

Análisis de la dinámica del uso del suelo de Boyacá, una revisión bibliográfica

Analysis of the land use dynamics in Boyacá, a literature review

Brayan Felipe García Burgos

Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás seccional Tunja

brayan.garcia@usantoto.edu.co

Resumen— Este artículo examina la dinámica del suelo en Boyacá, enfocándose en comprender los cambios en su uso a lo largo del tiempo y su impacto en la gestión sostenible del territorio. Se inicia con una introducción que destaca la importancia del suelo como recurso fundamental y los desafíos que enfrenta en la región. La metodología empleada incluye un análisis de la literatura y la revisión de diversos estudios sobre la dinámica del suelo en Boyacá. Se examinan los patrones, tendencias y discrepancias identificados, resaltando la conversión de áreas naturales en tierras agrícolas y urbanas, así como la presencia de elementos potencialmente peligrosos en suelos industriales. Se enfatizan contribuciones particulares, como la utilización del marco SEMWISE para evaluar la salud y calidad del suelo y el análisis de la contaminación por pesticidas en áreas agrícolas. Se analizan las implicaciones de estos descubrimientos para la gestión del suelo en Boyacá, enfatizando la necesidad de políticas y prácticas que fomenten la conservación del suelo y la reducción de la contaminación y la planificación territorial sostenible. Se ofrecen recomendaciones prácticas, como la participación comunitaria y el monitoreo continuo de las modificaciones en la cobertura del suelo, con el fin de mejorar la gestión y planificación del uso del suelo en la región. Este artículo brinda una visión integral de la dinámica del suelo en Boyacá y ofrece orientación valiosa para abordar los desafíos ambientales y estimular el desarrollo sostenible en la zona.

Palabras clave— *Dinámica del suelo, Boyacá, gestión sostenible.*

Abstract— This article examines the dynamics of land in Boyacá, focusing on understanding changes in its use over time and its impact on the sustainable management of the territory. It begins with an introduction that highlights the importance of soil as a fundamental resource and the challenges it faces in the region. The methodology used includes an analysis of the literature and the review of various studies on soil dynamics in Boyacá. The identified patterns, trends and discrepancies are examined, highlighting the conversion of natural areas into agricultural and urban lands, as well as the presence of potentially hazardous elements in industrial lands. Particular contributions are emphasized, such as the use of the SEMWISE framework to assess soil health and quality and the analysis of pesticide contamination in agricultural areas. The implications of these discoveries for soil management in Boyacá are analyzed, emphasizing the need for policies and practices that promote soil conservation and pollution reduction and sustainable territorial planning. Practical recommendations are offered, such as community participation and continuous monitoring of land cover changes, in order to improve land use planning and management in the region. This article provides a comprehensive view of soil dynamics in Boyacá and offers valuable guidance to address environmental challenges and stimulate sustainable development in the area.

Keywords— *Soil dynamics, Boyacá, sustainable management.*

I. Introducción:

La dinámica del uso del suelo en Boyacá, Colombia, es un tema de creciente interés debido a su importancia en la configuración del paisaje, la gestión ambiental y el desarrollo socioeconómico de la región [1] [2]. Boyacá, conocida por su diversidad geográfica que abarca desde llanuras hasta montañas, y su riqueza cultural, enfrenta desafíos significativos en la gestión de su territorio debido

a la interacción compleja entre factores naturales y antropogénicos [3] [4]. En este contexto, comprender cómo ha evolucionado y está evolucionando el uso del suelo en Boyacá es fundamental para promover un desarrollo sostenible y equitativo en la región [5] [6].

El presente estudio se propone realizar un análisis sistemático de la literatura existente sobre la dinámica del

uso del suelo en Boyacá, con un enfoque particular en dos temas cruciales para entender esta dinámica: la legalización de la tierra y el análisis de la reforma agraria en Colombia. Estos aspectos son fundamentales ya que la seguridad jurídica en la tenencia de la tierra y una distribución equitativa de la misma son elementos clave que influyen en la configuración del uso del suelo y en el fomento de la igualdad social en la región [7].

Uno de los principales propósitos de esta investigación es reconocer los tipos primordiales de uso del suelo en Boyacá y analizar cómo han variado a lo largo del tiempo, considerando especialmente el impacto de la legalización de la tierra y los procesos de reforma agraria en Colombia. Además, se propone examinar los factores socioeconómicos, políticos y ambientales que influyen en estos cambios, así como su impacto en la sostenibilidad ambiental, la garantía de alimentos y el confort de la población local.

La relevancia de este estudio radica en su potencial para informar políticas públicas y prácticas de planificación territorial que promuevan un desarrollo sostenible en Boyacá. Al compilar y analizar críticamente la literatura existente, este trabajo contribuirá a llenar brechas en el conocimiento y a identificar áreas de investigación prioritarias para abordar en el futuro. Asimismo, establecerá un fundamento sólido para la toma de decisiones fundamentadas y la ejecución de estrategias eficaces de gestión del territorio en la zona.

En resumen, este artículo tiene como objetivo mejorar la interpretación de la dinámica del uso del suelo en Boyacá mediante una revisión sistemática de la literatura, con un enfoque particular en la legalización de la tierra y el análisis de la reforma agraria en Colombia. Al explorar y analizar críticamente los estudios existentes, esperamos generar conocimientos que contribuyan a la gestión sostenible del territorio y al desarrollo equitativo en esta región colombiana única y diversa.

II. Metodología

a. Método empleado

La metodología utilizada para llevar a cabo la búsqueda de artículos para este artículo combinó métodos cualitativos y cuantitativos para garantizar una exhaustividad en la identificación de la literatura relevante. Esta combinación de enfoques permitió una búsqueda detallada y sistemática, teniendo en cuenta diversas variables como el año de publicación, las citas y la revista en la que fueron encontrados los artículos.

Para comenzar, se utilizaron diferentes buscadores y plataformas de investigación académica como ScienceDirect, Scopus, Scielo y documentos web, entre otros. Estas plataformas proporcionan acceso a una amplia

gama de literatura científica y académica, lo que garantiza la inclusión de una variedad de fuentes en la revisión.

El proceso de búsqueda se llevó a cabo mediante el uso de términos de búsqueda específicos relacionados con las temáticas de interés, que en este caso fueron la evolución de los suelos, la reforma agraria en Colombia y la legalización de la tierra. Estos términos fueron seleccionados cuidadosamente para asegurar la exactitud y pertinencia de los resultados obtenidos. Una vez identificados los artículos potencialmente relevantes, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para filtrar la información de acuerdo con los objetivos del estudio. Esto incluyendo, la limitación de la búsqueda a artículos publicados en un rango de años específico o enfocado en revistas académicas específicas.

Además, se realizó una revisión manual de las referencias empleadas en los artículos seleccionados para identificar cualquier otra fuente relevante que pudiera haber sido pasada por alto durante la búsqueda inicial. Este proceso, conocido como búsqueda de referencia cruzada, ayuda a garantizar que no se pierda ninguna información importante. Una vez recopilados todos los artículos relevantes, se procedió a analizar y sintetizar la información para identificar los hallazgos más destacados y relevantes en relación con las temáticas de interés. Este análisis puede haber implicado la extracción de datos cuantitativos, como estadísticas o cifras numéricas, así como la síntesis de datos cualitativos, como observaciones o conclusiones de los autores. A continuación, se puede visualizar de forma más precisa el desarrollo de la metodología utilizada para la obtención de los artículos a estudiar:

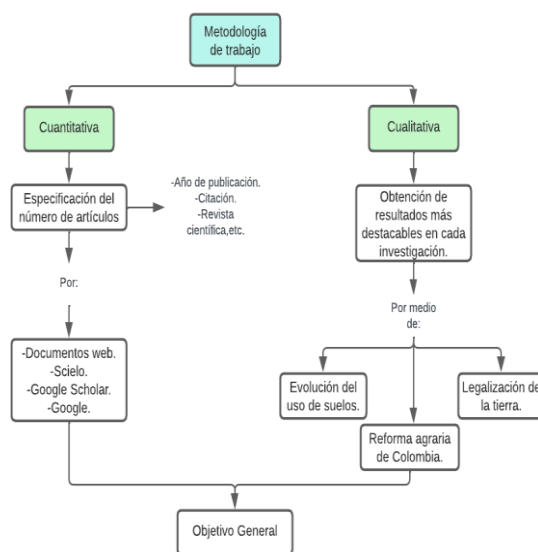


Fig. Metodología.
Fuente: Autor.

b. Hallazgo de artículos

Se han identificado un total de 23 artículos relevantes que abordan la investigación sobre la dinámica del uso del suelo. Estos artículos ofrecen una variedad de perspectivas y enfoques que están directamente relacionados con el objetivo general de este estudio. Para una mejor comprensión y organización de esta amplia gama de literatura, se presenta en la Tabla 1 un resumen de estos, incluyendo el título del artículo, el año de publicación y la revista donde fue publicado. Es relevante destacar que el intervalo de años considerado en este análisis se ha mantenido amplio, dada la naturaleza de la investigación sistemática en una región específica, lo que posibilita una exploración más exhaustiva de la información disponible.

Esta selección de artículos abarca una amplia gama de temas relacionados con la dinámica del uso del suelo en Boyacá, Colombia. Desde estudios que examinan la evolución histórica del uso del suelo hasta investigaciones más recientes que exploran las implicaciones ambientales y socioeconómicas de los cambios en el paisaje, esta diversidad de enfoques proporciona una visión integral de la situación en la región.

Tabla 1.
Artículos

Autor	Año	Revista
<i>C. Bronick y R. Lal</i>	2005	ScienceDirect
<i>A. Etter, C. Mcalpine, S. Phinn, K. A. Wilson y H</i>	2006	ResearchGate
<i>A. J. Fuentes, J. Arrue, R. Gracia y M. López</i>	2008	ScienceDirect
<i>D. L. Karlen, N. J. Goeser, K. S. Veum y M. A. Yost</i>	2017	Journal of Soil and Water Conservation
<i>A. Kicińska y K. Turek</i>	2017	AGH University of Science and Technology,
<i>A. Cachada, T. Rocha-Santos y A. C. Duarte</i>	2018	ScienceDirect

<i>O. Rinot, . G. J. Levy, . Y. Steinberger, T. Svoray y G. Eshel</i>	2019	ScienceDirect
<i>Pinzón Velásquez, A</i>	2019	Universidad de los Andes
<i>Amundson Ronald</i>	2020	ScienceDirect
<i>L. Castellanos-Mora y W. J. Agudelo-Hz</i>	2020	ResearchGate
<i>A. M. Wanumen-Mesa, R. López-Camacho, Rodríguez-Eraso</i>	2020	Universidad Nacional de Colombia
<i>J. D. Amaya Espinel, G. A. Perilla Suarez, S. Restrepo Calle y V. E. Guáqueta Solórzano</i>	2020	CLACSO
<i>C. N. L. Ruiz</i>	2021	Universidad Militar Nueva Granada.
<i>J. Bennett, S. Robertson, A. Ghahramani y D. McKezie</i>	2021	ScienceDirect
<i>J. A. Díaz Alarcón, P. M. Fonseca Alfonso, . I. Vergara Gómez, M. Díaz Lagos, D. Videira-Quintela y G. Montalvo</i>	2021	ScienceDirect
<i>E. C. Brevik, J. Hannam, M. Krzic, C. Muggler y Y. Uchida</i>	2022	ScienceDirect
<i>L. F. Herrera Martínez y J. Rey Díaz</i>	2023	UAN
<i>H. Hughes, . S. Koolen, M. Kuhnert, . E. Baggs, S. Maund, G. Mullier y J. Hillier</i>	2023	ScienceDirect

Nvarro, . R. Camacho, J. E. López y J. F. Saldarriaga	2024	ScienceDirect
H. L. Deel, J. M. Moore y D. K. Manter	2024	ScienceDirect
S. J. Evangelista., D. J. Field., A. B.		
McBratney., B. Minasny, W. Ng., J. Padarian, M. Román Dobarco y A. M.-. C. Wadoux	2024	ScienceDirect

Fuente: Autores.

La amplitud de temas y la diversidad de enfoques encontrados en estos artículos reflejan la complejidad de la dinámica del uso del suelo en Boyacá. Desde la conservación ambiental hasta la planificación del territorio y la gestión de los recursos naturales, estos estudios aportan de forma significativa a la toma de decisiones y al conocimiento científico en la región. Al analizar críticamente esta literatura, se espera identificar tendencias emergentes, áreas de investigación prioritarias y posibles brechas en el conocimiento que puedan orientar futuras investigaciones y políticas públicas en el ámbito del uso del suelo en Boyacá.

c. Análisis de resultados

Basándose en la información obtenida se puede decir que se encontró gran información, debido a que el primer artículo encontrado proporciona una visión completa sobre la estructura del suelo y las estrategias de gestión asociadas. Entre los hallazgos principales se destaca la relevancia de la estructura del suelo en la productividad agrícola, la infiltración de agua y la mitigación de la erosión. Se identifican patrones que demuestran la influencia de diversas prácticas de manejo del suelo en la formación y estabilidad de su estructura, destacando la importancia de la materia orgánica, la compactación y el microbiota del suelo en este proceso. Además, se observan tendencias emergentes en la implementación de prácticas de conservación del suelo, como el uso de técnicas de agricultura de conservación y la incorporación de enmiendas orgánicas para mejorar la estructura del suelo. Sin embargo, se evidencian discrepancias en cuanto a la efectividad de algunas estrategias de manejo del suelo en diferentes contextos edafoclimáticos, lo que subraya la importancia de tener en cuenta las condiciones locales y las

características específicas del suelo al diseñar programas de manejo y conservación del suelo. En resumen, el artículo proporciona una visión integral de los factores que impactan en la estructura del suelo y destaca la importancia de adoptar enfoques integrados y contextualizados para la gestión sostenible de este recurso crucial [8].

Por otro lado, el artículo "Patrones regionales de uso de suelo agrícola y deforestación en Colombia" revela tendencias preocupantes de cambio de uso del suelo, resaltando la expansión de zonas agrícolas y la deforestación en diversas áreas del país. Los hallazgos muestran patrones claros de conversión de tierras forestales a tierras de cultivo, especialmente en zonas de alta biodiversidad. Sin embargo, se observan diferencias en la intensidad y velocidad de la deforestación entre regiones, sugiriendo la influencia de factores socioeconómicos y políticos locales. Estos resultados subrayan la urgencia de implementar políticas efectivas de conservación y manejo del suelo para mitigar el impacto ambiental negativo en Colombia [9]. Igualmente, otro de los artículos hallados aborda aspectos similares al identificar cómo las prácticas agrícolas intensivas influyen en la estructura del suelo, destacando la importancia de considerar factores temporales y de control en condiciones semiáridas [10]. Asimismo, se destaca la investigación sobre mejoras en la evaluación visual de la estructura del suelo, resaltando la importancia de métodos precisos y fiables para caracterizar la organización del suelo. Estos progresos ofrecen una comprensión más amplia de los procesos que influyen en la estructura del suelo., permitiendo una evaluación más precisa de su salud y calidad. Adicionalmente, se resaltan técnicas innovadoras que facilitan la identificación de cambios en la estructura del suelo a lo largo del tiempo contribuyendo de manera significativa a la gestión sostenible de los recursos naturales y a la toma de decisiones en agricultura y conservación del suelo. [11].

De manera similar, se exploran los desafíos y oportunidades en las evaluaciones de salud del suelo en fincas, destacando la importancia de comprender la complejidad de los sistemas agrícolas y los elementos que afectan la salud del suelo. Estas evaluaciones ofrecen una visión práctica y contextualizada de la calidad del suelo, lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas para mejorar la gestión de sus tierras y promover la sostenibilidad a largo plazo en la agricultura [12]. Otro de los artículos aborda el establecimiento del fondo geoquímico de elementos presentes en el suelo y su utilidad en la evaluación de la contaminación del suelo. Se centra en la recolección de datos para establecer la concentración natural de elementos en el suelo, lo que constituye un punto de referencia esencial para identificar niveles anómalos relacionados con la contaminación. Esta metodología

permite una evaluación más precisa y confiable de la calidad del suelo y ayuda a identificar áreas que requieren medidas de mitigación y restauración para abordar eficazmente los problemas de contaminación del suelo [13].

En consonancia con esto, el capítulo 1, "Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues", proporciona una visión general de los principales problemas relacionados con la contaminación del suelo. Se destaca la necesidad de comprender la complejidad de las interacciones entre los contaminantes y el suelo, así como sus impactos en la salud humana y ambiental. Este análisis introductorio establece una base sólida para explorar en profundidad las diferentes fuentes de contaminación del suelo, los procesos de transporte y transformación de contaminantes, y las estrategias de mitigación y remediación. Además, resalta la importancia de abordar estos desafíos de manera integrada y colaborativa entre diferentes disciplinas científicas y sectores de la sociedad [14].

Siguiendo esta línea, otros autores examinaron críticamente la evaluación de la salud del suelo, resaltando las metodologías actuales y proponiendo un nuevo enfoque. Donde analizaron las técnicas existentes para evaluar la salud del suelo, identificando sus limitaciones y áreas de mejora. Además, se presentaron un enfoque innovador que integra múltiples indicadores de salud del suelo, incluyendo propiedades físicas, químicas y biológicas, para obtener una evaluación más completa y precisa. Este nuevo enfoque tiene el potencial de proporcionar información más esencial para la gestión sostenible del suelo y la toma de decisiones en agricultura y conservación [15]. Continuando con el análisis, examinaron el uso del análisis multiespectral de imágenes Sentinel-2 y Landsat para investigar los potenciales impactos de la actividad minera y las modificaciones en la cobertura del suelo en el Páramo de Pisba, ubicado en Boyacá (Colombia). Se destaca la importancia de estas técnicas para detectar cambios en el paisaje y valorar las repercusiones medioambientales de la actividad minera en ecosistemas delicados como los páramos. Los resultados proporcionan información valiosa sobre la pérdida de cobertura vegetal y la degradación del suelo, lo que puede contribuir a la formulación de políticas y medidas de gestión para mitigar los impactos negativos de la minería en esta importante región de Colombia [16].

Siguiendo con la revisión, se abordan los desafíos políticos para la gestión de los recursos globales de suelo. Se identifican barreras significativas que dificultan la implementación efectiva de políticas de conservación del suelo a nivel mundial, incluida la falta de coordinación entre diferentes actores y la escasez de recursos financieros

y tecnológicos. Además, se destacan las tensiones entre la necesidad de proteger los suelos y la presión para su explotación económica. Este análisis resalta la urgencia de promover un enfoque integrado y de colaboración entre la sociedad civil, gobiernos y organizaciones internacionales para enfrentar estos desafíos y garantizar la sostenibilidad de los recursos del suelo a largo plazo [17].

En este contexto, se investigan los patrones espaciales de modificación en la cobertura y uso del suelo con el objetivo de gestionar y conservar los páramos y bosques andinos en Boyacá, Colombia. Se resalta la importancia de desarrollar modelos predictivos que permitan identificar áreas vulnerables y priorizar acciones de conservación. Además, se enfatiza la necesidad de integrar el conocimiento científico con la participación de las comunidades locales y los encargados de la toma de decisiones para asegurar la eficacia de las estrategias de gestión del paisaje. Este enfoque integrado es fundamental para enfrentar los desafíos ambientales y sociales en esta región de alta biodiversidad [18].

En este contexto, se plantea la interrogante sobre si los paisajes agrícolas son dinámicos o estables, utilizando un estudio de caso en el Lago de Tota, en Boyacá, Colombia. Este análisis busca comprender la evolución de los paisajes agrícolas y sus transformaciones de la cobertura terrestre y la conservación de recursos naturales. Se subraya la importancia de evaluar la dinámica de estos paisajes para informar políticas y prácticas de manejo del territorio que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia en la agricultura y las áreas circundantes [19]. Del mismo modo, se exploró la influencia del sistema de cultivo de papa en transformaciones de la cobertura terrestre en Soracá, Colombia. Este análisis tiene como objetivo determinar cómo las prácticas agrícolas configuran el paisaje y la preservación de los activos ecológicos. Se subraya la importancia de comprender las relaciones entre las actividades agropecuarias y los sistemas ecológicos para desarrollar estrategias de gestión del paisaje que fomenten la sostenibilidad y la resistencia a largo plazo [20].

No obstante, en este estudio, realizaron un análisis multitemporal del cambio en la cobertura vegetal en el municipio de Miraflores (Boyacá) desde el año 2000 hasta el 2021. Se examinan las tendencias y patrones de cambio en la vegetación durante este período, utilizando datos satelitales y técnicas de teledetección. Se identifican las áreas de ganancia y pérdida de vegetación, así como los factores que podrían estar impulsando estos cambios, como la expansión urbana, la actividad agrícola o la deforestación. Este análisis ofrece una comprensión detallada de la dinámica del paisaje en Miraflores, resaltando la importancia de monitorear de manera continua los cambios en la cobertura vegetal para guiar las

políticas de conservación y gestión del territorio. Los hallazgos de este estudio pueden influir en la toma de decisiones fundamentadas para la administración prudente y a largo plazo de los activos ambientales de la zona [21].

Por otro parte, a través de la operacionalización de la seguridad del suelo mediante la utilidad de los datos, se destaca la importancia del mapeo digital del suelo, su evaluación y el retorno de inversión. En este sentido, se reconocen patrones evidentes que señalan la necesidad de adoptar un enfoque integral para enfrentar los desafíos vinculados con la seguridad del suelo. Además, se observan tendencias emergentes que resaltan la eficacia de la cartografía digital del suelo en el aprovechamiento de los recursos ambientales. Sin embargo, se detectan discrepancias en la implementación y el aprovechamiento de estos datos, subrayando la necesidad de una mayor integración y colaboración los diversos grupos de interés en torno al manejo del suelo [22]. Seguido a esto, otra de las investigaciones evaluó el potencial riesgo de lixiviación de pesticidas en suelos agrícolas, como se evidencia en el estudio de caso de Tibasosa, Boyacá, Colombia, se identifican patrones preocupantes. Se observa una tendencia al aumento del riesgo de contaminación por pesticidas en ciertas áreas, especialmente aquellas con intensa actividad agrícola. Estos hallazgos resaltan la necesidad de una gestión más rigurosa de los pesticidas y prácticas agrícolas sostenibles para mitigar el riesgo ambiental. Sin embargo, se detectan discrepancias en la aplicación de medidas de control y regulación, lo que subraya la urgencia de políticas más efectivas y monitoreo continuo para proteger la calidad del suelo y el agua en la región [23].

En cuanto al ámbito de la gobernanza internacional del suelo, se evidencian patrones que indican una creciente preocupación por la gestión sostenible de este recurso vital. Se observa una tendencia hacia una mayor colaboración entre países y organizaciones internacionales para abordar los desafíos relacionados con el deterioro de las propiedades edáficas y la producción de alimentos. Sin embargo, se identifican discrepancias en la implementación de políticas y la distribución de los recursos disponibles, lo que infiere la urgencia de una mayor coherencia y coordinación en la gobernanza del suelo a nivel global [24].

La educación sobre el suelo desempeña un rol crucial en mejorar la conectividad como una dimensión de la seguridad del suelo. Al generar un reconocimiento generalizado de la trascendencia que tiene el buen estado del recurso suelo para el bienestar y el desarrollo de la humanidad, la educación promueve una comprensión más profunda de las complejas interconexiones entre el suelo, el agua, el aire, las plantas, los animales y los seres

humanos. Empodera a individuos y comunidades para tomar decisiones informadas y adoptar prácticas sostenibles que promuevan la conservación y la resiliencia del suelo. Además, la educación sobre el suelo impulsa la articulación y trabajo conjunto entre las distintas partes involucradas, facilitando el desarrollo de enfoques integrados para la gestión del suelo. En última instancia, invertir en la educación del suelo es esencial para construir una sociedad más interconectada y resiliente que valore y proteja este precioso recurso natural para las generaciones futuras [25].

Además, el análisis multitemporal de las coberturas de la tierra en el municipio de Paz de Río, Boyacá, durante el periodo 1986-2023, muestra cambios significativos en el paisaje. Se observa un incremento en la transformación de ecosistemas naturales a usos antrópicos como tierras agrícolas y urbanas, lo que sugiere un proceso de urbanización y expansión agrícola. Estos hallazgos resaltan la contaminación sobre los recursos naturales y la necesidad de implementación de políticas de ordenamiento territorial que promuevan un desarrollo sostenible, al tiempo que garanticen la conservación de los recursos naturales y los ecosistemas. Además, enfatizan la importancia de monitorear constantemente las transformaciones en los patrones y las dinámicas de uso y ocupación del suelo para comprender mejor los procesos de transformación del paisaje y tomar decisiones informadas sobre su gestión y conservación [26]. Ahora bien, una evaluación de la salud del suelo factible para los agricultores y aplicable a nivel mundial, se destaca la necesidad de desarrollar herramientas prácticas y accesibles. Se busca crear un método que permita a los agricultores evaluar fácilmente la salud de sus suelos, utilizando indicadores simples pero significativos. Esto facilitaría la toma de decisiones basadas en la gestión sostenible del suelo y promovería prácticas agrícolas que mejoren la salud del suelo en diferentes contextos y regiones del mundo. La accesibilidad y la aplicabilidad global son fundamentales para garantizar la adopción generalizada de esta evaluación por parte de los agricultores [27].

La evaluación de elementos potencialmente peligrosos (PHEs) en suelos del corredor industrial de Boyacá (Colombia) mediante la integración de SIG, análisis estadístico multivariado e índices geoquímicos es crucial para comprender los riesgos ambientales. Este enfoque integral permite la identificación de áreas con concentraciones elevadas de PHE, facilitando esfuerzos de remediación específicos y medidas regulatorias para proteger la salud humana y el medio ambiente. Mediante la utilización de análisis espacial y técnicas estadísticas, se pueden discernir patrones de distribución de PHE,

revelando posibles fuentes y vías de contaminación. Además, la aplicación de índices geoquímicos permite evaluar la calidad del suelo y determinar riesgos potenciales para los ecosistemas. En general, esta metodología integrada proporciona información valiosa para la administración de los recursos naturales y la adopción de decisiones en áreas industrializadas [28].

SEMWISE, un marco nacional de puntuación de salud del suelo para sistemas agrícolas es una herramienta innovadora que evalúa múltiples indicadores de salud del suelo. Al combinar información sobre la organización y disposición de los componentes del suelo, erosión, contenido de materia orgánica, calidad del agua, niveles de nutrientes, aspectos biológicos y gestión. SEMWISE ofrece una evaluación completa de la salud del suelo. Este enfoque integral facilita la adopción de decisiones fundamentadas para mejorar la gestión agrícola y fomentar la sostenibilidad del suelo. Asimismo, SEMWISE promueve la adopción de prácticas agrícolas que conservan la fertilidad del suelo y la integridad del ecosistema, lo que contribuye al bienestar de los agricultores y fortalece la resiliencia de los sistemas de producción agropecuaria a nivel nacional [29]. Finalmente, el Capítulo Uno, "Soil Security: Estrategias para un Futuro Sostenible del Suelo", destaca la importancia crítica de garantizar la seguridad del suelo en aras del bienestar humano y la salud del ecosistema terrestre.

Al centrarse en el cruce entre la producción de alimentos, la preservación de la conservación de la diversidad biológica y la reducción de los efectos del cambio climático, este capítulo resalta la importancia de adoptar un enfoque integrado y proactivo hacia la gestión del suelo. Se analizan los desafíos actuales que enfrenta la seguridad del suelo, como el deterioro, la contaminación y la disminución de la diversidad biológica, y se proponen estrategias y soluciones innovadoras para abordar estos problemas. Además, se resalta el papel crucial de la cooperación internacional y la participación pública en la promoción de prácticas sostenibles de manejo del suelo. En última instancia, el capítulo ofrece un llamado a la acción para garantizar un futuro seguro y próspero para el suelo y las generaciones futuras [30].

III. Discusión

El análisis de los diferentes artículos revela una variedad de hallazgos significativos que contribuyen a comprender la dinámica del uso del suelo en Boyacá y sus implicaciones para la gestión del territorio. En primer lugar, el estudio sobre el análisis multitemporal de las coberturas de la tierra en el municipio de Paz de Río destaca un patrón preocupante de conversión de áreas naturales en tierras agrícolas y urbanas, lo que indica un incremento de la demanda de recursos naturales y la

necesidad de políticas de planificación territorial más efectivas.

Por otro lado, la evaluación de los elementos potencialmente peligrosos en los suelos del corredor industrial de Boyacá revela áreas con concentraciones elevadas de estos elementos, lo que sugiere una contaminación del suelo que podría tener efectos adversos en la salud humana y el entorno natural. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la gestión del suelo, ya que subrayan la necesidad de implementar medidas de remediación y control de la contaminación en estas áreas.

Además, el marco nacional de puntuación de salud del suelo para sistemas agrícolas, conocido como SEMWISE, proporciona una herramienta valiosa para evaluar y monitorear la salud del suelo en el contexto agrícola. Al integrar múltiples indicadores de salud del suelo, SEMWISE permite a los agricultores y tomadores de decisiones adoptar prácticas agrícolas más sostenibles y promover la protección del suelo y la diversidad biológica.

En términos de las implicaciones para la dinámica del uso del suelo en Boyacá, estos hallazgos resaltan la importancia de una administración responsable y equilibrada de los recursos naturales. La presión creciente sobre el suelo debido a la conversión de tierras naturales, la contaminación industrial y la intensificación agrícola requiere una respuesta coordinada y eficaz a cargo de las autoridades municipales y regionales. Es necesario implementar políticas que promuevan prácticas agrícolas sostenibles, medidas de conservación del suelo y programas de remediación ambiental para proteger la salud del suelo y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Sin embargo, es fundamental reconocer las restricciones o limitaciones inherentes a estos estudios. La disponibilidad y calidad de los datos pueden variar entre diferentes estudios, lo que podría afectar la precisión de los resultados y limitar su aplicabilidad a nivel local. Además, algunos estudios pueden enfrentar restricciones metodológicas o de recursos que podrían influir en la interpretación de los hallazgos. Por lo tanto, se requiere cautela al generalizar los resultados y se necesitan investigaciones adicionales para abordar estas limitaciones y fortalecer la base de conocimientos sobre la dinámica del uso del suelo en Boyacá.

Al mismo tiempo, el análisis de la dinámica del uso del suelo en Boyacá también debe considerar los aspectos socioeconómicos y culturales que afectan las decisiones sobre el uso del suelo. Factores como la migración rural-urbana, el crecimiento demográfico y las políticas de desarrollo pueden tener un impacto significativo en la distribución del uso del suelo y en la presión sobre los recursos naturales. Por ejemplo, la demanda de tierras para la expansión urbana o la construcción de infraestructuras

puede competir con la necesidad de conservar áreas naturales o promover prácticas agrícolas sostenibles.

De esta manera, resulta fundamental la implicación de las comunidades locales y de las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones relacionadas con el uso del suelo. La participación de los agricultores, líderes comunitarios y grupos ambientales puede contribuir a la identificación de soluciones viables y a la implementación efectiva de políticas de gestión del suelo. Esto garantiza que las medidas adoptadas sean culturalmente apropiadas y socialmente aceptables, lo que aumenta su efectividad y sostenibilidad a largo plazo.

En conclusión, si bien los estudios analizados proporcionan información valiosa sobre la dinámica del uso del suelo en Boyacá y sus implicaciones para la gestión del territorio, es importante abordar las limitaciones y desafíos que enfrentan. Al considerar la complejidad de los factores biológicos, ambientales, socioeconómicos y culturales que influyen en el uso del suelo, se puede desarrollar una estrategia integral y equitativa para promover la sostenibilidad y la conservación de los recursos naturales en la zona. Esto implica la adopción de un enfoque colaborativo y participativo que incluya a todas las partes involucradas y considere las necesidades y prioridades de las comunidades locales. La legalización de la tierra y el análisis de la reforma agraria en Colombia son aspectos fundamentales que deben considerarse en este proceso, ya que tienen un impacto directo en la distribución del uso del suelo y en el fomento de la equidad social en el área de Boyacá.

IV. Conclusiones

El análisis de la literatura proporciona varias conclusiones importantes sobre el uso del suelo en Boyacá. Se identifican patrones de modificación en la cobertura del suelo, como la conversión de áreas naturales en tierras agrícolas y urbanas, así como la presencia de elementos potencialmente peligrosos en suelos industriales. Las herramientas como SEMWISE permiten una evaluación integral de la salud del suelo, ofreciendo una base sólida para la toma de decisiones en la gestión agrícola.

Las contribuciones del estudio son significativas tanto para la investigación como para la práctica. Proporciona un marco sólido para comprender la dinámica del uso del suelo y sus implicaciones ambientales en Boyacá. Esto es relevante para la investigación en términos de avanzar en el conocimiento sobre la gestión sostenible del suelo y su impacto en el ecosistema. Además, tiene implicaciones prácticas al ofrecer recomendaciones para la planificación y administración del uso del suelo en la región.

En términos de recomendaciones prácticas, se sugiere implementar políticas de planificación territorial que

promuevan prácticas agrícolas sostenibles y la conservación del suelo. Esto incluye la regulación de la expansión urbana y la industrialización para proteger áreas naturales y reducir la contaminación del suelo. Se resalta la importancia de la implicación de la comunidad en el proceso de toma de decisiones, y la relevancia de vigilar de forma constante los cambios en la cobertura del suelo para ajustar las estrategias de gestión según sea necesario.

Otras conclusiones importantes derivadas del análisis de la literatura incluyen la necesidad de abordar las limitaciones metodológicas y de datos en los estudios de dinámica del uso del suelo en Boyacá. Esto destaca la importancia de mejorar la recopilación y calidad de datos, así como de emplear enfoques integrados y multidisciplinarios para alcanzar una comprensión más integral de los procesos subyacentes, es esencial subrayar la relevancia de la educación y la sensibilización pública sobre la conservación y la administración sustentable de los recursos del suelo en la zona. Esto podría ayudar a fomentar una cultura de protección ambiental y fortalecer el involucramiento de la comunidad en la gestión del uso del suelo. Estas conclusiones subrayan la necesidad de adoptar enfoques holísticos y colaborativos para enfrentar los desafíos ambientales y promover el desarrollo sostenible en Boyacá.

V. Referencias

- [1] G. d. Boyacá, «Fase II: Perfil Territorial,» 2023. [En línea]. Available: https://planeacion.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2023/12/CAPITULO-III.-DINAMICAS-CLIMA-TERRITORIO_final.pdf. [Último acceso: 2024].
- [2] P. M. T. Guzmán, «Análisis de la influencia del sistema productivo de papa en el cambio de coberturas y usos de suelo de Soraca, Boyacá, Colombia,» 2020. [En línea]. Available: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52699/TESIS_TEJADA_PAULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 2024].
- [3] G. d. Boyacá, «Cobertura y uso del suelo en Boyacá,» 2018. [En línea]. Available: <https://observatorioambiental.boyaca.gov.co/cobertura-y-uso-del-suelo-en-boyaca/>. [Último acceso: Febrero 2024].
- [4] G. d. Boyacá, «Aspectos Geográficos,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.boyaca.gov.co/aspectos-geograficos/>. [Último acceso: 2024].
- [5] O. T. D. d. Boyacá, «Dinámicas de Ocupación de Suelo con Relación a los Agendamientos Humanos,» 2018. [En línea]. Available: <https://planeacion.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2018/09/DIN%C3%81MICAS-DE-OCUPACI%C3%93N-DE-SUELO-CON-RELACI%C3%93N-A-LOS-ASENTAMIENTOS-HUMANOS.pdf>. [Último acceso: 2024].
- [6] I. G. A. Codazzi, «Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá,» 2005. [En línea]. Available: <https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/SUELOS%20>

DE%20BOYACA%202005.pdf. [Último acceso: 2024].

- [7] A. N. d. Tierras, «Determinantes del ordenamiento social y de la propiedad rural: restricciones y condicionales,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ant.gov.co/wp-content/uploads/2022/09/POSPR-G-018-DETERMINANTES-OSPR-RESTRICCIONES-Y-CONDICIONANTES-1.pdf>. [Último acceso: 2024].
- [8] C. Bronick y R. Lal, «Soil structure and management: a review,» *ScienceDirect*, 2005.
- [9] A. Etter, C. Mcalpine, S. Phinn, K. A. Wilson y H. Possingham, «Patrones regionales de uso de suelo agrícola y deforestación en Colombia,» *Patrones regionales de uso de suelo agrícola y deforestación en Colombia*, 2006.
- [10] A. J. Fuentes, J. Arrue, R. Gracia y M. López, «Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions,» *ScienceDirect*, 2008.
- [11] R. M. L. Guimarães, B. C. Ball y C. A. Tormena, «Soil Use and Management,» *British Society of Soil Science Journals*, 2011.
- [12] D. L. Karlen, N. J. Goesser, K. S. Veum y M. A. Yost, «On-farm soil health evaluations: Challenges and opportunities,» *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017.
- [13] A. Kicińska y K. Turek, «Establishing geochemical background of elements present in soil and its application in the evaluation of soil pollution based on data collected,» *AGH University of Science and Technology*, 2017.
- [14] A. Cachada, T. Rocha-Santos y A. C. Duarte, «Chapter 1 - Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues,» *ScienceDirect*, 2018.
- [15] O. Rinot, . G. J. Levy, . Y. Steinberger, T. Svoray y G. Eshel, «Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach,» *ScienceDirect*, 2019.
- [16] P. Velásquez, «Alvaro Daniel,» *Universidad de los Andes*, 2019.
- [17] Amundson, «Ronald,» *ScienceDirect*, 2020.
- [18] L. Castellanos-Mora y W. J. Agudelo-Hz, «Spatial Scenarios of Land-Use/Cover Change for the Management and Conservation of Paramos and Andean Forests in Boyacá, Colombia,» *ResearchGate*, 2020.
- [19] A. M. Wanumen-Mesa, R. López-Camacho, Rodríguez-Eraso y Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bo, «Are Agricultural Landscapes Dynamic or Stable? Case Study in Lake Tota (Boyacá, Colombia),» *Universidad Nacional de Colombia*, 2020.
- [20] J. D. Amaya Espinel, G. A. Perilla Suarez, S. Restrepo Calle y V. E. Guáqueta Solórzano, «Analysis of the influence of the potato production system in the land use and land cover changes of Soracá, Colombia,» *CLACSO*, 2020.
- [21] C. N. L. Ruiz, «Multi-temporary analysis of the change in vegetative coverage in the municipality of miraflores (boyacá), from 2000 to 2021,» *Universidad Militar Nueva Granada*, 2021.
- [22] J. Bennett, S. Robertson, A. Ghahramani y D. McKenzie, «Operationalising soil security by making soil data useful: Digital soil mapping, assessment and return-on-investment,» *ScienceDirect*, 2021.
- [23] J. A. Díaz Alarcón, P. M. Fonseca Alfonso, . I. Vergara Gómez, M. Díaz Lagos, D. Videira-Quintela y G. Montalvo, «Assessment of the potential risk of leaching pesticides in agricultural soils: study case Tibasosa, Boyacá, Colombia,» *ScienceDirect*, 2021.
- [24] R. Bodle, «International soil governance,» *ScienceDirect*, 2022.
- [25] E. C. Brevik, J. Hannam, M. Krzic, C. Muggler y Y. Uchida, «The importance of soil education to connectivity as a dimension of soil security,» *ScienceDirect*, 2022.
- [26] L. F. Herrera Martínez y J. Rey Díaz, «Análisis multitemporal de las coberturas de la tierra en el municipio de Paz de Río, Boyacá durante el periodo 1986-2023,» *UAN*, 2023.
- [27] H. Hughes, . S. Koolen, M. Kuhnert, . E. Baggs, S. Maund, G. Mullier y J. Hillier, «Towards a farmer-feasible soil health assessment that is globally applicable,» *ScienceDirect*, 2023.
- [28] L. Navarro, . R. Camacho, J. E. López y J. F. Saldarriaga, «Assessment of potentially hazardous elements in soils of the Boyacá industrial corridor (Colombia) using GIS, multivariate statistical analysis, and geochemical indexes,» *ScienceDirect*, 2024.
- [29] H. L. Deel, J. M. Moore y D. K. Manter, «SEMWISE: A national soil health scoring framework for agricultural systems,» *ScienceDirect*, 2024.
- [30] S. J. Evangelista, . D. J. Field, . A. B. McBratney, . B. Minasny, W. Ng, . J. Padarian, M. Román Dobarco y A. M.-. C. Wadoux, «Chapter One - Soil security—Strategizing a sustainable future for soil,» *ScienceDirect*, 2024.