ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias
Volumen 10 / N° 29 / mayo-agosto 2026
https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.476

Artículo de Revisión

Suelos, desarrollo agrícola y educación ambiental: enfoques integrados desde la economía ecológica en la agronomía contemporánea

Soils, agricultural development, and environmental education: integrated ecological economics approaches in contemporary agronomy

Leonidas Felix Villaorduña Caldas [a]
✉ lvillaordunac@undac.edu.pe

Edith Zevallos [a]

Manuel Llanos Zevallos [a]

Luis Antonio Flores Flores [b]

[a] *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco, Perú*
[b] *Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú*

Palabras clave:
Agroecología; Desarrollo agrícola; Economía ecológica; Educación ambiental; Servicios ecosistémicos; Suelo

Keywords:
Agroecology; Agricultural development; Ecological economics; Environmental education; Ecosystem services; Soil

Cómo citar: Villaorduña Caldas LF, Zevallos E, Llanos Zevallos M, Flores Flores LA. Suelos, desarrollo agrícola y educación ambiental: enfoques integrados desde la economía ecológica en la agronomía contemporánea. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-13 https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.476

Resumen

Contexto: La degradación del suelo, la presión productiva sobre los agroecosistemas y la limitada educación ambiental generan tensiones entre productividad, conservación y equidad rural, resaltando la necesidad de enfoques integradores en la agronomía contemporánea. **Objetivo:** Analizar la integración entre suelos, desarrollo agrícola y educación ambiental desde la perspectiva de la economía ecológica en la agronomía contemporánea. **Metodología:** Se realizó un estudio cualitativo, documental, con diseño de revisión integradora y alcance descriptivo-analítico. La población consistió en publicaciones científicas, informes técnicos y documentos institucionales sobre salud del suelo, agroecología, servicios ecosistémicos, economía ecológica y educación ambiental agrícola publicados entre 1997 y 2026. La muestra intencional incluyó 30 documentos seleccionados por pertinencia temática, disponibilidad de DOI o URL, actualidad y aporte regional o global. Se emplearon análisis documental, matriz de extracción y comparación temática, con instrumentos validados mediante revisión de congruencia interna y confiabilidad asegurada por doble lectura y trazabilidad de citas. **Resultados:** Se identificaron cinco núcleos de integración: 1) salud del suelo como capital natural crítico; 2) agricultura sostenible como rediseño ecológico-productivo; 3) economía ecológica como marco de valoración plural; 4) agroecología como interfaz técnico-social; y 5) educación ambiental como mecanismo de aprendizaje situado. **Conclusiones:** La agronomía contemporánea requiere superar la visión productivista del suelo, incorporar indicadores biofísicos y sociales, y fortalecer procesos educativos participativos para orientar transiciones agrícolas resilientes, equitativas y ecológicamente viables.

Abstract

Context: Soil degradation, productive pressure on agroecosystems, and deficient environmental education create significant tensions between productivity, conservation, and rural equity, highlighting the need for integrative approaches in contemporary agronomy. **Objective:** to analyze the integration of soils, agricultural development, and environmental education through integrated ecological economics approaches in contemporary agronomy. **Methods:** this qualitative study employed an integrative review design with a descriptive-analytical scope. The data source comprised scientific publications, technical reports, and institutional documents published between 1997 and 2026. A purposive sample of 30 documents was selected based on thematic relevance, DOI/URL availability, and regional or global

impact. Analysis utilized documentary techniques and thematic comparison, ensuring reliability through double-reading and citation traceability. **Results:** five integration cores were identified: 1) soil health as critical natural capital; 2) sustainable agriculture as ecological-productive redesign; 3) ecological economics as a pluralistic valuation framework; 4) agroecology as a socio-technical interface; and 5) environmental education as a mechanism for situated learning. **Conclusion:** contemporary agronomy must move beyond productivist soil perspectives by incorporating biophysical and social indicators and strengthening participatory educational processes to guide resilient, equitable, and ecologically viable agricultural transitions.

Introducción

El suelo constituye una infraestructura viva para la producción de alimentos, la regulación hidrológica, el reciclaje de nutrientes, la conservación de la biodiversidad y la estabilidad climática. Sin embargo, los informes globales sobre recursos edáficos han advertido que la erosión, la pérdida de materia orgánica, la compactación, la salinización, la contaminación y el sellado afectan de forma creciente la capacidad de los suelos para sostener funciones ecológicas y productivas [(1)]. Esta problemática no corresponde únicamente a una dimensión biofísica, debido a que la degradación de tierras también compromete medios de vida rurales, seguridad alimentaria, gobernanza territorial y justicia ambiental, tal como ha sido señalado por evaluaciones intergubernamentales sobre degradación y restauración [(2)]. En consecuencia, el estudio del suelo en la agronomía contemporánea exige una aproximación integrada que reconozca la interdependencia entre procesos ecológicos, prácticas agrícolas, decisiones económicas y aprendizajes sociales.

Desde una perspectiva climática y agroalimentaria, el carbono orgánico del suelo ha sido identificado como un componente estratégico para mitigar emisiones, mejorar la fertilidad y fortalecer la seguridad alimentaria, dado que su pérdida reduce la productividad y su recuperación aumenta la resiliencia de los sistemas productivos [(3)]. La literatura reciente ha precisado que los conceptos de calidad y salud del suelo no pueden limitarse a propiedades químicas aisladas, sino que deben integrar atributos físicos, biológicos, funcionales y de manejo [(4)]. En esa línea, la salud del suelo se entiende como la capacidad del sistema edáfico para funcionar como entidad viva que sostiene productividad, biodiversidad y servicios ecosistémicos bajo condiciones de cambio ambiental [(5)]. Esta comprensión resulta particularmente relevante en contextos donde la intensificación agrícola ha incrementado la dependencia de fertilizantes, plaguicidas, riego presurizado y simplificación de paisajes productivos, con efectos diferenciados sobre suelos, agua, biodiversidad y comunidades rurales [(6)].

La primera perspectiva geográfica procede de la discusión global sobre intensificación y sostenibilidad agrícola. Los estudios comparativos han mostrado que los sistemas convencionales pueden elevar rendimientos en el corto plazo, pero también generar costos ambientales acumulativos cuando se reducen la cobertura vegetal, la diversidad funcional y la reposición de materia orgánica [(7)]. Las propuestas de sostenibilidad agrícola han señalado que la productividad debe evaluarse junto con eficiencia ecológica, equidad social y capacidad de recuperación de los agroecosistemas (8). Además, las evaluaciones de rediseño de sistemas agrícolas han encontrado que las transiciones sostenibles requieren cambiar prácticas, arreglos institucionales y criterios de medición del éxito productivo [(9)]. La intensificación ecológica, por su parte, propone sustituir dependencia de insumos externos por funciones ecológicas, de modo que la fertilidad, el control biológico y la regulación hídrica sean producidos por la biodiversidad y el manejo agroecosistémico [(10)].

La segunda perspectiva se ubica en América Latina, donde la agroecología ha sido defendida como respuesta científica, práctica y política frente a la vulnerabilidad de agricultores familiares, comunidades campesinas y territorios sometidos a marginalidad ecológica o económica. Altieri [(11)] planteó que la agroecología permite gestionar recursos naturales en ambientes marginales mediante diversidad, sinergias

biológicas y conocimiento local. Wezel et al. [12], precisaron que la agroecología opera simultáneamente como ciencia, movimiento y práctica, lo cual amplía su alcance más allá de una técnica agronómica específica. Los diez elementos propuestos por la FAO también ubican la diversidad, la co-creación de conocimiento, la eficiencia, el reciclaje, la resiliencia, los valores humanos y la gobernanza responsable como condiciones de una transición agroecológica [13]. En este contexto, la economía ecológica aporta una mirada indispensable porque desplaza la evaluación desde la rentabilidad privada hacia la valoración de servicios ecosistémicos, costos ambientales y bienestar social.

La tercera perspectiva proviene de la economía ecológica y de los debates sobre capital natural. La valoración de servicios ecosistémicos permitió visibilizar que los ecosistemas sostienen beneficios fundamentales para las sociedades y que su pérdida implica costos no capturados por los mercados [14]. Actualizaciones posteriores mostraron cambios sustantivos en el valor global de los servicios ecosistémicos asociados a transformaciones de uso del suelo, lo cual evidencia que las decisiones territoriales tienen consecuencias económicas y ecológicas simultáneas [15]. Farber et al. [16] sostuvieron que la valoración debe integrar conceptos ecológicos y económicos para orientar decisiones sobre ecosistemas complejos. En el caso del suelo, Dominati et al. [17] propusieron clasificar y cuantificar el capital natural edáfico y sus servicios, mientras que Robinson et al. [18] defendieron que la ciencia del suelo adopte un enfoque ecosistémico para comprender el cambio edáfico y sus implicaciones sociales.

La perspectiva educativa completa el marco, porque la transformación agronómica requiere modificar prácticas, capacidades y criterios de decisión. La agricultura orgánica ha mostrado beneficios sobre fertilidad y biodiversidad [19], y la diversificación puede reducir brechas de rendimiento frente a sistemas convencionales [20]. Además, la resiliencia ecológica se vincula con la salud del suelo [21], por lo que la sostenibilidad exige aprendizaje adaptativo. La educación agroecológica ha promovido experiencias de campo, investigación participativa y relación aula-territorio [22], mientras la agroecología transdisciplinaria conecta educación ambiental con innovación social orientada a la acción [23].

En América Latina, las discusiones sobre agroecología, educación ambiental y desarrollo rural han destacado la coevolución entre sociedades y ecosistemas. La transformación de los sistemas alimentarios hacia modelos más justos y sostenibles requiere pasar de transiciones técnicas aisladas a dominios de transformación cultural, política, económica y educativa [24]. La educación para el desarrollo sostenible ha sido asumida por UNESCO como un proceso que desarrolla competencias para actuar ante problemas socioecológicos complejos [25].

En Venezuela, un programa de educación ambiental dirigido a agricultores de una microcuenca incorporó contenidos sobre agua, suelo, agroecosistema y prácticas sustentables mediante materiales validados por expertos [26]. En México, la agroecología fue presentada como una vía para equilibrar sistemas naturales y sociales, incorporando coevolución, complejidad y bienestar humano [27]. En Ecuador, un estudio comparó sistemas agroecológicos, orgánicos y convencionales, y encontró que la agroecología mostró mejor desempeño integral frente al cambio climático y menor huella de carbono que el sistema convencional [28]. Estos antecedentes indican pertinencia científica y territorial, pues articulan suelo, producción y educación en escenarios de vulnerabilidad climática rural.

La problemática de investigación se definió como la insuficiente integración entre conocimiento edafológico, planificación agrícola, economía ecológica y educación ambiental en los modelos agronómicos dominantes. Aunque existe evidencia sobre salud del suelo, agroecología, servicios ecosistémicos y educación para la sostenibilidad, estos campos suelen abordarse de forma fragmentada. Esta separación limita el diseño de estrategias productivas, ecológicamente viables y socialmente apropiadas. El objetivo general consistió en analizar la integración entre suelos, desarrollo agrícola y educación ambiental desde la economía ecológica en la agronomía contemporánea. Específicamente, se buscó identificar aportes conceptuales, organizar evidencias, examinar el papel educativo y proponer criterios de articulación para la investigación agronómica.

La relevancia del estudio radica en ofrecer una síntesis útil para estudios empíricos, extensión rural, diseños curriculares y políticas de manejo sostenible del suelo. Su justificación científica se apoya en superar enfoques disciplinares fragmentados e incorporar criterios biofísicos, económicos, sociales y pedagógicos. Su justificación práctica se fundamenta en que la degradación reduce productividad, eleva costos de restauración y debilita la resiliencia rural, mientras la educación ambiental facilita cambios de manejo cuando se vincula con problemas concretos y conocimiento local.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo documental y con diseño de revisión integradora, debido a que su propósito fue analizar, comparar y sintetizar conocimientos científicos e institucionales sobre suelos, desarrollo agrícola, educación ambiental y economía ecológica. Esta metodología se justificó por la naturaleza interdisciplinaria del problema, ya que permitió reunir investigaciones empíricas, revisiones teóricas, informes técnicos y marcos internacionales que no comparten un único método de medición, pero sí aportan evidencia relevante para comprender la transición agronómica hacia modelos sostenibles. El alcance fue descriptivo-analítico, dado que se identificaron categorías conceptuales y se interpretaron relaciones entre ellas sin manipular variables.

En lo referente a la población documental estuvo constituida por artículos científicos, capítulos o informes institucionales, evaluaciones intergubernamentales y documentos de organismos internacionales publicados entre 1997 y 2026, relacionados con salud del suelo, degradación de tierras, servicios ecosistémicos, economía ecológica, agroecología, agricultura sostenible, cambio climático y educación ambiental. Para localizar y verificar los documentos se consultaron SciELO, Crossref, Google Scholar, DOAJ y portales editoriales o repositorios de acceso directo asociados a ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, MDPI, Nature, Royal Society, Frontiers, Taylor & Francis, FAO, UNESCO, IPBES e IPCC. Asimismo, se incluyeron publicaciones en español e inglés, debido a que el objeto de estudio exigía integrar debates globales y experiencias latinoamericanas.

La muestra fue no probabilística e intencional, conformada por 30 documentos seleccionados por pertinencia temática, disponibilidad verificable mediante DOI o URL, reconocimiento académico o institucional, aporte regional y relación directa con los objetivos del estudio. Este tipo de muestra se justificó porque la revisión no buscó estimar frecuencias bibliométricas del universo total, sino organizar evidencia clave para construir una interpretación integradora.

Las técnicas de investigación fueron análisis documental, lectura crítica, extracción temática y comparación de hallazgos. Los instrumentos utilizados correspondieron a una ficha bibliográfica, una guía de análisis y una matriz de síntesis. La ficha bibliográfica registró autoría, año, título, revista u organismo, DOI o URL y tipo de documento. La guía de análisis ordenó preguntas sobre función del suelo, tipo de sistema agrícola, enfoque económico, estrategia educativa, escala geográfica, contribución principal y limitaciones señaladas. La matriz de síntesis agrupó los documentos en cinco categorías: salud del suelo y servicios ecosistémicos, desarrollo agrícola sostenible, economía ecológica y valoración, agroecología y resiliencia, y educación ambiental agronómica.

La validación de los instrumentos se realizó mediante revisión de congruencia interna entre objetivo, categorías, indicadores y fuentes. Se verificó que cada categoría estuviera representada por documentos con respaldo académico o institucional y que cada cita incorporada al manuscrito correspondiera a una fuente incluida en la lista de referencias. La confiabilidad se fortaleció mediante doble lectura de los documentos centrales, triangulación entre artículos revisados por pares e informes técnicos, y trazabilidad de las afirmaciones mediante numeración Vancouver. También se aplicó un control de consistencia para evitar referencias duplicadas, fuentes no verificables o citas no utilizadas en el cuerpo del texto.

El proceso de análisis se ejecutó en cinco etapas replicables. En la primera se definieron descriptores de búsqueda en español e inglés: suelo, salud del suelo, servicios ecosistémicos, economía ecológica, agroecología, desarrollo agrícola, educación ambiental, agricultura sostenible y cambio climático; asimismo, se combinaron equivalentes como soil health, ecosystem services, ecological economics, agroecology, sustainable agriculture y environmental education. En la segunda se revisaron las bases, índices y repositorios indicados, y se contrastaron los metadatos mediante DOI, página editorial o URL institucional.

En la tercera se depuraron los documentos con criterios de inclusión claramente definidos: relación directa con el título y los objetivos; publicación entre 1997 y 2026; disponibilidad de texto completo, resumen estructurado o metadatos verificables; correspondencia con agronomía, sostenibilidad, economía ecológica, agroecología o educación ambiental; presencia de evidencia empírica, revisión científica, marco conceptual reconocido o informe institucional de alta pertinencia; y aporte explícito al menos a una categoría analítica.

Por otro lado, se excluyeron duplicados, textos sin autoría institucional o académica identificable, documentos sin DOI ni URL verificable, opiniones no académicas, notas divulgativas sin soporte metodológico, fuentes sin relación explícita con suelos o educación ambiental, registros con acceso insuficiente a datos bibliográficos y publicaciones cuyo contenido no aportaba a la integración entre suelo, desarrollo agrícola y formación ambiental. En la cuarta etapa se extrajeron conceptos, resultados y recomendaciones en una matriz comparativa. En la quinta se integró la información mediante análisis temático, identificando convergencias, tensiones y vacíos para formular resultados y discusión.

En cuanto a las consideraciones éticas del estudio, no se realizaron experimentos con seres humanos, animales ni muestras biológicas, por lo que no se requirió consentimiento informado ni aprobación de comité de ética. No obstante, se aplicaron criterios de integridad académica mediante citación de todas las fuentes utilizadas y referencia exclusiva a documentos reales y verificables. La redacción se efectuó en tercera persona, con uso de pasado para describir el procedimiento metodológico y de presente interpretativo para exponer relaciones conceptuales vigentes.

Resultados

Los resultados se organizaron a partir de 30 documentos que relacionaron suelo, desarrollo agrícola, economía ecológica, agroecología y educación ambiental. La síntesis mostró que el suelo dejó de entenderse solo como soporte físico y pasó a interpretarse como capital natural vivo, generador de servicios ecosistémicos y espacio de aprendizaje socioambiental. Para reforzar la trazabilidad metodológica, cada tabla incorporó un renglón de sustento autoral vinculado con la muestra documental.

Salud del suelo como base del desarrollo agrícola sostenible

La primera categoría mostró que la salud del suelo articula producción, conservación y bienestar rural. La degradación edáfica presentó causas acumulativas y efectos sistémicos, mientras los estudios científicos enfatizaron indicadores físicos, químicos y biológicos. La materia orgánica, la estructura, la biodiversidad microbiana, la infiltración y el almacenamiento de carbono emergieron como dimensiones prioritarias.

Tabla 1. Funciones del suelo y aportes al desarrollo agrícola sostenible.

Función del suelo	Aporte agronómico	Riesgo por degradación	Criterio de manejo integrado
Producción de biomasa	Sostiene rendimiento y nutrición vegetal	Pérdida de fertilidad y dependencia de insumos	Rotaciones, abonos orgánicos y balance nutricional

Función del suelo	Aporte agronómico	Riesgo por degradación	Criterio de manejo integrado
Regulación hídrica	Favorece infiltración, almacenamiento y disponibilidad de agua	Escorrentía, erosión y estrés hídrico	Cobertura permanente, terrazas y manejo de cuencas
Ciclo de nutrientes	Mantiene disponibilidad de nitrógeno, fósforo y micronutrientes	Lixiviación, acidificación y desequilibrios químicos	Reciclaje de residuos, compostaje y cultivos de cobertura
Hábitat biológico	Conserva microorganismos y fauna edáfica funcional	Reducción de biodiversidad y menor resiliencia	Diversificación, reducción de disturbio y manejo orgánico
Regulación climática	Secuestra carbono y reduce emisiones netas	Liberación de carbono y pérdida de materia orgánica	Labranza reducida, agroforestería y restauración
Estudios / Autores	FAO [1], Lal [3] y Bünemann et al. [4]	Lehmann et al. [5] y Stavi et al. [7]	Lal [3] y Lehmann et al. [5]

En cuanto a las funciones del suelo reforzadas mediante prácticas integradas, la Tabla 1 evidencia que la fertilización química aislada resulta insuficiente para mantener funciones. En cambio, la salud del suelo permite evaluar efectos simultáneos sobre erosión, infiltración, materia orgánica y productividad futura.

Desarrollo agrícola, intensificación ecológica y rediseño productivo

La segunda categoría mostró que el desarrollo agrícola sostenible no puede reducirse al aumento de rendimiento. El desafío consiste en producir alimentos sin deteriorar el capital natural. La intensificación ecológica y el rediseño de sistemas aparecieron como enfoques convergentes orientados a eficiencia ecológica, diversidad funcional y reducción de externalidades.

Tabla 2. Comparación de enfoques productivos en relación con el suelo.

Enfoque agrícola	Lógica predominante	Relación con el suelo	Riesgo principal	Potencial de transición
Convencional intensivo	Rendimiento e insumos externos	Suelo como soporte y medio de fertilización	Degradación acumulativa, contaminación y simplificación	Mejora mediante agricultura de conservación y manejo racional
Orgánico	Sustitución de insumos sintéticos y regulación certificada	Suelo como base de fertilidad biológica	Brechas de rendimiento si no existe diversificación	Alto si integra rotaciones, compost y biodiversidad
Agroecológico	Rediseño de agroecosistemas y conocimiento local	Suelo como sistema vivo y capital natural	Escalamiento institucional limitado	Muy alto por co-creación, resiliencia y adaptación territorial
Integrado o de conservación	Reducción de disturbio y manejo combinado	Suelo como recurso funcional que debe protegerse	Adopción parcial sin cambio sistémico	Alto cuando articula cobertura, rotación y educación
Estudios / Autores	Kopittke et al. [6] y Pretty [8]	Stavi et al. [7] y Tittonell [10]	Mäder et al. [19] y Ponisio et al. [20]	Pretty et al. [9] y HLPE [29]

Según detalla la Tabla 2, cada enfoque agrícola valora distinto el suelo. Mientras el modelo convencional tiende a considerarlo medio técnico de producción, los enfoques orgánico, agroecológico e integrado lo interpretan como sistema funcional. El resultado más relevante fue que las prácticas sostenibles dependen de arreglos coherentes entre diversidad, nutrientes, cobertura, participación y aprendizaje.

Economía ecológica y valoración de servicios ecosistémicos del suelo

La tercera categoría evidenció que la economía ecológica ofrece herramientas para superar la invisibilidad económica de las funciones edáficas. Los servicios de regulación, soporte y provisión suelen quedar fuera de la rentabilidad agrícola, aunque su deterioro produce costos públicos y privados. La valoración ecológica reconoció dependencia biofísica, límites y responsabilidades intergeneracionales.

Tabla 3. Servicios ecosistémicos del suelo desde la economía ecológica.

Tipo de servicio	Ejemplo edáfico	Valor agronómico	Valor social y ecológico	Indicador posible
Provisión	Nutrientes y soporte para cultivos	Rendimiento y estabilidad productiva	Seguridad alimentaria local	Productividad ajustada por conservación
Regulación	Secuestro de carbono y control de erosión	Menor pérdida de fertilidad	Mitigación climática y protección de cuencas	Carbono orgánico, tasa de erosión
Soporte	Hábitat para biota del suelo	Ciclo de nutrientes y estructura	Biodiversidad funcional	Biomasa microbiana, lombrices, respiración
Cultural-educativo	Aprendizaje sobre agroecosistemas	Innovación y adopción de prácticas	Identidad territorial y participación	Talleres, parcelas demostrativas, cambios de práctica
Resiliencia	Capacidad de recuperación ante sequía o disturbio	Continuidad productiva	Reducción de vulnerabilidad rural	Infiltración, cobertura, diversidad de cultivos
Estudios / Autores	Costanza et al. [14,15]	Farber et al. [16] y Dominati et al. [17]	Robinson et al. [18] y Davis et al. [21]	IPCC [30]

La Tabla 3 sintetiza que la economía ecológica amplía la evaluación agrícola al incorporar dimensiones biofísicas y sociales. Un hallazgo central fue que la valoración del suelo debe ser plural: monetaria para visibilizar costos, biofísica para medir límites y participativa para involucrar actores locales. Por ello, ayuda a evaluar desempeño agrícola sin separar producción de conservación.

Educación ambiental agronómica y aprendizaje situado

La cuarta categoría mostró que la educación ambiental constituye un mecanismo de transición. La adopción de prácticas sostenibles depende de capacidades, valores, información contextualizada y experiencias demostrativas. El aprendizaje experiencial y la investigación participativa fortalecen el vínculo entre conocimiento científico, saber local y práctica agrícola.

Tabla 4. Componentes educativos para integrar suelo y sostenibilidad agrícola.

Componente educativo	Propósito	Estrategia didáctica	Resultado esperado
Diagnóstico participativo	Reconocer problemas locales del suelo y agua	Mapas de finca, recorridos y entrevistas	Priorización compartida de problemas
Alfabetización edáfica	Comprender funciones del suelo vivo	Pruebas simples de infiltración, textura y materia orgánica	Mayor comprensión de procesos ecológicos
Parcelas demostrativas	Comparar prácticas agrícolas	Ensayos con cobertura, compost y rotación	Evidencia práctica para adopción gradual
Co-creación de conocimiento	Integrar saber científico y campesino	Escuelas de campo, diálogo de saberes	Innovaciones ajustadas al territorio
Evaluación reflexiva	Medir cambios técnicos y actitudinales	Matrices antes-después y seguimiento	Aprendizaje continuo y mejora de prácticas
Estudios / Autores	Francis et al. [22] y Méndez et al. [23]	UNESCO [25] y Ochoa Ledezma et al. [26]	Gutiérrez Cedillo et al. [27]

Los resultados que expuestos en la Tabla 4 demuestran que la educación ambiental orientada al suelo debe ser práctica, situada y participativa. No basta transmitir información sobre degradación, porque los agricultores enfrentan restricciones de agua, crédito, tierra, asistencia técnica y mercados. Por ello, los programas pertinentes parten de problemas reconocidos por la comunidad y ofrecen alternativas viables.

Síntesis integradora para la agronomía contemporánea

La quinta categoría integró los hallazgos en un esquema de articulación. La agronomía contemporánea necesita conectar diagnóstico edáfico, diseño productivo, valoración ecológica y formación ambiental, ubicando la salud del suelo como eje del desarrollo agrícola sostenible.

Tabla 5. Matriz integrada de enfoques para investigación y acción agronómica.

Eje integrador	Pregunta orientadora	Aporte de la economía ecológica	Aporte de la educación ambiental	Aplicación agronómica
Salud del suelo	¿Qué funciones edáficas se mantienen o deterioran?	Reconoce capital natural y límites biofísicos	Desarrolla alfabetización edáfica	Monitoreo de materia orgánica, erosión y biota
Desarrollo agrícola	¿Cómo producir sin degradar la base ecológica?	Evalúa externalidades y beneficios no mercantiles	Facilita adopción consciente	Rediseño de rotaciones, cobertura y diversificación
Agroecología	¿Cómo integrar ciencia, práctica y movimiento social?	Valora diversidad, resiliencia y equidad	Promueve co-creación de conocimiento	Escuelas de campo y parcelas agroecológicas
Gobernanza territorial	¿Quién decide sobre manejo del suelo?	Analiza distribución de costos y beneficios	Fortalece participación comunitaria	Planes locales de conservación y restauración
Evaluación de sostenibilidad	¿Qué indicadores expresan bienestar ecológico y social?	Combina medidas monetarias y biofísicas	Incorpora evaluación reflexiva	Indicadores integrados de productividad-resiliencia
Estudios / Autores	Bünemann et al. [4], Lehmann et al. [5] y Altieri [11]	Costanza et al. [14,15], Dominati et al. [17] y Robinson et al. [18]	Francis et al. [22], Méndez et al. [23] y UNESCO [25]	FAO [13], Anderson et al. [24], Chávez-Caiza y Burbano-Rodríguez [28]

En general, la Tabla 5 presenta un resultado principal: integrar suelos, desarrollo agrícola y educación ambiental requiere una arquitectura conceptual que vincule capital natural, aprendizaje social y rediseño agroecosistémico. La economía ecológica reconoce límites y valores invisibilizados; la agroecología ofrece diversificación y co-creación; la educación ambiental genera capacidades para sostener cambios territoriales.

Discusión

Los hallazgos confirman que la salud del suelo debe ser interpretada como una condición estructural del desarrollo agrícola y no como una variable secundaria de manejo. Esta interpretación coincide con Bünemann et al. [4], quienes advirtieron que la calidad del suelo no puede evaluarse mediante un indicador único, porque depende de funciones múltiples y del contexto de uso. También se relaciona con la propuesta de Lehmann et al. [5], para quienes la salud del suelo expresa la capacidad de un sistema vivo para sostener funciones ecológicas bajo presión ambiental. La convergencia entre ambos estudios permite afirmar que una agronomía

centrada exclusivamente en rendimiento resulta incompleta, debido a que puede ocultar procesos de degradación que reducen productividad futura y resiliencia territorial.

La comparación de enfoques productivos mostró que la intensificación convencional presenta limitaciones cuando mantiene dependencia de insumos externos y simplificación ecológica. Este resultado se corresponde con Kopittke et al. [6], quienes describieron la tensión entre intensificación agrícola y seguridad alimentaria global, especialmente por la presión sobre recursos edáficos. Sin embargo, la discusión no debe reducirse a una oposición entre tecnología y ecología. Pretty [8] propuso que la sostenibilidad agrícola combina principios de eficiencia, resiliencia y equidad, mientras que Pretty et al. [9] demostraron que el rediseño de sistemas puede generar mejoras productivas y ambientales cuando se reorganizan prácticas y arreglos institucionales. Por tanto, el problema no radica en la innovación técnica en sí, sino en su orientación, sus indicadores de éxito y sus efectos acumulativos sobre el capital natural.

La agroecología apareció como enfoque de integración porque vincula biodiversidad, conocimiento local, justicia social y manejo ecológico del suelo. Por su parte, Altieri [11] sostuvo que la agroecología posee especial pertinencia para agricultores en ambientes marginales, al permitir estrategias basadas en diversidad y sinergias ecológicas. Complementariamente, Wezel et al. [12] ampliaron esta comprensión al definirla como ciencia, movimiento y práctica, lo cual ayuda a explicar por qué sus aportes no son únicamente agronómicos, sino también educativos y políticos. La revisión coincide con estos planteamientos, debido a que los resultados mostraron que la agroecología permite articular prácticas de suelo con participación, aprendizaje y transformación territorial. No obstante, también se reconoce que su escalamiento exige políticas públicas, mercados adecuados, asistencia técnica y marcos educativos consistentes.

La economía ecológica proporcionó una base crítica para cuestionar la rentabilidad agrícola entendida de forma estrecha. Las contribuciones de Costanza et al. [14,15] sobre servicios ecosistémicos hicieron visible que la naturaleza sostiene beneficios que no siempre son reconocidos por los mercados. Farber et al. [16] añadieron que la valoración debe integrar conceptos ecológicos y económicos para apoyar decisiones sobre ecosistemas complejos [16].

En el caso del suelo, Dominati, et al. [17] ofrecieron una vía específica para clasificar capital natural edáfico y servicios del suelo. Los resultados del presente análisis concuerdan con estas propuestas, ya que muestran que la pérdida de materia orgánica, biodiversidad o regulación hídrica no representa solo un problema técnico, sino una pérdida de patrimonio ecológico y económico. La principal implicación es que las evaluaciones agronómicas deberían incorporar indicadores de servicios ecosistémicos junto con indicadores de rendimiento y rentabilidad.

Los estudios sobre agricultura orgánica, diversificación y resiliencia respaldan la necesidad de rediseñar prácticas. Mäder et al. [19] encontraron mejoras en fertilidad y biodiversidad bajo agricultura orgánica, mientras que Ponisio et al. [20] mostraron que las prácticas de diversificación pueden reducir la brecha de rendimiento entre sistemas orgánicos y convencionales. Davis et al. [21] reforzaron la relación entre salud del suelo y resiliencia ecológica.

Estas evidencias son coherentes con los resultados obtenidos, porque las tablas de síntesis muestran que cobertura, rotaciones, reciclaje de nutrientes y reducción de disturbio generan beneficios simultáneos. Sin embargo, la discusión debe reconocer que las prácticas sostenibles no siempre son adoptadas de forma inmediata, pues pueden requerir inversión inicial, aprendizaje, acceso a biomasa, mercados diferenciados y acompañamiento técnico.

La educación ambiental resultó un componente decisivo para que la sostenibilidad deje de ser declaración normativa y se convierta en práctica. Francis et al. [22] defendieron el aprendizaje experiencial en agroecología como vía para formar profesionales capaces de comprender sistemas agrícolas complejos. Méndez et al. [23] propusieron una agroecología transdisciplinaria, participativa y orientada a la acción. Estos aportes coinciden

con la experiencia venezolana de Ochoa Ledezma, Pellegrini Blanco y Reyes Gil, donde un programa de educación ambiental para agricultores se construyó desde problemas concretos de agua, suelo y agroecosistema [26]. En conjunto, estas contribuciones muestran que la educación ambiental agronómica no debe limitarse a campañas informativas, sino que debe promover diagnóstico participativo, experimentación local, reflexión crítica y seguimiento de cambios de práctica.

La comparación regional también refuerza la pertinencia del enfoque integrado. Gutiérrez Cedillo, Aguilera Gómez y González Esquivel plantearon en México que la agroecología requiere comprender la coevolución entre sistemas naturales y sociales [27]. En Ecuador, Chávez-Caiza y Burbano-Rodríguez encontraron que el sistema agroecológico presentó mejor desempeño frente al cambio climático que los sistemas orgánico y convencional, con menor huella de carbono que el convencional [28].

A escala global, el HLPE vinculó los enfoques agroecológicos e innovadores con la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles [29], mientras el IPCC resaltó la relación entre manejo del suelo, mitigación, adaptación y seguridad alimentaria bajo cambio climático [30]. Estos estudios permiten contrastar escalas: mientras las perspectivas mexicana y ecuatoriana aportan evidencia regional, los marcos internacionales permiten ubicar el problema en la sostenibilidad alimentaria y climática. El presente análisis integra ambas dimensiones al sostener que la sostenibilidad agronómica requiere simultáneamente teoría, indicadores y educación situada.

En cuanto a las limitaciones del estudio se relacionan con su diseño documental. Al no realizar mediciones de campo, no fue posible estimar valores locales de carbono orgánico, biodiversidad edáfica, erosión o adopción de prácticas. La muestra intencional permitió seleccionar fuentes clave, pero no representa la totalidad de la literatura disponible ni sustituye una revisión sistemática con metaanálisis. Además, algunos documentos institucionales ofrecen marcos amplios que requieren adaptación a condiciones locales. Aun así, la revisión integradora resultó pertinente para ordenar un campo interdisciplinario y generar criterios de investigación aplicables a estudios posteriores.

En relación a las implicaciones prácticas, se sugiere que los programas agronómicos deberían incorporar monitoreo participativo de suelos, parcelas demostrativas, indicadores de servicios ecosistémicos y módulos de economía ecológica en la formación técnica. Para la extensión rural, el hallazgo central implica diseñar intervenciones que articulen diagnóstico del suelo, análisis de costos ambientales, prácticas agroecológicas y educación ambiental situada. Para la política pública, se recomienda reconocer la conservación del suelo como inversión en capital natural y bienestar rural, no como gasto accesorio. En el plano teórico, el estudio contribuye a unir economía ecológica, agroecología y educación ambiental en una matriz de análisis que puede orientar investigaciones empíricas sobre transiciones agrícolas.

Finalmente, el estudio señala que la agronomía contemporánea enfrentará sus principales desafíos no solo con más tecnología, sino con mejores formas de valorar, aprender y gobernar la relación entre suelo, producción y vida social.

Conclusiones

El análisis permitió establecer que la integración entre suelos, desarrollo agrícola y educación ambiental constituye una condición estratégica para renovar la agronomía contemporánea. El suelo se confirmó como un sistema vivo y capital natural crítico, cuya salud sostiene productividad, regulación hídrica, biodiversidad, secuestro de carbono y resiliencia territorial. Por ello, su manejo no debe limitarse a la reposición de nutrientes, sino incorporar indicadores funcionales, biológicos y sociales que permitan evaluar la sostenibilidad de las decisiones agrícolas.

La economía ecológica aportó un marco necesario para reconocer valores invisibilizados por los mercados y para comprender que la degradación edáfica implica pérdidas productivas, ecológicas y sociales. Esta perspectiva favorece evaluaciones plurales que integran servicios ecosistémicos, límites biofísicos, costos ambientales y justicia intergeneracional. La agroecología, a su vez, se mostró como puente entre ciencia, práctica y acción colectiva, debido a su capacidad para articular diversidad, co-creación de conocimiento, resiliencia y desarrollo rural.

La educación ambiental emergió como mecanismo de transición porque transforma información en capacidades, actitudes y prácticas contextualizadas. Los procesos educativos más pertinentes son aquellos que parten de problemas locales, promueven diagnóstico participativo, utilizan parcelas demostrativas y reconocen saberes campesinos junto con conocimiento científico. En consecuencia, la sostenibilidad agrícola requiere formación continua, participación comunitaria y seguimiento de cambios de manejo.

Como líneas de investigación futura se propone desarrollar estudios de campo que midan la relación entre educación ambiental, adopción de prácticas agroecológicas e indicadores de salud del suelo. También se recomienda evaluar modelos de valoración económica y biofísica de servicios edáficos en territorios agrícolas específicos, así como diseñar currículos agronómicos que integren economía ecológica, agroecología y monitoreo participativo del suelo.

Acerca de

Financiamiento: El autor declara que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Historia del artículo: Artículo recibido 12 de marzo 2026 | Aceptado 5 de mayo 2026 | Publicado 29 de mayo 2026.

Referencias

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Status of the world's soil resources: main report. Rome: FAO; 2015. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5199e
2. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. The IPBES assessment report on land degradation and restoration: summary for policymakers. Bonn: IPBES; 2018. https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/spm_3bi_ldr_digital.pdf
3. Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science. 2004;304(5677):1623-7. https://doi.org/10.1126/science.1097396
4. Bünemann EK, Bongiorno G, Bai Z, Creamer RE, De Deyn G, de Goede R, et al. Soil quality - A critical review. Soil Biol Biochem. 2018;120:105-25. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030
5. Lehmann J, Bossio DA, Kögel-Knabner I, Rillig MC. The concept and future prospects of soil health. Nat Rev Earth Environ. 2020;1:544-53. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8
6. Kopittke PM, Menzies NW, Wang P, McKenna BA, Lombi E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. Environ Int. 2019;132:105078. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078

7. Stavi I, Bel G, Zaady E. Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. Agron Sustain Dev. 2016;36:32. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0368-8

8. Pretty J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2008;363(1491):447-65. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163

9. Pretty J, Benton TG, Bharucha ZP, Dicks LV, Flora CB, Godfray HCJ, et al. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. Nat Sustain. 2018;1:441-6. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0

10. Tittonell P. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. Curr Opin Environ Sustain. 2014;8:53-61. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006

11. Altieri MA. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. Agric Ecosyst Environ. 2002;93(1-3):1-24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3

12. Wezel A, Bellon S, Doré T, Francis C, Vallod D, David C. Agroecology as a science, a movement and a practice. Agron Sustain Dev. 2009;29:503-15. https://doi.org/10.1051/agro/2009004

13. Food. The 10 elements of agroecology: guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. Rome: FAO; 2018. https://n9.cl/1fbfj3

14. Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature. 1997;387:253-60. https://doi.org/10.1038/387253a0

15. Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson SJ, Kubiszewski I, et al. Changes in the global value of ecosystem services. Glob Environ Change. 2014;26:152-8. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

16. Farber SC, Costanza R, Wilson MA. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. Ecol Econ. 2002;41(3):375-92. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00088-5

17. Dominati E, Patterson M, Mackay A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. Ecol Econ. 2010;69(9):1858-68. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002

18. Robinson DA, Hockley N, Cooper DM, Emmett BA, Keith AM, Lebron I, et al. Natural capital, ecosystem services, and soil change: why soil science must embrace an ecosystems approach. Vadose Zone J. 2014;13(1). https://doi.org/10.2136/vzj2011.0051

19. Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science. 2002;296(5573):1694-7. https://doi.org/10.1126/science.1071148

20. Ponisio LC, M'Gonigle LK, Mace KC, Palomino J, de Valpine P, Kremen C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. Proc R Soc B. 2015;282(1799):20141396. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396

21. Davis AG, Huggins DR, Reganold JP. Linking soil health and ecological resilience to achieve agricultural sustainability. Front Ecol Environ. 2023;21(3):131-9. https://doi.org/10.1002/fee.2594

22. Francis C, Lieblein G, Breland TA, Salomonsson L, Geber U, Sriskandarajah N, et al. Innovative education in agroecology: experiential learning for a sustainable agriculture. Crit Rev Plant Sci. 2011;30(1-2):226-37. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554497

23. Méndez VE, Bacon CM, Cohen R. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. Agroecol Sustain Food Syst. 2013;37(1):3-18. https://doi.org/10.1080/10440046.2012.736926

24. Anderson CR, Bruil J, Chappell MJ, Kiss C, Pimbert MP. From transition to domains of transformation: getting to sustainable and just food systems through agroecology. Sustainability. 2019;11(19):5272. https://doi.org/10.3390/su11195272

25. UNESCO. Education for sustainable development: a roadmap. Paris: UNESCO; 2020. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802

26. Ochoa Ledezma A, Pellegrini Blanco N, Reyes Gil R. Programa de Educación Ambiental: herramientas para la sustentabilidad agroambiental. Rev Investig. 2014;38(81). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142014000100009

27. Gutiérrez Cedillo JG, Aguilera Gómez LI, González Esquivel CE. Agroecología y sustentabilidad. Convergencia. 2008;15(46). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352008000100004

28. Chávez-Caiza JP, Burbano-Rodríguez RT. Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. Letras Verdes. 2021;(29):149-66. https://doi.org/10.17141/letrasverdes.29.2021.4751

29. High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. Rome: Committee on World Food Security; 2019. https://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf

30. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change and land: an IPCC special report. Geneva: IPCC; 2019. https://www.ipcc.ch/srccl/