

ENVIRONMENT & TECHNOLOGY



REVISTA SEMESTRAL
JULIO - DICIEMBRE



ENVIRONMENT &
TECHNOLOGY
FOUNDATION

Vol. 5, N.º 2
ISSN: 2711-4422



E & T

Environment & Technology

ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024

PROPIEDAD Y EDITORIAL

Environment & Technology Foundation

DIRECCIÓN EDITORIAL

PhD. Liliana Piedra Castro, Costa Rica
PhD. Jaime Ernesto Rivera Hernández, México


COMITÉ EDITORIAL

PhD. Libia Julio Galvis, Colombia
PhD. Fernando Ramírez Muñoz, Costa Rica
PhD. Rubén Darío Sepúlveda Vargas, Colombia
PhD. Jorge Rafael Villadiego Lorduy, Colombia
PhD. Graciela Alcántara Salinas, México
PhD. Gustavo Barrantes Castillo, Costa Rica
PhD. Giovanni Sáenz Arce, Costa Rica
PhD. Carlos Sabater Piqueres, España
PhD. Tomás Guzmán Hernández, Costa Rica
Msc. Yuri Morales López, Costa Rica
PhD. Massimo Leserri, Italia
MSc. Alfredo Esquivel Acosta, Colombia
MSc. Javier Ricardo Sánchez Castillo, Colombia
PhD. José Manuel Luna Nemecio, México
PhD. Elkin Quiñonez Agámez, Colombia
PhD. Wladimir Mejía Ayala, Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD. Cristian Morerira Segura, Costa Rica
PhD. Joaquín Durán Mora, Costa Rica
PhD. María Fernanda Garrido Rubiano, Colombia
PhD. Merwan Chaverra Suárez, España
PhD. Napoleón Blanco Orozco, Nicaragua
PhD. Salvatore Barba, España
PhD. Elena Rustrian Portilla, México
PhD. Lina García Corrales, Colombia
PhD. Juan A. Pérez Sato, México
PhD. Eric Pascal Houbron, México
MsC. Omar Díaz Hernández, Colombia
PhD. Jorge Osorio Martínez, Colombia
MsC. Stalyn Guerrero Gómez, Colombia
MsC. Nydia Valencia Jiménez, Colombia
MsC. Concepción Amador Ahumada, Colombia
MsC. Luis López Duarte, Nicaragua
MsC. Orlando Tordecilla Correa, Colombia
ESP. Jairo Vélez Vargas, Colombia
MsC. Yhonattan Méndez Nobles, Colombia
MsC. Daniel Espinosa Corrales, Colombia
MsC. Adolfo Cortecero Bossio, Colombia
ESP. Oscar Tuiran Polo, Colombia
PhD. Pedro Simón Lamprea, Colombia
MsC. Jhoan Pérez Benitez, Colombia
MsC. Edgar Manotas Olascoaga, Colombia
MsC. Abel Felipe Vargas Rueda, México
PhD. Diana Zambrano Moreno, Colombia
MsC. Natalia Real Luna, México
PhD. Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo, México
PhD. Rooel Campos Rodríguez, Costa Rica
MBA. Daniel Francisco Pérez Murillo, Costa Rica
PhD. Ana Rodriguez Negrette, Colombia
ESP. Pedro Payares Ramos, Colombia

E&T Foundation no asume responsabilidad por posiciones presentadas por los autores de los artículos.

 Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND



COLABORADORES

Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre.
Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica).

Asociación de Geógrafos del Caribe Colombiano
(Colombia).

Programa de Doctorado de Ciencias Naturales para el
Desarrollo. Instituto Tecnológico, Universidad Nacional,
Universidad Estatal a Distancia (Costa Rica).

Grupo de Investigación, Ambiente y Tecnología Adscrito a
Environment &; Technology Foundation (Colombia).

Grupo de Investigación, Sostenibilidad y Competitividad
Adscrito a Environment &; Technology Foundation
(Colombia).

Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios,
S.C. (México).

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas.
Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica).

Programa de Maestría en Salud Pública, Universidad de
Córdoba (Colombia).

Grupo de Investigación Huellas Calidad de Vida, Adscrito a
la Maestría en Salud Pública. Universidad de Córdoba
(Colombia).

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba (México).

Departamento de Geografía y Medio Ambiente, Universidad
de Córdoba (Colombia).

Doctorado en Educación y Cultura Ambiental, Universidad
de la Amazonia (Colombia).

Maestría en Sistemas Sostenibles de Producción,
Universidad de la Amazonia (Colombia).

ASISTENTE EDITORIAL

Natalia Narvaez Moreno, Colombia

FOTOGRAFÍA PORTADA

Jorge Villadiego Lorduy

DISEÑO

DG. Andrés Felipe Del Toro Pérez






Editorial


Estimados lectores.

Es un placer ofrecerle en este volumen de la revista *Environment & Technology*, investigaciones innovadoras, las cuales se enfocan en la conservación de los ecosistemas a través de mecanismos naturales y tecnológicos. En esta edición se busca a través de los diversos estudios publicados, mostrar cómo se pueden abordar aspectos naturales y tecnológicos en relación a la conservación de los recursos naturales.

Los cambios que viene sufriendo la cobertura terrestre por las actividades antrópicas, se ha convertido en un aspecto relevante que genera preocupación a nivel mundial. Es por eso que tener conocimiento acerca de la vocación que tiene cada suelo y la capacidad de uso de estos mismos, será esencial para evitar los conflictos que se presentan en diferentes regiones por el mal uso de este mismo. Teniendo en cuenta que esas afectaciones que sufre el suelo no solo vienen influenciadas por el cambio de cobertura terrestre que se da en este, sino también por contaminantes como el plomo, el cual en la mayoría de los casos llega al suelo por actividades antrópicas, como es la minería. Lo que hace necesarios tener conocimientos previos de los daños que puede causar este tipo de contaminantes en la salud humana, a través de investigaciones que se enfoquen en detallar los tipos de daños que puede causar el plomo.

Por otro lado, la conservación del medio ambiente cada día viene tomando mayor relevancia en diferentes países, los cuales han visto a los recursos naturales como fuente de ingreso de muchas familias, al ser estos muy llamativos para los turistas. Es por eso que el diseño de programas que vayan enfocado en la conservación de los Ríos y otros recursos naturales, serán buenas estrategias pedagógicas que implican una unión participativa entre diferentes comunidades que apuntan al ecoturismo. Teniendo en cuenta que los conocimientos tecnológicos serán esenciales para tener una comunidad más conectada y con la capacidad de hacer análisis de sostenibilidad en aspectos ambientales, económicos y sociales, sin perder la vocación del suelo al implementar los sistemas ganaderos.





Agradecemos profundamente a todos los autores, revisores y al equipo editorial por su dedicación y esfuerzo en hacer posible esta edición, que sin duda aporta importantes contribuciones al conocimiento científico en el ámbito ambiental y agrícola.

Ingeniero Sanitario y Ambiental Pedro Luis Payares Ramos
Gestor selló editorial Environment & Technology Foundation
Esp en Gerencia Ambiental





E & T

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

CONTENIDO:

Variación de las coberturas y usos del suelo del municipio de Pueblo Bello - Cesar en los años 2003, 2014 y 2024, a partir de la vocación y capacidad de uso del suelo y su relación con los conflictos de uso de suelo.....1

Variation of land coverage and uses in the municipality of Pueblo Bello - Cesar in the years 2003, 2014 and 2024, based on the vocation and capacity of land use and its relationship with land use conflicts.

Andrés Felipe Del Toro Pérez, Beatriz Elena Petro Rosario, Alejandra Vanessa López Cantillo, Isaías Pérez Osorio, Jorge Rafael Villadiego Lorduy.

Afectaciones por contaminación de plomo usado en minería: revisión de literatura.....26

Impacts of lead contamination from mining: literature review.

Yeny Lozano Torres, Olga Lucia Arango Cordero.

Diseño de un programa educativo para la conservación de ríos en Caquetá: integración de estrategias pedagógicas y participación comunitaria en el ecoturismo.....44

Design of an educational program for river conservation in Caquetá: integration of pedagogical strategies and community participation in ecotourism.

Jeidy Katerine Claros Monje, Esther Julia Olaya Marín, Cristian David Plaza Pérez.

Ciudad inteligente: Ciudadano conectado.....60

Smart City: The Connected Citizen.

Alejandro Vergara Berra.

Análisis de sostenibilidad en sistemas ganaderos vacunos colombianos: una revisión de los indicadores ambientales, económicos y sociales.....81

Sustainability analysis in Colombians cattle systems: a review of environmental, economic and social indicators.



María Paula Posso Guerra, María Alejandra Vergara Ariza, Mónica María Machado Vargas.



Variación de las coberturas y usos del suelo del municipio de Pueblo Bello - Cesar en los años 2003, 2014 y 2024, a partir de la vocación y capacidad de uso del suelo y su relación con los conflictos de uso de suelo

Variation of land coverage and uses in the municipality of Pueblo Bello - Cesar in the years 2003, 2014 and 2024, based on the vocation and capacity of land use and its relationship with land use conflicts



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024: 1-25

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.1>

Recibido: 20/07/2024

Revisado: 20/09/2024

Aprobado: 05/10/2024

Andrés Felipe Del Toro Pérez

Estudiante

Universidad de Córdoba

adeltoroperez21@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0009-0005-9419-9077>

Córdoba – Colombia

Beatriz Elena Petro Rosario

Estudiante

Universidad de Córdoba

bpetrorosario83@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0009-0001-3616-5443>

Córdoba – Colombia

Alejandra Vanessa López Cantillo

Estudiante

Universidad de Córdoba

alopezcantillo@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0009-0006-5168-2365>

Córdoba – Colombia

Isaías Pérez Osorio

Estudiante

Universidad de Córdoba

iperezosorio74@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0009-0003-4772-169X>

Córdoba – Colombia

Jorge Rafael Villadiego Lorduy

Doctor en Ciencias Naturales y Desarrollo Sostenible

Docente Programa de Geografía – Universidad de Córdoba

jorgevilladiegol@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-6151-9987>

Córdoba – Colombia



Resumen

Los cambios en la cobertura terrestre son en gran medida el producto de la intensa actividad humana a lo largo de la historia, estos cambios de cobertura y uso del suelo derivan en procesos como la fragmentación del paisaje, que a su vez alteran los ciclos hidrológicos y degradan el suelo. En este estudio, se analizaron los cambios de cobertura y uso en el municipio de Pueblo Bello, Cesar en los años 2003, 2014 y 2024 y, específicamente, se identificaron, mediante sensores remotos los cambios en la cobertura y uso, también se especificó la capacidad y vocación del mismo y finalmente, se explicó cómo estos se relacionan con el conflicto de uso del suelo en la zona de estudio. En este municipio, los cambios se atribuyen a la deforestación y conflictos de uso principalmente, pues el porcentaje correspondiente a áreas abiertas, sin o con poca vegetación para el año 2003 fue de 8.8%, en el año 2014 aumentó hasta 15.7% y finalmente en el 2024 ascendió notoriamente hasta 22.3%, generando así una mayor superficie. En el transcurso de la investigación se analizan los cambios de cobertura y uso a partir de la interpretación de imágenes satelitales (Landsat 7 y 8) posteriormente clasificadas con el fin de obtener resultados cartográficos referentes a cobertura y uso de suelo. Con los cuales se demostró que la cobertura de bosque, se ha mantenido por encima del 70% del área total por lo que es la más predominante en el municipio.

Palabras clave: cobertura y uso del suelo, vocación de uso del suelo, capacidad de uso del suelo, conflictos de uso del suelo, Pueblo Bello.

Abstract

Changes in land cover are largely the product of intense human activity throughout history. These changes in land cover and use lead to processes such as landscape fragmentation, which in turn alter hydrological cycles and degrade the soil. In this study, changes in land cover and use in the municipality of Pueblo Bello, Cesar, were analyzed in the years 2003, 2014 and 2024 and, specifically, changes in land cover and use were identified using remote sensors. The capacity and vocation of the land were also specified and, finally, how these are related to the land use conflict in the study area was explained. In this municipality, the changes are attributed mainly to deforestation and land use conflicts, since the percentage corresponding to open areas, without or with little vegetation for the year 2003 was 8.8%, in 2014 it increased to 15.7% and finally in 2024 it rose significantly to 22.3%, thus generating a larger surface area. During the course of the research, the main variable is analyzed, based on the interpretation of satellite images (Landsat 7 and 8) subsequently classified in order to obtain cartographic results regarding land cover and use. With which it was demonstrated that forest cover has remained above 70% of the total area, making it the most predominant in the municipality.

Key word: land cover and use, land use vocation, land use capacity, land use conflicts, Pueblo Bello.


Introducción

En América Latina y el Caribe (ALC) según la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (2019), se han evidenciado importantes cambios en las coberturas terrestres tanto así que aproximadamente en el siglo XV las coberturas forestales abarcaban alrededor del 75% de la superficie de la región. Actualmente, este porcentaje se ha reducido a menos del 50% dado que las actividades agrícolas y ganaderas han crecido un 90% durante el último siglo.

Así mismo, la entidad antes mencionada expone como factores principales de los cambios o modificaciones de cobertura a los fenómenos naturales y la intervención antrópica (degradación del suelo, crecimiento demográfico, deforestación y alteración de los ecosistemas), por lo tanto, estas acciones se reflejan en consecuencias negativas dentro de la biosfera del planeta. Haciendo énfasis en el accionar humano, el uso indiscriminado del suelo ha llevado a que prevalezcan actividades como la minería ilegal y la deforestación lo que ha causado un choque de intereses entre los distintos actores ya sean estos de gobierno o no, lo que ha ocasionado una serie de conflictos en torno al uso de las tierras.

Comúnmente, estos cambios en la cobertura terrestre tienen múltiples implicaciones negativas, como lo son: la fragmentación del paisaje, la alteración de ciclos hidrológicos y la degradación del recurso edáfico; son algunos de los problemas que han surgido a raíz de las transformaciones. A medida que las áreas de los suelos descubiertos se expanden, los ecosistemas locales se vuelven más vulnerables y la capacidad para sostener las diversas formas de vida y actividades humanas disminuyen (Navarro et al, 2015).

Es así como en Colombia las coberturas y uso del suelo con mayor extensión corresponden a la ganadería y agricultura que no están necesariamente desarrolladas en los suelos adecuados lo cual ha venido generado con mayor frecuencia conflictos de uso (Guerrero, 2020). De estas actividades manifiesta Sadeghian (2009) que la ganadería extensiva es la principal causante de cambios negativos produciendo suelos áridos, a partir de la deforestación en la generación de pastizales, asimismo el terraceo derivado del pisoteo del ganado provoca variaciones a nivel estructural, ocasionando escenarios de erosión, así como escasez de nutrientes, la disminución de la diversidad nativa, entre otros.



De igual forma, Vergara (2010) expone que en el país el área correspondiente a la actividad ganadera se distribuye por 38 millones de hectáreas, en relación a la capacidad de carga de 0,6 cabezas/ha, por lo anterior la ganadería se considera una práctica de uso extensivo.


Por su parte, Cuenca et al (2008) argumentan que en Colombia 41,7 millones de hectáreas se dedican a la actividad ganadera, a pesar de que únicamente 10,2 millones de hectáreas sean las adecuadas para esta actividad, con lo anterior este panorama refleja ampliamente el enfoque alejado de las políticas de desarrollo desarrolladas en Colombia, y contrastando lo antes mencionado en el contexto geográfico de la región Caribe colombiana, el planteamiento de Perlaza (2017) menciona que según la información del IGAC, el mayor porcentaje de uso inapropiado del suelo se presenta en esta región del territorio nacional con un 70% en comparación al resto de la nación.

Ahora bien, el Documento Estratégico "Estrategia Colombia Siembra" del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural elaborado en el año 2016 y citando al DANE (2015), el país cuenta con aproximadamente 42.3 millones de hectáreas que se dedican a actividades rurales de producción. Por otro lado, análisis recientes de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), ha determinado que la vocación agropecuaria nacional aumentó a 26.5 millones de hectáreas, de las que solo un aproximado de 6 millones de Ha son aptas para el sector pecuario y 2 millones de Ha corresponden a cuerpos de agua.

Es así y retomando el planteamiento de Guerrero, en Colombia el manejo y uso de los suelos se ha venido llevando a cabo de forma inadecuada debido a desigualdades en la tenencia de la tierra y el uso de terrenos que no son acorde a su vocación u oferta ambiental disponible.

A nivel local el municipio de Pueblo Bello, situado al suroriente de la Sierra Nevada de Santa Marta, ha experimentado significativos cambios en su cobertura terrestre a lo largo de las últimas dos décadas. Estos cambios, provocados principalmente por la deforestación y conflictos de uso, han alterado dramáticamente el paisaje natural y la dinámica ambiental del municipio.

Comprender entonces, cómo, cuándo y por qué han ocurrido estos cambios en la superficie del municipio es fundamental para abordar los desafíos ambientales y el desarrollo que enfrenta Pueblo Bello. Por esto, es necesario analizar los cambios de cobertura y uso,



capacidad y vocación de uso del suelo. Además, es crucial identificar la relación de estas variables con los conflictos por la utilidad del suelo que ha surgido como resultado o no de estos cambios, ya que estas discrepancias pueden afectarla significativamente.

Este análisis permitirá entonces desarrollar estrategias para hacer gestiones más efectivas en cuestión de planificación territorial, y a su vez contribuirá a un desarrollo más sostenible y equitativo en el municipio.

Dicho lo anterior, el presente artículo consiste en dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿cómo han variado las coberturas y usos del suelo del municipio de Pueblo Bello - Cesar en los años 2003, 2014 y 2024, a partir de la vocación y capacidad de uso del suelo, para así determinar cuáles son los conflictos de uso de suelo?

Área de estudio

El municipio de Pueblo Bello es uno de los 25 municipios que conforman el departamento del Cesar, ubicado en la zona suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, es decir, al norte del departamento del Cesar, limitando al norte, sur y este con el municipio de Valledupar y al oeste con los municipios de El Copey y Fundación pertenecientes al departamento del Magdalena (Alcaldía de Pueblo Bello, 2020), (**Figura 1**).

Este municipio cuenta con un sistema montañoso que varía desde los 500 a 3.500 msnm y su zona urbana se encuentra a una altitud de 1.200 msnm. En cuanto al área, cuenta con 74.233 ha en total, de las cuales 65.772 ha corresponden al área rural y 8.461 ha al área urbana. Soportando una población de 29.437 habitantes.

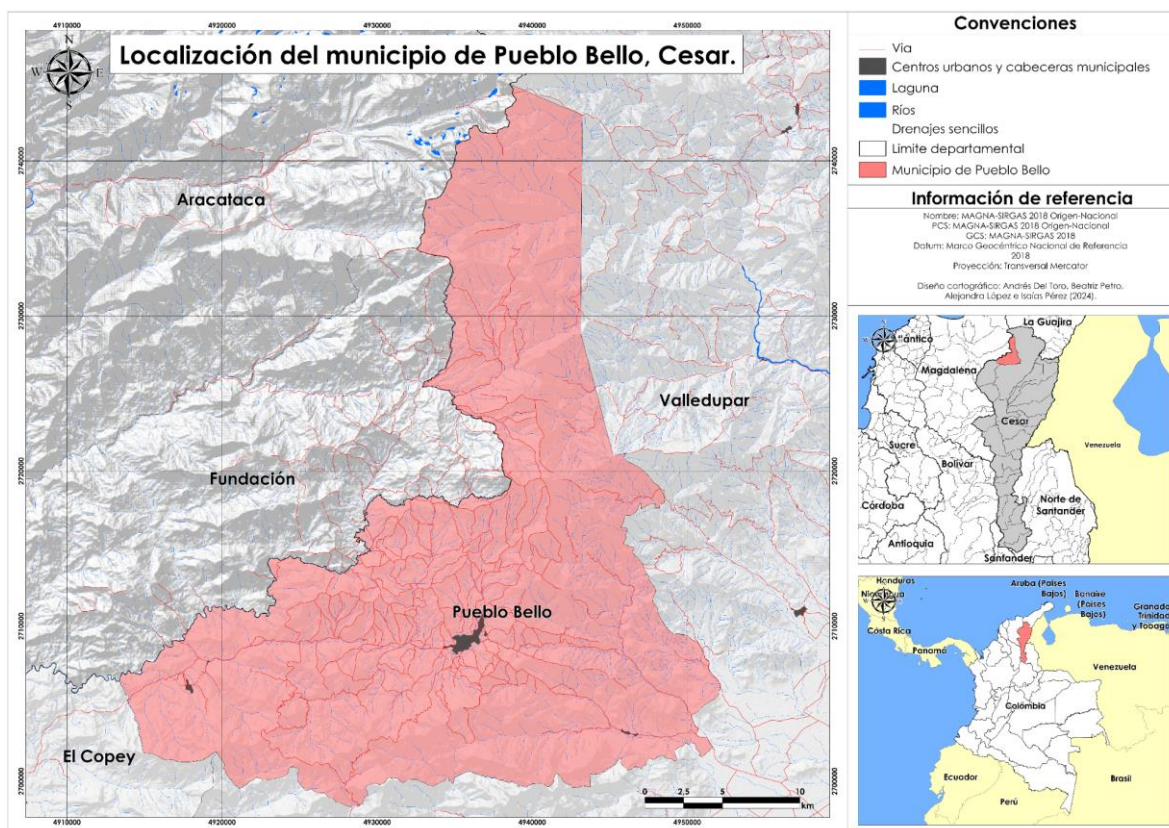



Figura 1. Mapa de localización del municipio de Pueblo Bello, Cesar. Fuente: elaboración propia, 2024.

Análisis de contenido

En primer término, uno de los trabajos referentes en esta investigación es el denominado Aproximación a los conflictos por el uso del suelo en el municipio de Pueblo Bello, publicado el 26 de octubre del 2023 por los autores Jhon Jairo Ramos Mercado, Jorge Mario Ramos Mercado, Lina Paola Luna Ochoa y Yésica Marcela Barón Flórez donde plantearon como objetivo principal brindar una aproximación de los distintos tipos de conflictos generados a partir de los usos del suelo y sus posibles causas, partiendo de la diversidad cultural del municipio y la percepción de sus comunidades.

Otro trabajo de suma importancia es el documento de formulación del Plan de Manejo y Ordenación de una Cuenca (POMCA) del río Guatapurí (2801-01) en su Fase Diagnóstico (Versión Final) titulado Caracterización de las condiciones sociales, culturales y económicas de la cuenca publicado el 30 de agosto del año 2018 y elaborado por Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), se manifiesta que los intercambios culturales han




generado a lo largo de la historia transformaciones del paisaje, de los usos del suelo y tenencia de la tierra de la cuenca del río, incluyendo al municipio de Pueblo Bello.

Finalmente, otro de los trabajos relevantes en la presente investigación es el documento desarrollado por la Agencia de Desarrollo Rural (ADR), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Gobernación del Cesar que lleva por nombre Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial del Departamento del Cesar en su versión del año 2019 y en la cual, a nivel general, el departamento presenta más del 30% áreas en conflicto de uso por sobreutilización y subutilización, además de contar con un 58% de informalidad de la propiedad rural que contribuyen a dicho escenario.

Bases teóricas

Las bases teóricas del presente trabajo están ligadas directamente al ordenamiento territorial entendido como “un instrumento normativo y técnico para la planeación y administración de un territorio” y está compuesto por un grupo políticas y acciones administrativas y de planeación física que direccionan a los municipios para que tenga un desarrollo a corto, mediano y largo plazo, regulando así el uso, ocupación y transformación de los espacios físicos urbanos y rurales (MinVivienda, 2023). Asimismo, dichas acciones influirán de forma directa a la estructura ecológica (EEP) o el grupo de elementos naturales de los que se sustentan los procesos ecológicos básicos del territorio, con el objetivo principal de preservar, conservar, restaurar, usar y manejar de manera sostenible los recursos naturales renovables, ya que estos brindan el soporte para el desarrollo socioeconómico de los grupos sociales (Decreto 3600 de 2007).

Otra importante base teórica que dota de soporte a la actual investigación es la geografía ambiental, que según el departamento de geografía de la Universidad Nacional de Cuyo -UNCUYO- (s.f.), esta hace referencia al estudio del territorio alterado, tanto positiva como negativamente debido a las acciones o actividades desempeñadas por el ser humano. Finalmente, la teoría de fragmentación del paisaje es un pilar relevante dado que indica, según la Universidad de Guadalajara en un estudio realizado en 2015, es la pérdida de continuidad espacial de un ecosistema, generando cambios significativos en la estructura de las poblaciones y comunidades vegetales y animales, tanto en el ambiente físico como en el



ecológico, afectando su funcionamiento y producidas principalmente por los cambios de uso ecosistemas naturales, derivado de las actividades humanas.


Es de esta forma como la conectividad ecosistémica se verá afectada en su consolidación con los procesos de desarrollo tanto socioeconómico como cultural, comprometiendo las relaciones entre el hombre y las demás formas de vida, por lo cual es de suma importancia incorporar dicha conectividad en formatos específicos y dimensiones de que tengan cabida dentro del ordenamiento territorial como en la toma de decisiones, relacionando la gestión con la conservación de las áreas estratégicas naturales (Correa et al, 2023).

Marco conceptual

Dentro de los conceptos de mayor importancia para la investigación, se resalta la cobertura y usos del suelo entendidos según el Instituto de Geografía de la Universidad San Francisco de Quito, como las cubiertas biológicas o físicas presentes sobre la superficie terrestre, mientras que por su parte el uso del suelo está relacionado con las actividades que una determinada sociedad desarrolla sobre una extensión de espacio terrestre para su beneficio, cabe destacar que este concepto va de la mano con la vocación de uso o las “tierras que por sus características de edáficas, permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola, con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos” (IGAC), de la misma forma, estos se relacionan estrechamente con la capacidad de uso de la tierra definida por Jiménez (s.f.) como el grado óptimo de aprovechamiento de un área específica, según la calificación de sus limitantes para la producción de cultivos sostenidamente y en períodos de tiempo prolongados, y finalmente, la disposición de ocupación de un terreno puntual con base en estas variables o no, determina distintos niveles de conflictos de uso o la situación de uso actual de una zona determinada que no corresponde con la oferta ambiental de la misma (IDEAM, s.f.).

Metodología

La presente investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica que se alinea con la temática de investigación, incorporando técnicas y herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Inicialmente se realizó la descarga de imágenes satelitales Landsat 7 y 8 de nivel dos de procesamiento referentes al



municipio de Pueblo Bello, Cesar; seguidamente, se aplicó el procedimiento de escalado de las imágenes para corregir los valores digitales de los píxeles a valores de reflectancia; luego se establecieron las clases temáticas partiendo de una clasificación no supervisada ajustada a la realidad del territorio en base a la salida de campo, y se obtuvieron 5 categorías de cubiertas terrestres teniendo en cuenta la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia en el año 2018.


Finalmente, se desarrollaron productos finales, tanto cartográficos como estadísticos, que permitieron visualizar los cambios de la cobertura terrestre en el territorio y, a través de ellos, analizar las causas que los provocaron.

El enfoque en este estudio es tanto el cualitativo y cuantitativo, ya que requiere tanto la descripción detallada de las actividades humanas, así como la cuantificación o análisis estadístico de los cambios de las coberturas terrestres y el uso del suelo en los años 2003, 2014 y 2024, influenciados por presiones sobre el territorio como la deforestación y los conflictos de uso. Por lo tanto, el análisis se llevó a cabo en todo el municipio de Pueblo Bello, abarcando tanto el área rural como la zona urbana.

El desarrollo metodológico de la investigación se basa en el método cartográfico, o la creación de mapas en los que se busca describir, analizar y estudiar los fenómenos espaciales, con el fin de generar nuevos conocimientos e investigaciones de las interacciones hombre-medio y su persecución futura del espacio (Lizmová, 2007), puesto que la intención del estudio apunta a comparar cartográficamente los cambios de las coberturas en el municipio de Pueblo Bello, Cesar en los años 2003, 2014 y 2024.

Generación de insumos cartográficos

Se obtuvieron los insumos cartográficos a partir del pre y procesamiento de imágenes satelitales de los sensores Landsat 7 y 8, obtenidas de la plataforma Earth Explorer, posteriormente se clasificaron en 5 clases de coberturas correspondientes al nivel 1 de la metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para Colombia en escala 1:100.000 del año 2018 la cual fue la iniciativa metodológicamente hablando que consolida la caracterización de las cubiertas naturales y artificiales del país, unificando pautas, conceptos y métodos con el fin de evidenciar las cubiertas de la nación implementado con referencia la adaptación europea de la metodología CLC (Aguilar et al, 2010). Vale destacar que, al momento de realizar la clasificación, se empleó el método no supervisado (ISO Clúster)




apoyado de la clasificación visual supervisada a partir de las observaciones realizadas en campo. Igualmente, los insumos cartográficos referentes a la vocación, capacidad y conflictos de uso de suelo se tomaron del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para el año 2017.

Resultados y discusión.

Gracias a los métodos y técnicas descritos en la sección anterior correspondiente a la metodología, se logró realizar el análisis del cambio de coberturas en el municipio de Pueblo Bello en los años 2003, 2014 y 2024, siendo este el objetivo principal de la investigación. De esta manera, se identificaron los cambios en la cobertura terrestre del municipio en los años ya mencionados mediante el uso de sensores remotos, teniendo como resultado un mapa de cambios de cobertura para cada año (**Figura 2**).

Con base al resultado cartográfico obtenido se tiene que debido a que Pueblo Bello es un municipio mayoritariamente rural y dada su cercanía con la Sierra Nevada de Santa Marta, hay presencia de zonas de cultivo que actualmente están generando conflicto en el uso dado que el municipio en general se ha caracterizado por tener una cobertura de bosque predominante tanto en los años 2003, 2014 y 2024 que se ha mantenido por encima del 70% del área total del municipio. En el 2003 el porcentaje de bosque correspondió 90.5% de las coberturas, mientras que para el año 2014 hubo una reducción significativa en la cual los bosques ocuparon el 81.1% del área de estudio. Y, finalmente, para el año 2024 esta se posicionó en el 70,9% del área ocupada, denotando que hubo una ligera ganancia de la cubierta de bosque en dicho municipio, en la tabla se tiene a detalle las coberturas obtenidas y su valor porcentual (**Tabla 1**).

Por otro lado, lo que corresponde a las territorios artificializados (zona urbana) se evidenció un aumento correspondiente al periodo entre el 2003 al 2014 pasando de ocupar 0.1% a 0.2% respectivamente, distribuidas principalmente al centro del municipio o norte de la cabecera municipal; mientras que para el periodo entre el 2014 al 2024 también se observó un marcado aumento del 0.3% a un 0.5% respectivamente concentrándose hacia el centro del municipio o norte de la cabecera municipal y presentó una distribución en la zona suroccidental y suroriental incluyendo la zona centro en donde se ubica la zona urbana, puesto que esta ha presentado un crecimiento del 53.7% en el número de habitantes lo cual ha impulsado el desarrollo urbanístico en el municipio. Cabe destacar que igualmente las



áreas abiertas, sin o con poca vegetación se han mantenido en conjunto con el área urbana en un leve aumento, siendo este más significativo en las áreas abiertas. Lo anterior asociado a factores antrópicos como la deforestación puesto que este municipio presenta producción maderera y también a factores altitudinales.

Respecto al área correspondiente a territorios agrícolas, esta presentó un incremento en ambos periodos, debido a que para el primero comprendido entre el 2003 al 2014 se tuvo un porcentaje de ocupación de 0.6% y 1,3% respectivamente, denotando un leve incremento. Mientras que el periodo comprendido entre el 2014 al 2024 el porcentaje fue de 1,32% y 6,2% evidenciando de esta manera un aumento considerable, presentando así una mayor cantidad de cobertura que en el año 2003, lo cual genera una ganancia del 5.6% de la cobertura en cuestión. Manteniendo un patrón de distribución concentrado a los alrededores y occidente de la zona urbana para el año 2003; manteniendo el mismo patrón de distribución espacial tendiendo hacia la zona occidental de la cabecera urbana para el año 2014 y, para el año 2024 dicha cobertura aumentó considerablemente tanto en occidente como en oriente, pero decreció hacia los bordes de la urbe.

Finalmente, la superficie correspondiente a áreas abiertas, sin o con poca vegetación presentó un comportamiento constante en ambos periodos, el primero comprendido entre el 2003 al 2014 el porcentaje fue de 8.8% y 15.7% respectivamente, comprobando que efectivamente el porcentaje de área para esta cobertura en el municipio aumentó en el primer periodo. Del mismo modo, del 2014 al 2024 pasó de 15.7% a 22.3% presentando una superficie mucho más amplia en un 6.6% en los espacios que inicialmente correspondían a la zona de bosque.

Lo anterior concuerda con lo publicado en el Boletín de detección temprana de cambios en ecosistemas claves del Caribe y la Orinoquía colombiana en el año 2020 elaborado por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) en donde en el tercer trimestre del año 2020 el municipio de Pueblo Bello presentó el 26% de detecciones tempranas de deforestación del departamento, asociando este comportamiento a la expansión de la frontera agrícola sobre terrenos no permitidos.

Tabla 1.

Tipos de cobertura y áreas ocupadas en hectáreas obtenidas a partir de la clasificación.

Cobertura	Cantidad (%) 2003	Cantidad (%) 2014	Cantidad (%) 2024
Nubes	NA	1.7	NA
Bosques y áreas seminaturales/Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	8.8	15.7	22.3
Bosques y áreas seminaturales/Bosques	90.5	81.1	70.9
Territorios agrícolas	0.6	1.3	6.2
Territorios artificializados	0.1	0.2	0.5

Fuente: elaboración propia, 2024.

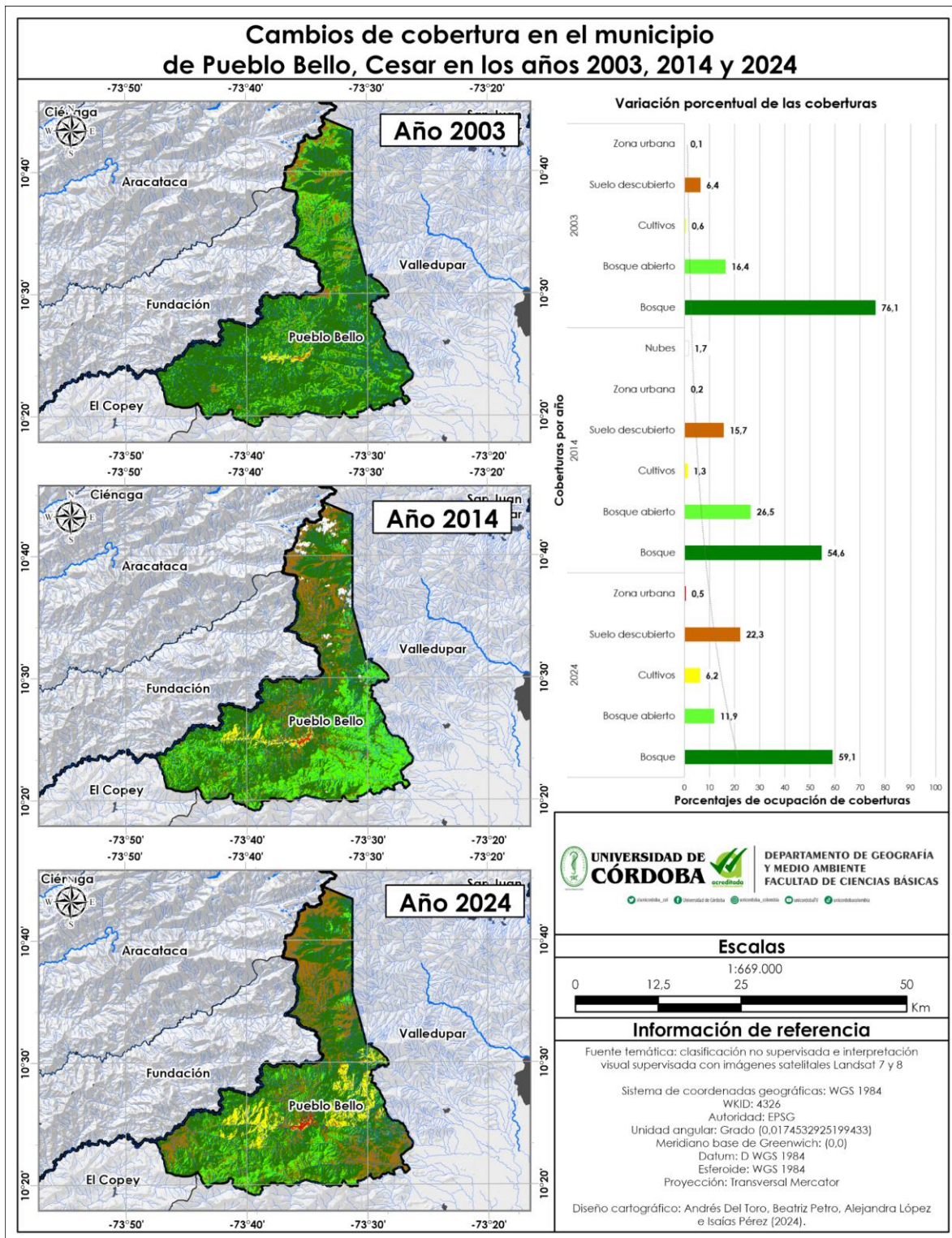



Figura 2. Mapa de cambios de cobertura en el municipio de Pueblo Bello, Cesar en los años 2003, 2014 y 2024. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de imágenes satelitales Landsat 7 y 8.



En cuanto a la capacidad de uso para el municipio de Pueblo Bello (**Figura 3**) se encontró que hay presencia de zonas con suelos adecuados o recomendados para prácticas de conservación de la vegetación natural existente y el emprendimiento de campañas que contribuyan a la reforestación, igualmente es apto para bosques protectores acordes a su altura y clima, con especies nativas, con el fin de que primen el buen manejo forestal, acciones que reduzcan la erosión y los daños a nivel ecológico (subclase **pe** y **es**), dispuestas espacialmente hacia el sur mayormente, ocupando el 46,28% y 20,44% del territorio respectivamente, y el 30,49% se recomienda conservar la fauna y flora silvestre local, reservorios de aguas o parques naturales localizados al norte y oriente del municipio según el Estudio general de suelos. Departamento de Cesar. Escala 1:100000 elaborado para el año 1997. Hay que tener en cuenta que, dada la cercanía con la Sierra Nevada de Santa Marta, es preciso que el municipio cuente con zonas de conservación ambiental, pues estas áreas presentan un alto valor ecológico para la biodiversidad.

Cabe destacar, en base al mismo estudio, que la capacidad para el desarrollo agrícola con cultivos mixtos tecnificados y ganadería intensiva con pastos genéticamente mejorados, se debe a factores como la fertilidad, pendiente del terreno y disponibilidad de agua (subclase **s**) abarcando el 2,19% del municipio hacia la zona centro y occidental próxima al casco urbano.

Por último, se encontraron áreas que pueden ser urbanizadas teniendo en cuenta la topografía de la zona, la infraestructura existente y la proximidad a servicios básicos. Además de la representación gráfica de la capacidad de uso del suelo, también se elaboró una tabla en la cual se describe cada símbolo correspondiente a cada categoría (**Tabla 2**).

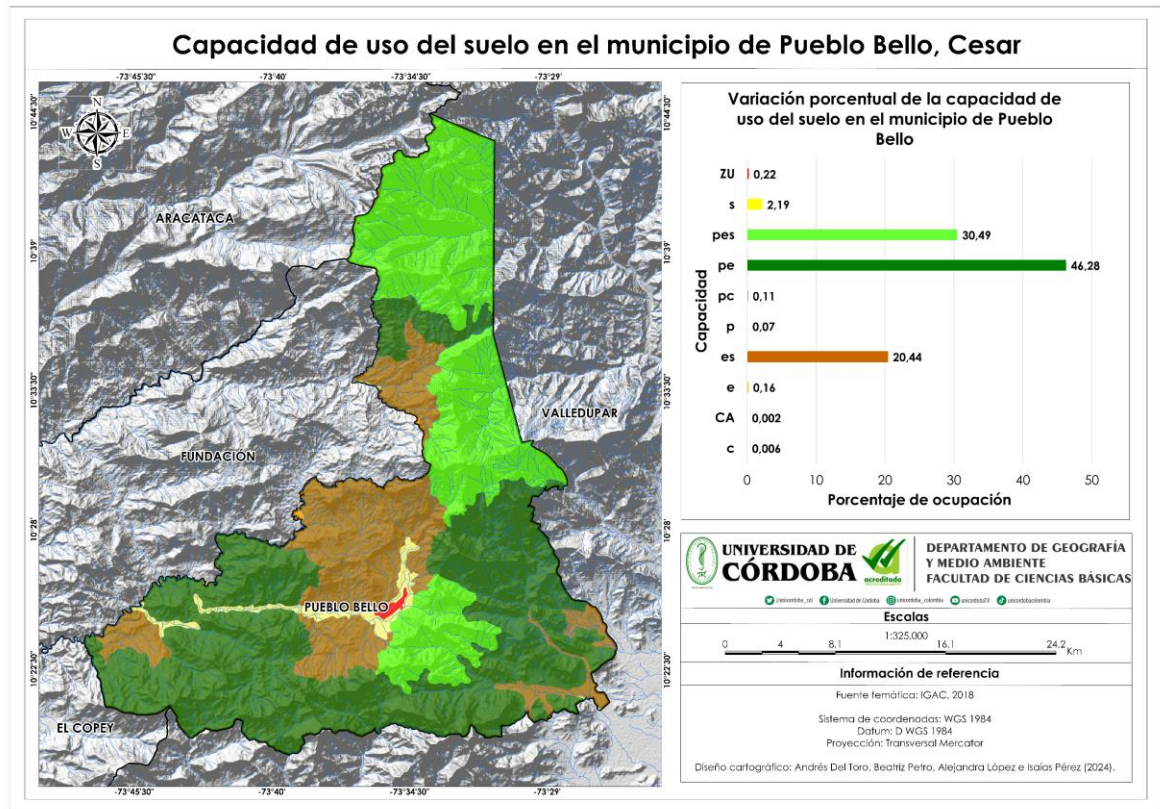


Figura 3. Mapa de capacidad de uso del suelo en el municipio de Pueblo Bello. Fuente: elaboración propia con datos del IGAC, 2017.

Tabla 2.

Descripción de las categorías obtenidas en la figura 3.

Símbolo	Tipo	Descripción
CA	CA	Cuerpo de agua.
ZU	ZU	Zona urbana.
c	MHBbp, MHBb2p, MHBd2p	Clima muy frío húmedo, relieve ligeramente inclinado a moderadamente quebrado, suelos moderadamente bien drenados, texturas moderadamente gruesas, moderadamente profundos y moderada fertilidad natural.

e	MLAe3	Clima frío húmedo, relieve fuertemente quebrado, suelos bien drenados, profundos, texturas moderadamente finas y fertilidad natural muy alta.
es	LKAe3; LQAe3; LRAe3; MVDe3; LVAe3; PVDc3, d3, e3; LWAd3, d3p, e3; PWAc3p; PWBc3p; PWDc3, d3, e3	Tierras en lomas y colinas de montaña y lomerío, en abanicos y lomas de piedemonte; suelos bien drenados, relieve moderadamente ondulado y fuertemente escarpado con pendientes 12-25 y 25-50%.
p	MUAe2, MUBe, MVAe2, MVCe2, MVDe2	Clima cálido húmedo y muy húmedo, relieve fuertemente quebrado, suelos bien drenados, profundos y moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad natural muy baja a moderada.
pc	MBAg, MHAg, MHAg2	Clima subnival y muy frío muy húmedo, relieve fuertemente escarpado, suelos superficiales y moderadamente profundos, limitados por presencia de fragmentos de roca; son bien a excesivamente bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad n.
pe	LKAf3; MLBf1, f2; MQAf2; MQBf2; LRAf3; MVAf2; MVBf2; MVCf2; MVDF2; LVAf3; MWAf2, f3; LWAfp, f2p, f3	Tierras en las partes más altas de las lomas, filas y vigas de montaña, en lomas y colinas de lomerío; suelos bien drenados, relieve moderadamente escarpado, con pendientes 50-75%.

pes	MEAg; MLA g1, g2, g3; MLBg2; MQAg1, g2; MQBg2, g3; MVAg2; MWAg3	Tierras en la zona montañosa y el lomerío, en alturas superiores a los 2.000 m.s.n.m, suelos bien drenados, relieve fuertemente escarpado y pendientes superiores al 75%.
s	ML Bb	Clima frío húmedo, relieve ligeramente inclinado, suelos moderadamente profundos, moderadamente bien drenados y fertilidad natural moderada.

Fuente: elaboración propia, 2024.

En lo que respecta a la vocación del suelo, el municipio de Pueblo Bello cuenta con 5 tipos encontrando primero donde la vocación forestal ocupa el 83,76% del área del municipio, pues cuenta con áreas cuyas condiciones climáticas, pendiente, suelos y riesgos erosivos, deberían ser aprovechados con usos de protección o producción forestal ya sea con especies nativas o exóticas. Salta a la vista que la protección forestal abarca el 83,01% del municipio respecto a las otras vocaciones, por lo tanto, estas áreas no permiten ningún tipo de uso agrícola o pecuario, excepto cuando sean definidos para uso forestal de producción.

Por su parte, la vocación de conservación de suelos se distribuye por el 11,69% del municipio en sus extremos norte y oriental, enfatizando en la conservación de recurso hidrobiológicos con un área equivalente al 10,39%. A modo general, este tipo de conservaciones son sumamente relevantes a partir de que el suelo es un recurso no renovable y que en la actualidad presentan problemas referentes a la sobreutilización mundial respecto a las actividades antrópicas (AGQ Labs, 2022) y que debido a sus características biofísicas y su importancia ecológica, presentan como función principal el cuidado de los recursos naturales con el único fin de garantizar el bienestar social, económico y cultural de la población a corto, mediano y largo plazo.

También cuenta con vocación ganadera de pastoreo extensivo de clima cálido, donde se explotan económicamente áreas con actividades ejercidas en animales de pastoreo, georreferenciadas en área de 2,37% del municipio en el sector suroriental. En la figura (**Figura 4**) se evidencia la vocación del uso de Pueblo Bello.

Finalmente, la vocación agrológica comprende el uso de cultivos transitorios semi intensivos de clima medio que permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola, con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos agrícolas espacializados por el 1,95% del municipio en el sector central extendiéndose hacia el occidente de la zona urbana.

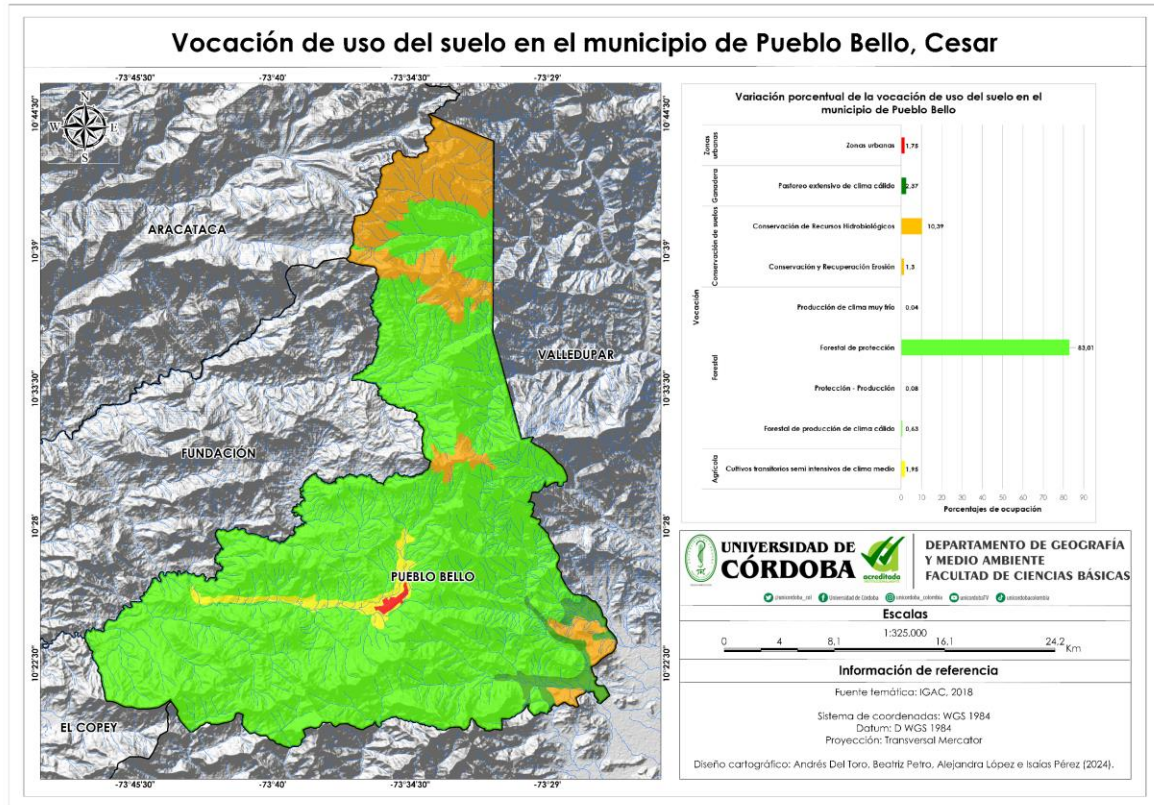



Figura 4. Mapa de vocación del uso del suelo en el municipio de Pueblo Bello. Fuente: elaboración propia con datos del IGAC, 2017.

Por último, al relacionar las coberturas terrestres, la capacidad y la vocación con el conflicto en el uso de suelo del municipio de Pueblo Bello se obtuvo la cartografía que evidencia (**Figura 5**) primeramente, conflictos por sobreutilización situados hacia el centro y sur del municipio sobre una superficie equivalente al 56,1% del área total del municipio que, como se observó en la **Figura 2**, corresponden a coberturas de bosques, zonas que presentan una capacidad (**Figura 3**) y vocación (**Figura 4**) forestal, en el centro y suroriental



del municipio se tiene conflictos por subutilización por un 3,3% de área que corresponde a vocaciones agrícolas y de conservación.

Además, el municipio presenta zonas con demanda no disponible, es decir, la actividad que se realiza no permite determinar si estas áreas tienen sobreutilización o en su defecto, subutilización, ubicadas en el centro y norte del municipio de Pueblo Bello en superficies inferiores al 1%.

A partir de todo lo anterior, se enmarca que el municipio cuenta con zonas donde su uso es adecuado o no tiene presencia de conflictos, las cuales están distribuidas hacia el norte, suroriente del municipio principalmente, así como a fragmentos discontinuos en dirección suroriental distribuidos al noroccidente y suroccidente del casco urbano sobre más el 39,4% de la zona de estudio.

Este panorama está asociado a la degradación edáfica que alteran negativamente el potencial de satisfacción de las necesidades tanto ambiental y socioeconómica de un grupo humano y que, a nivel nacional, se debe a el uso inadecuado (Guerrero, 2020), ocasionado por las actividades humanas, en mayor medida.

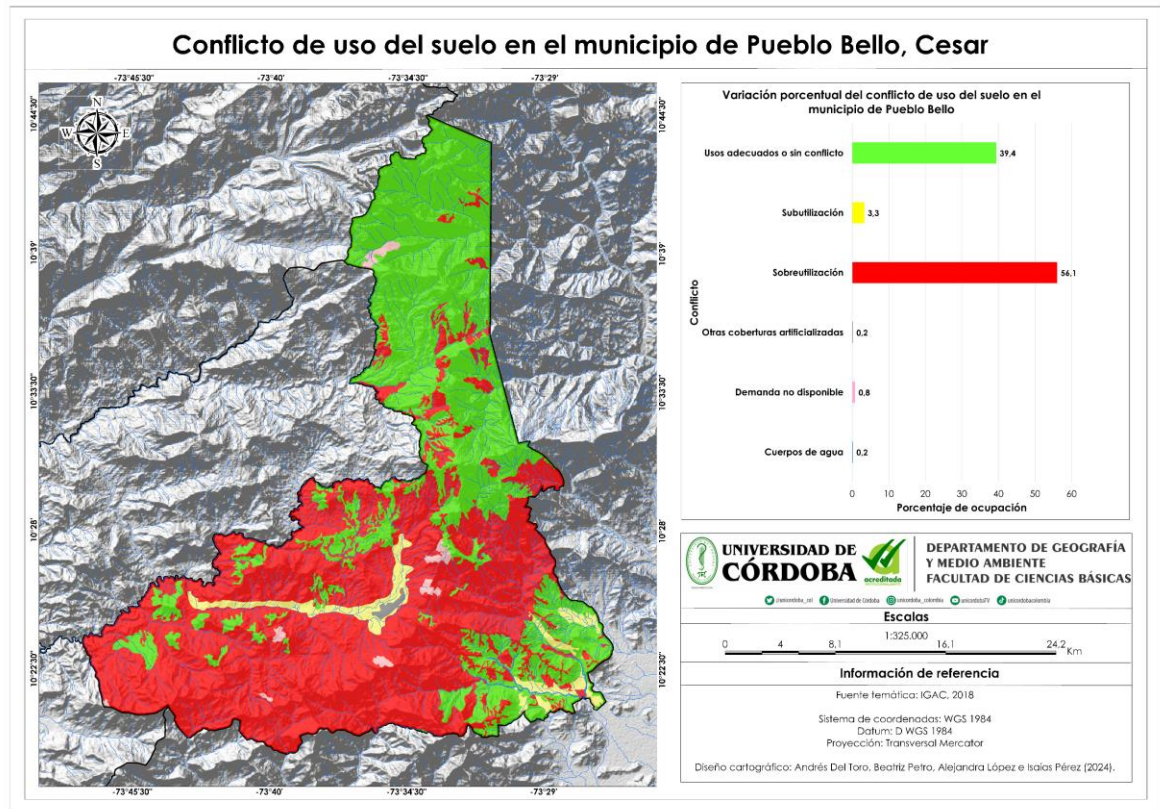



Figura 5. Mapa de conflicto de uso del suelo en el municipio de Pueblo Bello. Fuente: elaboración propia con datos del IGAC, 2017.

Conclusiones

La relación entre las coberturas terrestres, la capacidad y vocación de uso del suelo respecto a los conflictos de uso en el municipio de Pueblo Bello, Cesar es totalmente clara, pues en base a los resultados presentado se determinó que los conflictos de uso se deben directamente a las actividades de ocupación de las tierras que no son acordes a las capacidades y vocaciones de uso, en este caso, estipuladas por el IGAC en el año 2017, pues la deforestación a lo largo de estas dos décadas han influenciado una ganancia hasta el presente año de casi un cuarto (22,3%) de áreas abiertas, sin o con poca vegetación en la que las actividades agrícolas en expansión constante han sido las primeras detonantes de este comportamiento espacial.

Estos cambios han causado una fragmentación notable del paisaje boscoso en algunos sectores del municipio que respecto a los años 2003 y 2014 se encontraban más continuos (norte, centro, suroccidente y suroriente), que igualmente deterioran el suelo a raíz de la



realización de prácticas inadecuadas, por lo que más de la mitad del municipio se presenta un conflicto de uso por sobreutilización.

Asimismo, el aumento en los territorios agrícolas y artificializados o zonas urbanas sin planificación adecuada o acorde a la naturaleza física del territorio, han intensificado los conflictos de uso, indicando que existe la necesidad de estrategias de ordenamiento territorial eficiente y que involucren estrategias de protección, conservación y restauración ambiental.

A pesar de dicha situación, es de gran relevancia indicar que, aunque hubo pérdida en la cobertura de bosques, esta se mantuvo por encima del 70% de la superficie del municipio en cuestión, por lo que aún hay un área sumamente considerable sobre la cual se debe actuar en pro de mantener el equilibrio ambiental y social a largo plazo en el municipio de Pueblo Bello.

Esta investigación sirve como fundamento para futuras iniciativas de planificación y gestión en el ordenamiento del territorio donde el catastro multipropósito interviene como la principal herramienta para la administración, gestión y gobernanza de las tierras tanto rurales como urbanas dentro del territorio nacional (Escalante, 2017), con el objetivo de lograr un desarrollo más sostenible y equitativo en el municipio de Pueblo Bello que fue posible gracias a la implementación de imágenes satelitales tratadas con técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) e información de entidades oficiales como lo fue el IGAC.

Referencias

- Agencia de Desarrollo Rural, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Gobernación del Cesar. (2019). *Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial*. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/CESAR-TOMO-1.pdf>
- AGQ Labs Colombia. (2022). *Conservación de suelos en Colombia*. <https://agqlabs.co/2022/09/09/conservacion-de-suelos-colombia/>
- Aguilar, D; Cabrera, E; Castellanos, H; Corredor, L; Cruz, A; Valencia, C; La Torre, J; Martínez, N; Martín, C; Calderón, L; Murcia, U; Rodríguez, J; Ramírez, H; Rodríguez, N; Rojas, A; Romero, J; Ruiz, J; Romero, M y Rozo, D. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. https://www.corpocesar.gov.co/files/Ref_UnicoyPersistente/Corine_Land_Cover.pdf
- Alcaldía de Pueblo Bello. (2020). *Anexión del municipio de Pueblo Bello - Cesar al Área Metropolitana de Valledupar Documento de Soporte*. <https://www.areametrovalledupar.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/documento-técnico-ANEXIÓN.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2018). *Caracterización de las condiciones sociales, culturales y económicas de la cuenca*. https://www.corpocesar.gov.co/files/04_CaractSocioEconoCult_Guat_vf.pdf
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2020). *Boletín de detección temprana de cambios en ecosistemas claves del Caribe y la Orinoquía colombiana*. <https://www.corpocesar.gov.co/files/Boletin-3-Corpocesar.pdf>

Correa, A; Marín, L; Pabón, C; Pérez, R y Vidal, J. (2023). *Esquema de conectividades ecosistémicas*. <https://www.corantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2023/04/ESQUEMA-DE-CONECTIVIDADES-ECOSISTEMICAS-REV-23-03-20233.pdf>

Cuenca Jiménez, N. J., Chavarro Miranda, F., & Díaz Gantiva, O. H. (2008). *El sector de ganadería bovina en Colombia. Aplicación de modelos de series de tiempo al inventario ganadero*. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 16(1), 165-177. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-68052008000100012#:~:text=A%20la%20ganader%C3%ADa%20se%20dedica,de%20desarrollo%20emprendidas%20en%20Colombia.

Escalante, N. (2017). *El catastro multipropósito herramienta fundamental del PND para ordenar el territorio*. <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2017-10/El+catastro+multiprop%C3%B3sito+herramienta+fundamental+del+PND+para+ordenar+el+territorio+Nieto+Escalante.docx.pdf>

Guerrero, M. (2020). *Conflicto del uso del suelo en Colombia como precursor del aumento de su degradación*. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37298/GuerreroRiveraMariaAlejandra2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (s.f.). *Suelos en Colombia*. www.ideam.gov.co/web/siac/sueloscolombia

Instituto de Geografía de la Universidad San Francisco de Quito. (s.f.). *Uso y cobertura del suelo*. <https://www.institutodegeografia.org/uso-y-cobertura-del-suelo/#:~:text=La%20cobertura%20del%20suelo%20se,obtener%20alg%C3%BAn%20beneficio%20o%20producto>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (1997). *Estudio general de suelos. Departamento de Cesar. Escala 1:100000. Año 1997.*
<https://metadatos.icde.gov.co/geonetwork/srv/api/records/14138657>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.). *¿Qué es la vocación de los suelos?*
<https://antiguo.igac.gov.co/es/contenido/que-es-la-vocacion-de-los-suelos>

Jiménez, R. (s.f.). *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica.* <https://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/capacidad-uso-tierras.pdf>

Lizmová, N. (2007). *Análisis de mapas como un método de investigación de fenómenos naturales y socioeconómicos.* Luna Azul, (24), 1 de 7. Recuperado a partir de <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1073>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). *Documento Estratégico "Estrategia Colombia Siembra".*
https://www.minagricultura.gov.co/Documents/Estrategia_Colombia_Siembra.pdf

MinVivienda. (2023). *Plan de Ordenamiento Territorial.*
<https://minvivienda.gov.co/viceministerio-de-vivienda/espacio-urbano-y-territorial/plan-ordenamiento-territorial/pot>

Navarro, M; Gonzáles, L; Flores, R y Amparán, R. (2015). *Fragmentación y sus implicaciones Análisis y reflexión documental.*
<http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015%20-%20Fragmentaci%C3%B3n%20y%20sus%20implicaciones.%20An%C3%A1lisis%20y%20reflexi%C3%B3n%20documental.pdf>

Perlaza, M. (2017). *Usos del suelo en Colombia*.
<https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=318f5326071b4a07af32146847cc64ee#map>

Ramo, J; Ramos, J; Luna, L y Barón, Y. (2023). *Aproximación a los conflictos por el uso del suelo en el municipio de Pueblo Bello (Cesar)*.
<https://es.scribd.com/document/680176866/Aproximacion-a-los-usos-del-suelo-en-el-municipio-de-Pueblo-Bello-Cesar-Colombia>

República de Colombia. (2007). *Decreto 3600 de 2007*.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=26993>.

Sadeghian, Kh. S. (2009). *Impacto de la ganadería sobre el suelo. Obtenido de alternativas sostenibles de manejo*:
<http://www.establo.info/impacto%20de%20la%20ganaderia%20sobre%20el%20suelo.pdf>

UNCUYO. (s.f). *Programa de Geografía Ambiental*. <https://ffyl.uncuyo.edu.ar/upload/4-geografia-ambiental.pdf>

United Nations Convention to Combat Desertification. 2019. *The Global Land Outlook, Latin America and the Caribbean Thematic Report*, Bonn, Germany.
https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/GLO%20LAC%20SPANISH_WEB.pdf

Vergara, W. (2010). *La ganadería extensiva y el problema agrario. Obtenido de El reto de un modelo de desarrollo rural sustentable para Colombia*:
<http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ca/article/viewFile/350/281>

Afectaciones por contaminación de plomo usado en minería: revisión de literatura

Impacts of lead contamination from mining: literature review



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio - Diciembre, 2024: 26- 44

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.2>

Recibido: 20/09/2024

Revisado: 25/10/2024

Aprobado: 10/11/2024

Yeny Lozano Torres
Enfermera profesional
Universidad de Córdoba, Colombia
yennylozanot@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-8313-1952>
Córdoba – Colombia

Olga Lucia Arango Cordero
Enfermera profesional
Universidad de Córdoba, Colombia
olguita385@yahoo.es
<https://orcid.org/0009-0005-4816-3479>
Córdoba – Colombia

Resumen

La minería y otras actividades industriales han incrementado los niveles de plomo en el suelo y cuerpos de agua, especialmente en países como Colombia. La exposición a este metal pesado representa una amenaza significativa, afectando ecosistemas acuáticos y comunidades locales que dependen de estos recursos. El principal objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar los efectos del plomo en la salud y el medio ambiente, definir sus características, estudiar su presencia global y nacional, así como examinar los riesgos asociados con la exposición humana. Se empleó una metodología de revisión documental que abarcó tesis, artículos científicos y estudios de diversas fuentes académicas, en su mayoría posteriores al año 2000. Los resultados mostraron que la exposición al plomo provoca daños neurológicos, renales, cardiovasculares y reproductivos en humanos, y afecta especialmente a poblaciones vulnerables como niños y mujeres embarazadas. Se concluyó que la contaminación por plomo en zonas mineras exige regulaciones ambientales más estrictas y medidas preventivas para mitigar su impacto en la salud pública y el ambiente. La revisión subraya la urgencia de adoptar políticas de protección que equilibren el desarrollo económico con la preservación de la salud y el ecosistema.

Palabras clave: Toxicología; bioacumulación; metal; exposición; contaminación.

Abstract

Mining and other industrial activities have increased lead levels in soil and water bodies, especially in countries such as Colombia. The exposition to this heavy metal represents a significant threat, affecting aquatic ecosystems and local communities that depend on these resources. The main objective of this literature review is to analyze the effects of lead on health and the environment, define its characteristics, study its global and national presence, as well as examine the risks associated with human exposure. A documentary review methodology was used that included theses, scientific articles and studies from various academic sources, mostly after the year 2000. The results showed that exposure to lead causes neurological, renal, cardiovascular and reproductive damage in humans, and especially affects vulnerable populations such as children and pregnant women. It was concluded that lead contamination in mining areas requires stricter environmental regulations and preventive measures to mitigate its impact on public health and the environment. The review underlines the urgency of adopting protection policies that balance economic development with the preservation of health and the ecosystem.


Key word: Toxicology; bioaccumulation; metal; exposure; contamination.

Introducción

La revisión de la literatura muestra que la contaminación por plomo representa una amenaza medioambiental y de salud pública significativa en diversas regiones del mundo, especialmente en zonas afectadas por actividades mineras, agrícolas e industriales (Empresas Públicas de Medellín, 2023). Metales como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr) y arsénico (As), son altamente tóxicos y pueden acumularse en el suelo, agua y organismos vivos, generando afectaciones significativas.

La exposición al plomo (Pb) genera una problemática de salud pública que debe ser atendida con urgencia ya que afecta significativamente a los seres humanos y tiene consecuencias amplias, duraderas y, en muchos casos, irreversibles; provoca afectaciones en el desarrollo neurológico de los niños, alteraciones en el bienestar de la placenta en las mujeres embarazadas y aparición de enfermedades renales, daño hepático, problemas en el sistema nervioso central y cáncer (Chen et al., 2012).

Por su parte, el daño medioambiental del plomo se asocia con la contaminación de los ríos, donde la minería ha tomado un papel crucial. Según Calao y Marrugo (2015), la minería es un factor determinante, donde el plomo es liberado en forma de residuos que terminan acumulándose en el agua. Esta contaminación afecta tanto a los ecosistemas acuáticos, como



a las comunidades humanas que dependen de estos recursos hídricos para consumo, pesca y agricultura. La bioacumulación de plomo en organismos acuáticos genera un riesgo de exposición para los seres humanos a través de la cadena trófica, ampliando su impacto ambiental y en salud pública.

Revisar la literatura sobre este tema es esencial para entender el alcance y las especificidades de los impactos de la contaminación por plomo en la minería, identificar patrones y tendencias en diferentes regiones, y evaluar las medidas de mitigación. Esta revisión permite fundamentar políticas ambientales más efectivas y contribuye a crear conciencia sobre la necesidad de una regulación más estricta en las prácticas mineras, buscando un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección de la salud.

El principal objetivo de este artículo es determinar los efectos de la contaminación por plomo proveniente de actividades mineras en la salud humana y el medio ambiente a través de una revisión exhaustiva de la literatura científica.

Metodología

Este artículo de revisión bibliográfica implementa una metodología de investigación documental. Se centra en el análisis de fuentes primarias de información como tesis de maestría y doctorado, artículos de revistas indexadas y documentos de repositorios institucionales, entre las que destacan ResearchGate, PubMed Central, Dialnet, Booksmedicos, SciElo, Redalyc, ScienceDirect, Biblioteca Digital Universidad del Valle, Docta Complutense Universidad Complutense de Madrid y Roderic Universidad de Valencia. La utilización de términos claves como plomo, minería, contaminación y salud pública fueron necesarios en la búsqueda de la información. Los documentos seleccionados se caracterizan porque su idioma de escritura fue español e inglés; los años de publicación de la mayor parte los documentos seleccionados son posteriores al 2000; sin embargo, debido a su pertinencia, también se tuvo en cuenta algunos documentos publicados previamente.

Resultados y discusión

Definición y características del plomo


El plomo es un metal pesado, de color gris plateado, suave y maleable que tiene una densidad de 11.34 g/cm³. Su presencia en la corteza terrestre se da de forma natural. Se puede encontrar en diversos contextos, casi siempre en forma inorgánica (Poma, 2008) y pocas veces en forma de metal; usualmente se combina con otros elementos con los que forma compuestos de plomo (Restrepo, 2020).

Presencia del plomo: una mirada global

El plomo, que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre, se introduce en cuerpos de agua a través de residuos industriales, minería, aguas residuales y escorrentía urbana. Este presenta una forma no disuelta o está acompañado de partículas de mineral sedimentario u orgánico (James, Hilburn y Blair, 1996) debido a que tiene una baja solubilidad, especialmente en condiciones de pH neutro o ligeramente alcalino. Esto da razón para que, en los ecosistemas acuáticos, se acumule principalmente en los sedimentos del fondo del río, en lugar de permanecer en la capa superficial (Calao y Marrugo, 2015).

Un estudio de Kannel et al. (2008), frente a la contaminación del sistema fluvial urbano en el río Bagmati en el Valle de Katmandú, Nepal mostró que la contaminación se intensifica en las estaciones ubicadas en áreas urbanas, y que el río muestra una capacidad de "autopurificación" a medida que el río fluye a través de ciertas secciones rurales, a pesar de que en este estudio no se menciona específicamente el plomo como uno de los contaminantes analizados.

Sakan et al. (2009), evaluaron la acumulación de metales pesados en los sedimentos del río Tisza, ubicado en Europa Central., lo cual es crucial para evaluar el estado de salud ambiental del sistema fluvial y sus posibles efectos sobre la biota acuática y la salud humana. Los resultados mostraron una acumulación significativa de metales pesados en los sedimentos, en concentraciones que variaban en función de la ubicación y las actividades humanas cercanas, como la minería y la industria. Se encontró que algunos sitios presentaban




niveles de contaminación que podrían representar un riesgo para los organismos acuáticos y potencialmente para la salud humana si los metales se reintroducen en la cadena alimentaria.

La contaminación por plomo en los sedimentos del río Gomati, un afluente del río Ganges, se dio principalmente por las actividades humanas, como la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, la agricultura intensiva y el uso de pesticidas y fertilizantes (Singh et al., 2005). Por su parte, el análisis de la contaminación por plomo y cadmio en el río Apurímac, uno de los principales ríos del Perú y considerado como uno de los afluentes más remotos del río Amazonas, mostró que la concentración media de plomo en el agua del río fue de 0.0107 mg/L, con valores mínimos inferiores a 0.001 mg/L y un valor máximo de 0,031 mg/l. Para el cadmio, la concentración observada fue inferior a 0,001 mg/L en la mayoría de las muestras. Concluyentemente, los niveles de plomo y cadmio en el agua del río Apurímac se encontraron dentro de los límites máximos permisibles según los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua de Perú. Las fuentes de plomo y cadmio en el río se asocian a actividades humanas, como el uso de agroquímicos, residuos sólidos, la minería y el narcotráfico (Cossío, 2015).

Panorámica del plomo en los ríos colombianos

En Colombia, estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales dan a conocer que prevalecen altos niveles de materiales pesados en ríos y cuerpos de agua a lo largo del país, especialmente en las zonas dedicadas a la minería. El informe detalla que los ríos Acandiseño, Neguá y la quebrada Doña Josefa, ubicados en el departamento de Chocó, presentan signos de contaminación asociados a actividades mineras. Esta contaminación incluye un aumento en los sólidos suspendidos, grasas, aceites y metales pesados, particularmente mercurio (IDEAM, 2017).

Calao y Marrugo (2015), investigaron el impacto de los metales pesados (mercurio, cadmio y plomo) y evaluaron los efectos genotóxicos en la salud de los habitantes de la región de La Mojana Sucreña. Se analizaron muestras de sangre de habitantes de Guaranda, Sucre, Majagual y San Marcos, así como un grupo control de Montería. En algunos casos, las concentraciones de plomo alcanzaron hasta 52,46 µg/L, superando los niveles permisibles. Los participantes expuestos tuvieron mayores niveles de fragmentación del ADN en



comparación con el grupo de control. También, hubo una relación significativa entre la presencia de mercurio y cadmio en la sangre y el daño genotóxico, lo que sugiere que estos metales contribuyen al deterioro del ADN.


La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2009), llevó a cabo una evaluación ambiental y un plan de gestión ambiental para la cuenca del río Bogotá donde se identificaron diversos puntos de vertimientos industriales y residenciales, especialmente en la cuenca media y baja, que contribuyen a la contaminación con metales pesados. Dos puntos de estudio significativos fueron el Canal Torca y el río Fucha. En el primero, se observó una concentración promedio de plomo de 0.5 mg/L; mientras que para el segundo, las concentraciones en el río Fucha superaron consistentemente el límite establecido por la normatividad para el uso y preservación de la vida acuática. Este río presentó los niveles más altos de Pb entre los afluentes del río Bogotá, debido a su proximidad a fuentes de contaminación industrial.

Así mismo, Díaz et al. (2019), analizaron los niveles de plomo y mercurio y sus efectos en las poblaciones de las riberas, especialmente en áreas como Tocaima y Girardot. Los resultados destacan que el agua del río Bogotá no se usa para el consumo humano, pero es utilizada para cultivos, lo cual genera exposición indirecta.

Exposición y absorción del plomo en el cuerpo humano

El plomo es dañino bajo cualquier nivel de exposición y su absorción se da por medio de diversos métodos (Dirección de Promoción y Prevención – Subdirección de Salud Ambiental, 2022). Un estudio realizado en Los Ángeles, por el Centro Hospitalario Wadsworth, sobre el proceso metabólico del plomo, en cinco adultos sanos recluidos durante 10 a 210 días en una unidad metabólica hospitalaria, mostró que la vida media del plomo en el cuerpo es de cerca de 35 días (Rabinowrrz, Wetherill Y Kopple, 1976).

La Superintendencia de Riesgos del Trabajo de Argentina identificó que la absorción del plomo se presenta por tres vías: respiratoria, oral y dérmica (SRT, 2016). Los datos proporcionados por National Technical Information Service (2007), revelan que cuando el plomo entra al cuerpo por medio de las vías respiratorias, al inhalarse y llevar a los pulmones, es distribuido por todo el cuerpo por medio del torrente sanguíneo.




Zheng et al. (2012), analizaron los riesgos para la salud asociados con la ingesta de metales pesados a través de la dieta en una zona industrial de Huludao, China. El estudio cuantificó que hubo ciertos niveles de plomo y cadmio que superaron los límites seguros, lo que incrementó el riesgo de efectos tóxicos en la salud humana. Los autores concluyen que la exposición crónica a estos metales pesados a través de la dieta, puede causar problemas de salud graves, como daños en el sistema nervioso, hígado y riñones, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y ancianos.

James et al. (1996), exploraron cómo las comidas y los horarios de las comidas afectan la absorción de plomo en el tracto gastrointestinal en humanos. La investigación mostró que las personas en ayunas tienden a absorber mayores cantidades de plomo en comparación con aquellas que han ingerido alimentos. Esto se debe a que el plomo se absorbe más fácilmente cuando el sistema digestivo está vacío. Las comidas que contienen altos niveles de calcio y hierro pueden reducir la absorción de plomo. Estos minerales compiten con el plomo por los mismos sitios de absorción en el intestino, reduciendo la cantidad de plomo que ingresa al organismo.

Otra forma indirecta de absorción del Pb es por medio de la gasolina, cuando es utilizado como aditivo en forma de tetraetilo de plomo. Un estudio sobre el impacto de la eliminación del plomo en la gasolina en la Ciudad de México encontró en niños que antes de la eliminación del plomo, los niveles promedio en sangre eran de 7.22 $\mu\text{g/dL}$ y después de eliminarlo, bajaron a un promedio de 4.59 $\mu\text{g/dL}$ (Salazar et al., 2007).

La minería como un factor de riesgo para la exposición y la absorción del plomo

La minería, especialmente la ilegal, representa un riesgo significativo de exposición y absorción al plomo. El auge de la minería ha fomentado la explotación informal e ilegal de materiales, alterando el equilibrio natural y la seguridad nacional. El estudio de Saavedra Pineda (2022), destaca el crecimiento de la minería ilegal en Colombia y sus consecuencias ambientales y sociales. Este fenómeno ha aumentado la explotación de materiales sin controles adecuados, afectando gravemente el equilibrio ecológico y planteando riesgos para la seguridad nacional. En su investigación, Saavedra ha desarrollado tecnologías de detección



basadas en inteligencia artificial para identificar minas ilegales con una precisión significativa, lo cual facilita su monitoreo y control por parte del Estado.

Esta es una actividad de alto riesgo en cuanto a exposición al plomo, especialmente en zonas donde se extrae mineral o se maneja plomo en diversas formas. Los trabajadores de minas, especialmente en las de metales pesados, están expuestos al polvo o vapores de plomo, lo que puede llevar a su absorción en el organismo (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018). Durante las actividades de extracción y procesamiento, el plomo y otros metales pesados son liberados en el suelo y el agua, afectando las áreas circundantes (SRT, 2018).

La riqueza hídrica colombiana es considerada como una de las seis más grandes del mundo, debido a su abundancia a lo largo del territorio nacional (Reyes, 2019); sin embargo, los efectos de la industria, la agricultura y la minería han causado altos niveles de contaminación en las fuentes de agua. Según el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Valle de Aburrá, en 18 departamentos y 80 municipios del país se realiza explotación minera, principalmente artesanal y de pequeña escala. En áreas cercanas a actividades mineras, los niveles de plomo en el suelo y agua subterránea superan los límites seguros establecidos por las normas ambientales. La exposición al plomo es riesgosa y compromete la salud humana, particularmente en comunidades cercanas y en ecosistemas acuáticos locales. Dada la naturaleza soluble del plomo, bajo ciertas condiciones químicas, existe el riesgo de que este metal pesado se movilice a través del acuífero, afectando un área mayor y poniendo en riesgo otras fuentes de agua potable (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018).

Afecciones en la salud por absorción y exposición al plomo

Los daños a la salud por contaminación por plomo fueron ampliamente abordados por Ginez y Meza (2022), quienes identificaron que, compuestos de plomo como acetato de plomo, óxido de plomo, carbonato de plomo, nitrato de plomo, dióxido de plomo, arseniato de plomo, fosfato de plomo y cloruro de plomo, alteran los procesos de síntesis de la hemoglobina en la mitocondria y la función tubular, generan hipertensión arterial e insuficiencia renal, accidentes cardiovasculares, inflamación del tracto gastrointestinal, además de daños en el sistema nervioso central y nefrológicos.

La **Figura 1** muestra los daños a la salud causados por la exposición al plomo, basado en la información del estudio anteriormente citado. Cada categoría refleja la severidad de los efectos, clasificados en una escala de 1 a 10. Las afectaciones más graves incluyen daño neurológico, daño renal, anemia y problemas reproductivos.

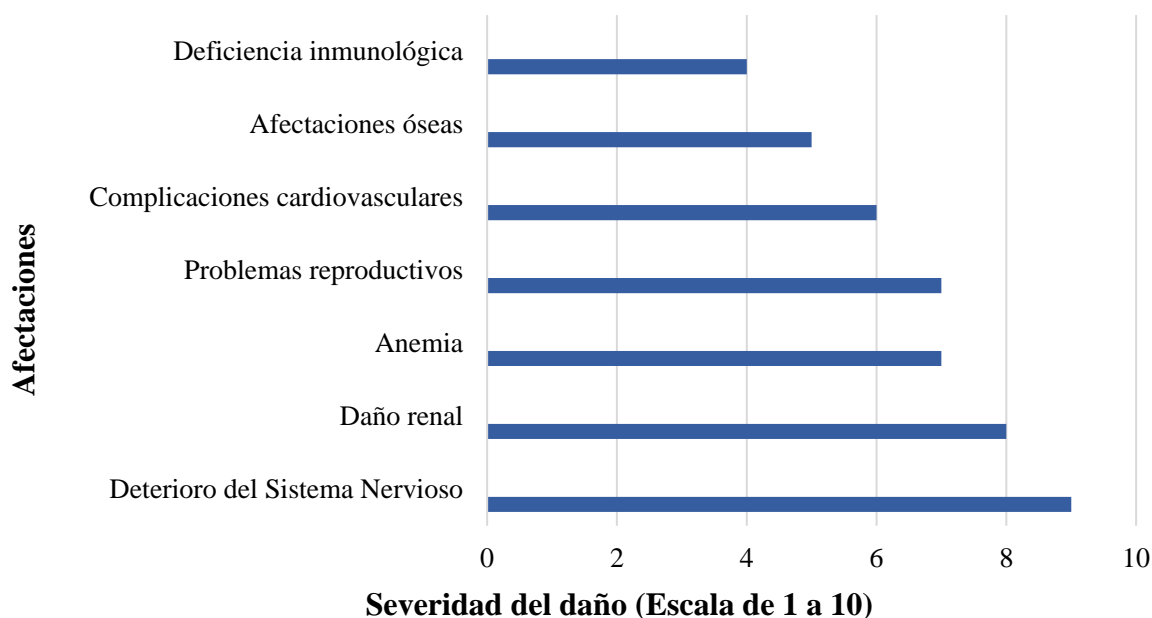



Figura 1. Daños en la salud por contaminación por plomo. Fuente: elaboración propia.

Deterioro del Sistema Nervioso Central

El plomo afecta al sistema neurológico de diversas maneras y genera efectos directos e indirectos en el cuerpo humano. Un estudio sobre la neurotoxicidad del mercurio, el plomo y el aluminio detalló los efectos en el sistema nervioso central (SNC). Se identificó que los dos primeros metales, son potentes neurotóxicos que afectan de manera significativa el desarrollo y funciones del SNC, especialmente en poblaciones vulnerables. En los niños, el coeficiente intelectual disminuye 3 puntos cuando los niveles de plomo en sangre superan los 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$, y más de 5 puntos cuando aumentan a 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$. En los adultos, se puede presentar encefalopatía cuando los niveles de plomo superan 450 $\mu\text{g}/\text{dL}$, presentando síntomas como temblores, somnolencia, irritabilidad y pérdida de memoria (Tostado, 2014).




El Pb puede sustituir al calcio en las mitocondrias, acelerando la autodestrucción mitocondrial y la apoptosis (muerte celular), lo que daña gravemente a las neuronas e interfiere en la función de neurotransmisores esenciales, como los sistemas dopaminérgicos, gabaérgico y colinérgico, impactando procesos claves como la memoria, el aprendizaje y el comportamiento. La exposición al Pb en infantes se relaciona con una disminución en el coeficiente intelectual y problemas de atención y aprendizaje (Tostado, 2014). En adultos, puede causar problemas de memoria, lentitud en el procesamiento y dificultades en tareas complejas (Murray et al., 2012).

Una exploración sistemática sobre las enfermedades relacionadas con la exposición ocupacional al plomo, realizada por Fonseca (2021), reveló que el plomo causa problemas en el sistema nervioso central; se observó una correlación entre niveles elevados de plomo en sangre y un aumento de la presión arterial. Los trabajadores expuestos presentaban un mayor riesgo de hipertensión, que es un factor de riesgo para enfermedades cardiovasculares más graves, como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. La exploración asoció los efectos negativos en la salud reproductiva con la exposición al plomo: en hombres, se reportaron niveles reducidos de fertilidad y alteraciones en la calidad del espermatozoides; en mujeres, incrementó el riesgo de abortos espontáneos y malformaciones congénitas en los hijos de las trabajadoras expuestas.

Daño renal

El plomo se acumula en los riñones, especialmente en los túbulos proximales, responsables de la filtración y reabsorción de nutrientes y desechos en el cuerpo. Esta acumulación puede ser prolongada debido a la naturaleza persistente del plomo, lo que permite que el metal actúe como una fuente de exposición continua, incluso cuando la exposición al metal ha cesado. Estos daños estructurales aumentan el riesgo de enfermedades renales crónicas, como la nefropatía tubulointersticial. La nefrotoxicidad del plomo también está vinculada con la hipertensión, ya que el daño renal afecta la regulación de la presión arterial; a medida que el plomo deteriora la función renal, la capacidad del cuerpo para regular la presión disminuye, contribuyendo al desarrollo de hipertensión e insuficiencia renal crónica (De Arriba, 2019).




El plomo induce daño mitocondrial, estrés oxidativo, agotamiento de antioxidantes como el glutatión y apoptosis, todo lo cual contribuye al deterioro progresivo de la función renal, además, promueve la degradación del sistema renina-angiotensina, lo que incrementa la presión arterial y el riesgo de enfermedad renal crónica; los resultados indican que la exposición a metales pesados está claramente asociada con la enfermedad renal crónica (ERC) y otros daños renales (Díaz y Arceo, 2018).

Polanco (2022), analiza la prevalencia de la enfermedad renal crónica (ERC) en la región de Tula-Tepeji, Hidalgo, México, destacando el impacto de factores ambientales, entre ellos la exposición al plomo y otros metales pesados debido a la contaminación industrial. La investigación incluyó a 704 pacientes, de los cuales el 31% presentaba ERC. Entre las afectaciones del plomo en la función renal, el estudio sugiere que la exposición crónica a niveles bajos de este metal contribuye al desarrollo de ERC e hipertensión, a través del daño túbulo-intersticial y vasculopatía arteriolar intrarrenal. Estos efectos se manifiestan en alteraciones renales como proteinuria leve, hiperuricemia y reducción en el tamaño renal, síntomas característicos de una nefritis túbulo-intersticial crónica.

Anemia

La relación entre la hemoglobina y el Pb es compleja, ya que éste puede interferir negativamente en la producción y función de la hemoglobina, lo cual contribuiría al desarrollo de anemia. El Pb inhibe enzimas esenciales en la síntesis de hemoglobina, como el ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALAD) y la ferroquelatasa, que son cruciales para la producción del grupo hemo, componente de la hemoglobina que transporta oxígeno. El Pb puede afectar la absorción y el metabolismo del hierro, un mineral fundamental para la formación de hemoglobina, lo que aumenta el riesgo de anemia (James et al., 1996).

En el estudio de Martínez (2022), se analizan los niveles de plomo en sangre y su relación con factores sociodemográficos, a medida que aborda la anemia en el contexto de la exposición al plomo y su interacción con los niveles de elementos trazas esenciales en una población infantil. Los resultados del estudio denotan que niños expuestos a altos niveles de plomo en sangre mostraron una mayor prevalencia de anemia, especialmente en aquellos con deficiencias de hierro, zinc y otros elementos esenciales que afectan la salud sanguínea. Se



ha descubierto que una cantidad de plomo de 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en adultos y 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en adolescentes o niños, son suficientes para presentar un umbral de anemia.

Problemas reproductivos

En las mujeres, durante el embarazo, el plomo produce muertes fetales, abortos y partos prematuros, ya que la conexión sanguínea directa del feto con el sistema de la madre, altera el desarrollo fetal e intrauterino, con consecuencias como el no desarrollo de órganos genitales del feto y debilidad en el tejido epitelial (Huaman, 2019).

Rodríguez (2017), realizó una revisión sistemática y metaanálisis sobre la exposición a metales pesados (como plomo, mercurio, arsénico y cadmio) y su relación con eventos perinatales adversos en mujeres embarazadas. Se identificó una asociación entre la exposición a plomo y un aumento en el riesgo de defectos del tubo neural en los neonatos (OR=1.2, IC 95%: 0.7-2.2). La exposición al plomo se relacionó con un aumento en el riesgo de que el bebé sea pequeño para la edad gestacional (OR=1.8, IC 95%: 1.3-2.2), lo que implica que la exposición al plomo en el embarazo afecta el crecimiento fetal. El metaanálisis encontró que la exposición al plomo también se asocia con un mayor riesgo de bajo peso al nacer (OR=1.1, IC 95%: 0.9-1.3), aunque esta relación es menos consistente.

Pérez (2021) investiga cómo los metales pesados, específicamente el cobre y el plomo, afecta la receptividad del endometrio, es decir, su capacidad para permitir la implantación del embrión. Se observa que ambos metales afectan importantes implicadas en procesos críticos para la implantación, como la adhesión celular, la respuesta inmune y la regulación hormonal. El plomo, en particular, muestra efectos disruptores que pueden disminuir la receptividad del endometrio, afectando la capacidad de implantación y, en consecuencia, reduciendo las posibilidades de un embarazo exitoso. En los hombres, cuando la concentración de plomo es mayor de 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$, la producción de espermatozoides se ve reducida en volumen y calidad; sin embargo, no existen datos exactos que demuestren que la exposición al plomo causa problemas reproductivos en los hombres.

Complicaciones cardiovasculares

Marques (2001) estudia los mecanismos fisiopatológicos por los cuales el plomo contribuye al desarrollo de la hipertensión arterial. Este trabajo se centra en los efectos tóxicos del plomo sobre el sistema cardiovascular, especialmente en su capacidad de aumentar la presión arterial. La actividad laboral se asocia con las alteraciones cardiovasculares por plomo, ya que la exposición constante, por minería, mecánicas combustibles, incrementan los riesgos cardiovasculares y enfermedades cerebrovasculares en personas adultas. El plomo puede interferir con la función de los vasos sanguíneos al causar estrés oxidativo y alterar el equilibrio de óxido nítrico, un compuesto esencial para la vasodilatación. La investigación concluye que la exposición al plomo es un factor de riesgo significativo para el desarrollo de hipertensión arterial, especialmente en personas expuestas crónicamente.

Afectaciones óseas

Una forma poco común en la acumulación de plomo es su concentración en los huesos, situación bastante compleja porque las pruebas de sangre no son determinantes para demostrar su presencia en el organismo (Tello, 2018). En casos específicos, una vez que el plomo se encuentra en el organismo, es distribuido por la sangre a los diferentes órganos del cuerpo y, posteriormente, se direcciona hasta los huesos. En los adultos “cerca del 94% de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes, en cambio, en niños, es aproximadamente un 73%” (National Technical Information Service, 2007, p. 6).

Deficiencia inmunológica

El plomo disminuye considerablemente los macrófagos pulmonares, trayendo como consecuencia la generación de nuevos anticuerpos en el organismo, dejándolo proclive a la adquisición de afectaciones de todo tipo, principalmente las del tracto respiratorio (Parra y Pérez, 2023); este daño es similar al que produce el consumo del tabaco y se puede manifestar con tos, fatigas y algunas veces con EPOC; por ello es importante la detección temprana y tratamiento preventivo (Muñoz, 2017).



Conclusiones

El plomo es un metal pesado de origen natural que se acumula en el ambiente, principalmente en sedimentos de cuerpos de agua y suelos. Su toxicidad y capacidad de bioacumulación lo convierten en un contaminante persistente, con efectos adversos prolongados para el medio ambiente y la salud humana.

A nivel mundial, el plomo se ha introducido en ecosistemas acuáticos a través de actividades industriales y mineras, presentando patrones de acumulación en sedimentos documentados en ríos de América, Asia y Europa.


En Colombia, especialmente en zonas mineras, los niveles de plomo en ríos, como el Bogotá y el Cauca, exceden los estándares permisibles, exponiendo a las poblaciones locales a riesgos de salud y afectando negativamente los ecosistemas acuáticos.

La minería es una fuente principal de exposición al plomo, especialmente en actividades sin control adecuado. La liberación de residuos contaminantes en el suelo y el agua afecta tanto a los mineros como a las comunidades cercanas, intensificando el riesgo de intoxicación.

La absorción del plomo ocurre a través de vías respiratorias, orales y dérmicas. Su acumulación en el cuerpo humano genera un riesgo de intoxicación crónica, afectando varios sistemas orgánicos.

La exposición al plomo en ayunas incrementa su absorción, y ciertas deficiencias nutricionales agravan sus efectos. Otros síntomas de intoxicación incluyen alteraciones neurológicas, problemas cardiovasculares, daños renales y anemia. Los efectos son severos en poblaciones vulnerables, como niños y mujeres embarazadas, así como en personas expuestas ocupacionalmente al plomo.

La neurotoxicidad del plomo afecta el desarrollo cerebral, principalmente en niños, donde puede reducir el coeficiente intelectual y causar problemas de comportamiento. En adultos, la exposición prolongada al plomo está vinculada con problemas de memoria y función cognitiva.



La acumulación de plomo en los riñones causa nefropatía crónica y contribuye a la hipertensión, aumentando el riesgo de insuficiencia renal. Este efecto es perjudicial en comunidades expuestas al plomo de manera continua.

El plomo inhibe enzimas críticas en la producción de hemoglobina, causando anemia, sobre todo en personas con deficiencias de hierro y otros elementos traza. Este efecto es más marcado en niños, quienes muestran mayor prevalencia de anemia al estar expuestos a altos niveles de plomo.


En mujeres embarazadas, el plomo incrementa el riesgo de abortos espontáneos, partos prematuros y defectos de nacimiento. En hombres, altos niveles de plomo disminuyen la calidad y cantidad de esperma, afectando la fertilidad.

La exposición al plomo está relacionada con hipertensión y enfermedades cardiovasculares. Este metal influye en el estrés oxidativo y en el equilibrio de óxido nítrico, aumentando el riesgo de eventos como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares.

El plomo se acumula en los huesos, lo que puede complicar su diagnóstico a través de análisis sanguíneos. Esta acumulación tiene efectos a largo plazo y representa una fuente continua de exposición interna al plomo, afectando la salud ósea.

Referencias bibliográficas


- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2018). Boletín sobre plomo (versión *en español*). Recuperado de https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/103018_2018_oeca_lead_publication_-_spanish.pdf?VersionId=zd6zx7TJkM4NGEQ2z3Fu3f9SP9NzmBxm.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2018). Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Valle de Aburrá. Red Río Aburrá.
- Calao, C. & Marrugo, J. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35 (2), 139-151.
- Chen, J., Tong, Y., Xu, J., Liu, X., Li, Y., Mingguang, T. & Li, Y. (2012). Environmental lead pollution threatens the children living in the Pearl River Delta region, China. *Environ Sci Contaminación Res Int*, 19 (8).
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2009). *Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental para la adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá* (Vol. 1). Fondo para las Inversiones Ambientales en la cuenca del Río Bogotá - FIAB.
- Cossío Herrera, L. (2015). Contaminación por plomo y cadmio del río Apurímac -vrae. *Tesis de maestría*. Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga. Perú.
- De Arriba de la Fuente, G., Hernández Sevillano, B., Pérez del Valle, K. & Quiroga Gili, B. (2019). Enfermedades renales tubulointersticiales. Formas crónicas. *Science direct*, 12 (83), 4872-4877.
- Díaz García, J. & Arceo, E. (2018). Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión. *Rev. Colomb. Nefrol*, 5 (1), 43-53.
- Díaz, S., Varona Uribe, M., Sánchez Infante, C., & Idrovo, A. (2019). Exposición a plomo y mercurio en poblaciones de la ribera del río Bogotá: estudio multi-método. *Revista de Salud Pública*, 21(1), 1-8.
- Dirección de Promoción y Prevención – Subdirección de Salud Ambiental. (2022). *Cultura del agua y la protección del recurso hídrico en Colombia a través de la norma*.
- Empresas Públicas de Medellín. (2023). *Informe de ejecución al mes de agosto 2023: Evaluación del estado actual de las concentraciones de mercurio, plomo, níquel, cromo, cadmio, arsénico y metilmercurio en peces, agua, sedimentos y material*



suspendido, y posibles afectaciones en la salud de los habitantes ribereños. de la cuenca media y baja del río Cauca. EPM.

- Fonseca Vera, A. (2021). Enfermedades por exposición ocupacional a plomo: revisión sistemática exploratoria de la evidencia cualitativa y cuantitativa. *Revista San Gregorio*.
- Ginez Fuente, P. & Meza Gonzales, M. (2022). Daños a la salud por contaminación con plomo. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Perú.
- Huaman Torres, L. (2019). Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera - Distrito de Simón Bolívar- Cerro de Pasco – 2018. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- James, H., Hilburn, M. & Blair, J. (1996). Effects of meals and mealtimes on uptake of lead from the gastrointestinal tract in humans. *Hum Toxicol*, 4 (4).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). Estado Del Ambiente Y De Los Recursos Naturales Renovables. Invemar.
- Kannel, P. R., Lee, S., Kanel, S. R., & Khan, S. P. (2008). Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, 582(2), 390-399.
- Marques Vidas, M. (2001). Bases fisiopatológicas de la hipertensión arterial inducida por plomo. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense De Madrid. España.
- Martínez Hernanz, A. (2022). Plomo en sangre y su relación con factores sociodemográficos y elementos traza esenciales en una población infantil. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense De Madrid. España.
- Muñoz Minutti, C. (2017). Regulación de la activación de macrófagos alveolares por la proteína del surfactante pulmonar SP-A. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense De Madrid. España.
- Murray, R., Kennelly, P., Bender, D., Rodwell, V., Botham, K. & Weil, P. (2012). Bioquímica ilustrada. 29a. Edición. McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES. China.

- National Technical Information Service. (2007). *Resumen de Salud Pública Plomo*. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.
- Parra Reyes, J. & Pérez, H. (2023). Estimación de materiales lignocelulosicos residuales como adsorbentes de cromo y plomo. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21 (1), 18-27.
- Pérez Debén, S. (2021). Análisis comparativo de perfiles proteómicos endometriales y estudio del efecto disruptor del cobre y plomo sobre la receptividad endometrial. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia. España.
- Polanco Flores, N. (2022). Epidemiología de la enfermedad renal crónica en la zona Tula de AllendeTepeji del Río, Hidalgo, México. *Med Int Méx*, 38 (2), 248-257.
- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *An Fac med*, 69 (2), 120-6.
- Rabinowrrz, M., Wetherill, G. & Kopple, J. (1976). Kinetic Analysis of Lead Metabolism in Healthy Humans. *The Journal of Clinical Investigation*, 58, 260-270.
- Restrepo, C. (29 de noviembre de 2020). Conocimiento, el legado del Convenio BIO. UdeA Noticias.
- Reyes Betancourt, L. M. (2019). Cultura del agua y la protección del recurso hídrico en Colombia a través de la norma. Universidad Libre de Colombia.
- Rodríguez Lozada, N. (2017). Exposición a metales pesados y el riesgo de eventos perinatales adversos en mujeres embarazadas. *Tesis de maestría*. Universidad Del Valle. Cali, Colombia.
- Saavedra Pineda, S. (2022). Minería Ilegal. Universidad del Rosario. Colombia.
- Sakan, S. M., Đorđević, D. S., Manojlović, D. D., & Predragović, D. D. (2009). Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza River sediments. *Journal of Environmental Management*, 90 (11), 3382-3390.
- Singh, M., Müller, G., & Singh, I. B. (2005). Heavy metals in freshly deposited sediments of the Gomati River (a tributary of the Ganges), effects of human activities. *Environmental Geology*, 48(1), 125-136.
- Salazar Mallma, P., Lamadrid Figueroa, H., Ángeles, G., Riojas Rodríguez, H. & Téllez-Rojo Solís, M. (2007). Impacto de la eliminación del plomo en la gasolina sobre las concentraciones de plomo en sangre en niños de la ciudad de México.



Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2016). *Plomo*. Ministerio del Trabajo, Empleo y Seguridad Social. Argentina.

Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2018). *Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales: Exposición al plomo*. Argentina.

Tostado Martín, E. (2014). Neurotoxicidad de los metales pesados: Plomo, Mercurio y Aluminio. Una revisión sistemática. *Tesis de maestría*. Universidad de Valladolid.

Zheng, N., Wang, Q., Zhang, X., Zheng, D., Zhang, Z., & Zhang, S. (2012). Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Science of the Total Environment*, 387(1-3), 96-104.

**Diseño de un programa educativo para la conservación de ríos en Caquetá:
integración de estrategias pedagógicas y participación comunitaria en el ecoturismo**

**Design of an educational program for river conservation in Caquetá: integration of
pedagogical strategies and community participation in ecotourism**



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024: 45-60

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.3>

Recibido: 28/09/2024

Revisado: 30/10/2024

Aprobado: 10/11/2024

Jeidy Katerine Claros Monje
Licenciada en Ciencias Sociales
Estudiante de Maestría en Educación
Universidad de la Amazonia
jeid.claros@udla.edu.co
<https://orcid.org/0009-0008-1633-4618>
Florencia– Colombia.

Esther Julia Olaya Marín
Doctora en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Docente de la Universidad de la Amazonia
es.olaya@udla.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-5819-2477>
Florencia– Colombia.

Cristian David Plaza Pérez
Doctor en Fitopatología
Docente de la Universidad de la Amazonia
c.plaza@udla.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-6644-040X>
Florencia– Colombia.

Resumen

El objetivo de este estudio es diseñar un programa educativo para promover la conservación de los ríos en el departamento del Caquetá mediante la integración de estrategias pedagógicas innovadoras y la participación comunitaria. La metodología empleada incluye una investigación exploratoria, descriptiva y aplicada con un enfoque mixto, combinando la recolección de información primaria y secundaria, la identificación de emprendimientos de ecoturismo en la región, entrevistas semiestructuradas con emprendedores y el diseño de un programa educativo basado en la metodología del Aula del Futuro. Los resultados muestran que el 65% de los emprendedores llevan más de cinco años operando, pero solo el 61.5% ha recibido capacitación en ecoturismo y educación ambiental. Se identificaron diez dimensiones clave de formación ambiental necesarias, incluyendo conocimiento de la biodiversidad local, prácticas de turismo sostenible y manejo de residuos. Basado en estos resultados, se diseñó un programa educativo que aborda estas necesidades a través de módulos teóricos y actividades prácticas utilizando tecnologías digitales y enfoques pedagógicos activos. Se concluye que la implementación de este programa puede mejorar significativamente las prácticas de ecoturismo en la región, fortalecer las competencias de los emprendedores y contribuir al desarrollo sostenible y la conservación de los ríos en el Caquetá.

Palabras clave: Ecoturismo, Programa Educativo, Educación ambiental, Conservación de Ríos, Aula del Futuro.

Abstract

The objective of this study is to design an educational program to promote river conservation in the department of Caquetá by integrating innovative pedagogical strategies and community participation. The methodology employed includes exploratory, descriptive, and applied research with a mixed approach, combining the collection of primary and secondary information, the identification of ecotourism ventures in the region, semi-structured interviews with entrepreneurs, and the design of an educational program based on the Future Classroom methodology. The results show that 65% of the entrepreneurs have been operating for more than five years, but only 61.5% have received training in ecotourism and environmental education. Ten key environmental training dimensions were identified, including knowledge of local biodiversity, sustainable tourism practices, and waste management. Based on these results, an educational program was designed that addresses these needs through theoretical modules and practical activities using digital technologies and active pedagogical approaches. It is concluded that the implementation of this program can significantly improve ecotourism practices in the region, strengthen the competencies of entrepreneurs, and contribute to sustainable development and the conservation of rivers in Caquetá.

Key word: Ecotourism, Educational Program, Environmental Education, River Conservation, Future Classroom.

Introducción


En las últimas décadas, el ecoturismo ha emergido como una alternativa sostenible al turismo tradicional, ofreciendo beneficios económicos y sociales mientras promueve la conservación ambiental (Siqueira et al., 2023). El departamento del Caquetá, una región en Colombia rica en biodiversidad y servicios ecosistémicos presenta una oportunidad invaluable para integrar la conservación de los ecosistemas acuáticos con el desarrollo comunitario. Los ríos del Caquetá son vitales tanto para la salud del ecosistema como para la economía local, ya que proporcionan servicios ecosistémicos esenciales y son atractivos naturales para el turismo.

No obstante, a pesar de su potencial, el departamento enfrenta varios desafíos relacionados con la conservación de sus ríos. La falta de educación ambiental y la limitada capacitación de los emprendedores en prácticas sostenibles han dificultado la preservación de estos ecosistemas. Este problema se agrava debido a la falta de programas educativos específicos que aborden las necesidades de formación en conservación de fuentes hídricas y ecoturismo sostenible. En este contexto, es crucial desarrollar e implementar estrategias educativas innovadoras que puedan sensibilizar tanto a turistas como a residentes locales sobre la importancia de proteger los ríos (Hendra Fahrudin Siregar et al., 2023).

El ecoturismo, cuando se gestiona adecuadamente, tiene el potencial de ser una herramienta poderosa para la conservación (Marcinek & Hunt, 2015; Mendoza-Ramos & Prideaux, 2018). Sin embargo, para que el ecoturismo cumpla su promesa de sostenibilidad, es esencial contar con programas educativos que integren metodologías pedagógicas activas y tecnologías digitales, promoviendo un aprendizaje significativo y práctico (Huang et al., 2023). La conservación de las fuentes hídricas es esencial no solo para la biodiversidad, sino también para la sostenibilidad a largo plazo de las comunidades que dependen de ellos (Kuemmerlen et al., 2022).

Desde su aparición, el ecoturismo ha evolucionado significativamente. En sus inicios, se centraba en actividades recreativas en entornos naturales (Rana, 2023), pero rápidamente se reconoció su potencial para la conservación y el desarrollo sostenible (Kumar et al., 2023). Sin embargo, en regiones específicas como el Caquetá, todavía existen lagunas en la investigación sobre cómo integrar de manera efectiva la educación ambiental en los programas de ecoturismo para la conservación de ríos (Nogales et al., 2023). No se han abordado completamente las estrategias pedagógicas más efectivas ni el impacto a largo plazo de estos programas en las comunidades locales y los ecosistemas acuáticos (Garzón et al., 2020).

En las últimas dos décadas, se han desarrollado numerosos estudios que resaltan la importancia de la educación ambiental como componente integral del ecoturismo. Por



ejemplo, Huang et al., (2023) señalan que el ecoturismo sostenible aporta beneficios tanto a las empresas locales como al medio ambiente, por lo que es fundamental capacitar a las oficinas de turismo, a los agentes de viajes y a las organizaciones para fomentar la conservación ambiental y el respeto por las tradiciones locales. En Nigeria, Mohammed (2022) destaca la importancia de crear conciencia entre las comunidades locales sobre la conservación de la flora y fauna para el desarrollo exitoso del ecoturismo. En su revisión, resalta que la falta de voluntad y la deshonestidad son los principales obstáculos para el desarrollo del ecoturismo en el país, pero también resalta el potencial de las comunidades locales para contribuir significativamente a la conservación si se les proporciona la educación y los recursos adecuados. De acuerdo con Aswita (2018) existen correlaciones positivas significativas entre el conocimiento ambiental y las actitudes hacia el ecoturismo, lo que indica que una mayor educación ambiental puede conducir a comportamientos proambientales y a una mayor apreciación de las prácticas ecoturísticas.

Hoy en día, el ecoturismo sigue siendo una estrategia clave para la conservación y el desarrollo sostenible en muchas partes del mundo. La investigación contemporánea se enfoca cada vez más en integrar metodologías de educación ambiental con prácticas de ecoturismo para maximizar los beneficios ambientales y socioeconómicos. Estudios recientes, como el de Kumar et al., (2023) identificaron estrategias de gestión para el desarrollo del ecoturismo basado en la vida silvestre, destacando la necesidad de enfoques multidisciplinarios que incluyan la percepción y participación de las comunidades locales. Yang et al., (2023) demostraron que el desarrollo sostenible del ecoturismo no solo beneficia a la industria local y al medio ambiente, sino que también mejora la calidad del servicio y la experiencia turística, lo cual es esencial para fomentar un ecoturismo de calidad y sostenible.

En el contexto latinoamericano, el ecoturismo ha ganado prominencia como estrategia de desarrollo sostenible (Gouvea, 2004; Gunter & Ceddia, 2021). Países como Costa Rica y Ecuador han liderado este movimiento, estableciendo reservas naturales y parques nacionales que combinan la conservación con el turismo sostenible. En Costa Rica, la inversión en infraestructura turística sostenible y la educación ambiental ha resultado en un modelo exitoso que otros países buscan emular (Miller et al., 2023).

A pesar de los avances, persisten lagunas en la investigación sobre la integración efectiva de la educación ambiental en los programas de ecoturismo destinados a la conservación de ríos en regiones específicas como Caquetá, especialmente en la región amazónica. Las estrategias pedagógicas más eficaces y el impacto a largo plazo de estos programas en las comunidades locales y los ecosistemas acuáticos aún no se han abordado completamente. Este artículo tiene como objetivo presentar un programa educativo diseñado para promover la conservación de los ríos en el departamento del Caquetá, mediante la integración de estrategias pedagógicas innovadoras y la participación comunitaria.

Materiales y métodos

Área de estudio

El departamento del Caquetá está situado en la región de la Amazonia, en el sur de Colombia (**Figura 1**), su geografía está caracterizada por su entorno de selva tropical, con una abundante vegetación y una topografía variada (Del Río Duque et al., 2022). La región cuenta con ríos, montañas y extensas áreas de selva amazónica, lo que la convierte en un lugar de gran biodiversidad (Bonilla-Aldana et al., 2020).

Caquetá tiene un clima tropical con temperaturas cálidas durante todo el año y una alta humedad. El departamento experimenta una temporada de lluvias y una temporada seca, comunes en la selva amazónica (Del Río Duque et al., 2022). El departamento es conocido por sus atractivos turísticos naturales, como el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete un destino importante para el ecoturismo. Además, la zona ofrece oportunidades para explorar ríos, cascadas y reservas naturales.

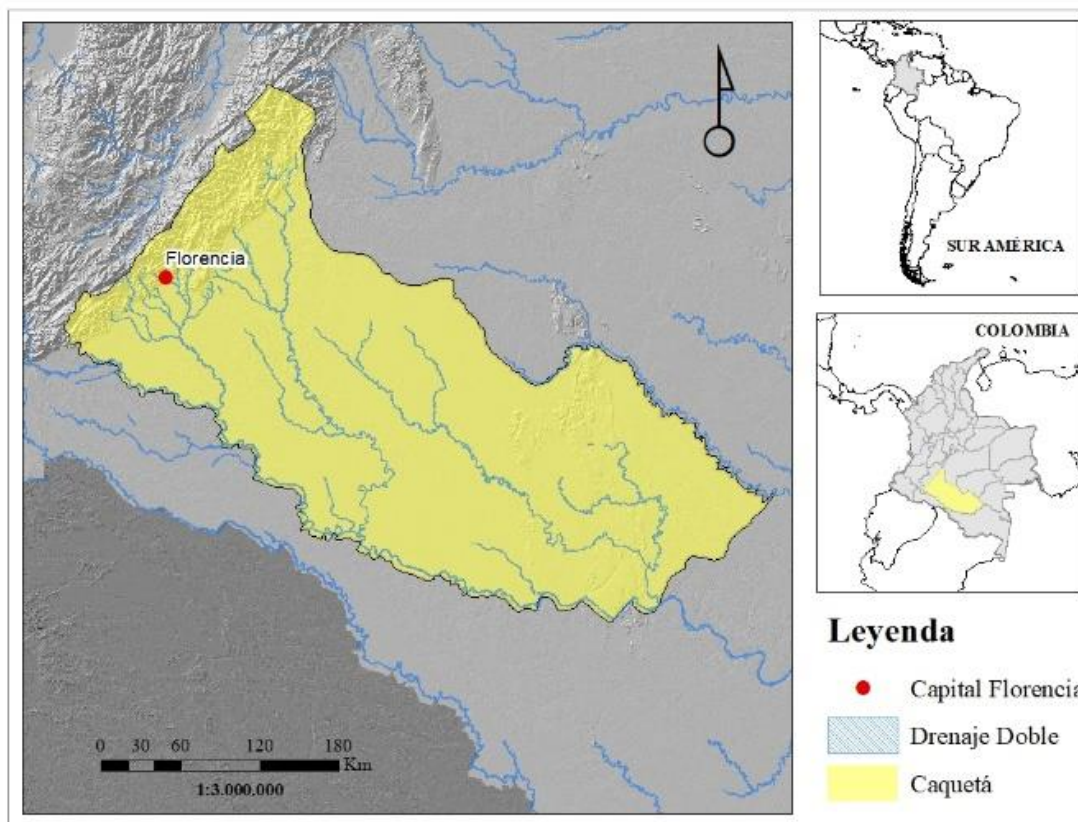


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Proceso Metodológico

La metodología empleada en este artículo se enmarca en una investigación de tipo exploratoria, descriptiva y aplicada, con un enfoque mixto que combina elementos cualitativos y cuantitativos (Creswell & Plano Clark, 2018). Para llevarla a cabo, se implementaron varias fases clave: en la fase inicial se recopiló información primaria y secundaria relevante para el objeto de estudio. Se realizó una exhaustiva revisión de la literatura global relacionada con el tema, utilizando buscadores de referencias en bases de datos científicas en inglés y español. Esto permitió obtener un marco teórico sólido y actualizado sobre el ecoturismo y la conservación de ríos, así como identificar estudios previos y experiencias exitosas en otras regiones (Tauro et al., 2021).

Posteriormente, se realizó una búsqueda activa de emprendimientos de ecoturismo en el Caquetá, donde los ríos son el principal atractivo. Esta búsqueda se apoyó en información proporcionada por organizaciones de la sociedad civil, así como instituciones públicas y privadas relacionadas con el sector turístico en el departamento. La selección de los emprendimientos se realizó mediante un muestreo intencional, enfocándonos en aquellos con al menos cinco años de operación y una participación en actividades de conservación (López de Parra, 2022).

Para comprender los conocimientos actuales sobre la conservación de ríos, las percepciones y las prácticas ambientales de los emprendedores de ecoturismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas y observación participante en recorridos por las rondas hídricas con los propietarios de los emprendimientos de ecoturismo. El instrumento de entrevista fue diseñado y validado mediante un grupo de discusión y el juicio de expertos en el campo de la educación ambiental y el ecoturismo. Esta validación incluyó la revisión y ajuste de las preguntas para asegurar su relevancia y claridad (López de Parra, 2022). Además, se llevó a cabo una prueba piloto con un pequeño grupo de emprendedores para ajustar y afinar los instrumentos antes de la aplicación general.

Con base en las necesidades identificadas en la fase anterior, se diseñó el contenido del programa educativo. Este contenido abordó las brechas y necesidades específicas de formación en conservación de ríos y ecoturismo sostenible. El programa se diseñó siguiendo la metodología del Aula del Futuro, que combina innovaciones pedagógicas, tecnologías digitales y espacios flexibles para abordar las necesidades de formación identificadas (Loureiro et al., 2022).

Resultados y discusión

Identificación de emprendimientos de ecoturismo

Se identificaron 26 emprendimientos ecoturísticos, donde el atractivo principal es el río. Los resultados de este estudio revelan que un 65% de los emprendedores de ecoturismo en Caquetá llevan más de cinco años en la actividad, lo que indica un desarrollo sostenido de esta industria en la región. Este hallazgo es consistente con estudios previos que destacan la importancia de la experiencia y la estabilidad en el sector del ecoturismo para promover prácticas sostenibles y la conservación del ambiente (Yang et al., 2023). La experiencia prolongada en el sector permite a los emprendedores desarrollar un conocimiento profundo de las prácticas sostenibles y adaptarse mejor a las necesidades de conservación del entorno natural.

La capacitación en ecoturismo y educación ambiental se encuentra en un 61.5% entre los emprendedores encuestados, lo que indica una brecha importante en la formación. Esto se alinea con la investigación de Mohammed (2022), que subraya la falta de capacitación adecuada como uno de los principales obstáculos para el desarrollo efectivo del ecoturismo en Nigeria. Mohammed también señala que la capacitación y la educación ambiental son cruciales para empoderar a las comunidades locales y mejorar la conservación de la flora y fauna.

En los emprendimientos ecoturísticos, la observación de fauna y el avistamiento de aves se realizan en 24 de ellos, mientras que el reconocimiento de plantas es una actividad destacada en 20 emprendimientos. Todos los emprendimientos permiten bañarse en las fuentes hídricas, destacando la importancia de este servicio ecosistémico hidrológico. La navegación y acuaturismo están presentes en 5 emprendimientos, ofreciendo aventuras únicas en los ríos del Caquetá.

Identificación de necesidades de formación ambiental por parte de emprendedores de ecoturismo

Se identificaron diez dimensiones de formación ambiental necesarias para los emprendedores de ecoturismo en Caquetá, como se muestra en la **Tabla 1**. La identificación de estas dimensiones clave, que incluyen el conocimiento de la biodiversidad local y el manejo de residuos, resaltan la necesidad de un enfoque integral en la educación ambiental para estos emprendedores. Estudios como los de Kumar et al. (2023) y Huang et al. (2023) destacaron la importancia de integrar múltiples dimensiones de la sostenibilidad en los programas de capacitación, con el fin de maximizar los beneficios ambientales y socioeconómicos del ecoturismo.

Tabla 1.*Necesidades de Formación Ambiental en Emprendedores de ecoturismo en Caquetá*

Dimensión de Formación Ambiental	Descripción de la Necesidad	Porcentaje de Emprendedores que lo Requieren	Comentarios
Conocimiento de la Biodiversidad Local	Información detallada sobre flora y fauna endémica, especies en peligro de extinción y su hábitat.	85%	Alta demanda debido a la importancia de ofrecer tours informativos y educativos.
Prácticas de Turismo Sostenible	Técnicas y prácticas para minimizar el impacto ambiental de las actividades turísticas.	78%	Los emprendedores buscan contribuir en el desarrollo de turismo sostenible.
Manejo de Residuos	Estrategias para la correcta gestión de residuos sólidos y líquidos generados por el turismo.	90%	Crucial para mantener la integridad de los ecosistemas locales.
Educación Ambiental para Turistas	Métodos para educar a los turistas sobre la importancia de la conservación y prácticas sostenibles.	95%	Necesario para fomentar un turismo más consciente y respetuoso.
Conservación de Fuentes hídricas	Técnicas para la conservación y uso sostenible del agua en actividades turísticas.	90%	Importante debido a la dependencia de fuentes hídricas locales.
Legislación Ambiental	Conocimiento de las leyes y regulaciones ambientales aplicables al turismo.	60%	Importante para cumplir con normativas y evitar sanciones.
Primeros Auxilios en Entornos Naturales	Capacitación en primeros auxilios específicos para actividades al aire libre.	55%	Crucial para garantizar la seguridad de los turistas.
Marketing Verde	Estrategias de marketing para promover el turismo sostenible y atraer a un público consciente del medio ambiente.	50%	Útil para mejorar la competitividad y la imagen del negocio.
Restauración de Ecosistemas	Técnicas de restauración de áreas degradadas por actividades humanas.	70%	Necesario para mitigar impactos negativos y promover la recuperación ambiental.
Impacto del Cambio Climático	Información sobre cómo el cambio climático afecta la región y cómo adaptarse a sus efectos.	80%	Importante para planificar a largo plazo y garantizar la resiliencia del negocio.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño del Programa de Educación Ambiental

Este programa (**Tabla 2**) fue diseñado para emprendedores de ecoturismo en la región amazónica de Caquetá. Basado en la metodología del Aula del Futuro, combina innovaciones pedagógicas, tecnologías digitales y espacios flexibles para abordar las necesidades de formación identificadas.

Objetivos del Programa

- Incrementar el conocimiento sobre la biodiversidad local y su conservación.
- Desarrollar habilidades prácticas y sostenibles en el turismo.
- Fomentar la educación ambiental entre turistas y emprendedores.
- Utilizar tecnologías innovadoras para una enseñanza efectiva.

Tabla 2.

Diseño del Programa de Educación Ambiental para emprendedores de ecoturismo en el departamento del Caquetá

Módulo	Contenido Teórico	Actividades Prácticas	Tecnologías Utilizadas
1. Conocimiento de la Biodiversidad Local	Ecosistemas amazónicos, flora y fauna endémica	Excursiones guiadas, identificación de especies locales	Aplicaciones móviles, realidad aumentada
2. Prácticas de Turismo Sostenible	Principios y técnicas de turismo sostenible	Talleres de implementación, creación de planes de manejo ambiental	Plataformas de e-learning, simuladores
3. Manejo de Residuos	Gestión de residuos sólidos y líquidos	Sesiones prácticas de clasificación y reciclaje, compostaje	Aplicaciones de gestión de residuos, sensores IoT
4. Educación Ambiental para Turistas	Estrategias de educación ambiental	Diseño de actividades educativas, creación de materiales didácticos	Herramientas de diseño gráfico, plataformas de comunicación
5. Conservación de Recursos Hídricos	Técnicas de conservación y uso sostenible del agua	Monitoreo de calidad del agua, instalación de sistemas de ahorro	Drones, sensores de calidad del agua, Sistemas de Información Geográfica (SIG)
6. Legislación Ambiental	Normativas y regulaciones ambientales	Análisis de casos, simulaciones de cumplimiento normativo	Bases de datos legales, software de análisis.
7. Primeros Auxilios en Entornos Naturales	Técnicas de primeros auxilios específicos	Simulaciones de rescate, entrenamiento en campo	Maniqués de simulación, aplicaciones de primeros auxilios
8. Marketing Verde	Estrategias de marketing sostenible	Desarrollo de campañas, uso de redes sociales	Plataformas de marketing digital, herramientas de análisis de mercado
9. Restauración de Ecosistemas	Métodos de restauración ecológica	Proyectos de restauración en campo, reforestación	SIG, aplicaciones de monitoreo ambiental

10. Impacto del Cambio Climático	Efectos del cambio climático y adaptación	Planificación de medidas de adaptación, evaluación de riesgos	Modelos climáticos, simulaciones de impacto
-----------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	---------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

La metodología del Aula del Futuro se enfoca en el desarrollo de competencias del siglo XXI, tales como la creatividad, la innovación, el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la comunicación y la colaboración (Loureiro et al., 2022). Estos elementos son cruciales para que los emprendedores puedan no solo implementar prácticas sostenibles, sino también innovar y adaptarse a los desafíos ambientales de manera efectiva.

Además, la implementación de un programa educativo basado en la metodología del Aula del Futuro, que combina tecnologías digitales y enfoques pedagógicos activos, representa una innovación significativa. La investigación de Loureiro et al. (2022) y Koulouris et al. (2022) respalda la efectividad de tales metodologías para mejorar el aprendizaje y la aplicación de prácticas sostenibles en contextos diversos.

El uso de tecnologías digitales, como aplicaciones móviles, realidad aumentada y sensores IoT (Internet de las Cosas), facilita la recolección de datos en tiempo real, el monitoreo ambiental y la gestión de recursos naturales. Estas herramientas tecnológicas permiten a los emprendedores tomar decisiones informadas y basadas en evidencia, mejorando así la sostenibilidad de sus operaciones (Koulouris et al., 2022).

Las estrategias de marketing verde y restauración de ecosistemas propuestas en el programa pueden fortalecer la competitividad de los emprendimientos de ecoturismo. La investigación de Miller et al. (2023) en Costa Rica demuestra que la combinación de prácticas sostenibles con estrategias de marketing efectivas puede atraer a un público más consciente del medio ambiente y fomentar un crecimiento sostenible de la industria.

La flexibilización de los espacios educativos es otro componente clave del Aula del Futuro. Este enfoque permite que los espacios de aprendizaje se adapten a diferentes actividades y necesidades, promoviendo un entorno de aprendizaje más dinámico y colaborativo. Para los emprendedores de ecoturismo, esto significa poder utilizar sus entornos naturales como aulas vivas, donde el aprendizaje es contextual y relevante (Connor, 2023).

El Programa de Educación Ambiental incorpora metodologías activas (Martínez Valdivia et al., 2023) como el aprendizaje basado en proyectos (**Tabla 3**) y la evaluación continua, que aseguran la aplicación práctica y el seguimiento del progreso de los emprendedores. El uso de recursos educativos interactivos y laboratorios móviles (**Tabla 4**) proporciona herramientas esenciales para la comprensión y práctica de la conservación ambiental. Además, la combinación de talleres presenciales y virtuales, junto con un

programa de mentoría y un sistema de monitoreo (**Tabla 5**), garantiza un apoyo integral y la adaptación constante del programa, fomentando así un impacto positivo y sostenible en la conservación de los ríos y el desarrollo de ecoturismo en la región.

Estos resultados destacan la importancia de una formación integral y adaptada a las necesidades locales para el desarrollo sostenible del ecoturismo. Al comparar estos resultados con estudios previos, se reafirma la necesidad de enfoques multidisciplinarios y la integración de tecnologías avanzadas para mejorar la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y promover el desarrollo comunitario sostenible.

Tabla 3.
Metodologías de Enseñanza

Metodología	Descripción
Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)	Los participantes desarrollarán proyectos aplicados a sus emprendimientos, integrando los conocimientos y habilidades adquiridos.
Aprendizaje Colaborativo	Se fomentará el trabajo en grupo y la creación de redes de colaboración entre los emprendedores.
Evaluación Continua	La evaluación será continua y formativa, utilizando portafolios digitales, presentaciones de proyectos y reflexiones escritas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.
Recursos Educativos


Recurso	Descripción
Material Didáctico Interactivo	Guías de campo, infografías, videos educativos, recursos digitales accesibles a través de una plataforma de e-learning.
Laboratorios Móviles	Kits de herramientas para actividades prácticas como la identificación de especies y el monitoreo de la calidad del agua.
Biblioteca Digital	Acceso a una colección de artículos científicos, estudios de caso y recursos educativos sobre ecoturismo y conservación ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.
Implementación y Seguimiento

Actividad	Descripción
Talleres Presenciales y Virtuales	Combinación de sesiones presenciales y virtuales para facilitar la participación de todos los emprendedores.
Mentoría y Acompañamiento	Programa de mentoría para apoyar a los emprendedores en la implementación de prácticas sostenibles.
Monitoreo y Evaluación	Sistema de monitoreo y evaluación para medir el impacto del programa y realizar ajustes necesarios.

Fuente: Elaboración propia.



Este estudio corrobora y amplía las observaciones de investigaciones previas sobre la importancia de la educación ambiental en el ecoturismo (Kumar et al., 2023). A diferencia de otros estudios que se centran en la percepción y actitudes generales hacia la conservación, el presente estudio se enfoca en las necesidades específicas de formación ambiental de los emprendedores de ecoturismo. Los resultados indican que, aunque existe una conciencia general sobre la importancia de la conservación, aún hay brechas significativas en la formación sobre prácticas sostenibles y manejo de recursos, especialmente en lo que respecta a la conservación de ríos.


El programa educativo propuesto, basado en la metodología del Aula del Futuro, es una innovación en el contexto del ecoturismo. Esta metodología, que combina tecnologías digitales y enfoques pedagógicos activos, no solo responde a las necesidades de formación identificadas, sino que también ofrece un modelo replicable para otras regiones.

La implementación del programa de educación ambiental puede tener un impacto directo en la mejora de las prácticas de ecoturismo en Caquetá. Al proporcionar a los emprendedores conocimientos detallados sobre la biodiversidad local y técnicas de conservación, se espera que puedan ofrecer experiencias turísticas más enriquecedoras y sostenibles. Además, la formación en manejo de residuos y conservación de recursos hídricos es esencial para minimizar el impacto ambiental del turismo y preservar los ecosistemas acuáticos locales. Las estrategias de marketing verde y restauración de ecosistemas incluidas en el programa también tienen el potencial de fortalecer la posición competitiva de los emprendimientos de ecoturismo en el mercado. Al adoptar prácticas sostenibles y comunicar su compromiso con la conservación, los emprendedores pueden atraer a un público más consciente del medio ambiente, lo que puede traducirse en mayores ingresos y un crecimiento sostenible de la industria.

La formación en el impacto del cambio climático y las técnicas de adaptación es otra práctica importante. Equipar a los emprendedores con este conocimiento es crucial para la planificación a largo plazo y la resiliencia de sus negocios frente a las incertidumbres climáticas.

Conclusiones

Este estudio presenta un programa de educación ambiental diseñado para promover la conservación de los ríos en el Caquetá, a través de la integración de estrategias pedagógicas innovadoras y la participación comunitaria. La implementación efectiva de este programa tiene el potencial de mejorar significativamente las prácticas de ecoturismo en la región, fortalecer las competencias de los emprendedores y contribuir al desarrollo sostenible y la conservación de los servicios ecosistémicos hidrológicos.



Para asegurar la efectividad del programa educativo, se recomienda implementar un plan de capacitación continua para los emprendedores en temas de conservación ambiental y ecoturismo sostenible, aprovechar tecnologías digitales como aplicaciones móviles y plataformas de e-learning para facilitar el acceso a los recursos educativos y herramientas de gestión ambiental, fomentar la participación de la comunidad local en la implementación del programa, y establecer un sistema de evaluación y retroalimentación continua para medir el impacto del programa y hacer los ajustes necesarios.


Futuras investigaciones deben enfocarse en evaluar el impacto a largo plazo del programa educativo en la conservación de los ríos y el desarrollo del ecoturismo, investigar la posibilidad de adaptar y replicar este programa en otras regiones con características similares, explorar el uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la gestión de los ecosistemas y la educación ambiental, analizar el impacto socioeconómico del ecoturismo y los programas de educación ambiental en las comunidades locales, y estudiar la efectividad de diferentes estrategias de educación ambiental dirigidas a los turistas y su impacto en el comportamiento y las actitudes hacia la conservación.


Con estas recomendaciones y líneas de investigación futuras, se espera que este estudio no solo contribuya al conocimiento académico, sino que también tenga un impacto práctico y positivo en la conservación de los ríos y el desarrollo sostenible del ecoturismo en el Caquetá.

Esta investigación contó con apoyo económico proveniente de recursos del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, a través del Programa Orquídeas, Mujeres en la Ciencia: Agentes para la Paz, 2023-2024.

Referencias bibliográficas

- Aswita, D. (2018). Environmental Education and Ecotourism for Sustainable Life: Literature Study. *Jurnal Ilmiah Peuradeun*, 6(1). <https://doi.org/10.26811/peuradeun.v6i1.157>
- Bonilla-Aldana, D. K., Bonilla-Aldana, J. L., García-Bustos, J. J., Lozada, C. O., & Rodríguez-Morales, A. J. (2020). Geographical trends of chikungunya and Zika in the Colombian Amazonian gateway department, Caqueta, 2015–2018 – Implications for public health and travel medicine. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2019.101481>
- Connor, L. (2023). Possibilities, Perceptions and Practices: Visibilising the Impact of Flexible Learning Spaces. *Video Journal of Education and Pedagogy*, 23(3). <https://doi.org/10.1163/23644583-bja10045>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and Conducting Mixed Methods Research. In *Organizational Research Methods* (Vol. 12, Issue 4).
- Del Río Duque, M. L., Rodríguez, T., Lora, Á. P. P., Löhr, K., Romero, M., Castro-Nunez, A., Sieber, S., & Bonatti, M. (2022). Understanding systemic land use dynamics in conflict-affected territories: The cases of Cesar and Caquetá, Colombia. *PLoS ONE*, 17(5 May). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269088>
- Garzón, N. V., Rodríguez León, C. H., Ceccon, E., & Pérez, D. R. (2020). Ecological restoration-based education in the Colombian Amazon: toward a new society–nature relationship. *Restoration Ecology*, 28(5). <https://doi.org/10.1111/rec.13216>
- Gouvea, R. (2004). Managing the ecotourism industry in Latin America: Challenges and opportunities. *Problems and Perspectives in Management*, 2(2).
- Gunter, U., & Ceddia, M. G. (2021). Can Indigenous and Community-Based Ecotourism Serve as a Catalyst for Land Sparing in Latin America? *Journal of Travel Research*, 60(7). <https://doi.org/10.1177/0047287520949687>
- Huang, C. C., Li, S. P., Chan, Y. K., Hsieh, M. Y., & Lai, J. C. M. (2023). Empirical Research on the Sustainable Development of Ecotourism with Environmental Education Concepts. *Sustainability*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310307>
- Koulouris, D., Pardos, A., Gallos, P., Menychtas, A., & Maglogiannis, I. (2022). Integrating AR and IoT Services into mHealth Applications for Promoting Wellbeing. *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2022-October*. <https://doi.org/10.1109/WiMob55322.2022.9941578>

- 
- Kuemmerlen, M., Batista-Morales, A. M., Bruder, A., Turak, E., & de Oliveira Roque, F. (2022). Conservation of Latin America freshwater biodiversity: beyond political borders. In *Biodiversity and Conservation* (Vol. 31, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02380-2>
- Kumar, S., Hasija, N., Kumar, V., & Sageena, G. (2023). Ecotourism: A Holistic Assessment of Environmental and Socioeconomic Effects towards Sustainable Development. *Current World Environment*, 18(2). <https://doi.org/10.12944/cwe.18.2.14>
- Loureiro, P., Dieguez, T., & Ferreira, I. (2022). Higher education as a driver for sustainable transformation and leadership. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*. <https://doi.org/10.54660/anfo.2022.3.4.13>
- Marcinek, A. A., & Hunt, C. A. (2015). Social capital, ecotourism, and empowerment in Shiripuno, Ecuador. *International Journal of Tourism Anthropology*, 4(4). <https://doi.org/10.1504/ijta.2015.074005>
- Martínez Valdivia, E., Pegalajar Palomino, M. del C., & Burgos-Garcia, A. (2023). Active methodologies and curricular sustainability in teacher training. In *International Journal of Sustainability in Higher Education* (Vol. 24, Issue 6). <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2022-0168>
- Mendoza-Ramos, A., & Prideaux, B. (2018). Assessing ecotourism in an Indigenous community: using, testing and proving the wheel of empowerment framework as a measurement tool. *Journal of Sustainable Tourism*, 26(2). <https://doi.org/10.1080/09669582.2017.1347176>
- Miller, A. B., Cox, C., & Morse, W. C. (2023). Ecotourism, wildlife conservation, and agriculture in Costa Rica through a social-ecological systems lens. *Frontiers in Sustainable Tourism*, 2. <https://doi.org/10.3389/frsut.2023.1179887>
- Mohammed, U. A. (2022). Ecotourism in Nigeria, challenges and prospects: a review. *Gadua Journal of Pure and Allied Sciences*, 1, 12–17. <https://doi.org/10.54117/gjpas.v1i1.3>
- Nogales, J., Rogéliz-Prada, C., Cañon, M. A., & Vargas-Luna, A. (2023). An integrated methodological framework for the durable conservation of freshwater ecosystems: a case study in Colombia's Caquetá River basin. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1264392>
- Rana, V. (2023). Essence and types of ecotourism: literature review. *Individual. Society. state. Proceedings of the International Student and Teacher Scientific and Practical Conference*. <https://doi.org/10.17770/iss2021.6928>



Siqueira, J. S. de M., Trevisan, K., Magri, M. P. de F., Brunelli, L. F., Rosa, M. dos S., Silva, H. T. da, Santos, B. R., & Aversi-Ferreira, T. A. (2023). Analysis of the environmental education of exploratory tourism in Capitólio-MG by a tour guide. *Peer Review*, 5(18). <https://doi.org/10.53660/809.prw2240>

Yang, L., Hu, X., Lee, H. M., & Zhang, Y. (2023). The Impacts of Ecotourists' Perceived Authenticity and Perceived Values on Their Behaviors: Evidence from Huangshan World Natural and Cultural Heritage Site. *Sustainability (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021551>

Ciudad inteligente: Ciudadano conectado

Smart City: The Connected Citizen



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024: 61-80

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.4>

Recibido: 28/10/2024

Revisado: 10/11/2024

Aprobado: 26/11/2024

Alejandro Vergara berra

Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de la Tecnología

Dirección de Investigación

Universidad Interamericana A.C.

direccion.investigacion@lainter.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0001-3642-0870>

Puebla - México

Resumen

Este artículo explora la relación entre la tecnología y la participación ciudadana en la construcción de ciudades inteligentes, con énfasis en la comunicación humana como motor esencial de su desarrollo. Si bien la tecnología desempeña un papel crucial, es la interacción entre los ciudadanos, la capacidad de diálogo y la construcción de consensos lo que verdaderamente define una ciudad inteligente, con el conocimiento y uso adecuado de los resultados que provee la tecnología y sus innovaciones. A partir de un análisis comparativo de diversas ciudades a nivel mundial, se demuestra que el éxito de las iniciativas de ciudades inteligentes depende de la capacidad de integrar la tecnología con la participación activa de los ciudadanos. Finalmente se presenta en una reflexión, la situación que viven las ciudades en México, desde la dimensión en ese proceso de integración constructiva para llegar a ser consideradas ciudades inteligentes, dando como conclusión que la cocreación; es decir, la colaboración entre ciudadanos, gobierno y empresas, es clave para desarrollar soluciones urbanas innovadoras y sostenibles que respondan a las necesidades locales.

Palabras clave: ciudad inteligente, ciudadanía, tecnología, participación, cocreación.

Abstract

This article explores the relationship between technology and citizen participation in the construction of smart cities, with an emphasis on human communication as the essential driving force behind its development. While technology plays a crucial role, it is the interaction among citizens, the capacity for dialogue, and the building of consensus that truly defines a smart city, through the knowledge and appropriate use of the results provided by technology and its innovations. Through a comparative analysis of various cities worldwide, it is demonstrated that the success of smart city initiatives depends on the ability to integrate technology with the active participation of citizens. Finally, a reflection is presented on the situation of cities in Mexico, from the dimension of that constructive integration process to be considered smart cities, concluding that co-creation; that is, the collaboration between citizens, government, and businesses, is key to developing innovative and sustainable urban solutions that respond to local needs

Key word: smart city, citizenship, Technology, stake, co-creation.

Introducción.


Comprender el concepto de ciudad inteligente (Smart City, por sus siglas en inglés) es relativamente sencillo, en tanto que basta comprender los elementos esenciales que la componen, así como la estructura y dinámica que la inspira. La definición de dichos componentes, varía de acuerdo al autor. Por ejemplo, Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2019) destacan que algunos componentes esenciales de una ciudad inteligente incluyen redes de datos, sistemas de información geográfica, sensores, gestión inteligente de residuos, uso de energías renovables, tecnologías de la información y la comunicación (TIC), automatización y control de edificaciones, sostenibilidad ambiental, transparencia entre administraciones y ciudadanos, así como movilidad urbana y transporte público sostenible.

Existen tres elementos fundamentales que deben considerarse al momento de analizar una ciudad inteligente:

1. Desarrollo de la infraestructura
2. Creación de un entorno competitivo
3. Apostar por un modelo sostenible e inclusivo.

Respecto al Desarrollo de la infraestructura tecnológica, Lab (2022) señala que esta debe apoyarse en tecnologías como *IoT*, *big data*, *edge* y *cloud computing*, e inteligencia artificial entre otras, y con una orientación de asistencia a la ciudadanía para una convivencia social armónica.


En lo que se refiere a Creación de un entorno competitivo, en el texto de The Information Lab (2022), se argumenta que, una de las claves del éxito de las nuevas smart cities es su apuesta por proporcionar un entorno ideal para fomentar la creación y el desarrollo de nuevos negocios, garantizando prosperidad y crecimiento. Es de resaltar que para apostar por un modelo sostenible e inclusivo, es importante entender el uso adecuado y optimizado de recursos de los que se vale la ciudad que se precie ser inteligente, tomando como indicadores qué tan eficientemente se manejan los diferentes tipos de energía generativa, renovable y reciclaje, entre otros elementos.



Una contribución relevante sobre la estructura que debe poseer una Ciudad Inteligente es la propuesta de la Comunidad Europea, la cual establece áreas clave de actuación transversal en el mercado, organizadas en los siguientes elementos:

- Movilidad urbana sostenible
- Distritos sostenibles y entorno construido
- Infraestructuras y procesos integrados en energía, tecnologías de la información y la comunicación y transporte
- Atención ciudadana, política y regulación
- Planificación y gestión integradas
- Intercambio de conocimientos
- Líneas de base, indicadores de desempeño y métricas
- Gobernanza de datos abiertos
- Normas
- Modelos de negocio, adquisiciones y financiación

Para respaldar esta perspectiva contemporánea, recientes estudios han abordado la importancia de estos elementos en la concepción de Ciudades Inteligentes. Autores como Gómez, A., Martínez, B., & López, C. (2022) y Pérez, M., & Martínez, L. (2021) han destacado la necesidad de integrar la sostenibilidad en la movilidad urbana y la infraestructura, mientras que Lobo, J., & Silva, M. (2023) han explorado la relevancia de la gobernanza de datos abiertos como facilitador de la participación ciudadana y la transparencia en la gestión urbana. En este contexto, autores como Sánchez, R., & Ortega, F. (2020) han enfatizado la necesidad de una planificación y gestión integradas, así como la implementación de indicadores de desempeño que permitan evaluar el avance hacia el objetivo de una ciudad más inteligente y sostenible. Estas investigaciones subrayan la importancia de estos elementos en el desarrollo de un marco efectivo para las Ciudades Inteligentes.



De manera concreta se puede establecer un criterio generalizado de componentes esenciales de las *Smart Cities*, que pueden caracterizar a una ciudad inteligente:

- Infraestructura tecnológica, que recopile y analice datos para la toma de decisiones adecuada en la optimización de los servicios urbanos donde se aplique.
- Desarrollo económico, orientado hacia la innovación, creación y emprendimiento de empresas y organizaciones que beneficien a los ciudadanos, elevando su calidad de vida.
- Gobernanza, cuya efectividad coordine los actores e instancias involucrados en la construcción de estructuras que definan a una ciudad con la categoría de inteligente.
- Sostenibilidad, que eficientiza recursos naturales, así como generados para minimizar el impacto ambiental en energía, movilidad, manejo de residuos, etc.
- La participación ciudadana es un factor esencial para la determinación de una Ciudad Inteligente, pero más aún, determinante en que la suma y conjugación de los demás elementos operen de forma eficiente.

Algunos investigadores a nivel mundial, apuntan a que el ámbito tecnológico es el determinante para el funcionamiento y éxito de una Ciudad Inteligente. Sin embargo, no debe perderse de vista que la presencia del individuo como ente social y ciudadano es quizá más impactante y fundamental en la ejecución de la sinergia que debe existir entre los componentes de la ciudad, para el logro de los objetivos propuestos. En este sentido, resulta interesante el señalamiento del Instituto de Estudios Superiores de la Empresa (IESE), asegurando que “no debe olvidarse que el factor humano resulta fundamental en el desarrollo de las urbes. Sin una sociedad participativa y activa, cualquier estrategia -por muy inteligente y global que sea- estará abocada al fracaso. Más allá del desarrollo tecnológico y económico, es la ciudadanía la que tiene la llave para que las ciudades pasen de ser inteligentes a sabias” (Berrone, 2024). Enfocándose este proceso en un meta a la que tenga que orientarse toda ciudad que busque la mejora constante y permanente. En este sentido, la plataforma de investigación IESE Cities in Motion Strategies, con el objetivo de ayudar a las ciudades a identificar soluciones efectivas, creó un índice que integra 9 dimensiones en un sólo indicador y recoge 183 urbes de todo el mundo (**Figura 1**).



Figura 1. Elementos de análisis del ICIM 2024. Fuente: IESE – Cities in motion. (2024)

Así es como con esta visión integradora, el IESE Cities in Motion Strategies, a través del ICIM (indicador que mide la sostenibilidad de cara al futuro de las principales ciudades del mundo, así como la calidad de vida de sus habitantes), conlleva a la identificación de aspectos de fortaleza y debilidad en cada una de las ciudades, ofreciendo un esquema que recopila, analiza y difunde casos de éxito, así como entrevistas de profundidad con expertos, académicos, empresarios, funcionarios públicos, representantes ciudadanos, etc.; entes identificados con la dinámica de crecimiento de las ciudades. Consecuencia de ello, se llega a la conclusión que debe entenderse en profundidad cada una de las dimensiones que propone (Figura 2)

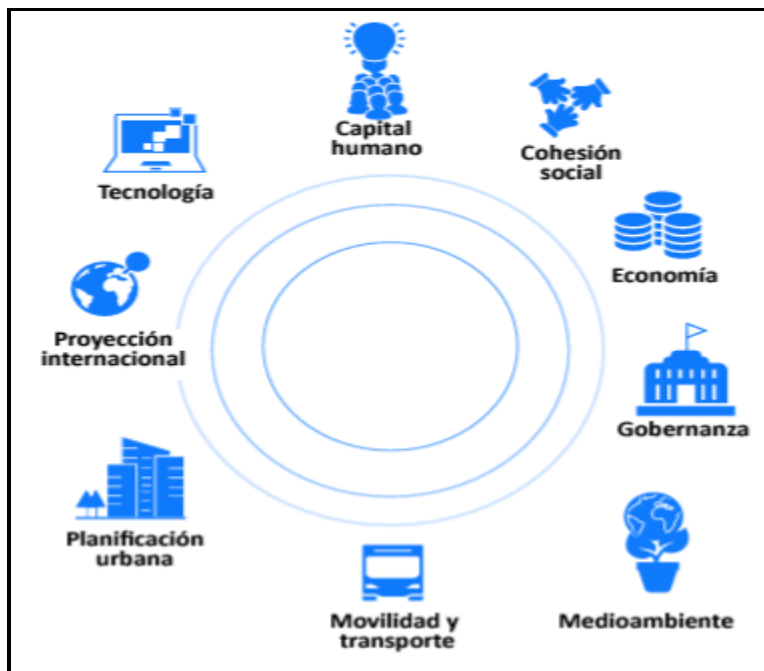



Figura 2. Dimensiones esenciales del ICIM 2024. Fuente: IESE – Cities in motion. (2024)



Estas dimensiones significan de manera general, lo que las ciudades deben considerar en su definición de *Inteligentes*. Y como puede apreciarse, el llamado aquí capital humano, precisamente es el inicio del reiterativo proceso que deben seguir interconectándose todos los demás elementos dentro de la ciudad catalogada como Inteligente.


El concepto de ciudad inteligente para algunos académicos, resulta ser en la actualidad más bien una etiqueta con la cual se identifica a aquellas ciudades que han logrado beneficios diferentes y prácticas de vida mejores a las tradicionales. Sin embargo, estas *Smart Cities* suelen tener una característica en particular que es el dar un alto uso a las infraestructuras tecnológicas de comunicación, computación, sistemas e inteligencias artificiales, específicamente las generativas, para la obtención, análisis, procesamiento y uso eficiente de datos e información, mediante la digitalización y automatización, en crecimiento progresivo, amparado en el objetivo de mejorar, además de los servicios, estructuras e infraestructuras ciudadanas; el nivel de vida de los ciudadanos en general.

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son fundamentales para la transformación de las ciudades; así lo apunta un reciente estudio de ONU-Habitat (2023), en el sentido de que las TIC ofrecen una amplia gama de herramientas que permiten gestionar de manera eficiente servicios urbanos como el transporte, la energía y los residuos. Estas tecnologías permiten la recolección y el análisis de datos, lo que a su vez posibilita una toma de decisión mejor informada. En este sentido, es evidente que la tecnología desempeña un papel crucial en la construcción de ciudades inteligentes.

Metodología

El tipo de investigación considerada en el presente artículo responde a un enfoque de carácter cualitativo, en tanto que interpreta textos y documentos para la construcción de ideas y argumentaciones en torno al eje central de análisis.

Se revisó sistemáticamente la literatura en torno al tema, utilizando un riguroso método de identificación y selección de fuentes relevantes, comparando autores y perspectivas contrastantes para denotar la importancia de los conceptos centrales: ciudadano y tecnología.



Es, por tanto, un artículo cualitativo-reflexivo en torno a la idea de cuáles son los elementos que predominan en la ciudad inteligente para considerarse como tal, mediante la comparación, confrontación y complementación de las dos perspectivas esenciales operacionalizadas: la importancia de la tecnología y la relevancia de la participación ciudadana en el desarrollo de las Smart cities.

A partir de este análisis, se presentó una reflexión, imparcial y objetiva, con tintes críticos para demostrar que la presencia del ciudadano y la tecnología operan de manera mancomunada, logrando resultados favorables para el crecimiento de las ciudades inteligentes.

Tecnología. Motor de acción de las ciudades inteligentes

De igual manera, en el ánimo de destacar la tecnología como prioritaria en el desarrollo y evolución de las ciudades, Aguilar y Milena (2018) deja claro que en las principales ciudades del mundo además de acogerse a las ciudades inteligentes, estas deben implementar políticas en donde la tecnología se integra con todas las actividades diarias y sectores de la sociedad. Siendo enfática la autora en destacar el hecho de que, en toda ciudad inteligente debe existir una visión general, que recoja “la tecnología como elemento fundamental de desarrollo y actualización, para mejorar la gestión de los gobernantes y la calidad de vida de los habitantes” (Aguilar y Milena, 2018, p. 895).

El Internet de las cosas (IoT) ha desencadenado productos, servicios y aplicaciones, que antes no se imaginaba podían existir. Estudios recientes sugieren que el crecimiento del Internet de las cosas es exponencial, y se espera que el número de dispositivos conectados se duplique en los próximos años (Fernández, 2024). Este aumento significativo plantea desafíos importantes en términos de infraestructura y acceso a internet. “Este despliegue, significa mayor flujo de información en la red, y el desarrollo de la capacidad de comunicarse los dispositivos entre sí mismos sin la intervención humana” (Aguilar y Milena, 2018, p. 895).

Inteligencia ciudadana. Ejecución y acción

Por otro lado autores como De los Ríos (2020) destaca componentes multidimensionales de la ciudades inteligentes que deben considerarse, destacando la economía circular y el desarrollo sostenible, los datos, la idea de ciudades nocturnas, y la gobernanza, como aspectos importantes para la participación ciudadana, al asegurar que “hoy en día, las decisiones más importantes se toman en los niveles locales, pues es en el territorio desde donde los ciudadanos conocen sus necesidades más apremiantes y se localizan los problemas más latentes” (p.1). Y ciertamente, son los ciudadanos quienes no sólo desarrollan las tecnologías a emplear, sino que también definen su uso y alcance.

Algunos aspectos teóricos resaltan que “la ciudad no es solo la tecnología inteligente y sus logros, no son solo los sistemas de TIC’s” (Fernández, 2017, p. 135); sino que por encima de ellos, son los individuos, inteligentes, quienes cuentan con la capacidad de aplicar soluciones que sean capaces de planificar y gestionar los espacios ciudadanos de manera óptima, productiva, rentable y de alto impacto, que beneficie la mejora en la calidad de vida de los ciudadanos.

Según Fernández (2021), “para lograr ese impulso a una condición mayor, las ciudades inteligentes deberían mejorar la participación de los gobernados y la capacidad de actuación de gobiernos inteligentes. La participación ciudadana pretende buscar e implementar las mejores soluciones para el conjunto de la sociedad” (p. 13). Además, el autor afirma que “La participación es una pieza básica para la construcción democrática y sostenible (económica, medioambiental y socialmente) de los territorios de menor dimensión, a la vez que las ciudades tienen una dimensión apropiada y mayor agilidad para que estos procesos se produzcan” (p. 8).


Resultado y discusión.

Convivencia y colaboración para el éxito

Es muy importante resaltar que la inteligencia ciudadana y el uso de las tecnologías, son componentes claves que conforman y suman para la construcción de las ciudades inteligentes. Teniendo un planteamiento que se enfoca en una sana y productiva convivencia. Es por eso que Millán (2021), socio del área de *Global Strategy Group* de KPMG en México en una publicación llamada *Smart Cities En México: Factores de Éxito (2021)*, refiere que el concepto de ciudad inteligente es aquel que conlleva la intención de impulsar la calidad de vida de los habitantes, mediante el aprovechamiento de la tecnología y los datos, para lograr optimizar los recursos. Teniendo para ello presente, que la estrategia de interacción entre las variables a considerar debe ser la siguiente:

- Diseño centrado en el ciudadano
- Despliegue óptimo de tecnología
- Transparencia y eficiencia
- Residentes involucrados, informados y conectados


Esto evidencia el hecho de que ciudadano y tecnología no pueden ser dos entes en competencia, en lo que hacer referencia a ciudad inteligente. Es por eso que Tomor, Z., Meijer, A., Michels, A., & Geertman, S. (2019) apuntan que la tecnología va a suponer uno de los elementos más transformadores en el cambio de paradigma en la gestión de las prácticas gubernamentales, “al conducir una apertura institucional y administrativa que facilita la inclusión y colaboración de distintos actores, con especial interés en la ciudadanía, que va a adquirir protagonismo, y distintos niveles dentro del contexto urbano inteligente” (P. 26).



La práctica colaborativa entre tecnología y ciudadanía, evidencia la eficiencia de las principales ciudades inteligentes del mundo. Sobre todo por ese trabajo cotidiano que se da dentro de estas como es en la ciudad de Nueva York en los Estados Unidos de América, en donde se dan aspectos tecnológicos robusto y en crecimiento, sobresaliendo dos iniciativas: LinkNYC y *Midtown in Motion*. La primera democratizó el acceso a internet, reduciendo la brecha digital y empoderando a los ciudadanos, ya que los dotó de información sobre servicios de la municipalidad de conocimiento y de uso (pagos, trámites, servicios) en tiempo real y con resultados eficientes. *Midtown in Motion* por su parte, está enfocado al tema de la movilidad, ya que en los últimos años el problema de los congestionamientos vehiculares se ha convertido en un problema delicado. Así es como mediante la ciencia de datos, con las bases tecnológicas existente se optimiza el flujo del tránsito, mejora en la movilidad y aporta beneficios también en la calidad del aire. De este modo, los habitantes pueden acceder a información relevante, reportar problemas y participar en la toma de decisiones a través de las plataformas digitales.

El caso de Londres capital de Inglaterra es igualmente destacado ya que se orienta al ciudadano como eje del desarrollo de la ciudad con iniciativas como el *London Development Database*, que ofrece la posibilidad de que los individuos tengan acceso a información relevante sobre proyectos de construcción en tiempo real, fomentando la transparencia y la participación para todos. Asimismo, desarrollan esfuerzos en relación con la mejora en el consumo de electricidad por citar otro ejemplo, que se suman a iniciativas como el *Heathrow Pods*; un sistema de transporte público automatizado y sin conductor que opera en el Aeropuerto de Heathrow, en Londres, pensado esencialmente para que los pasajeros reduzcan tiempos de traslado y costo.

Po otro lado ciudades como París capital de Francia, es otro caso exitoso con su proyecto *2050 Paris Smart City*, que integra tecnologías innovadoras y la participación ciudadana, para abordar desafíos urbanos como el cambio climático, la congestión vehicular y la calidad del aire. Otro proyecto es el de Vincent Callebaut, Giermann (2023) el cual demuestra cómo la tecnología puede ser utilizada para crear edificios ecológicos y reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha implementado una




infraestructura IoT para optimizar el tráfico y la construcción del *Grand Paris Express*, un sistema de metro 100% automatizado, para uso y beneficio de los ciudadanos, quienes responden con un buen y respetuoso uso.

Ciudades como Tokio capital de Japón, también es considerada una ciudad inteligente exitosa, ya que ha implementado iniciativas tecnológicas que buscan mejorar la calidad de vida de sus habitantes, optimizar el uso de recursos y haciendo frente a los desafíos de una población que va envejeciendo y con esto disminuyendo su capacidad productiva. Por ejemplo, algunas de las iniciativas actuales es la instalación masiva de medidores inteligentes para contribuir a la sostenibilidad energética, permitiendo un monitoreo en tiempo real del consumo y facilitando la integración de fuentes renovables, pero sobre todo sistemas inteligentes de gestión que puede ayudar a mejorar la resiliencia de la ciudad ante desastres naturales, controlando los suministros y tiempos de recuperación en caso de emergencias.

Consecuentemente ciudades como Ámsterdam capital de Holanda logró un buen posicionamiento como ciudad inteligente por sus estrategias innovadoras con claro enfoque en los ciudadanos, demostrando que el cambio que se ha dado en la calidad de vida de sus habitantes se debe en buena medida al impacto que las disposiciones en materia de tecnología se gestan, como la iniciativa "*Beautiful Noise*", que consiste en una innovadora herramienta que a través el uso de las redes sociales permite comprender mejor las necesidades y percepciones de los ciudadanos en su ciudad. Ejemplo evidente de ciencia de datos, cuyos resultados sirven de referencia para tomar decisiones informadas sobre el desarrollo urbano, la planificación de servicios y la asignación de recursos.

La revisión a las anteriores ciudades, son referencia para evidenciar que ambos aspectos discutidos a lo largo del artículo (tecnología, ciudadano), pueden operar el éxito de una ciudad inteligente, si se hace de manera colaborativa y cocreadora.



Las ciudades referentes analizadas, han adoptado diferentes estrategias para integrar a sus ciudadanos en el desarrollo y uso de tecnologías urbanas.

Los elementos clave que demuestran esta necesaria y sólida interacción apuntan a reflexionar sobre lo siguiente:


- Data ciudadana
- Acción humana participativa
- Desarrollo participativo de soluciones
- Configuraciones locales

La Data ciudadana presupone la apertura de los datos urbanos, lo que permite, al conocer información variada pero precisa y real, participar en el proceso transformador de las ciudades para una adecuada gestión de la misma, lo que le da poder y presencia a la ciudadanía abriendo espacios para la innovación, con propuestas de solución y participación más activa en la toma de decisiones.

La Acción humana participativa tiene que ver con mecanismos de presencia y acción como consultas públicas, foros, espacio de debate, presentación de presupuestos públicos y demás ámbitos de acción ciudadana, para que los actuantes no sólo aporten ideas, sino se involucren y corresponsabilicen tanto en la toma de decisión de las soluciones a las problemáticas sociales, como en la ejecución y alcance de los objetivos propuestos.

La ciudadanía no es solo consumidora de las tecnologías y de los desarrollos innovadores urbanos, sino que es un artífice fundamental en su cocreación, en una simbiosis ciudadano-tecnología creadora.

Respecto al Desarrollo participativo de soluciones, y tomando como referencia el concepto anterior de cocreación, es importante concebir a esta como el trabajo y desempeño integradores entre ciudadanos, gobierno, empresas y academia, que debe arrojar como resultado soluciones urbanas innovadoras y sostenibles. Sin perder el foco en que se mantenga esa integración del conocimiento local, la *expertise* tecnológica y los recursos



financieros, en orientación a generar soluciones no sólo pertinentes y eficaces, sino también resilientes.

Hablar de Configuraciones locales implica el considerar factores culturales, económicos, políticos, históricos y demográficos capaces de garantizar que las soluciones de manera real y práctica, atiendan las problemáticas no solo de la ciudad, sino en particular de la localidad o área que se esté interviniendo.

Como idea final sobre la importancia y forma de interacción entre ciudadano y tecnología, es importante reflexionar sobre el hecho de que no sólo la tecnología es la que determina el éxito de las ciudades inteligentes, o que de alguna manera sea el componente que mayor influye, sino que debe prestársele mayor atención al componente ciudadano, al individuo como tal, ya que gracias a las plataformas digitales y gestión y procesamiento de datos abiertos, se puede contribuir a la generación de soluciones personalizadas a las necesidades locales y específicas donde vive, e incluso, involucrarse en las soluciones establecidas, si los proyectos, programas, estrategias o acciones así lo permitan.

En la **Tabla 1**, se presentan los dos elementos esenciales de los que se ha venido hablando a lo largo del artículo: Ciudadano y Tecnología, y que son coincidentes en todas las ciudades analizadas.

Aunque tengan diferentes nombres, la perspectiva es la misma: involucramiento de los ciudadanos y uso eficiente de la tecnología, para denotar lo importante de su convivencia armónica.

Se agregan otros factores que cada ciudad define como relevantes, y que por supuesto, también suman para el éxito en el logro de los objetivos de las *Smart cities*.

Tabla 1.*Factores actuantes en las ciudades inteligentes*

Nueva York	Calidad de vida: Mejora de la calidad de vida de los habitantes	Equidad: equitativo a la tecnología	Acceso: Acceso a la	Eficiencia: Solución de problemas urbanos complejos	Participación: Fomento de la participación ciudadana	Co-creación: Colaboración entre diferentes actores
Londres	Enfoque en el ciudadano: Poniendo al ciudadano en el centro de todas las decisiones	Inversión en tecnología: Desarrollando una infraestructura tecnológica sólida y robusta	Acceso: una	Fomento de la innovación: Creando un ecosistema de innovación y experimentación	Co-creación: Colaborando con diferentes actores para desarrollar soluciones conjuntas	Datos al servicio del ciudadano: Utilizando los datos para mejorar la toma de decisiones y los servicios públicos
París	Participación ciudadana: Se busca involucrar a los ciudadanos en la co-creación de la ciudad del futuro	Innovación: La ciudad está apostando por tecnologías emergentes para encontrar soluciones innovadoras a los desafíos urbanos	Acceso: La	Visión a largo plazo: El proyecto "2050 Paris Smart City" demuestra una visión a largo plazo y un compromiso con la sostenibilidad	Presupuestos participativos: permiten a los ciudadanos proponer y votar directamente sobre proyectos de inversión en sus comunidades	Colaboración: La colaboración entre el sector público, privado y académico es fundamental para el éxito del proyecto
Tokio	Adaptación a las necesidades de la población: La ciudad se adapta a las necesidades de una población cada vez más envejecida	Innovación: Apuesta por la innovación y la experimentación para encontrar soluciones a los desafíos urbanos	Acceso: Apuesta	Enfoque en la sostenibilidad: La sostenibilidad energética es un pilar fundamental de la estrategia de la ciudad	Colaboración público-privada: Fomenta una estrecha colaboración entre el sector público, privado y académico para desarrollar e implementar	Visión a largo plazo: Ha definido una visión clara de ciudad inteligente y está trabajando de manera sistemática para alcanzarla

Ámsterdam	Enfoque en el ciudadano: La ciudad pone al ciudadano en el centro de todas sus decisiones	Innovación constante: Es una ciudad que no tiene miedo a experimentar y a probar nuevas soluciones	Co-creación: La colaboración entre diferentes actores es clave para el éxito de las iniciativas	Sostenibilidad: La sostenibilidad es un pilar fundamental de la estrategia de la ciudad	Adaptación a la cultura local: Las soluciones tecnológicas se adaptan al contexto cultural y social de la ciudad
------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de *NexusAdministraIntegra*, (2022)

Avances hacia la inteligencia ciudadana y tecnológica en México

En México, para hablar de esta interacción primero es necesario contar con ciudades inteligentes, bien definidas y perfectamente estructuradas.

Algunas investigaciones se han enfocado en aspectos claves de las ciudades inteligentes y de la tecnología, como es el estudio de Smart Cities En México: Factores de Éxito (2021), explicando que el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) reconoció a varias ciudades como *Smart cities* en la República Mexicana. A Guadalajara, en el 2015, se le reconoció por sus iniciativas de transformación digital e inteligente tras la implementación del proyecto Ciudad Creativa Digital (CCD), categoría que a la fecha ostenta. Un año después el BID, calificó a Chihuahua por su cobertura de internet inalámbrica, y para el 2019, tocó el turno de la Ciudad de México, al ser premiada por su uso innovador de datos en el ciclo de políticas públicas.

Es de anotar que organismo internacional, de la Confederación de Cámaras Industriales en la República Mexicana (Concamin) publicó en el año 2021 un reporte de 13 ciudades, que




se encontraban en un proceso de evolución mejorando infraestructura y servicios para lograr ser consideradas como ciudades inteligentes.

El listado es el siguiente:

- Aguascalientes
- Chetumal
- Coahuila de Zaragoza
- Cuernavaca
- León
- Mérida
- Mexicali
- Morelia
- Oaxaca de Juárez
- Pachuca
- Salina Cruz
- Tuxtla Gutiérrez
- Xalapa

Según Concamin. (2021) el principal propósito de su comisión es apoyar a las ciudades mexicanas en el desarrollo de una buena planificación, que aporte elementos de mejora a la infraestructura y los servicios de la ciudad. Y también, contar con instrumentos que evalúen el desempeño de la gestión de la ciudad.

Consecuencia de esta iniciativa, se seleccionaron a las ciudades referidas, quienes “cumplieron con los requisitos establecidos para el caso: población (que tengan de medio millón a 1 millón de habitantes), economía y gobernanza, y su ubicación estratégica. Aclarando que Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, las tres metrópolis más grandes del país, requieren de asesoría diferenciada por sus retos administrativos únicos” (Concamin, 2021, p. 2).



Desafortunadamente para este año 2024, cuando se concluye este artículo, no se registró ningún avance significativo, resultado de dicha iniciativa por la Concamin ni otro tipo de reporte directo de las ciudades. Tampoco estudios o investigaciones nacionales o internacionales que abonaran sobre el particular de manera evidente.

“El ecosistema participativo de las ciudades mexicanas, registra un alto grado de complejidad, dada la amplia diversidad cultural, presupuestal, técnica, infraestructura y capacidades institucionales existentes” (Parodi, 2019, p. 13). Sin dar respuesta a demandas y propuestas ciudadanas factibles, de manera integral con todos los entes sociales participativos que considera una ciudad inteligente.

Una interesante propuesta de Parodi (2019) para la implementación de un nuevo modelo y paradigma de las ciudades inteligentes, establece que son necesarias estrategias innovadoras en diversas áreas, pero específicamente debe trabajarse en la asignación de presupuestos mayores para la ejecución de acciones programadas conjuntamente con los actores clave del territorio, que los define como: gobierno, sociedad civil y organizaciones del sector social y privado. Es un diseño muy interesante el que se propone, debido a que se habla de un programa con alcance nacional, que de manera integrada sume esfuerzos, como también recursos presupuestales, mediante proyectos conjuntos se logren resultados tangibles.

KPMG (2021) destaca que ciudades como Ciudad de México, Puebla, Guadalajara y Monterrey en México, están trabajando para convertirse en ciudades inteligentes, buscando "crear soluciones inteligentes para poder cumplir, a pesar de sus limitaciones, con la provisión de servicios públicos, educación y atención médica. Queda claro que es esencial definir una estrategia centrada en el ciudadano y fundamentada en la realidad de cada localidad, para así identificar los elementos que lleven a la elaboración de un plan de ruta". Este plan, debe desplegarse de manera creativa e innovadoramente en un desarrollo tecnológico para que se logre informar y conectar a los ciudadanos dentro de las ciudades inteligentes, beneficiando en alta medida a los ciudadanos en la mejora de su calidad de vida.



Conclusiones

Hablar de ciudades inteligentes, es hablar de un paradigma de mejora para la vida de los ciudadanos, donde la tecnología puede considerarse como un catalizador de innovación, eficacia y eficiencia, que para que sea real y efectivo, requiere de una implementación estratégica por parte del gobierno y los demás actores intervinientes en el proceso de desarrollo social urbano. La participación activa de la comunidad debe darse en el sentido de la cocreación aportando conocimientos locales y perspectivas diversas.

La tecnología por su parte, debe ser una herramienta que facilite la comunicación, la colaboración y la toma de decisiones, pero sin reemplazar la participación humana. Por lo que surge planteamientos que son un desafío, en el sentido de que existen brechas digitales, desigualdad social y falta de capacidades institucionales, impidiendo con ello, un desarrollo óptimo de las ciudades.

Para lograr ciudades inteligentes inclusivas y sostenibles, es necesario atender los siguientes aspectos:

- Inversión en capital humano digital: se deben robustecer las competencias digitales de la ciudadanía para maximizar el potencial de las soluciones tecnológicas.
- Fortalecimiento institucional: buscar consolidar las capacidades institucionales para garantizar una gestión eficaz y eficiente de la implementación de tecnologías, asegurando su alineación con las necesidades y prioridades ciudadanas.
- Promoción de la gobernanza colaborativa: La participación activa del gobierno y la sociedad civil, debe propiciar acciones inclusivas y transparentes que respondan a los desafíos y oportunidades del entorno digital.

- Adopción de un enfoque holístico: Integralidad de aspectos tecnológicos, sociales, económicos y ambientales, asegurando un desarrollo urbano sostenible y equitativo.

Referencias

Aguilar Pirachicán, C. M. (2018). Propuesta de un Marco General Para el Despliegue de Ciudades Inteligentes Apoyado en el Desarrollo de IoT en Colombia. Trabajo de investigación. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/discover>

Berrone, P. (2024). Cities In Motion Strategies. IESE. <https://www.iese.edu/es/claustro-investigacion/cities-in-motion/>

Camargo, L., Gómez, J., & Gasca, M. (2020). La ciudad inteligente y la gestión de las TIC. Caso de estudio: ciudad de Santa Marta. Editorial Unimagdalena.

Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2019). Smart cities in the context of the knowledge economy: A literature review. *Journal of Urban Technology*, 29(3), 1-22.

Concamin. (2021). Emite Concamin lista de 13 ciudades que serán promovidas como “SMART CITIES”. <https://www.concamin.org.mx/prensa/sala/concamin/noticias/60d5f9647c9e64003b83726e>

De los Ríos, B. M. G. (2020). Ciudades inteligentes, más que tecnología. *Cultura Económica*, 38(100), 39-65. <https://doi.org/10.46553/cecon.38.100.2020.p39-65>

Fernández, D. S. (2017). Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes. Revista Universitaria de Geografía, 26(1), 135-152. <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383252125007.pdf>

Fernández, R. (28 de octubre de 2024). Internet de las cosas (IoT): dispositivos conectados a escala mundial 2015-2030. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/517654/prevision-de-la-evolucion-de-los-dispositivos-conectados-para-el-internet-de-las-cosas-en-el-mundo/>


Giermann, H. (2023, 31 julio). La visión de Vincent Callebaut de París en el año 2050 como «Smart City». ArchDaily México. <https://www.archdaily.mx/mx/760989/la-vision-de-vincent-callebaut-de-paris-en-el-ano-2050-como-smart-city>

Gómez, A., Martínez, B., & López, C. (2022). La movilidad sostenible como pilar fundamental en las ciudades inteligentes: Un estudio de caso en Barcelona. Revista Iberoamericana de Ciudades Inteligentes, 5(2), 45-62.

Gomstyn, I. (2024, 10 abril). Ciudad inteligente. IBM. Recuperado 8 de octubre de 2024, de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/smart-city>

KPMG. (2021, 25 de octubre). Smart cities en México: factores de éxito. <https://kpmg.com/mx/es/home/tendencias/2021/10/ao-smart-cities-en-mexico-factores-de-exito.html>

Lobo, J., & Silva, M. (2023). Análisis de los modelos de gobernanza de datos en el sector público. Naciones Unidas, CEPAL, 32(1), 7-25. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/9e5b987c-9168-4f88-9503-ca05c6d353ce/content](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/9e5b987c-9168-4f88-9503-ca05c6d353ce/content)



Lucio Fernández, J. (2021). La gobernanza inteligente de las metrópolis y la participación ciudadana. ICE, Revista de Economía, 920, <https://doi.org/10.32796/ice.2021.920.7178>. Pp. 8-13.

NexusAdministraIntegra. (2022, 22 septiembre). Top 10 smart cities. Nexus Integra. <https://nexusintegra.io/es/top-10-smart-cities/>

ONU-Habitat. (2023). Transformando ciudades con tecnología: El papel de las TIC en la construcción de ciudades inteligentes. Informe. Recuperado de <https://onu-habitat.org/index.php/las-tic-y-el-desarrollo-urbano-sostenible>

Parodi, G. A. G. (2019). Smart Cities in Mexico: from sustainability to government and legislative agendas. Administración y Organizaciones, 22(42), 9-20. <https://doi.org/10.24275/uam/xoc/dcsh/rayo/2019v22n42/gonzalez>

Pérez, M., & Martínez, L. (2021). La gobernanza de datos abiertos en ciudades inteligentes: Un análisis comparativo. Ciudades y Territorios, (15), 113-132. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5593ad8f-70e6-491e-b44e-8b46582a53b8/content>

Sánchez, R., & Ortega, F. (2020). Indicadores de desempeño para evaluar la sostenibilidad en ciudades inteligentes. Estudios Urbanos y Regionales, 123(4), 235-258.

Tomor, Z., Meijer, A., Michels, A., & Geertman, S. (2019). Smart Governance For Sustainable Cities: Findings from a Systematic Literature Review. Journal Of Urban Technology, 26(4), 3-27. <https://doi.org/10.1080/10630732.2019.1651178>

Análisis de sostenibilidad en sistemas ganaderos vacunos colombianos: una revisión de los indicadores ambientales, económicos y sociales

Sustainability analysis in Colombians cattle systems: a review of environmental, economic and social indicators



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024: 82-116

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.5>

Recibido: 20/11/2024

Revisado: 21/11/2024

Aprobado: 29/11/2024

María Paula Posso Guerra
Ingeniera sanitaria y ambiental
Magister en Sostenibilidad

mpaulaposso12@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-1683-9971>

Colombia

María Alejandra Vergara Ariza
Bióloga

mariaavergaraa5@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-0682-5958>

Colombia

Mónica María Machado Vargas
Bióloga

Doctora en Agroecología

Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación MASO

monicamv134@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3243-2572>

Colombia

Resumen

La sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos es un tema esencial gracias a su importancia económica y las consecuencias ambientales que genera. La ganadería en Colombia ocupa una gran parte del territorio rural, esta actividad tiene una huella importante en procesos de deforestación, pérdida de biodiversidad y emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo de este estudio es construir una propuesta metodológica que aborde los tres pilares de la sostenibilidad, a partir de una revisión sistemática utilizando la metodología PRISMA. Se tuvieron en cuenta 22 estudios, resultando en un total de 219 indicadores pertenecientes a las dimensiones: ambiental, económica y social. La dimensión ambiental es la más estudiada, haciendo énfasis en la conservación del suelo, gestión del agua y la biodiversidad; la dimensión económica, se centra en el estudio de la rentabilidad y la autosuficiencia. Finalmente, la dimensión social, la menos estudiada, aborda temas como: el bienestar humano, la equidad y la capacidad adaptativa. Los resultados son un reflejo de la falta de consenso tanto en la terminología usada como la elección de los indicadores clave, gracias a esto se necesita un enfoque más integral que aborde la sostenibilidad de manera equilibrada, algo esencial para promover prácticas sostenibles que involucren un equilibrio entre la conservación ambiental, la producción económica, y el bienestar social, lo que permite garantizar viabilidad a largo plazo de estos sistemas. Finalmente, se propone la creación de un marco metodológico consensuado, flexible e inclusivo que garantice una evaluación holística de los agroecosistemas ganaderos.

Palabras clave: Agroecosistemas; resiliencia; pequeños productores; bienestar animal; cambio climático.

Abstract


The sustainability of livestock agro-ecosystems is an essential issue due to its economic importance and the environmental consequences it generates. Livestock farming in Colombia occupies a large part of the rural territory; this activity has a significant footprint in deforestation processes, biodiversity loss and greenhouse gas emissions. The objective of this study is to build a methodological proposal that addresses the three pillars of sustainability, based on a systematic review using the PRISMA methodology. Twenty-two studies were taken into account, resulting in a total of 219 indicators belonging to the environmental, economic and social dimensions. The environmental dimension is the most studied, with emphasis on soil conservation, water management and biodiversity; the economic dimension focuses on the study of profitability and self-sufficiency. Finally, the social dimension, the least studied, addresses issues such as human well-being, equity and adaptive capacity. The results reflect the lack of consensus on both the terminology used and the choice of key indicators, which calls for a more holistic approach that addresses sustainability in a balanced way, essential to promote sustainable practices that involve a balance between environmental conservation, economic production, and social welfare, thus ensuring the long-term viability of these systems. Finally, the creation of a consensual, flexible and inclusive methodological framework is proposed to ensure a holistic assessment of livestock agroecosystems.

Key word: Agroecosystems; resilience; small livestock; animal welfare; climate change.

Introducción

A lo largo de los años la ganadería se ha convertido en parte esencial de la vida humana. El incremento de la demanda ha llevado a un aumento en la producción ganadera, siendo crucial para el desarrollo agropecuario al contribuir con la seguridad alimentaria y el crecimiento económico. En el Sur Global, el ganado es vital para proporcionar nutrición y apoyar a las comunidades campesinas, especialmente en zonas rurales de países de ingresos bajos a medianos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, 2023). En América Latina y el Caribe, la producción pecuaria contribuye con el 46% del Producto Interno Bruto (PIB) Agropecuario y ha crecido a una tasa anual del 3.7% (FAO, 2012).

En otro panorama, el sector agroalimentario ganadero afronta uno de los principales desafíos de insostenibilidad, el cual consiste en continuar alimentando a una población que crece exponencialmente, bajo condiciones de deterioro y agotamiento de los recursos naturales (Angón et al., 2016). Los impactos ambientales y externalidades negativas del sector se deben principalmente a la escasa planificación del uso del suelo e inadecuada gestión de los recursos naturales, contribuyendo significativamente con la pérdida de




biodiversidad, la deforestación de los bosques tropicales, la erosión y compactación de los suelos frágiles, la contaminación del agua y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Angón et al., 2016; Gómez-Villalva et al., 2019).

Algunas cifras muestran la magnitud de las afectaciones del sector ganadero. Del total de tierras agropecuarias, el 68.4% son para ganadería; asociando al sobrepastoreo como la principal causa de degradación de praderas (Michigan State University, 2015) y una de las principales para la pérdida de biodiversidad mundial (FAO, 2021). Se estima que la ganadería representa alrededor del 8% del uso humano mundial del agua, lo cual afecta la cantidad y calidad de las fuentes de agua debido a los agroquímicos y pastoreo (Rojas-Downing et al., 2017). El sector agroalimentario ganadero contribuye significativamente al cambio climático, aportando el 12% de las emisiones antropogénicas de GEI globales, estimadas en 6.2 Gton de CO₂eq/año. El 60% de estas emisiones provienen de la producción de carne y leche vacuna (FAO, 2023).

Colombia enfrenta impactos ambientales por la ganadería; la deforestación y pérdida de biodiversidad son causadas por la expansión de la frontera agropecuaria y prácticas no sostenibles (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2023). Con solo 28.8 millones de cabezas de ganado, la actividad ganadera bovina ocupa el 38% del área rural del país superando las tierras con vocación ganadera por más del doble (Departamento Nacional de Estadística-DANE, 2020). El 66% de las tierras ganaderas sufren degradación por sobreexplotación, como la compactación y la erosión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, 2016).

Respecto al potencial calentamiento global, la ganadería bovina colombiana emitió 28.9 Mt de CO₂ eq en 2020, con Córdoba y Sucre como principales emisores (11%) (Banco Mundial et al., 2022). Según el Inventario Nacional de gases de GEI, las emisiones del sector ganadero se presentan en forma de: CO₂ por cambio de bosque a pastizales (28,9%) y CH₄ por fermentación entérica (20,7%), siendo este último el 80% del total del sector (26%) (IDEAM, 2016).

Por otro lado, el sector ganadero tiene un papel importante en la economía de Colombia y en el desarrollo de pequeños y medianos productores, generando 1,428,698 empleos y contribuye con el 1.8% del PIB nacional, equivalente al 20.2% del PIB agropecuario (Fedegan, 2022). Sin embargo, la ganadería en el país, en su mayoría a pequeña escala,




enfrenta desafíos como la baja productividad, falta de formación para los pequeños productores, dificultades en acceder al crédito para adoptar tecnologías y desigualdad en la tenencia de tierras (Federación Colombiana de Ganaderos-Fedegan, 2014; Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-UPRA, 2020).

Este panorama de degradación de los recursos naturales se agrava por la crisis climática, generando cambios en las relaciones socioecológicas en agroecosistemas ganaderos; reduciendo su capacidad para enfrentar eventos climáticos y enfermedades, disminuyendo la producción y la productividad. Esto pone en riesgo a comunidades campesinas que dependen de esta actividad, con poca adaptabilidad a los desafíos actuales (FAO, 2021). En otras palabras, el sector ganadero se enfrenta en la actualidad a desafíos ambientales, sociales y económicos para lograr la sostenibilidad: aumento en la demanda de alimentos, degradación de recursos naturales, cambio climático, pobreza y amenazas a la salud (FAO, 2018).

En respuesta a la problemática, la agroecología surge como un enfoque holístico y sistémico para el manejo sustentable de los agroecosistemas, considerando las interacciones entre todos los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, mejorando su capacidad de respuesta ante eventos externos (Altieri & Nicholls, 2013; Sarandón & Flores, 2014). En años recientes, han surgido enfoques de producción ganadera vacuna con principios agroecológicos que buscan la sostenibilidad (Ibarra-Vrska, 2019; Murgueitio et al., 2019; Nicholls et al., 2015; Pinheiro, 2004). Estas prácticas buscan mejorar la productividad y eficiencia de los productos ganaderos, al mismo tiempo que reducen las afectaciones ambientales y la generación de GEI (FAO, 2012). Estos enfoques de ganadería sostenible incluyen ganadería silvopastoril, regenerativa y orgánica, la cual es estudiada por Bassignana et al. (2022), Ferguson et al. (2013), Hanisch et al. (2019), Nahed, et al. (2019), Sandoval et al. (2023) y Silva-Cassani et al. (2022).

A pesar de mejoras en agroecosistemas de producción vacuna, falta información sobre efectividad de nuevas prácticas/tecnologías en sostenibilidad. Evaluaciones basadas en indicadores multidimensionales son las más usadas. Estas proporcionan comprensión del desempeño de los agroecosistemas al ofrecer información cualitativa o cuantitativa de parámetros o procesos esenciales (Altieri & Nicholls, 2013; (Lebacq et al., 2012; Marandure et al., 2017; Motta-Delgado et al., 2019).



No obstante, lo anterior, elegir indicadores es un desafío para los investigadores interesados en evaluar la sostenibilidad de sistemas de producción. La falta de un marco consensuado complica la selección. La sobrecarga de indicadores dificulta la elegibilidad y aumenta los costos de medición. La selección de indicadores estratégicos puede influir en la calidad de la evaluación y las conclusiones del estudio (Marandure et al., 2017).

El desafío principal es identificar y monitorear aspectos clave de los sistemas de producción ganadera para evaluar los efectos de prácticas y tecnologías. La evaluación de sostenibilidad contribuye a generar conocimiento para proponer estrategias, decisiones y gobernanza local que promuevan la resiliencia del sector (Torres-Jara de García et al., 2023). El objetivo de este artículo es construir una propuesta metodológica de indicadores sociales, económicos y ambientales, a partir de una revisión sistemática de la literatura científica, para estudiar la sostenibilidad de agroecosistemas de ganadería vacuna basada en pasto en Colombia.

Metodología

El estudio se llevó a cabo siguiendo la metodología de revisión sistémica propuesta por Pardal-Refoyo & Pardal-Pelaez (2020) y la Declaración PRISMA (Page et al., 2021); La búsqueda de literatura se realizó entre agosto y diciembre de 2023, en las bases de datos Science Direct, Springer Link, Scopus y Google Scholar. La ruta de búsqueda general fue: [TITLE-ABS-KEY (cattle production system) AND (indicator) AND (sustainability)]. En todas las bases de datos se utilizaron los límites de tiempo para los últimos 10 años: “2013 to present” y “between 2013 and 2023”.

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para determinar la elegibilidad de los artículos. Se incluyeron estudios originales en inglés o portugués, publicados entre 2013 y 2023, que evaluaran la sostenibilidad de sistemas ganaderos basados en pasto (carne, leche o mixtos) y que a la vez mencionaran los indicadores: ambientales, económicos y sociales. Se excluyeron los estudios sobre producción industrial o confinada, así como aquellos que solo abordaran una dimensión de la sostenibilidad sin considerar un análisis integral.

Los datos extraídos se tabularon en Microsoft Excel y se complementaron con el software Obsidian, que facilitó el análisis de ideas y conexiones entre autores.

Posteriormente, los indicadores se homologaron. Usando Excel y R-Studio, se determinaron las proporciones de artículos por dimensión y se identificaron los indicadores más mencionados, así como los países con mayor relevancia.

Resultado y discusión

Selección de artículos

La implementación del protocolo de búsqueda mediante la ruta descrita anteriormente arrojó artículos publicados entre los años 2013 y 2023 (ScienceDirect 58, Springer Link 29, Scopus 87, Google Scholar 187), para un total de 274 artículos.

Se analizaron un total de 45 artículos en texto completo y como resultado 23 de ellos fueron eliminados por cumplir con los criterios de exclusión. Finalmente, el protocolo de búsqueda en las cuatro bases de datos incluyó 22 artículos en la revisión sistemática (**Figura 1**). En esta búsqueda no se incluyó literatura gris ya que ninguna cumplía con los requisitos de inclusión.

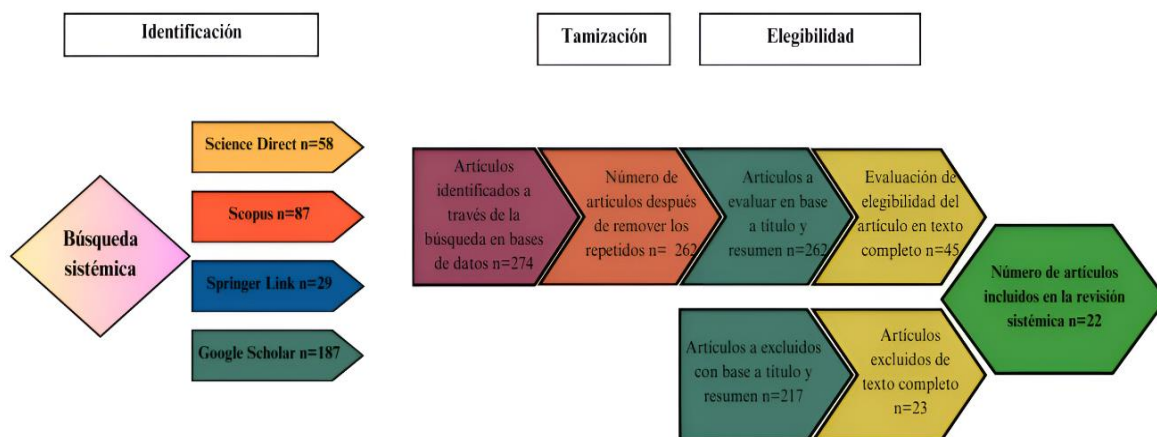



Figura 1. Diagrama de búsqueda sistemática. Fuente: elaboración propia.

Concepto de la sostenibilidad para evaluar los agroecosistemas ganaderos vacunos

La ganadería vacuna comprende una gran variedad de sistemas productivos complejos, formados por los componentes suelo-planta-animal, sujetos a modificaciones antrópicas a




través de su manejo (Motta-Delgado et al., 2019). Estos agroecosistemas presentan múltiples técnicas, manejados por diferentes grupos sociales, con diferentes patrones de inserción al mercado (diversidad de productos); lo cual genera como resultado una gran variación en los subsistemas en términos físico-bióticos, técnicos, económicos, culturales y sociales (Murgueitio, 1999). Por lo anterior, los agroecosistemas ganaderos por su multidimensionalidad son sistemas socioecológicos, entendiendo estos como sistemas complejos, donde interactúan dinámicamente los sistemas sociales y ecológicos y sus subsistemas asociados (Salas-Zapata et al., 2012).

Un agroecosistema ganadero sostenible, debe ser suficientemente productivo, económicamente viable, ecológicamente adecuado y cultural y socialmente aceptable (Marandure et al., 2017; Serrano-Martínez & Ruiz-Mantecón, 2003; Torres-Jara de García et al., 2023; Van-Heurck et al., 2020).

La resiliencia socioecológica es clave para la sostenibilidad de los sistemas de producción, definida como la capacidad de autoorganización adaptativa para mantener sus atributos tras una perturbación (Salas-Zapata et al., 2012); se considera que los sistemas son sostenibles cuando son socioecológicamente resilientes (Folke, 2006; Holling, 2001; Perrings, 1998; Salas-Zapata et al., 2011, 2012).

Así pues, se puede decir que un agroecosistema es “resiliente”, cuando es capaz de seguir produciendo alimentos, frente al desafío de la ocurrencia de eventos climáticos extremos, deterioro de los recursos naturales, así como los cambios sociales y económicos. Los autores Altieri & Nicholls (2013) exigen un nuevo paradigma para mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos de latinoamerica, basado en el aumento de la diversidad vegetal y la biomasa, la protección y restauración de los suelos, la protección de los recursos hídricos y el aumento de la productividad ganadera.

De acuerdo con Toro-Mújica et al. (2011) y Lebacq et al. (2012), para efectos de este estudio la resiliencia/sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos se define teniendo en cuenta tres dimensiones: La dimensión ambiental, que se basa en el uso racional y eficiente de los recursos naturales que interactúan en el sistema para mejorar la capacidad de absorción del sistema a las perturbaciones externas y el mantenimiento de la base de los recursos naturales para garantizar los servicios ecosistémicos. La dimensión económica, busca que esta actividad sea rentable y contribuya con la reducción de la pobreza, la seguridad



alimentaria y, por ende, el mejoramiento de la calidad de vida de los productores (Torres-Jara de García et al., 2023). Finalmente, la dimensión social, considera la capacidad adaptativa de los hogares campesinos para responder ante las amenazas que afrontan los agroecosistemas ganaderos, con el fin de crear cambios favorables en su estado. Por tanto, se consideran aspectos como equidad participativa y distribución de recursos, satisfacción de servicios sociales básicos, conocimiento e innovación, diversificación de los medios de vida, así como los mecanismos de organización social y gobernanza (Marandure et al., 2017; Rivera et al., 2017).


Indicadores para evaluar los agroecosistemas ganaderos vacunos

Los resultados de la revisión sistemática proponen la utilización de indicadores multidimensionales para abordar la evaluación integral de la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos vacunos, los cuales se pueden integrar en cuatro dimensiones principales: ambiental, económica, sociocultural y técnico-productiva. Aunque esta última no es un pilar de la sostenibilidad, su evaluación es importante para describir el agroecosistema (da Silva & Gameiro, 2022; Ferguson et al., 2013; Sarandón & Flores, 2009).

Autores como Motta-Delgado et al. (2019); Silva-Cassani et al. (2022) y Van-Heurck et al. (2020) proponen la evaluación del Bienestar Animal como una dimensión adicional de la sostenibilidad, debido a la transversalidad existente de este componente con la mitigación del impacto socioambiental y en el desarrollo productivo y económico del sistema productivo. Este artículo se centra en el análisis de los indicadores pertenecientes a las dimensiones: ambiental, social y económica. Considerando que los indicadores técnico-productivo han sido ampliamente estudiados, el estudio de estos no se incluye en el alcance de este trabajo.

Luego de la unificación de la base de datos de indicadores registrados a partir de la revisión sistemática de los 22 artículos elegibles, se compiló un total de 219 indicadores de sostenibilidad, de estos, 72 corresponden a la dimensión ambiental, de los cuales 6 evalúan el bienestar animal, 51 en a la dimensión económica y 41 en la dimensión social. En la categoría técnico-productivo se registraron un total de 55 indicadores.

A continuación, se realiza el análisis de los resultados por cada una de las dimensiones de sostenibilidad estudiadas; para efectos de los resultados solo se tuvo en cuenta tres



dimensiones (ambiental, económica y social), así como los indicadores más citados, es decir, aquellos que fueron propuestos por más de tres autores.

Dimensión ambiental


La dimensión ambiental es la más estudiada, sin embargo, los diferentes investigadores no logran consenso sobre indicadores clave para evaluarla, lo que resulta en una lista extensa de indicadores que a menudo se pueden constituir en variables para la medición del indicador, es decir, muchos de estos carecen de integralidad.

Los indicadores ambientales representan el 32.9% del total de los indicadores de sostenibilidad en la revisión sistemática; con 72 indicadores (Anexo 1). Los componentes más evaluados incluyen conservación del suelo, agua y biodiversidad, prevención de contaminación atmosférica y gestión de perturbaciones externas/adaptabilidad como entrada de químicos, manejo de plagas y diversificación de alimentación del ganado.

El componente suelo es el más evaluado dentro de la dimensión ambiental en los estudios de sostenibilidad de los sistemas ganaderos, los indicadores más citados por los diferentes autores corresponden a: prácticas de mejoramiento del suelo, nivel de erosión o pérdida de suelo y usos del suelo. Ferguson et al. (2013) y Rosales-Martínez et al. (2023) evalúan el indicador calidad del suelo, conformado por los parámetros diversidad de fauna edáfica / presencia de invertebrados, profundidad de la capa cultivable del suelo, contenido de materia orgánica y compactación.

Los indicadores más representativos para el componente agua, corresponden con: cuidado y usos del agua, proceso de eutrofización y calidad de agua; uno de los parámetros de calidad de agua comúnmente evaluados corresponde a la concentración de coliformes fecales totales.

Desde la perspectiva ambiental, conservar la biodiversidad en los agroecosistemas ganaderos es crucial para mantener la producción pecuaria y la seguridad alimentaria, haciendo más resilientes ante perturbaciones externas (Bassignana et al., 2022; Rosset & Altieri, 2018). Este componente fue evaluado por diferentes autores usando indicadores para determinar la estructura y funcionalidad del ecosistema, a partir del análisis de los elementos del paisaje, fauna y flora. Los indicadores más citados fueron: prácticas para la conservación y recuperación de áreas, riqueza y diversidad de especies claves de fauna y riqueza y



diversidad de especies de flora. Ferguson et al. (2013), Marandure et al. (2017) y Motta-Delgado et al. (2019) proponen el indicador densidad de árboles y el área basal de árboles (m^2/ha) (árboles/ha) en potreros, esto beneficia sistemas ganaderos con árboles en pastoreo, como los sistemas pastoril y holístico. Varios estudios confirman ventajas ambientales y económicas frente a aquellos basados en monocultivos de pastos (Ferguson et al., 2013; Nigh & Diemont, 2013; Sandoval et al., 2023).

Los indicadores del componente atmosférico buscan evaluar principalmente el potencial de calentamiento global de los agroecosistemas ganaderos, dentro de los que se destacan: Emisión de gases de efecto invernadero o huella de carbono (ton/ $EC02e$). Otros indicadores menos mencionados, pero que pueden ser relevantes son entrada/consumo de fósiles, consumo de energía eléctrica y Eficiencia Energética (EFE).

Se identificó un grupo de indicadores que no se categorizan en un componente ambiental específico, pero se alinean con la agroecología (Rosset & Altieri, 2018). Un indicador importante es el Biotipo animal adaptado en muchas regiones, según Rosset & Altieri (2018); los sistemas mixtos agricultura-ganadería y los animales adaptados contribuyen al manejo de las tierras y a la fertilización del suelo. Asimismo, las razas criollas y sus cruces se adaptan bien a condiciones locales y tienen resistencia a enfermedades, favoreciendo el bienestar animal (Valdivieso et al., 2019).

El uso de insumos locales y la dependencia a insumos externos muestran la autosuficiencia en sistemas agroganaderos. Los indicadores usados incluyen pesticidas, herbicidas y fertilizantes. Ferguson et al. (2013) y Nahed et al. (2019) proponen el control ecológico de malezas y plagas en pastos y cultivos, evaluando la implementación de prácticas relacionadas con gestión de recursos locales, como el manejo del pastoreo para control de malezas y uso de la biodiversidad para el manejo de plagas, en contraste con autores que evalúan solo la utilización de herbicidas y pesticidas.

Indicadores como la gestión del sistema de pastoreo, que incorpora variables como la rotación de pastos, asociación de cultivos forrajeros y sistemas silvopastoriles (Ferguson et al., 2013; Nahed et al., 2016; Valdivieso et al., 2019) y la degradación de pasturas (Motta-Delgado et al., 2019; Torres-Jara de García et al., 2023) evalúan la función de soporte de los servicios ganaderos para la producción a largo plazo, lo cual refleja la fragilidad del agroecosistema.

Bienestar Animal

El bienestar animal es importante en las evaluaciones de sostenibilidad en agroecosistemas ganaderos lecheros y de doble propósito. Da Silva & Gameiro (2022) y Sulfiar et al. (2022) evalúan este aspecto desde la dimensión social debido a las exigencias de la sociedad sobre prácticas de comercio justo y consciente, relacionadas con el trato animal y las condiciones para el manejo del ganado. Silva-Cassani et al. (2022) consideran el estudio del bienestar animal como una dimensión adicional de la sostenibilidad, debido a su correlación con la mitigación del impacto socioambiental y el efecto comprobado en el desarrollo del sistema ganadero; esta apreciación va de la mano con lo expuesto por Kido-Cruz et al. (2024), que mencionan que el bienestar animal no es solo un tema ético, su ausencia afecta la inocuidad y calidad de los productos, aumenta los costos y reduce la productividad en actividades pecuarias.

Los indicadores mayormente evaluados relacionados con el bienestar animal corresponden con la prevención de enfermedades del ganado, el cual incorpora categorías como la atención veterinaria y profilaxis (administración de vacunas obligatorias, alopatía, tratamiento de parásitos internos, control químico de garrapatas, animales en cuarentena). La mortalidad de terneros, vacas y ganado maduro (%/año) y la calidad e inocuidad del producto alimenticio, el cual tiene en cuenta aspectos relacionados con el control higiénico y sanitario, así como control en el suministro de químicos veterinarios al animal.

Silva-Cassani et al. (2022) proponen la evaluación del bienestar animal, a través del índice Welfare Quality® (WQ) para la evaluación del ganado lechero adaptado a condiciones de ganadería extensiva. En ese sentido, la evaluación se realiza a través de la integración de los indicadores de buena alimentación, buena salud y comportamiento animal adecuado. Asimismo, Nahed et al. (2016) y Valdivieso et al. (2019) evalúan el bienestar animal de forma integral enmarcado en el Índice de Conversión a Ganadería Orgánica (OLCI) adaptado para la producción ganadera de (Nahed-Toral et al., 2013), a través de cinco variables como la lactancia, espacio del animal para el pastoreo y en recintos techados, buena alimentación, exposición de los animales a las inclemencias del tiempo e implementación de prácticas como cortar los cuernos de los animales jóvenes y de los animales más viejos.

Dimensión económica


La evaluación de la dimensión económica se basó principalmente en el análisis de la rentabilidad y eficiencia económica de la producción: cuya medición se propone en términos de ingresos, utilidad o margen de ganancia, rentabilidad/relación costo beneficio y costos de producción; estos generalmente son cuantitativos y monetarios y como ventaja se tiene que para la mayoría existen estándares de referencia (Lebacqz et al., 2012).

La dimensión económica está enfocada mayoritariamente en evaluaciones técnico-productivas, que si bien se relacionan no corresponden al enfoque preciso de la dimensión. La sobrecarga de información técnica productiva en estudios de sostenibilidad, refleja el interés de los investigadores en estudiar los sistemas ganaderos para optimizar la productividad. Sin embargo, un sistema puede llegar a ser productivo, pero no significa que sea rentable y sostenible. Un sistema agrícola es económicamente sostenible cuando los agricultores y otros inversores obtienen ingresos razonables suficientes para remunerar los recursos productivos (da Silva & Gameiro, 2022; Zira et al., 2023).

La dimensión económica representa más del 23% de los indicadores de sostenibilidad, con un total de 51 indicadores categorizados en siete componentes. Los indicadores más relevantes corresponden a los componentes: autosuficiencia, costos, rentabilidad, estabilidad/resiliencia económica (**Anexo 2**).

La autosuficiencia en términos económicos refleja la capacidad del agroecosistema de hacer frente a los cambios del mercado externo, para seguir alcanzando unos niveles óptimos de seguridad económica. En ese sentido, el indicador gastos en alimentación externa y en general gastos incurridos en insumos externos, representan el grado de dependencia económica del sistema respecto a disponibilidad y precios volátiles del mercado de agroinsumos. Por otro lado, el acceso al capital representa una fuente de ingreso que contribuye con el desarrollo de la unidad productiva, demostrando la capacidad de autogestión del agroecosistema.

Desde el punto de vista socioeconómico, la diversificación productiva y la variación de las fuentes de ingresos, contribuyen a garantizar una mayor resiliencia de la explotación ganadera (Bassignana et al., 2022); esto refleja la importancia de la agrobiodiversidad, teniendo en cuenta que un sistema ganadero diverso (producción mixta) puede tener suficientes



entradas monetarias y proporcionar ingresos cuando la productividad animal disminuya (Alary et al., 2022).


Los resultados dan muestra de la existencia de un vacío con respecto a la determinación de costos de la producción ganadera, ya que no se tiene en cuenta dentro de la matriz el costo del uso de los recursos naturales, es decir, no se tienen en cuenta las externalidades ambientales y sociales de la actividad económica. Existen metodologías que permiten calcular el costo real de las producciones, basadas en funciones de daño o rutas de impacto, que busca identificar y cuantificar los impactos producidos para asignar posteriormente valores en unidades monetarias y calcular el costo real, permitiendo la asignación de un valor a las externalidades (López-Daza & Perdomo-Barrero, 2016). Solo dos autores de los 22 que se incluyeron en la revisión sistémica propusieron un indicador asociado al pago por servicios ambientales (da Silva & Gameiro, 2022 y Motta, Ocaña & Rojas, 2019).

Dimensión social

La dimensión social es la menos estudiada, el rezago de la investigación social en evaluaciones de sostenibilidad puede obedecer a que los científicos e interesados, no logran establecer de manera clara las diferencias entre productividad, economía y sociedad (da Silva & Gameiro, 2022). La forma de evaluación de estos indicadores representa otro punto de discrepancia, la mayoría de los indicadores asociados a esta dimensión suelen representarse de forma cualitativa o por medio de una encuesta y, como tal, no reflejan de manera clara la interrelación de la unidad productiva con el productor (Duval et al., 2021; Lebacqz et al., 2012; Riera et al., 2023).

La dimensión social representa menos del 19% de los indicadores de sostenibilidad, con un total de 41 indicadores categorizados en 4 componentes principales: bienestar humano, equidad, capacidad adaptativa y autogestión. Dentro de esta dimensión se resaltan 14 indicadores de mayor relevancia para los autores (**Anexo 3**).

La participación social y la autogestión comunitaria son canales para promover el desarrollo comunitario (Richard et al., 2019; Torres-Jara de García et al., 2023), las organizaciones de productores son una red de apoyo colectivo que genera sinergias para el desarrollo de sistemas productivos, contribuyendo con la autogestión de intereses comunes.




Las subvenciones y/o ayudas gubernamentales, que representan el acceso de pequeños y medianos productores ganaderos a ayudas monetarias o en especie por parte del gobierno, en el marco de políticas públicas que buscan mitigar las limitantes del sector agropecuario, relacionadas con los altos costos de los agroinsumos, limitaciones en el acceso a tierras y débil implementación de paquetes tecnológicos. Ahora bien, desde el punto de vista económico, las subvenciones financieras pueden incidir en los reportes de rentabilidad, esto se debe a que generalmente los productores lo perciben como ingresos y no como inversión (Marandure et al., 2017).

El bienestar humano asociado al nivel de acceso a necesidades básicas representa una medida directa del estado/calidad del desarrollo humano de las familias ganaderas. Así mismo la evaluación de las condiciones óptimas de trabajo de los ganaderos, refleja una medida de la equidad en el sector.

Duval et al. (2021), Lebacq et al. (2012), Riera et al. (2023), Silva-Cassani et al. (2022) y Torres-Jara de García et al. (2023), entre varios más, coinciden en que el nivel educativo es uno de los indicadores de mayor relevancia al momento de evaluar la sostenibilidad social de los agroecosistemas ganaderos, teniendo en cuenta que un bajo nivel educativo, puede incidir en una baja capacidad de los agricultores para la adopción de innovaciones tecnológicas y demás estrategias de respuesta para mejorar la sostenibilidad global del sistema productivo, reflejando la vulnerabilidad social de las familias ganaderas.

El indicador de carga de trabajo es uno de los más debatidos por los autores, puesto que no se debe evaluar en forma de eficiencia sino con medidas asociadas a la calidad de vida y el tiempo libre (Duval et al., 2021; Lebacq et al., 2013). Por otro lado, las discusiones sobre género parecen ser algo que apenas se está visualizando, sin embargo, hablar de las mujeres administradoras o de sus labores dentro de la unidad productiva refleja los cambios en las sociedades tradicionales; las edades y el género pueden contribuir significativamente en hogares vulnerables (Opiyo et al., 2014). La transmisibilidad generacional podría ser entendida de forma multidimensional, en una perspectiva económica sería la probabilidad de que las siguientes generaciones puedan continuar con la unidad productiva; en un enfoque social como es aquí presentado, se visualiza como una fuente de trabajo y de ingreso familiar. El nivel de autosuficiencia alimentaria es un indicador clave para evaluar en los hogares de pequeños productores ganaderos, entendiendo que un sistema productivo sostenible, debe



tener la capacidad de auto proveer alimentos suficientes y de calidad para las familias campesinas. Según Marandure et al. (2017), una estrategia adaptable para favorecer el acceso a alimento consiste en la producción integrada cultivo y ganadería. Así mismo, la diversificación de productos ganaderos podría contribuir a la autosuficiencia alimentaria.

En términos generales existen una serie de problemáticas asociadas con esta dimensión; Duval et al. (2021) plantea los siguientes cuestionamientos: la primera, es la falta de información al respecto y lo poco relevante en las discusiones de los autores que hablan sobre sostenibilidad; segundo, plantea que es difícil comparar resultados entre diferentes estudios; tercero, el vacío en la literatura acerca del bienestar humano; y finalmente, esta dimensión se evalúa en relación con temas ambientales y económicos asociados mayormente a la eficiencia, la capacidad adaptativa y estabilidad del sistema. En esta misma línea, da Silva & Gameiro (2022) indican que la falta de consenso de la comunidad científica y los agricultores en estos temas son un reflejo de la falta de conocimiento de la dimensión.

En gran medida, los artículos analizados en esta revisión evaluaron la sostenibilidad a partir de la selección de indicadores multidimensionales de forma desarticulada, sin establecer un marco de referencia claro respecto a la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos. En menor medida, otros autores, realizaron la definición de los indicadores de sostenibilidad a partir de marcos de referencias existentes, dentro de los que se destacan, el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad - MESMIS (Silva-Cassani et al., 2022), Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas Alimentarios y Agrícolas (SAFA) (Hanisch et al., 2019) y el Índice de conversión orgánica (OCI) (Ferguson et al., 2013; Nahed et al., 2016; Valdivieso et al., 2019). En los estudios anteriores, se logró evidenciar mayor articulación entre los elementos evaluados y los elementos críticos de sostenibilidad identificados para este tipo de sistemas.

A nivel general, se identificaron indicadores que van desde los más simplistas (i.e. uso de pesticidas, ingresos agrícolas, acceso a información), que son de fácil medición, generalmente a partir de metodologías cualitativas (encuestas, entrevistas, observación y otros), pero que presentan un nivel alto de flexibilidad y subjetividad. En otro extremo, se identificaron indicadores más integradores (i.e. Índice de calidad de agua, rentabilidad, calidad de vida), los cuales requieren de métodos de medición más robustos, generalmente

cuantitativos (a través de muestreo en campo, estimación de inventarios, estados financieros u otros), los cuales determinan el estado real o la calidad del aspecto evaluado.

Las principales limitantes identificadas en la base de datos de indicadores de sostenibilidad compiladas en esta revisión, fueron: (a) la variación o personalización de los nombres utilizados por los autores para mencionar indicadores análogos según su descripción; (b) la dificultad de categorizar algunos indicadores en una dimensión específica de sostenibilidad, teniendo en cuenta la complejidad y transversalidad que representan algunos componentes evaluados en los agroecosistemas ganaderos y (c) la brecha existente respecto al acceso a información, partiendo de indicadores que son de muy fácil medición, pero que presentan poca relevancia, hasta indicadores de mayor relevancia, que requieren métodos de medición más robustos, por ende, se tiene menor disponibilidad de su información.

Propuesta de indicadores sistémicos para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos

A partir de la revisión sistemática de la literatura relacionada, se propone una lista de indicadores estratégicos de sostenibilidad para la evaluación de los agroecosistemas ganaderos vacunos con un enfoque holístico, como lo proponen Sarandón & Flores (2009). Estos indicadores pueden ser adaptados a los diferentes estudios de sostenibilidad para la ganadería basada en pastos (Tabla 1).

Los criterios para seleccionar los indicadores estratégicos fueron: agroecosistemas ganaderos basados en pastos, integradores/sistémicos, claros o fáciles de comprender, sensibles a los cambios del sistema (manejo, clima, plagas y perturbaciones) y que permita su medición/seguimiento a través del tiempo, según lo propuesto por Motta-Delgado et al. (2019).

Tabla 1.

Indicadores de sostenibilidad propuestos

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Cuidado y usos del agua	Agua	Ambiental	Usos agrícolas, proporción de propiedades que protegen las fuentes de agua

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Proceso de eutrofización	Agua	Ambiental	Crecimiento de nutrientes/ Límite estándar para la ganadería
Huella de Carbono	Aire/GEI	Ambiental	Emisiones de gases de efecto invernadero
Consumo de combustibles fósiles	Aire/GEI	Ambiental	Litros utilizados por hectárea (L/ha)
Proporción de uso de energía renovable	Aire/GEI	Ambiental	Consumo energía renovable (%)
Biotipo animal adaptado	Amenazas externas	Ambiental	Genética del animal
Uso de agroquímicos/Reducción de entradas químicas	Amenazas externas	Ambiental	Evaluación de la cantidad de cada agroquímico usado y su proporción por hectárea
Control ecológico de malezas en pastos y cultivos	Amenazas externas	Ambiental	Prácticas no invasivas
Control ecológico de plagas en pastos y cultivos	Amenazas externas	Ambiental	Prácticas no invasivas
Prevención de enfermedades del ganado	Bienestar animal	Ambiental	Asistencia veterinaria
Bienestar de los animales	Bienestar animal	Ambiental	Protección de los animales, calidad de vida, calidad del espacio, calidad de la alimentación
Mortalidad de terneros y vacas (%/año)	Bienestar animal	Ambiental	Mortalidad del animal/ año
Prácticas para la conservación y recuperación de áreas	Ecosistemas	Ambiental	Reservas forestales y porcentaje de área en conservación
Riqueza y abundancia de especies de fauna: diversidad	Fauna	Ambiental	Fauna (número de individuos/ número de especies)

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Densidad de árboles > 25 cm de altura (Número de individuos/ha)	Flora	Ambiental	Densidad de árboles en el área
Prácticas de mejoramiento del suelo	Suelo	Ambiental	Fertilizantes químicos u orgánicos, sistema de pastoreo
Erosión	Suelo	Ambiental	Basado en la percepción
Salud del suelo	Suelo	Ambiental	Diversidad de la edafofauna, contenido de carbono o materia orgánica, profundidad efectiva, humedad
% Gastos de suministros externos	Autosuficiencia	Económico	Gastos totales destinados a la compra de productos externos
Autosuficiencia económica	Autosuficiencia	Económico	Grado de dependencia de otras fuentes de ingreso
Costo de producción	Costos	Económico	Gasto total de la unidad productiva
Diversificación productiva	Estabilidad/resiliencia económica	Económico	Variedad de productos generados por la unidad productiva
Rentabilidad	Rentabilidad	Económico	Ingreso de la unidad productiva
Relación costo/beneficio (+)	Rentabilidad	Económico	Índice porcentual
Valoración económica de SSE	Servicios ecosistémicos	Económico	Valor económico de los servicios ecosistémicos
Autogestión comunitaria y participación social	Autogestión	Social	Estructuras, organizaciones y participación comunitaria
Disponibilidad de agua segura	Bienestar humano	Social	Acceso a agua potable
Calidad de vida	Bienestar humano	Social	Acceso a las necesidades básicas/ Reportes del campesino en cambios positivos o negativos en la calidad de vida o salud
Nivel educativo alcanzado	Bienestar Humano	Social	Nivel educativo alcanzado

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Salud en el Hogar	Bienestar Humano	Social	Acceso a servicios de salud
Autosuficiencia alimentaria	Bienestar humano	Social	Acceso a los alimentos en el hogar provenientes de las unidades productivas
Prestaciones sociales	Bienestar humano	Social	Acceso de los trabajadores a las prestaciones sociales de Ley
Administración ecológica	Capacidad adaptativa	Social	Prácticas sustentables y agroecológicas
Acceso a asistencia técnica agropecuaria	Capacidad adaptativa	Social	Integración del conocimiento agrícola/ Participación en capacitación de agricultores
Generación de empleo	Equidad	Social	Nivel de contratación de mano de obra dentro de la unidad productiva
Nivel salarial	Equidad	Social	Salario mensual de todos los trabajadores
Equidad de género y empoderamiento femenino	Equidad	Social	Participación y empoderamiento femenino en las actividades productivas
Seguridad y salud en el trabajo	Equidad	Social	Salud y seguridad humana
Carga de trabajo	Equidad	Social	Nivel de carga de trabajo
Subvenciones y ayudas gubernamentales	Estabilidad	Social	Ausencia/presencia de apoyo gubernamental

Fuente: elaboración propia



Conclusiones

Existe un desequilibrio en la cantidad de indicadores propuestos para evaluar la sostenibilidad en agroecosistemas ganaderos, siendo la dimensión ambiental la más estudiada y la social la menos explorada.

La diversidad en los agroecosistemas ganaderos es clave para mejorar la resiliencia, manteniendo relaciones socio-ecológicas que aseguran la prestación de servicios ecosistémicos y que implementen la adaptación genética.

La falta de consenso metodológico para seleccionar indicadores de sostenibilidad en la ganadería vacuna refleja la necesidad de un marco flexible y participativo que permita integrar todos los aspectos del sistema.

Referencias

- Alary, V., Lasseur, J., Frija, A., & Gautier, D. (2022). Assessing the sustainability of livestock socio-ecosystems in the drylands through a set of indicators. *Agricultural Systems*, 198, 103389. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103389>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(11), 7-20. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Angón, E., García, A., Perea, J., & Barba, C. (2016). Evaluación de la sostenibilidad en sistemas ganaderos. *Ambienta*, 116, 82-89.
- Banco Mundial (2022). Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada NAMA: De La Ganadería Bovina Sostenible en Colombia. Agriculture and Food PG LAC (SLCAG). Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV, Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Federación Colombiana de Ganaderos Fedegán, Fondo Acción para el Ambiente y la Niñez, & The Nature Conservancy -TNC.
- Barrera, J. F., Herrera, J., & Gómez, J. (2007). Riesgo-vulnerabilidad hacia la broca del café bajo un enfoque de manejo holístico. (Pp. 131-141) In Barrera, J. F., García, A., Domínguez, V., & Luna, C. (eds.). *La broca de café en América tropical: hallazgos y enfoques*. Tapachula, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Bassignana, C. F., Merante, P., Bellière, S. R., & Vazzana, C. (2022). Assessment of Agricultural Biodiversity in Organic Livestock Farms in Italy. *Agronomy*, 12(3), 607.
- DANE. (2020). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019. Boletín Técnico. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- da Silva, M. F., & Gameiro, A. H. (2022). Sustainability indicators for Brazilian dairy livestock: the perception of professionals in the sector. *Animal production systems and agribusiness*, 51, 20210049. <https://doi.org/10.37496/rbz5120210049>

Duval, J., Cournut, S., & Hostiou, N. (2021). Livestock farmers' working conditions in agroecological farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(22), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00679-y>

FAO. (2012). FAO: La ganadería y sus desafíos en América Latina y el Caribe. *Agronews*. <https://www.agronewscastillayleon.com/fao-la-ganaderia-y-sus-desafios-en-america-latina-y-el-caribe>

FAO. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (gestión del riesgo de desastres en el sector agrícola). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago, Chile.


FAO. (2021). Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe: Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas. Food & Agriculture Org. <https://doi.org/10.4060/cb4415es>


FAO. (2023). Pathways towards lower emissions: A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Food & Agriculture Org. <https://doi.org/10.4060/cc9029en>

Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegan. (2014). Bases para la formulación del plan de acción 2014 – 2018 para el mejoramiento de la ganadería en el departamento de Córdoba. Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán) – Fondo Nacional del Ganado, Montería, Córdoba

Federación Colombiana de Ganaderos-Fedegan. (2022). Cifras de referencia del sector ganadero. Fedegan. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>

Ferguson, B. G., Diemont, S. A.W., Alfaro-Arguello, R., Martin, J. F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, D., & Pinto-Ruíz, R. (2013). Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 120, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.05.005>

- 
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyse. *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Gazzano, I., Altieri, M. A., Achkar, M., & Burgueño, J. (2015). Holistic Risk Index: A Case Study of Cattle Producers in the Protected Area of Farrapos Estuaries—Uruguay. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(2), 209-223. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.967439>
- Gómez Villalva, J., Cobos Mora, F., & Hasang Moran, E. (2019). Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research*, 4, 180-195. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3594078>
- Hanisch, A. L., Negrelle, R. R. B., Araújo-Bonatto, R., Nimmo, E. R., & Biscaia-Lacerda, A. E. (2019). Evaluating Sustainability in Traditional Silvopastoral Systems (caívas): Looking Beyond the Impact of Animals on Biodiversity. *Sustentability*, 11, 3098.. <https://doi.org/10.3390/su11113098>
- Henao-Salazar, A. (2013). Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en los Andes colombianos. *Agroecología*, 8(1), 85–91. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/183031>
- Holling, C. S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4, 390–405.
- Ibarra-Vrska, I. P. (2019). Agricultura regenerativa y el problema de la sustentabilidad: Aportes para una discusión. *Textual*, 74, 51–85. <http://dx.doi.org/10.5154/r.textual.2019.74.02>
- IDEAM. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases de Efecto Invernadero. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Bogotá D.C., Colombia.



IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2023). Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Kido-Cruz, M. T., Martínez-Castro, C. J., Zúñiga-Marroquín, T., & Cotera-Rivera, J. (2024). Estimación del bienestar animal del bovino lechero en trópico, mediante criterios de acondicionamiento ambiental. *Revista MVZ Córdoba*, 27(3), (e2676). <https://doi.org/10.21897/rmvz.2676>

Lebacqz, T., Baret, P. V., & Stilmant, D. (2012). Sustainability indicators for livestock farming. A review. *SusAgronomy for Sustainable Development*, 33, 311-327. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0121-x>


López-Daza, J. L., & Perdomo-Barrero, E. (2016). Cuantificación económica de las externalidades ambientales en un sistema de producción lechero en la finca Santa María del Puyón en Sopo-Cundinamarca. Tesis. Universidad de La Salle.

Machado-Vargas, M. M. (2016). Evaluación de los niveles de riesgo/resiliencia socioecológica en pequeños caficultores de la Cuenca del Río Porce, Antioquia, Colombia. [Tesis doctoral], Universidad de Antioquia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS. (2016). Política Nacional para la Gestión Sostenible del Suelo.

Marandure, T., Mapiye, C., Makombe, G., & Dzama, K. (2017). Indicator-based sustainability assessment of the smallholder beef cattle production system in South Africa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(1), 3-29. <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2016.1231152>

Meadows, D. (1998). Indicators and Information Systems for Sustainable Development. A Report to the Balaton Group. The Sustainability Institute. Hartland, U.S. <https://donellameadows.org/wp-content/userfiles/IndicatorsInformation.pdf>



Michigan State University. (2015). Decision Support and Informatic. Global Center for Food System Innovation, USAID & U.S. Global Development Lab. <http://dsiweb.cse.msu.edu/>

Montalba, R., García, M., Altieri, M., Fonseca, F., & Vieli, L. (2013). Utilización del índice holístico de riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de recursos hídricos. aplicación en comunidades campesinas e indígenas de la Araucanía, Chile. *Agroecología*, 8(1), 63-70. <https://n9.cl/5i1vp>

Motta-Delgado, P. A., Ocaña Martínez, H. E., & Rojas-Vargas, E. P. (2019). Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 387-408. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num2art:1464>


Murgueitio, E. (1999). Reconversión ambiental y social de la ganadería bovina en Colombia. *Revista Mundial de Zootecnia*, 93(2), 2-15.


Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., & Rivera, J. E. (2019). Development of sustainable cattle rearing in silvopastoral systems in Latin America. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1), 65-71.

Nahed, J., González-Pineda, S., Grande, D., Aguilar, J. R., Sánchez, B., Ruiz-Rojas, J. L., Guevara-Hernández, F., Martínez, N. L., Trujillo-Vázquez, R. J., & Parra Vázquez, A. R. (2019). Evaluating sustainability of conventional and organic dairy cattle production units in the Zoque Region of Chiapas, Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(6), 605-638. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1534302>

Nahed, J., Grande, D., Aguilar, J. R., & Sánchez, B. (2016). Possibilities for converting conventional cattle production to the organic model in the Grijalva River Basin, Mexico. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1153767. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1153767>

Nahed-Toral, J., Sánchez-Muñoz, B., Mena, Y., Ruiz-Rojas, J., Aguilar-Jiménez, R., Castel, J. M., de Asis-Ruiz, F., Orantes-Zebadua, M., Manzur-Cruz, M., Cruz-López, J., &

- 
- Delgadillo-Puga, C. (2013). Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 43, 36e145.
- Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7-31.
- Nigh, R., & Diemont, S. A. (2013). The Maya milpa: fire and the legacy of living soil. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(45-e54).
<https://doi.org/10.1890/120344>
- Opiyo, F. E., Wasonga, O. V., & Nyangito, M. M. (2014). Measuring household vulnerability to climate-induced stresses in pastoral rangelands of Kenya: Implications for resilience programming. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 4(10), 1-14.
<http://www.pastoralismjournal.com/content/4/1/10>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Pardal-Refoyo, J. L., & Pardal-Peláez, B. (2020). Anotaciones para estructurar una revisión sistémica. *ORI*, 11(2), 155-160. DOI: <https://doi.org/10.14201/orl.22882>
- Perrings, C. (1998). Introduction: resilience and sustainability. *Environ. Dev. Eco*, 3, 221-222.
- Pinheiro, L. (2004). *Pastoreo Racional Voisin*. Uruguay: Hemisferio Sur
- Richard, D., Alary, V., Corniaux, C., Duteurtre, G., & Lhoste, P. (Eds.). (2019). *Dynamique des élevages pastoraux et agropastoraux en Afrique intertropicale*. Quae éditions.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2895-9>

- 
- Riera, A., Duluins, O., Schuster, M., & Baret, P. V. (2023). Accounting for diversity while assessing sustainability: insights from the Walloon bovine sectors. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(30), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00882-z>
- Rivera, J., Molina, I., Chará, J., Murgueitio, E., & Barahona, R. (2017). Intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit: productive alternative in the tropics in view of climate change. *Pastos y Forrajes*, 40, 159-170.
- Rojas-Downing, M., Pouyan Nejadhashemi, A., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Rosales-Martínez, V., Bautista-Valente, Á. d. J., Peláez-Estrada, U. V., Valenzuela-Lagarda, J. L., Herrera-González, B., & Cisneros-Saguilán, P. (2023). A comprehensive case study on the sustainability of tropical dairy cattle farming in Oaxaca, Mexico. *Ciência Rural*, 53(11); e20210026. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210026>
- Rosset, P., & Altieri, M. (2018). *Agroecología: ciencia y política*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología SOCLA.
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A., & Álvarez-del Castillo, J. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología austral*, 22, 74-79.
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A., & Álvarez del Castillo, X. (2011). Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad. *Revista Lasallista de investigación*, 8(2), 136-142.
- Sandoval, D. F., Florez, J. F., Enciso-Valencia, K. J., Sotelo-Cabrera, M. E., & Stefan, B. (2023). Economic-environmental assessment of silvo-pastoral systems in Colombia: An ecosystem service perspective. *Heliyon*, 9(19082), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19082>

Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19–28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>

Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). *Agroecología. D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.*

Serrano-Martínez, E., & Ruiz-Mantecón, Á. (2003). Bases para un desarrollo ganadero sostenible: la consideración de la producción animal desde una perspectiva sistémica y el estudio de la diversidad de las explotaciones. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 199, 159-191.


Silva-Cassani, N., Mancera, K. F., Canul, J., Ramírez-Aviles, L., Solorio, J., Güereca, P., & Galindo, F. (2022). Evaluation of the sustainable performance of native and intensive silvopastoral systems in the mexican tropics using the mesmis framework. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(120), 1-22. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3556>

Smith, O. H., Petersen, G. W., & Needelman, B. A. (1999). Environmental Indicators of Agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 69, 75-97. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60947-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60947-5)

Sulfiar, A. E. T., Guntoro, B., Atmoko, B. A., & Budisatria, I. G. S. (2022). Sustainability of beef cattle farming production system in South Konawe Regency, Southeast Sulawesi. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture JITAA*, 47(2), 155-165. Scopus. <https://doi.org/10.14710/jitaa.47.2.155-165>

Toro-Mújica, P., García, A., Gómez-Castro, A. G., Acero, R., Perea, J., & Rodríguez-Estévez, V. (2011). Sustentabilidad de agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia*, 60, 15-39.

Torres Jara de García, G. P., Durand-Chávez, L. M., Quispe-Casa, H. A., Linares-Rivera, J. L., Segura-Portocarrero, G. T., Calderón-Tito, R., Vásquez-Pérez, H. V., Maicelo-Quintana, J. L., Ampuero-Trigoso, G., Robles-Rodríguez, R. R., & Saucedo-Uriarte,



J. A. (2023). Sustainability of livestock farms: The case of the district of Moyobamba, Peru. *Heliyon*, 9(2), e13153. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13153>

Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios - UPRA. (2020). Ordenamiento productivo y social de la propiedad rural. <https://www.upra.gov.co/uso-y-adequacion-de-tierras/ordena-miento-productivo>

Valdivieso-Pérez, I. A., NahedToral, J., Piñeiro-Vázquez, Á. T. T., Guevara-Hernández, F., Jiménez-Ferrer, G., & Grande-Cano, D. (2019). Potential for organic conversion and energy efficiency of conventional livestock production in a humid tropical region of Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 241, 18354.

Van-Heurck, M., Alegre, J., Solís, R., Del Castillo, D., Pérez, L., Lavelle, P., & Quintero, M. (2020). Measuring sustainability of smallholder livestock farming in Yurimaguas, Peruvian Amazon. *Food and Energy Security*, 9(4), 1-13. <https://doi.org/10.1002/fes3.242>

Zira, S., Rööß, E., Rydhmer, L., & Hoffmann, R. (2023). Sustainability assessment of economic, environmental and social impacts, feed-food competition and economic robustness of dairy and beef farming systems in Southwestern Europe. *Sustainable Production and Consumption*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.022>

Anexos

Anexo 1

Tabla 1.

Indicadores de la dimensión ambiental

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Cuidado y usos del agua	Agua	Priorización de los usos del agua, protección de las fuentes de agua	Hanisch et al. (2019); Maia-olimpó et al. (2022); Munyaneza et al. (2019); Otalora et al. (2021); Silva et al. (2022)
Proceso de eutrofización	Agua	Concentración de nutrientes	da Silva & Gameiro (2022); Hanisch et al. (2019); Otalora et al. (2021); Sulfiar et al. (2022); Zira et al. (2023)
Calidad del agua	Agua	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	da Silva & Gameiro (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Sulfiar et al. (2022); Zira et al. (2023)
Emisión de gases de efecto Invernadero/Potencial de calentamiento global	Aire	Proporción equivalente de gases de efecto invernadero	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Motta Karlsson et al. (2023); Ocaña & Rojas (2019); Otálora et al. (2021); Riera et al. (2023); Zira et al. (2023)
Presión de pastoreo	Amenazas externas	Capacidad de carga:(Unidad de gran ganado por unidad de área	Alary et al. (2022), da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Maia-Olimpo et al. (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Riera et al. (2023); Ruggia et al. (2021); Valdivieso et al. (2019)
Biotipo animal adaptado	Amenazas externas	Razas o cruces adaptados localmente	Alary et al. (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Nahed et al. (2016); Nahed et al. (2018); Torres et al. (2023); Valdivieso et al. (2019)
Uso de pesticidas (L/ha)	Amenazas externas	Cantidad de pesticidas (L/ha)	da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch

Indicador	Componente	Descripción	Autores
			et al. (2019); Otálora et al. (2021); Riera et al. (2023)
Uso de agroquímicos/Reducción de entradas químicas	Amenazas externas	Cantidad de pesticidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos usados por unidad de área	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Silva et al. (2022)
Bienestar de los animales	Bienestar animal	Protección de los animales, calidad de vida, calidad del espacio, calidad de la alimentación	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Karlsson et al. (2023); Nahed et al. (2016); Otálora et al. (2021); Silva et al. (2022); Sulfiar et al. (2022); Valdivieso et al. (2019)
Prevención de enfermedades del ganado	Bienestar animal	Profilaxis y atención veterinaria (Uso de medicina alternativa)	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Maia-Olimpo et al. (2022); Nahed et al. (2016); Silva et al. (2022); Valdivieso et al. (2019)
Mortalidad de terneros y vacas (%/año)	Bienestar animal	Número de animales que mueren al año	da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Nahed et al. (2018); Sulfiar et al. (2022); Valdivieso et al. (2019)
Prácticas para la conservación y recuperación de áreas	Ecosistemas	Reservas forestales, porcentaje de área conservadas, prácticas de restauración o reforestación de áreas	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Maia-Olimpo et al. (2022); Nahed et al. (2018); Otálora et al. (2021); Torres et al. (2023)
Riqueza y diversidad de especies de fauna	Fauna	Fauna (número de individuos en relación al número especies)	Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2018); Silva et al. (2022);
Riqueza y diversidad de especies de flora	Flora	Flora (número de individuos en relación al número especies)	Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019)

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Prácticas de mejoramiento del suelo	Suelo	Fertilización química u orgánicas, gestión del pastoreo	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2016); Nahed et al. (2018), Valdivieso et al. (2019)
Nivel de erosión o pérdida del suelo	Suelo	Proporción de tierras erosionadas en relación al área total de la unidad productiva/ Tasa de erosión anual	da Silva & Gameiro (2022); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018); Otálora et al. (2021); Torres et al. (2023)
Usos del suelo	Suelo	Proporción de la cubierta vegetal en relación con las diferentes actividades	Alary et al. (2022); Otálora et al. (2021); Rosales et al. (2023); Torres et al. (2023); Zira et al. (2023)

Fuente: elaboración propia

Anexo 2

Tabla 2.

Indicadores de la dimensión económica

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Acceso a capital	Autosuficiencia	Acceso a fuentes de financiación (Préstamos o créditos bancarios)	Alary et al. (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Torres et al. (2023)
Gastos en alimentación externa	Autosuficiencia	Proporción de gastos en alimentación externa respecto al gasto total	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Ferguson et al. (2013); Munyaneza et al. (2019); Riera et al. (2023); Valdivieso et al. (2019)
Costo de producción (pesos/año)	Costos	Gasto total de la unidad productiva	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Nahed et al. (2018); Ruggia et

Indicador	Componente	Descripción	Autores
			al. (2021); Silva et al. (2022); Valdivieso et al. (2019);
Diversificación productiva	Estabilidad/resiliencia económica	Ingresos por variedad de productos generados por la unidad productiva	da Silva & Gameiro (2022); Dogliotti et al. (2014); Hanisch et al. (2019); Nahed et al. (2018); Otalora et al. (2021); Silva et al. (2022)
Rentabilidad global	Rentabilidad	Ingreso de la unidad productiva	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Hanisch et al. (2019); Karlsson et al. (2023); Otalora et al. (2021); Riera et al. (2023); Torres et al. (2023); Valdivieso et al. (2019)
Relación costo/beneficio (-/+)	Rentabilidad	Índice porcentual	da Silva & Gameiro (2022); Dogliotti et al. (2014); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Rosales et al. (2023); Silva et al. (2022)

Fuente: elaboración propia

Anexo 3

Tabla 3.

Indicadores de la dimensión social

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Autogestión comunitaria y participación social	Autogestión	Estructuras y organizaciones	Alary et al. (2022); Dogliotti et al. (2014); Hanisch et al. (2019); Maia-Olimpo et al. (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018); Silva et al. (2022); Torres et al. (2023)
Subvenciones y ayudas gubernamentales	Autogestión	Ausencia/presencia de apoyo gubernamental (producción ganadera)	Alary et al. (2022); Marandure et al. (2017); Nahed et al. (2018); Silva et al. (2022)
Calidad de vida	Bienestar Humano	Acceso a las necesidades básicas/ Reportes del campesino en cambios positivos o	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Hanisch et al. (2019), Motta, Ocaña & Rojas (2019); Torres et al. (2023)

negativos en la calidad
de vida

Nivel educativo alcanzado	Bienestar humano	Nivel educativo alcanzado	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Maia-Olimpo et al. (2022); Marandure et al. (2017); Munyaneza et al. (2019); Silva et al. (2022)
Autosuficiencia alimentaria	Bienestar Humano	Acceso a los alimentos en el hogar	Alary et al. (2022); Duru & Theron (2014); Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2018); Otalora et al. (2021); Valdivieso et al. (2019)
Administración ecológica	Capacidad adaptativa	Prácticas sustentables y agroecológicas	Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2016); Ruggia et al. (2021); Valdivieso et al. (2019)
Acceso a asistencia técnica agropecuaria	Capacidad adaptativa	Integración del conocimiento agrícola/ Participación en capacitación de agricultores	Dogliotti et al. (2014); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018)
Acceso a la información	Capacidad adaptativa	Acceso a internet y redes de información	Alary et al. (2022); Maia-Olimpo et al. (2022); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019)
Experiencia ganadera	Capacidad adaptativa	Años criando ganado	Ferguson et al. (2013); Karlsson et al. (2023); Nahed et al. (2018); Valdivieso et al. (2019)
Relevo generacional	Capacidad adaptativa	Capital dejado por heredero agrícola	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2018); Otalora et al. (2021); Silva et al. (2022)
Seguridad y salud en el trabajo	Equidad	Acceso a salud y seguridad humana en el trabajo	da Silva & Gameiro (2022); Dogliotti et al. (2014); Hanisch et al. (2019); Zira et al. (2023)



Carga de trabajo	Equidad	Nivel de carga de trabajo	Duru & Theron (2014); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Riera et al. (2023); Ruggia et al. (2021)
Equidad de género	Equidad de genero	Igualdad de condiciones	Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018)

Fuente: elaboración propia

