceptual y manifestaciones no verbales indicativas de entendimiento.

- Desempeño en educación no formal

Los participantes adultos mostraron participación muy activa e interés sostenido durante las sesiones. Se identificó valoración positiva hacia la metodología experiencial implementada, elaboración cuidadosa de perfiles edáficos y generación de discusiones espontáneas sobre suelos locales. Los participantes demostraron capacidad de aplicación de conceptos a experiencias personales, principalmente de percepción de su entorno.

- Desempeño en divulgación científica masiva

Se identificaron patrones comportamentales diferenciados por grupo etario. Los niños exhibieron mayor participación artística y entusiasmo sostenido, con incremento en la producción artística y solicitud de materiales adicionales para representar suelos, paisajes y fauna asociada. Los jóvenes manifestaron interés selectivo con preferencia por espacios separados y participación cautelosa, evitando espacios compartidos con niños. Los adultos demostraron enfoque técnico-científico con solicitud específica de muestras de pigmentos.



Cuadro 5

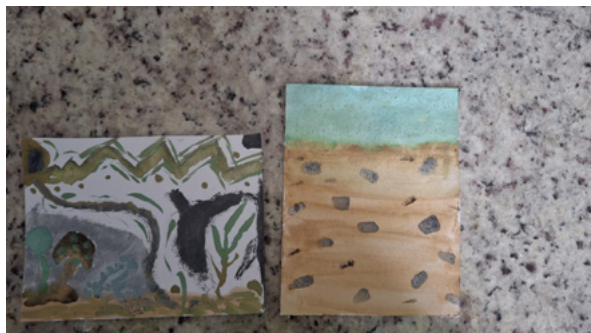
Evaluación del profesor. Percepciones y comportamientos de los participantes al curso-taller de elaboración de pinturas a base de arcillas, por contexto educativo

Contexto educativo	Evaluador
Educación formal Universitaria, Curso de Química. UCR	Asociación efectiva entre teoría y práctica. Interés incrementado en química de óxidos metálicos. Comprensión mejorada de mineralogía de arcillas. Participación en análisis de laboratorio. Formulación espontánea de hipótesis relacionadas a los temas edáficos. Responden adecuadamente a preguntas sencillas relacionadas con el tema. Generan preguntas que implican comprensión del tema.
Educativo no formal. Biblioteca Pública de Cartago Talleres dirigidos	Participación muy activa. Interés sostenido durante sesiones. Valoración positiva de metodología experiencial. Elaboración cuidadosa de perfiles edáficos. Discusiones espontáneas sobre suelos locales. Aplicación de conceptos a experiencias personales.
Divulgación masiva. Ferias ambientales	Por grupo etario Niños: Mayor participación artística, entusiasmo sostenido. Mayor producción artística, solicitud de materiales adicionales para dibujar suelos, paisajes y fauna asociada. Jóvenes: Interés selectivo, preferencia por espacios separados. Participación cautelosa, evitaron espacios compartidos con niños. Adultos: Interés técnico, solicitud de muestras. Enfoque en aspectos técnicos, solicitud de muestras de pigmentos.

Nota. Elaboración propia con base en la recopilación de datos durante las actividades realizadas en diversos contextos educativos.

Figura 4

Obras realizadas por niños participantes de las diferentes ferias, a partir de acuarelas elaboradas con pigmentos de suelo



Nota. Fotografía de Paola Brenes. La Trinidad de Dota, 27 de abril del 2025.

La metodología experiencial demostró una alta efectividad observada en el ámbito universitario, los participantes reportaron una comprensión superior respecto a métodos tradicionales,

con mejoras significativas en el vocabulario técnico, la retención de conceptos fisicoquímicos y la comprensión de la interacción entre tipo de suelo, mineralogía y coloración.

En entornos de educación no formal, se logró además reforzar con éxito las funciones del suelo y su concepción como sistema, trasladándose este conocimiento de manera efectiva a situaciones cotidianas.

Finalmente, el análisis por grupos etarios en ferias ambientales mostró que los niños ampliaron su interés hacia la fauna y los paisajes edáficos, mientras que los adultos manifestaron un alto deseo de replicar los procedimientos y valoraron la diversidad cromática natural, constatándose en todos los grupos un cambio conceptual profundo sobre la naturaleza del suelo (cuadro 6).

Cuadro 6

Indicadores de aprendizaje de conceptos edáficos a través de la participación en el curso-taller de elaboración de pinturas a base de arcillas, según contexto educativo (evaluación del participante)

Contexto educativo	Participante
Educación formal Universitaria. Curso de Química. UCR	85% reportó mayor comprensión en comparación de los métodos tradicionales. Mejora en el vocabulario técnico y la conceptualización del suelo Retención de conceptos fisicoquímicos
Educativo no formal. Biblioteca Pública de Cartago Talleres dirigidos	Refuerzo exitoso de funciones del suelo. Comprensión mejorada de que es el suelo. Transferencia de conocimiento a contextos cotidianos.
Divulgación masiva. Ferias ambientales	Por grupo etario: Niños: Extensión temática a fauna y paisajes edáficos. Adultos: Interés en replicación técnica, valoración de diversidad cromática. General: Cambio conceptual sobre naturaleza del suelo.

Nota. Elaboración propia con base en la recopilación de datos durante las actividades realizadas en diversos contextos educativos.

Discusión

Desafíos conceptuales en la enseñanza del suelo

En los resultados se evidencia que la metodología empleada facilitó una transición hacia una comprensión más integral y contextualizada del recurso edáfico. La incorporación de experiencias prácticas permitió vincular directamente la observación con la construcción de conocimiento. Inicialmente, los participantes tendían a asociar el suelo únicamente con funciones productivas o utilitarias; sin embargo, tras la experiencia, incorporaron elementos relacionados con su variabilidad, composición y valor ecológico. Este cambio conceptual coincide con lo planteado por Hartemink et al. (2014), quienes destacan la dificultad de enseñar el suelo como un sistema complejo mediante enfoques tradicionales.

Eficacia de la metodología multisensorial y la experiencia estética

Los resultados evidencian que la integración de componentes sensoriales, artísticos y científicos facilita la interiorización de conceptos edafológicos complejos, transformándolos en observaciones y comentarios de naturaleza accesible. Esta transformación concuerda con el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb (1984), en el cual la experiencia concreta se convierte en conocimiento abstracto mediante reflexión y experimentación activa.

La observación del entorno plasmada en proyectos artísticos contribuye a generar vínculos emocionales, así como comprensión intuitiva, analítica y estructurada de los conceptos expuestos (Valenzuela, 2008). Al

elaborar pinturas y crear paisajes con materiales naturales edáficos, la metodología guía a los participantes desde la experiencia estética hacia el descubrimiento creativo de conceptos relacionados con la ciencia del suelo. Este hallazgo respalda enfoques educativos tipo STEAM -ciencias, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas, por sus siglas en inglés - (Cilleruelo y Zubiaga, 2014), donde la articulación entre arte y ciencia favorece procesos de aprendizaje más integrales. Además, la creación artística promovió vínculos emocionales con el objeto de estudio, lo cual es fundamental en procesos de educación ambiental, como lo señala Valenzuela (2008).

La integración del arte en el proceso educativo demostró ser una estrategia eficaz para facilitar la comprensión de conceptos abstractos. La representación visual de propiedades del suelo, como el color y la textura, permitió traducir contenidos científicos en experiencias accesibles para distintos públicos.

Importancia de la caracterización cromática

Los cambios cromáticos observados tras el tratamiento térmico evidencian la relación directa entre propiedades mineralógicas y expresión visual del suelo. La transición hacia tonalidades más oscuras y rojizas puede explicarse por la transformación de compuestos férricos, fenómeno documentado en estudios sobre pigmentos naturales (Mayes, 2025). Las transformaciones cromáticas documentadas mediante el sistema Munsell proporcionaron evidencia cuantitativa de reacciones químicas inducidas por tratamiento térmico, estableciendo vínculos directos entre transformaciones mineralógicas y percepción sensorial.

La diversidad cromática obtenida refleja la riqueza mineralógica de los suelos locales, estableciendo conexiones directas entre composición geoquímica y la expresión artística, siguiendo experiencias exitosas documentadas en contextos educativos similares (Ortega-Cubero y Eugenio-Gozalbo, 2024). Esta aproximación metodológica demuestra el potencial del arte visual y las ciencias para generar reflexión sobre recursos naturales específicos, como lo evidencian experiencias previas en sistemas kársticos (Manrique y Aguilar, 2021; Bautista, 2021).

La incorporación de goma arábica como aglutinante demostró un mejor desempeño técnico, proporcionando estabilidad y fluidez óptimas sin desarrollo de textura gelatinosa, características fundamentales para aplicaciones pedagógicas prolongadas. Estas propiedades técnicas facilitan la integración arte-ciencia documentada por Wessolek (2002) y ejemplificada por Vaughan (2022) en aplicaciones contemporáneas.

El componente técnico no solo amplía la paleta cromática disponible, sino que también fortalece el vínculo entre ciencia y arte, permitiendo utilizar la coloración como herramienta pedagógica para explicar procesos edafológicos complejos.

Evaluación cualitativa y transformación pedagógica

La evaluación cualitativa reveló asociación efectiva entre teoría y práctica, participación e interés sostenido durante las sesiones. Las discusiones espontáneas sobre suelos locales, características y coloración evidenciaron comprensión conceptual profunda y capacidad de transferencia hacia contextos cotidianos.

En el contexto universitario, los estudiantes evidenciaron comprensión significativamente mejorada de mineralogía de arcillas, química de óxidos metálicos y procesos de pigmentación natural; 85% de los participantes reportó mayor comprensión de propiedades fisicoquímicas comparado con metodologías tradicionales, validando cuantitativamente la efectividad de la metodología experiencial.

La implementación en la Biblioteca Pública de Cartago confirmó la adaptabilidad metodológica, registrando participación activa y refuerzo efectivo de conceptos sobre funciones del suelo, textura y composición edáfica en contextos de educación no formal.

Implicaciones para la educación ambiental

Los resultados demuestran que las acuarelas edáficas constituyen una herramienta pedagógica técnicamente viable y educativamente efectiva que aborda los desafíos identificados por Hartemink *et al.* (2014) en la enseñanza de ciencias del suelo. La metodología facilita la transformación de conceptos complejos en experiencias accesibles, generando conexión emocional y estética que potencia la motivación intrínseca hacia el aprendizaje.

La capacidad de estimular observación consciente del entorno edáfico y generar discusiones espontáneas indica desarrollo de competencias científicas fundamentales. La metodología establece nuevas vías para la comunicación científica y la educación ambiental, particularmente en contextos donde el suelo suele ser un recurso subvalorado o poco comprendido.



Conclusiones

La metodología de elaboración de acuarelas a partir de arcillas naturales demostró ser técnica y pedagógicamente viable, ya que produjo materiales con estabilidad cromática y propiedades fisicoquímicas adecuadas en términos de estabilidad, adherencia y diversidad cromática, particularmente mediante el uso de goma arábica en proporciones óptimas y el tratamiento térmico de las muestras.

El empleo de talleres en diversos contextos facilitó la comprensión de la clasificación y funciones del suelo como recurso dinámico. Se observaron evidencias de un aumento en la motivación de los participantes y una mejora en la retención de conceptos clave, lo que confirma su eficacia.

Según las evaluaciones cualitativas realizadas por la persona tutora, las actividades de divulgación científica en ferias educativas alcanzaron impactos notables en la percepción del suelo, tanto en los adultos como en la población infantil. Los participantes demostraron cambios conceptuales evidentes, expresando espontáneamente observaciones sobre la coloración edáfica en su entorno cotidiano y sobre su formación.

A nivel universitario, los estudiantes mostraron una mejor comprensión de los aspectos físico-químicos de los suelos, así como la interrelación de los componentes minerales con las coloraciones y características propias de estos.

La metodología estableció vínculos interinstitucionales exitosos entre la UCR y el LIAS-UNED, entre otros, generando sinergias que fortalecieron tanto la investigación edafológica como los procesos de extensión universitaria.

Finalmente, la articulación entre ciencia y arte se consolida como una herramienta innovadora para la educación ambiental, con potencial de ser replicada y escalada en diversos contextos educativos, contribuyendo a la sensibilización y valoración del suelo como recurso esencial para la vida.

Usos de inteligencia artificial (IA)

Se utilizó ChatGPT (OpenAI, 2026) como herramienta digital de apoyo para la organización de información del artículo, sin sustituir la autoría intelectual, ni el proceso de análisis crítico y la revisión bibliográfica de las autoras.

Agradecimientos

Las autoras agradecen al Laboratorio de Investigación en Aguas y Suelos de la Universidad Estatal a Distancia (LIAS-UNED) y a la Sección de Química de la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, por el apoyo institucional brindado para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, se reconoce la colaboración de las instituciones que facilitaron la implementación de las actividades.

Referencias

- Bautista, F. (2021). *Los territorios kársticos de la península de Yucatán: Caracterización, manejo y riesgos*. Asociación Mexicana de Estudios sobre Karst.
- Cilleruelo, L., & Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la educación STEAM: Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. *Jornadas de Psicodidáctica*, 1–19.
- Hartemink, A. E., Balks, M. R., Chen, Z.-S., Drohan, P., Field, D. J., Krasilnikov, P., Lowe, D. J., Rabenhorst, M., van Rees, K., Schad, P., Schipper, L. A., Sonneveld, M., & Walter, C. (2014). The joy of teaching soil science. *Geoderma*, 217–218, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.016>



- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Manrique, I., & Aguilar, Y. (2021). *Arte visual y ciencias para reflexionar sobre la importancia del acuífero kárstico yucateco*. Asociación Mexicana de Estudios sobre Karst.
- Mayes, L. (2025). *The natural pigment handbook: A maker's guide to the art, stories and recipes for creating paint*. David & Charles.
- OpenAI. (2026). *ChatGPT (GPT-5.3) [Modelo de lenguaje]*. <https://chat.openai.com>
- Ortega-Cubero, I., & Eugenio-Gozalbo, M. (2024). Los colores que salieron de la tierra: Una propuesta universidad-escuela para entender el suelo. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13363026>
- Shams, L., & Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(11), 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>
- Valenzuela, E. (2008). La pintura de paisaje: Una herramienta didáctica para la enseñanza de la geografía. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 7(7), 19–26.
- Vaughan, K. (2022). The art of soil: How one scientist uses earth's pigments to make art. *Orion Magazine*. <https://orionmagazine.org/article/the-art-of-soil-how-one-scientist-uses-dirt-to-make-art/>
- Wessolek, G. (2002, August). Art and soil. *Newsletter of the Committee on the History, Philosophy, and Sociology of Soil Science (IUSS)*, (10). https://www.researchgate.net/publication/288446044_Soil_and_Art

