

ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DEL AUMENTO DE LA FRONTERA AGRÍCOLA EN TOCA-BOYACÁ

Brayan Felipe Garcia Burgos, Edison Fabian Vargas Becerra

RESUMEN

Esta investigación analiza el impacto socioambiental del aumento de la frontera agrícola en Toca-Boyacá por medio de un análisis multitemporal de la cobertura del suelo entre 2004 y 2024 y la aplicación de matrices de identificación y valoración de impactos ambientales, sociales y económicos, se reveló un aumento notable en las áreas de cultivos transitorios y tierras desnudas, en detrimento de los bosques, estos cambios están estrechamente vinculados con la expansión agrícola. Además, se identificaron una serie de impactos significativos, incluyendo la pérdida de biodiversidad, el deterioro de suelos y la alteración de los recursos hídricos, junto con impactos sociales como la migración rural y cambios en la estructura económica local. Los resultados destacaron la necesidad de implementar medidas de mitigación efectivas para minimizar estos efectos negativos, como la reforestación, el manejo sostenible del agua y la educación ambiental para la comunidad. También se concluyó que es fundamental actualizar el esquema de ordenamiento territorial e incluir esta problemática para guiar el desarrollo agrícola sostenible y garantizar el equilibrio entre el crecimiento económico y la conservación ambiental en Toca.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población mundial resulta en una progresiva demanda de alimentos, fibras, agua y energía. Esta ascendente demanda ejerce presión sobre los recursos naturales disponibles y aumenta la competencia por el uso de la tierra. Como consecuencia, se presentan desafíos adicionales relacionados con la conservación del medio ambiente y la formación de un escenario que impulsa una rápida expansión de la frontera agrícola (Lopes y otros, 2020).

En lo que respecta a la producción de alimentos, la expansión de la frontera agrícola sigue siendo una estrategia importante en áreas como el África subsahariana, América Latina y el Caribe. Sin embargo, la conversión del uso de la tierra para la agricultura conlleva consecuencias significativas, especialmente la pérdida de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Este fenómeno puede ser resultado de diversos factores, como el acelerado crecimiento del suelo, la desintegración de la materia orgánica impulsada por cambios en las condiciones microclimáticas, alteraciones en la cantidad y calidad del aporte de carbono, así como la descomposición de los agregados del suelo debido a las perturbaciones del suelo y una mayor erosión de la superficie del suelo. La magnitud y dirección de estas variaciones en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo tras las conversiones de uso de la tierra pueden variar considerablemente según factores específicos del sitio, como el clima, la textura y mineralogía del suelo, y las prácticas de gestión del suelo adoptadas posteriormente al cambio inicial en el uso del suelo (Jiang et al., 2023).

Por otra parte, es crucial analizar el impacto en la vivienda y las estructuras empresariales, así como en la infraestructura y los servicios locales, derivados de la conversión de tierras para la agricultura. Esta transformación puede ocasionar una disminución o incluso una imposibilidad en el acceso y aprovechamiento del agua local. A su vez, el aumento de la contaminación química, provocado por el escurrimiento de las plantaciones agrícolas, ejerce un efecto negativo en la calidad del agua. Se evidencia un incremento en las lesiones y enfermedades entre los trabajadores del campo debido a la carencia de equipos de protección personal adecuados y una capacitación insuficiente. Los desplazamientos hacia los servicios esenciales, bosques, huertas y escuelas locales pueden alargarse significativamente debido a la expansión de las plantaciones agrícolas. Paralelamente, la reconfiguración del empleo puede generar cambios importantes en la dinámica laboral, con diversos sectores experimentando ganancias y pérdidas. Además, la falta de supervisión regulatoria efectiva puede propiciar el aumento de actividades ilegales, como robos, corrupción y violaciones a la gobernanza (Gillerspie y Piers, 2024)

En Colombia, se observan tendencias preocupantes en cuanto al cambio de uso del suelo, especialmente la expansión de áreas agrícolas y la pérdida de bosques en diversas regiones del país. Se han identificado patrones definidos de conversión de tierras forestales a tierras de cultivo, particularmente en áreas de alta biodiversidad. No obstante, se aprecian disparidades en la intensidad y velocidad de la deforestación entre diferentes regiones, lo que sugiere la influencia de factores socioeconómicos y políticos locales en este fenómeno (Etter y otros, 2016).

Una manera efectiva de cuantificar la expansión de las áreas de la frontera agrícola es a través del análisis del cambio en el uso y la cobertura del suelo, utilizando imágenes satelitales. Este análisis implica la agrupación de píxeles de una imagen en conjuntos de clases, donde aquellos que comparten propiedades similares se asignan a la misma clase. Este proceso se basa en la identificación de patrones espectrales, a través de las cuales se asocian firmas espectrales que se relacionan a cada tipo de cobertura terrestre lo cual facilita la distinción confiable de estas firmas respecto a otros patrones espectrales presentes. Hay varios métodos para clasificar datos obtenidos por teledetección, siendo los más importantes la clasificación supervisada y no supervisada. (Hasmadi Ismail et al., 2019) (Zhao et al., 2023).

El análisis del impacto ambiental asociado a la expansión de la frontera agrícola puede ser abordado mediante la matriz Conesa, un método que establece tres elementos esenciales para la evaluación de impacto ambiental (EIA). En primer lugar, se debe elaborar un listado detallado de los posibles efectos ambientales que el proyecto de desarrollo propuesto pueda generar, incluyendo la estimación de la magnitud de cada uno de estos efectos. A continuación, se lleva a cabo una valoración de la relevancia de cada efecto identificado, considerando aspectos como la escala regional o local y finalmente, se lleva a cabo una evaluación resumida que combina las estimaciones de magnitud e importancia de los efectos. Este método tiene la capacidad de incorporar tanto datos cuantitativos como cualitativos, lo que lo hace adaptable a diferentes situaciones y tipos de proyectos (Josimović et al., 2014).

El municipio de Toca está situado en la provincia central del departamento de Boyacá, en

una altiplanicie creada por un ramal de la cordillera Oriental, denominado cordillera Magistral, ubicado en la región nororiental de Boyacá. Sus límites geográficos comprenden al norte el municipio de Tuta, al oeste con el municipio de Pesca, al occidente los municipios de Tuta y Chivatá y al sur el municipio de Siachoque. La región se distingue por la fertilidad de sus suelos, los cuales son idóneos para la agricultura y la ganadería, constituyendo estas actividades su principal fuente económica gracias a la diversidad de cultivos que pueden ser cultivados en la zona (Consejo municipal de Toca, 2020).

La mayor parte del territorio de Toca está situada en la zona rural, abarcando el 99.61%, mientras que apenas un 0.39% corresponde a la zona urbana. La economía del municipio está estrechamente ligada a la agricultura, con un énfasis particular en el cultivo de papa y cebada, lo que tiene un impacto significativo en diversos aspectos como el empleo, los ingresos y el acceso a servicios básicos, influyendo directamente en la calidad de vida de sus residentes (Consejo municipal de Toca, 2020).

Con aproximadamente 6,700 hectáreas dedicadas al cultivo de una variedad de productos agrícolas como papa, cebolla, maíz, trigo y arveja, la producción de papa destaca como la más importante, alcanzando las 44,400 toneladas anuales, lo que representa aproximadamente el 8% de la producción a nivel departamental. Estos cultivos han experimentado un cierto grado de semitecnificación, especialmente en el caso de la papa y las flores, lo que ha resultado en un crecimiento constante en su extensión, especialmente en áreas de páramo, impactando negativamente en ecosistemas estratégicos y contribuyendo al aumento de la frontera agrícola (Instituto geográfico Agustín Codazzi, 2005). En este contexto, esta investigación se propone estimar el aumento de la frontera agrícola y comprender e evaluar el impacto socioambiental de esta expansión en términos de cambios en el uso del suelo.

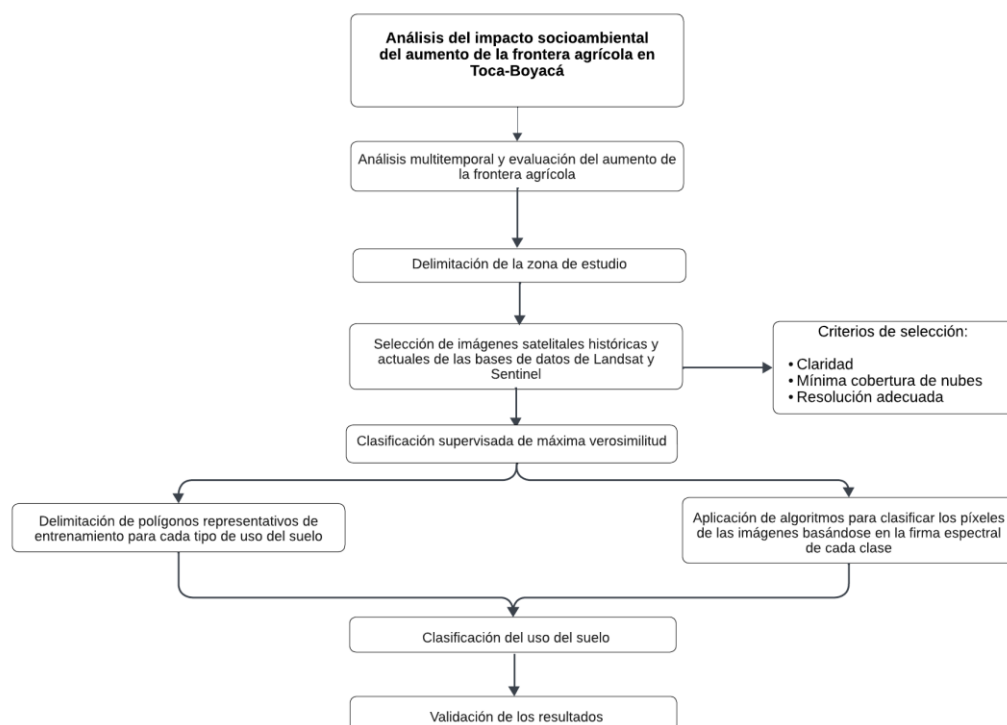
METODOLOGÍA

Para este estudio, se empleó un enfoque es una investigación de tipo descriptivo-analítica, la cual utiliza datos cuantitativos y cualitativos para describir y analizar las modificaciones en el uso del suelo en el municipio de Toca, Boyacá, y sus impactos ambientales, sociales y económicos. Se apoya en el análisis de mapas de cobertura del suelo, tablas de porcentajes de uso del suelo, matrices de identificación y evaluación de impactos y revisión bibliográfica para contextualizar los hallazgos

Análisis multitemporal y evaluación del aumento de la frontera agrícola

Se utilizaron imágenes satelitales históricas y actuales provenientes de las bases de datos de Landsat y Sentinel para llevar a cabo el análisis el cual fue realizado por periodos de 5 años desde 2004 hasta la actualidad. Los criterios de selección se basaron en la claridad de las imágenes, una cobertura mínima de nubes y una resolución adecuada para diferenciar los diversos tipos de uso del suelo, la clasificación supervisada se realizó mediante el método de máxima verosimilitud utilizando el software ArcMap 10.5, esta metodología implica la delimitación de polígonos de entrenamiento representativos para cada categoría de uso del suelo, seguida de la aplicación de algoritmos para clasificar los píxeles de las imágenes en función de la firma espectral de cada clase (Chowdhury, 2024).

Figura 1. Descripción de la fase metodológica



Fuente. Autores.

Identificación de impactos

Para la identificación de impactos, se empleó el diagrama de redes, una herramienta fundamental en la evaluación de proyectos o actividades, este diagrama, también conocido como diagrama de flujo de causas y efectos, proporciona una visualización estructurada de cómo diversas actividades de un proyecto pueden influir en el medio ambiente, la representación gráfica conecta diferentes elementos y actividades con sus posibles impactos ambientales. El diagrama se compone de nodos y enlaces: los nodos simbolizan actividades, componentes del proyecto o elementos del entorno que pueden ser afectados, mientras que los enlaces representan las relaciones causa-efecto entre las actividades y los impactos ambientales (Garmendia et al., 2005).

Evaluación de impactos

Para la evaluación de impactos sociales identificados se tuvo en cuenta dos metodologías.

Metodología EPM – Arboleda: Elaborada en 1985 por la Unidad de Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín, esta metodología divide el proyecto en

actividades que requieren acciones laborales similares, agrupándolas bajo una misma denominación. Una vez identificados los impactos, se realiza la evaluación utilizando criterios de calificación, proponiendo un índice denominado calificación ambiental (ca). Los criterios considerados incluyen clase, presencia, evolución, magnitud y duración, cada uno con un valor mínimo de 0.0 y máximo de 1.0, además de dos factores de ponderación (a=7.0 y b=3.0), de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Calificación ambiental.

$$Ca = C(P[a * E * M + b * D])$$

El valor resultante de la calificación ambiental de impacto se clasifica en categorías que indican el nivel de significancia de este.

Tabla 1. Categorías de clasificación del impacto.

Irrelevante	1 – 20
Moderado	21 – 40
Relevante	41 – 60
Grave	61 – 80

Fuente: (Arboleda G, 2008)

Metodología CONESA

La Metodología Conesa, creada por Vicente Conesa Fernández-Vítora, es una técnica que combina enfoques cualitativos y semicuantitativos para evaluar impactos. Este método se fundamenta en la valoración de múltiples factores a través de diversos criterios y la aplicación de una ecuación que calcula un índice de impacto social.

Ecuación 2. Cálculo de importancia.

$$I = I_a * E * M * P * R * S * A * Per * Rec$$

La metodología usa criterios para evaluar la magnitud y significancia de los impactos ambientales, y a cada criterio se le asigna un valor que varía según la magnitud del impacto.

Tabla 2. Criterios de evaluación de la metodología CONESA.

<i>Intensidad (Ia)</i>	Grado de alteración provocado por la acción sobre el medio ambiente.	1 (Baja), 2 (Media), 3 (Alta)
<i>Extensión (E)</i>	Área geográfica afectada por la acción.	1 (Puntual), 2 (Parcial), 3 (Total)
<i>Momento (M)</i>	Periodo de tiempo en el que ocurre el impacto (inmediato, corto, medio o largo plazo).	1 (Inmediato), 2 (Corto plazo), 3 (Medio plazo), 4 (Largo plazo)

<i>Persistencia (P)</i>	Duración del impacto en el tiempo.	1(Temporal), 2(Semipermanente), 3(Permanente)
<i>Reversibilidad (R)</i>	Capacidad del medio de retornar a su estado original después del impacto.	1 (Reversible), 2 (Parcialmente reversible), 3 (Irreversible)
<i>Sinergia (S)</i>	Interacción entre impactos que puede incrementar su magnitud.	1 (Sin sinergia), 2 (Con sinergia)
<i>Acumulación (A)</i>	Suma de impactos a lo largo del tiempo.	1 (Sin acumulación), 2 (Con acumulación)
<i>Periodicidad (Per)</i>	Frecuencia con la que se produce el impacto.	1 (Ocasional), 2 (Periódica), 3 (Continua)
<i>Recuperabilidad (Rec)</i>	Posibilidad de restaurar las condiciones ambientales afectadas.	1 (Total), 2 (Parcial), 3 (Nula)

Fuente: (Conesa Vítora, 2011)

El valor resultante del índice de importancia de impacto se clasifica en categorías que indican el nivel de significancia de este.

Tabla 3. Categorías de clasificación del impacto.

Muy Bajo	1 – 20
Bajo	21 – 40
Moderado	41 – 60
Alto	61 – 80
Muy Alto	81 - 100

Fuente: (Conesa Vítora, 2011)

Combinación de metodologías

Se realizó la combinación de las metodologías EPM-Arboleda y Conesa para el análisis del impacto socioambiental del aumento de la frontera agrícola en Toca, Boyacá, ya que ofrece múltiples ventajas que enriquecen la evaluación. Esta combinación permite integrar un enfoque cuantitativo y técnico, proporcionado por EPM-Arboleda, con el análisis cualitativo y semicuantitativo que ofrece Conesa, logrando así una comprensión más completa de las complejas interrelaciones entre los impactos ambientales, sociales y económicos. La metodología EPM-Arboleda facilita la calificación precisa de los efectos directos sobre los ecosistemas, mientras que Conesa permite examinar las percepciones y preocupaciones de la comunidad, así como los impactos indirectos y acumulativos que podrían no ser evidentes en un análisis aislado (Arboleda G, 2008) (Conesa Vítora, 2011).

Estudios previos han demostrado la eficacia de combinar diferentes metodologías, como en el caso del análisis de sistemas de tratamiento avanzado de lixiviados en rellenos sanitarios, donde se integró la técnica de "Scoping" con Conesa como metodología para identificar y cuantificar los impactos más relevantes, esta combinación no solo permite identificar y cuantificar los impactos críticos, sino también diseñar estrategias de mitigación efectivas y adaptadas a las realidades locales. Al combinar ambas metodologías, se favorece la

identificación de estrategias de prevención más efectivas y se promueve la participación de los actores involucrados en la toma de decisiones, este enfoque holístico contribuye no solo a una evaluación más rigurosa y completa, sino también a la promoción de un desarrollo agrícola sostenible que respete el bienestar de la población y la integridad de los ecosistemas (Villamizar et al., 2022).

Para la evaluación de los impactos identificados se realizó la combinación de las metodologías EMP y Conesa se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 4. Criterios de valoración.

VALORACION CUALITATIVA (Combinación EPM-CONESA)	
SIGNO (SI)	
Impacto beneficioso	+
Impacto perjudicial	-
PRESENCIA (PE)	
Cierta	1
Muy probable	0.7 - 0.99
Probable	0.4 - 0.69
Poco probable	0.2 - 0.39
Muy poco probable	0.01 - 0.19
DURACIÓN (D)	
Muy larga o permanente	1
Larga	0.7 - 0.99
Media	0.4 - 0.69
Corta	0.2 - 0.39
Muy corta	0.01 - 0.19
ACUMULACIÓN (A)	
Sinérgico	1
Acumulativo	0.5 - 0.99
Simple	0.01 - 0.49
EXTENSIÓN (E)	
Critico	1
Total	0.7 - 0.99
Extenso	0.4 - 0.69
Parcial	0.2 - 0.39
Puntual	0.01 - 0.19
INTENSIDAD (In)	
Total	1
Muy alta	0.7 - 0.99
Alta	0.4 - 0.69
Media	0.2 - 0.39

Baja	0.01 - 0.19
EVOLUCIÓN (Ev)	
Muy rápida	1
Rápida	0.7 - 0.99
Media	0.4 - 0.69
Lenta	0.2 - 0.39
Muy lenta	0.01 - 0.19
MAGNITUD (M)	
Muy alta	1
Alta	0.7 - 0.99
Media	0.4 - 0.69
Baja	0.2 - 0.39
Muy baja	0.01 - 0.19
PERSISTENCIA (PER)	
Permanente	1
Temporal	0.5 - 0.99
Fugaz	0.01 - 0.49
REVERSIBILIDAD (Rv)	
Irreversible	1
Largo plazo	0.7 - 0.99
Medio plazo	0.4 - 0.69
Corto plazo	0.2 - 0.39
Inmediato	0.01 - 0.19
RECUPERABILIDAD (RC)	
Irrecuperable	1
Recuperable a largo plazo	0.7 - 0.99
Mitigable	0.4 - 0.69
Recuperable a medio plazo	0.2 - 0.39
Recuperable de manera inmediata	0.01 - 0.19

Fuente: (Conesa Vítora, 2011) (Arboleda G, 2008)

La metodología se basa en la valoración de diversos factores mediante una serie de criterios y la aplicación de una ecuación que permite obtener un índice de impacto

Ecuación 3. Cálculo de importancia.

$$Ca = C \left(P((7.0[Ev \cdot M \cdot Aln]) + 3.0[D \cdot E \cdot Per \cdot Rv \cdot Rc]) \right)$$

El valor resultante de la calificación ambiental de impacto se clasifica en categorías que indican el nivel de significancia de este.

Tabla 5. Categorías de clasificación del impacto.

Calificación ambiental	Importancia del impacto ambiental
≤ 2.5	Irrelevante
2.6 - 5.0	Moderado
5.1 - 7.4	Relevante
> 7.5	Grave

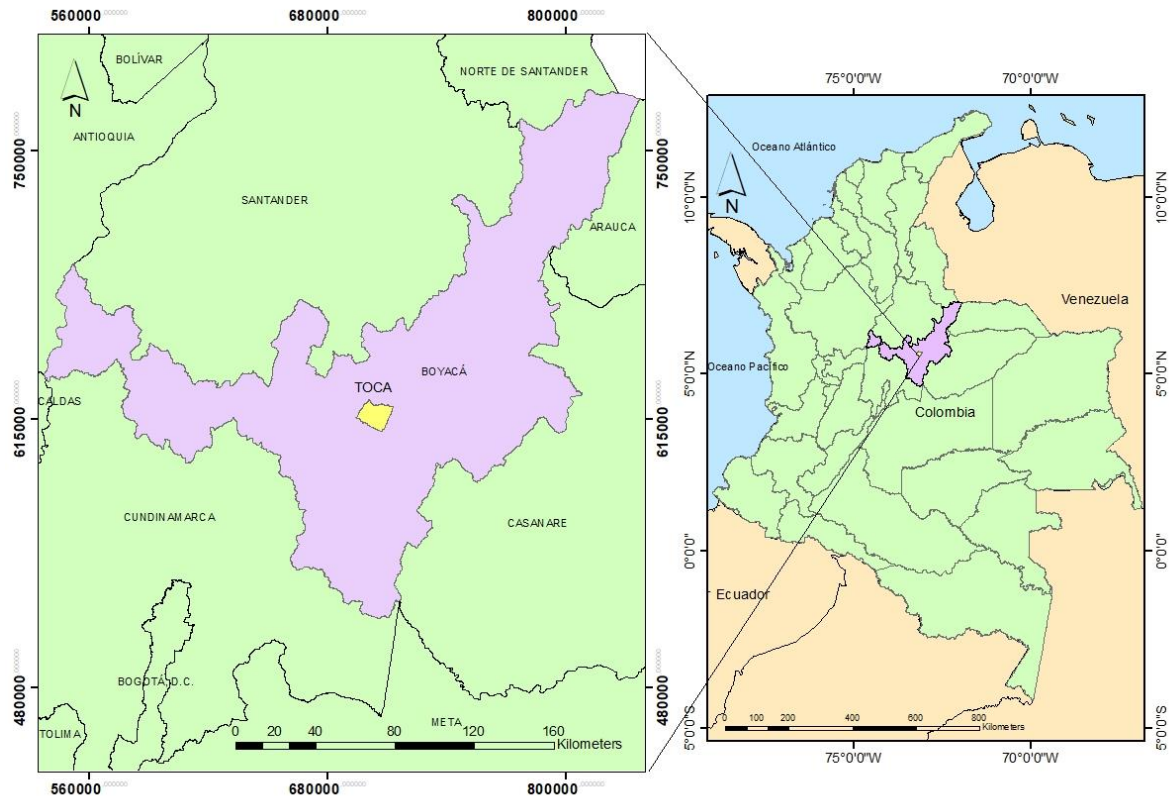
Fuente: (Conesa Vítora, 2011) (Arboleda G, 2008)

RESULTADOS

El municipio de Toca está ubicado en el departamento de Boyacá, es un municipio de gran relevancia ambiental y estratégica debido a su ubicación privilegiada en el centro-orienté de Colombia, se encuentra a una altitud que le permite ser un punto de confluencia entre diversas ecorregiones, incluyendo los Andes orientales y la zona del altiplano cundiboyacense, esta posición le confiere una notable biodiversidad y una variedad de ecosistemas que van desde áreas de alta montaña hasta zonas de valle.

Uno de los recursos hídricos más importantes del municipio es la represa La Copa, la cual no solo provee agua para el consumo humano, sino que también es crucial para la agricultura y el suministro del mismo en la región. Además, Toca alberga el páramo La Cortadera, un ecosistema de alta montaña fundamental para la regulación hídrica y la captura de carbono, desempeñando una función crucial en la reducción del cambio climático y en la preservación de la biodiversidad. La imagen a continuación ilustra la ubicación de Toca dentro del contexto regional y nacional, destacando su importancia ecológica y geográfica.

Figura 2. Ubicación del municipio de Toca

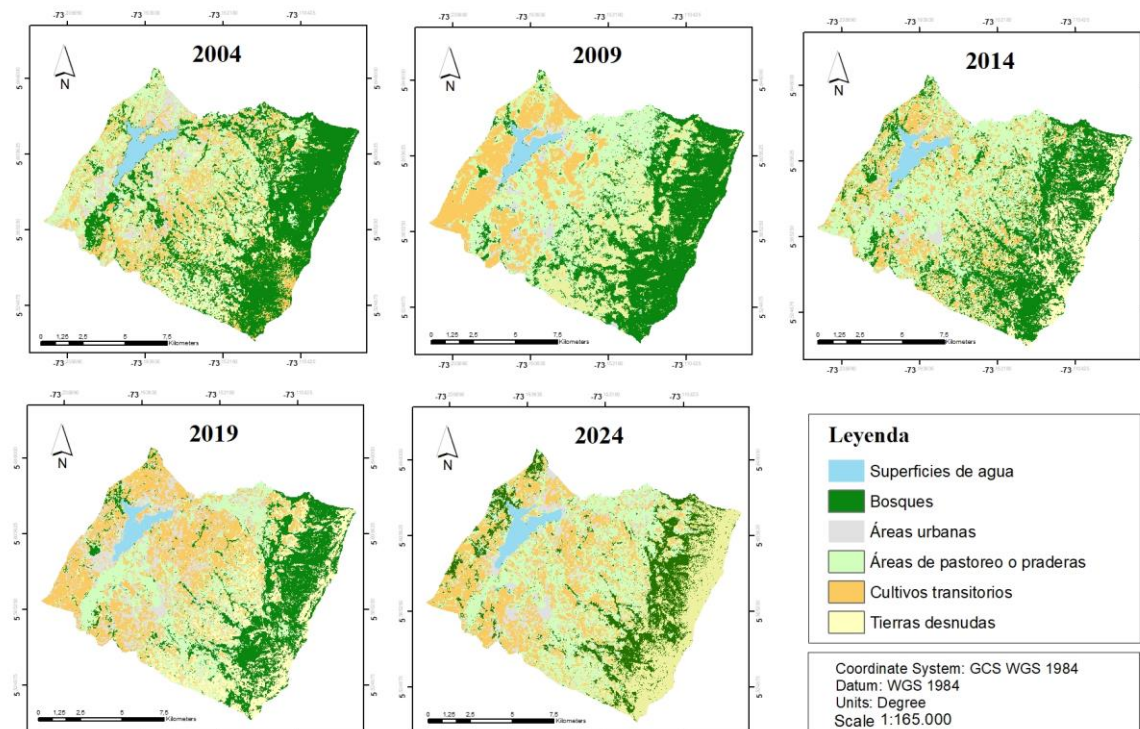


Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2024)

Análisis multitemporal

Se realizó un análisis multitemporal del municipio de Toca utilizando imágenes Landsat 7, 8 y Sentinel 2 desde 2004 hasta 2024, con intervalos de 5 años. El objetivo fue establecer la variación en la cobertura del suelo en el municipio. Para ello, se clasificó el suelo en seis categorías, permitiendo que la investigación determinara estos cambios de manera progresiva y significativa. Las clases utilizadas fueron: superficies de agua, bosques, áreas urbanas, áreas de pastoreo o praderas, cultivos transitorios y tierras desnudas tal como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Análisis multitemporal de la cobertura de suelo en Toca Boyacá.



Fuente:(Landsat 8, 2024)

Entre 2004 y 2024, el municipio de Toca ha experimentado cambios significativos en la cobertura del suelo. La superficie de los bosques ha disminuido drásticamente del 37.9% al 16.1%, reflejando una considerable conversión a tierras agrícolas y urbanas. Las áreas urbanas han aumentado del 4.7% al 7.9%, indicando un crecimiento poblacional e infraestructural. Las tierras desnudas se han incrementado del 6.8% al 18.6%, probablemente debido a la preparación de terrenos para nuevas actividades agrícolas. Mientras tanto, las superficies de agua han mostrado un leve aumento, pasando del 2.6% al 3.5%, lo que sugiere la creación de nuevos reservorios. Estos cambios subrayan la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible para equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental y el bienestar social en Toca.

Tabla 5. Distribución de porcentaje de áreas según cobertura de suelo

Tipo de cobertura de suelo	2004	2009	2014	2019	2024
	Porcentaje de uso				
Superficies de agua	2.6%	2.2%	2.5%	2.5%	2.5%
Bosques	37.9%	32.0%	29.6%	26.2%	16.1%
Áreas urbanas	4.7%	5.0%	4.0%	7.2%	7.9%
Áreas de pastoreo o praderas	30.0%	26.0%	33.5%	21.6%	29.7%

Cultivos transitorios	18.1%	17.2%	18.1%	27.3%	25.2%
Tierras desnudas	6.8%	17.6%	12.3%	15.3%	18.6%

Fuente: Autores, 2024

De acuerdo al análisis de la cobertura de suelo en el municipio de Toca entre los años de 2004 a 2024, se encontró que la superficie destinada a cultivos transitorios ha experimentado un notable aumento, pasando del 18.1% en 2004 al 24.2% en 2024, lo que en términos absolutos significa un incremento de 30.39 km² a 40.76 km², este crecimiento refleja una constante expansión de la actividad agrícola, posiblemente impulsada por el aumento en la demanda de productos agrícolas y la expansión de áreas de cultivo. Las áreas destinadas al pastoreo o praderas han mostrado variaciones, alcanzando un máximo en 2014 con 56.28 km², disminuyendo a 36.29 km² en 2019, y luego incrementándose nuevamente a 49.92 km² en 2024, este patrón sugiere cambios en las prácticas de uso del suelo, probablemente relacionados con la rotación de cultivos y pastoreo.

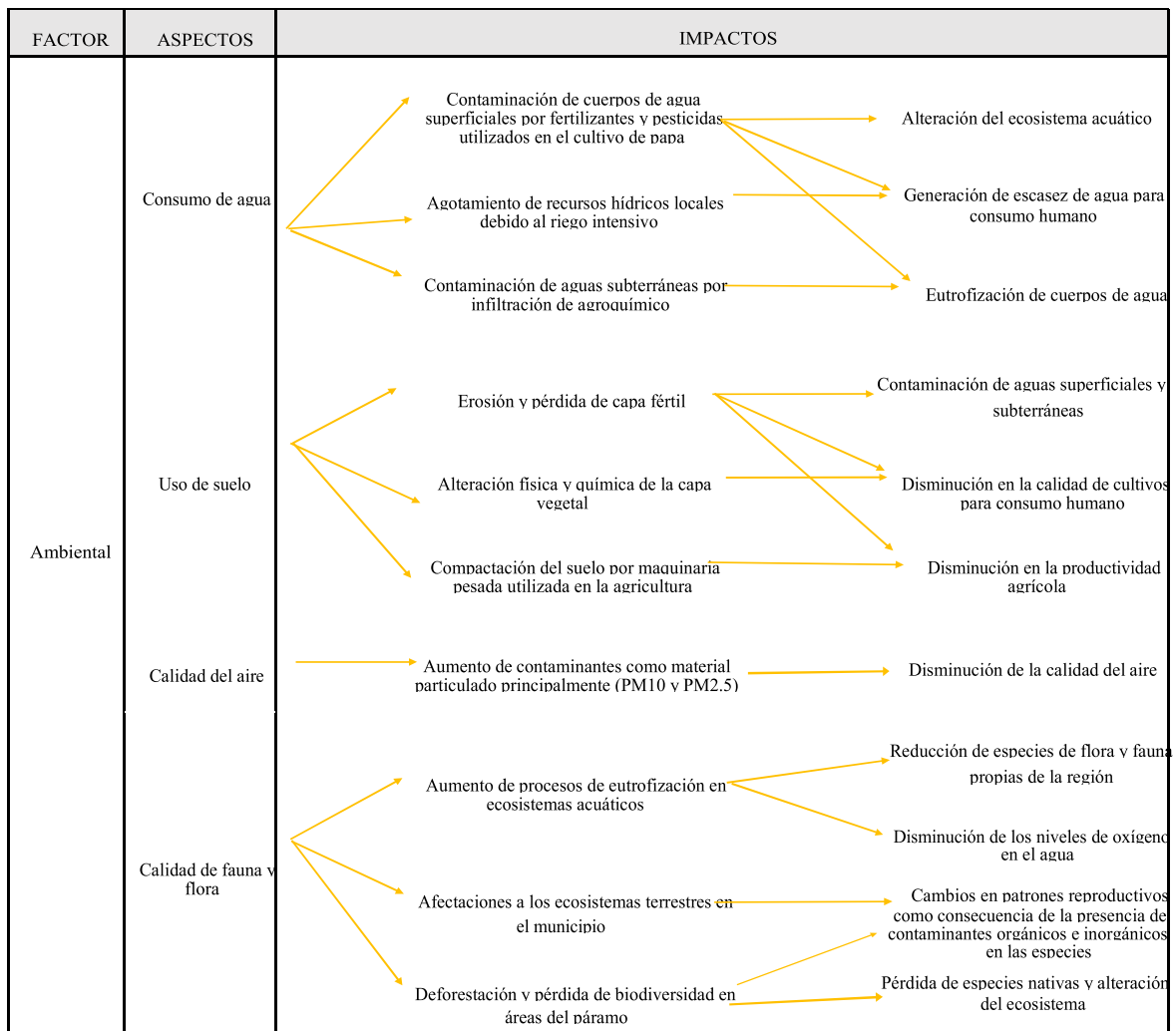
Por otro lado, las áreas boscosas han sufrido una reducción significativa, disminuyendo del 37.9% en 2004 al 16.1% en 2024, significando una pérdida de 63.65 km² a 27.09 km², esta notable disminución sugiere una considerable conversión de bosques a otras formas de uso del suelo, como la ganadería o agricultura. Por otra parte, las áreas urbanas han crecido, aumentando de 7.90 km² en 2004 a 13.27 km² en 2024, reflejando una expansión urbana posiblemente motivada por el crecimiento de la población y la infraestructura agrícola.

Las tierras desnudas han registrado un aumento considerable, pasando de 11.45 km² en 2004 a 31.27 km² en 2024, este incremento del 6.8% al 18.6%, puede estar asociado con la deforestación y la preparación de tierras para cultivos y otras actividades humanas. Se puede denotar la intensificación de la agricultura en detrimento de las áreas boscosas y el crecimiento urbano en el municipio de Toca, esta dinámica de uso del suelo tiene importantes connotaciones para la sostenibilidad ambiental, la calidad de vida de la población local y la disponibilidad de recursos naturales.

Identificación de impactos

Se identificaron los impactos ambientales utilizando el "listado de impactos ambientales específicos 2021" del Ministerio de Ambiente, complementado con criterios de la ANLA. Se empleó un diagrama de redes para analizar las interrelaciones entre los factores ambientales, sociales y económicos, lo que permitió una visualización integral de cómo las actividades agrícolas afectan distintos aspectos del entorno, este enfoque fue esencial para identificar tanto impactos directos como indirectos, tales como la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneas por fertilizantes y pesticidas, la erosión y pérdida de capa fértil, entre otros. Además, se encontraron impactos complementarios que no fueron explícitamente abordados en las listas revisadas, tales como el aumento de enfermedades transmitidas por agua contaminada, la polarización social y la reducción de la calidad de los cultivos para consumo humano. La combinación de estas listas permitió una identificación completa de los impactos, asegurando que aquellos no contemplados inicialmente fueran también abordados en la evaluación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Tabla 6. Identificación de impactos ambientales



Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)

Según el diagrama de redes relacionado al análisis de factores ambientales se destacó la conexión entre el uso de recursos y la generación de contaminación, en términos de consumo hídrico, el empleo de fertilizantes y pesticidas causa la polución de fuentes de agua superficiales y subterráneas perjudicando los ecosistemas acuáticos y provocando problemas como la eutrofización. Además, el riego intensivo contribuye al agotamiento de recursos hídricos locales, lo que puede derivar en una falta de agua para el consumo humano. El uso intensivo del suelo para la agricultura también contribuye a la erosión y a la pérdida de la capa fértil, impactando la calidad del suelo y, por lo tanto, la calidad y la productividad de los cultivos.

Respecto a la calidad del aire, el aumento en la emisión de material particulado (PM10 y PM2.5) deteriora la calidad del aire debido a diversos procesos del cultivo puede acarrear con posibles consecuencias negativas para la salud humana. Por otra parte, la flora y fauna se ven significativamente afectadas, ya que el aumento de la eutrofización en los ecosistemas

acuáticos disminuye la biodiversidad y los niveles de oxígeno en el agua. Además, los ecosistemas terrestres se ven afectados por la deforestación y la expansión de la frontera agrícola en el páramo el cual es un ecosistema estratégico de la región. Este fenómeno lleva a la pérdida de especies nativas y a la alteración del ecosistema, comprometiendo su capacidad para actuar como regulador hídrico y conservador de biodiversidad.

Tabla 7. Identificación de impactos sociales

FACTOR	ASPECTOS	IMPACTOS
Social	Contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos utilizados en el cultivo de papa	1. Aumento de enfermedades transmitidas por el agua contaminada, como diarrea, cólera, hepatitis A, fiebre tifoidea.
		2. Mayor riesgo de epidemias y brotes de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento.
		3. Problemas de salud por el contacto directo con aguas residuales sin tratar.
	Erosión del suelo y pérdida de capa vegetal	4. Agotamiento del recurso hídrico
		5. Deterioro del paisaje y del entorno natural
		6. Limitaciones para el desarrollo de actividades recreativas y turísticas.
		7. Migración de personas por las malas condiciones ambientales y de salud.
	Degradación de la calidad del aire	8. Mayor afectación a poblaciones vulnerables y de bajos recursos.
		9. Problemas de salud crónicos por la aplicación de pesticidas y agroquímicos
	Aumento de enfermedades por la aplicación de pesticidas y agroquímicos	10. Aumento del absentismo escolar y laboral
		11. Migración de personas por las malas condiciones ambientales y de salud.

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)

En cuanto a los impactos sociales estos están ampliamente asociados al empleo de agroquímicos en el cultivo de papa y otras prácticas agrícolas, la contaminación de cuerpos de agua por estos químicos provoca un incremento de enfermedades transmitidas por el agua, además de aumentar el riesgo de epidemias debido a la falta de saneamiento. Estos problemas de salud disminuyen la capacidad hospitalaria en los centros de salud del municipio y afectan negativamente la calidad de los cultivos para consumo humano. La erosión del suelo y la pérdida de la capa vegetal deterioran el paisaje y limitan las actividades recreativas y turísticas, lo que también contribuye a la migración de personas debido a las malas condiciones ambientales y de salud (Ramírez-Muñoz y otros, 2014) .

La degradación de la calidad del aire y el aumento de enfermedades por la aplicación de pesticidas y agroquímicos incrementan los problemas de salud crónicos, como el cáncer y las

enfermedades respiratorias y dermatológicas. Esto genera un aumento del absentismo escolar y laboral, afectando especialmente a las poblaciones vulnerables y de bajos recursos, y exacerbando la polarización y división entre grupos sociales debido a la percepción de injusticia.

Tabla 8. Identificación de impactos económicos

FACTOR	ASPECTOS	IMPACTOS
Económico	Contaminación del agua	Incremento de costos en gastos en la atención médica por brotes de enfermedades transmitidas por la contaminación del agua Disminución de la calidad de productos agrícolas Incremento de costos para la restauración de ecosistemas dañados debido a la contaminación del agua. Reducción de productividad laboral debido a ausencias laborales por la proliferación de enfermedad. Reducción de ingresos para los agricultores Incremento de costos por la remediación de aguas y suelos contaminados por la contaminación hídrica.
	Aumento de la producción agrícola	Creación de nuevos empleos Oportunidades para el desarrollo de agroindustrias Aumento de las exportaciones de productos agrícolas Mejoramiento de la economía local Aumento de los ingresos para los agricultores
	Aumento de la erosión de suelo	Pérdida de productividad Aumento de costos

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)

Los impactos económicos están relacionados principalmente con la contaminación del agua, el aumento de la producción agrícola y la erosión del suelo. La contaminación del agua eleva los costos médicos debido a enfermedades transmitidas por el agua, disminuye la productividad laboral y genera ausencias en el trabajo. Además, afecta la calidad de los productos agrícolas, reduciendo los ingresos de los agricultores y aumentando los costos para la restauración de ecosistemas dañados y la restauración de aguas y suelos contaminados. Estos factores destacan la carga económica significativa de la contaminación del agua en la comunidad agrícola y su impacto negativo en la sostenibilidad económica.

Por otro lado, el incremento de la producción agrícola presenta tanto beneficios como desafíos económicos, genera nuevas oportunidades de empleo y fomenta el desarrollo de agroindustrias, impulsando la economía local y aumentando las exportaciones de productos agrícolas. Sin embargo, también conlleva riesgos, como la reducción de la productividad

como resultado de la erosión del suelo y el aumento de costos asociados con la mitigación de sus efectos. Aunque el crecimiento agrícola puede traer ventajas económicas, es crucial gestionar adecuadamente los impactos ambientales para mantener un equilibrio sostenible y maximizar los beneficios económicos a largo plazo.

Valoración de impactos

Para la valoración de impactos se realizó un análisis de factores ambientales, sociales y económicos, debido a las complejas interacciones entre el crecimiento agrícola y la degradación ambiental, así como las dinámicas sociales que se ven afectadas por estas prácticas, esto incluye la consideración de la afectación a la salud de los trabajadores, la equidad en el acceso al agua y los recursos, y el impacto sobre la biodiversidad y el patrimonio ecológico local. Este análisis se realizó por medio de una valoración cuantitativa al mezclar las metodologías EPM-CONESA, la combinación de ambas metodologías es especialmente efectiva, ya que cada una aborda diferentes dimensiones y elementos del impacto. La metodología EPM se concentra en aspectos técnicos y ambientales, mientras que la metodología CONESA permite explorar el contexto social y económico, integrando perspectivas que en otros análisis pueden ser tratadas de forma aislada (Garmendia et al., 2005).

Tabla 9. Valoración de impactos ambientales

VALORACION CUALITATIVA (Combinación EPM-CONESA)					
Factor		IMPACTO	Signo	Calificación ambiental	Importancia
Ambiental	1	Contaminación de cuerpos de agua superficiales por fertilizantes y pesticidas utilizados en el cultivo de papa	-	7.68	GRAVE
	2	Agotamiento de recursos hídricos locales debido al riego intensivo	-	4.54	RELEVANTE
	3	Contaminación de aguas subterráneas por infiltración de agroquímico	-	7.86	MODERADO
	4	Erosión y pérdida de capa fértil	-	4.92	GRAVE
	5	Alteración física y química de la capa vegetal	-	4.90	GRAVE
	6	Compactación del suelo por maquinaria pesada utilizada en la agricultura	-	5.98	RELEVANTE
	7	Aumento de contaminantes como material particulado principalmente (PM10 y PM2.5)	-	1.28	IRRELEVANTE
	8	Aumento de procesos de eutrofización en ecosistemas acuáticos	-	4.02	MODERADO
	9	Afectaciones a los ecosistemas terrestres en el municipio	-	2.88	MODERADO

10	Deforestación y pérdida de biodiversidad en áreas del páramo	-	7.56	GRAVE
11	Afectaciones a los ecosistemas terrestres en el municipio	-	2.96	MODERADO
12	Alteración del ecosistema acuático	-	4.54	MODERADO
13	Generación de escasez de agua para consumo humano	-	5.20	RELEVANTE
14	Eutrofización de cuerpos de agua	-	2.49	IRRELEVANTE
15	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas	-	6.30	RELEVANTE
16	Disminución en la calidad de cultivos para consumo humano	-	2.37	IRRELEVANTE
17	Disminución de la productividad agrícola	-	2.37	IRRELEVANTE
18	Disminución de la calidad del aire	-	2.63	MODERADO
19	Reducción de especies de flora y fauna propias de la región	-	3.84	MODERADO
20	Disminución de los niveles de oxígeno en el agua	-	2.43	IRRELEVANTE
21	Cambios en patrones reproductivos como consecuencia de la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos en las especies	-	2.43	IRRELEVANTE
22	Pérdida de especies nativas y alteración del ecosistema	-	5.15	RELEVANTE

Fuente: (World Business Council for Sustainable Development, 2015) (Sistema nacional de evaluación de impacto ambiental, 2021)

La valoración cualitativa del factor ambiental revela varios impactos significativos asociados con el cultivo de papa, particularmente debido al uso de agroquímicos y prácticas agrícolas intensivas. Entre los impactos más graves se encuentran la polución de las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas, la erosión y pérdida de capa fértil, y la deforestación y pérdida de biodiversidad en áreas del páramo.

Asimismo, se identifican otros impactos relevantes como la compactación del suelo causada por el uso de maquinaria pesada y el agotamiento de recursos hídricos locales debido al riego intensivo, que afectan la estructura y calidad del suelo, así como la disponibilidad de agua. Impactos moderados involucran la degradación de la calidad del aire y la intensificación de los procesos de eutrofización, mientras que algunos efectos como la disminución en la calidad de cultivos para consumo humano y la productividad agrícola son considerados irrelevantes en esta evaluación.

Tabla 10. Valoración de impactos sociales

VALORACION IMPACTOS SOCIAL (Combinación EPM-CONESA)					
Factor	Cad.	Impacto	Signo	Calificación ambiental	IMPORTANCIA
Social	1	Aumento de enfermedades transmitidas por el agua contaminada, como diarrea, cólera, hepatitis A, fiebre tifoidea.	-	4.39	MODERADO
	2	Mayor riesgo de epidemias y brotes de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento.	-	4.87	MODERADO
	3	Problemas de salud por el contacto directo con aguas residuales sin tratar.	-	2.65	MODERADO
	4	Agotamiento del recurso hídrico	-	7.53	GRAVE
	5	Deterioro del paisaje y del entorno natural	-	6.20	RELEVANTE
	6	Limitaciones para el desarrollo de actividades recreativas y turísticas.	-	2.54	MODERADO
	7	Migración de personas por las malas condiciones ambientales y de salud.	-	3.38	MODERADO
	8	Mayor afectación a poblaciones vulnerables y de bajos recursos.	-	4.87	MODERADO
	9	Problemas de salud crónicos por la aplicación de pesticidas y agroquímicos	-	7.53	GRAVE
	10	Aumento del absentismo escolar y laboral	-	3.80	MODERADO
	11	Migración de personas por las malas condiciones ambientales y de salud.	-	3.38	MODERADO
	12	Disminución de la capacidad hospitalaria del centro de salud del municipio	-	1.98	IRRELEVANTE
	14	Disminución en la calidad de cultivos para consumo humano	-	2.97	MODERADO
	15	Disminución de la actividad turística del municipio	-	2.68	MODERADO
	16	Aumento de desempleo en la zona	-	1.45	IRRELEVANTE
	17	Afectación a cultivos aledaños a cuerpos de agua	-	5.09	RELEVANTE
	18	Aumento de enfermedades respiratorias	-	2.97	MODERADO
	19	Polarización y división entre grupos sociales por la percepción de injusticia	-	1.87	IRRELEVANTE
	20	Desconfianza y falta de credibilidad en las instituciones públicas	-	3.38	MODERADO
	21	Pérdida de capital humano y social para la comunidad.	-	5.21	RELEVANTE

Fuente: (World Business Council for Sustainable Development, 2015) (Sistema nacional de evaluación de impacto ambiental, 2021)

En el análisis de los impactos sociales del cultivo de papa, se identifican varias áreas de preocupación, los impactos moderados incluyen el aumento de enfermedades transmitidas por el agua contaminada, así como un mayor riesgo de epidemias y brotes de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento. Además, se observan problemas crónicos de salud por la aplicación de pesticidas y agroquímicos, aumento del absentismo escolar y laboral, disminución de la calidad de cultivos para consumo humano, disminución de la actividad turística del municipio y aumento de enfermedades respiratorias. Otros impactos incluyen la polarización y división entre grupos sociales por la percepción de injusticia, así como desconfianza y falta de credibilidad en las instituciones públicas.

En cuanto a los impactos sociales de mayor relevancia, se identifican el agotamiento del recurso hídrico, el deterioro del paisaje y del entorno natural, la afectación a cultivos cercanos a cuerpos de agua y la pérdida de capital humano y social para la comunidad. Estos impactos, aunque menos numerosos, tienen un peso significativo en la valoración social del cultivo de papa principalmente, evidenciando la necesidad de mitigar estos efectos negativos para garantizar un desarrollo sostenible y equitativo en la región afectada. Por otro lado, los impactos considerados irrelevantes incluyen la disminución de la capacidad hospitalaria del centro de salud del municipio, el aumento del desempleo en la zona y la polarización y división entre grupos sociales, los cuales tienen una menor influencia en la valoración global de los impactos sociales.

Tabla 11. Valoración de impactos económicos

VALORACION CUALITATIVA IMPACTOS ECONÓMICOS (Combinación EPM-CONESA)					
Factor	num	Impacto	Signo	Calificación ambiental	IMPORTANCIA
Económico	1	Incremento de costos en gastos en la atención médica por brotes de enfermedad transmitidas por la contaminación del agua	-	4.39	MODERADO
	2	Disminución de la calidad de productos agrícolas	-	2.36	IRRELEVANTE
	3	Incremento de costos para la restauración de ecosistemas dañados debido a la contaminación del agua.	-	4.39	MODERADO
	4	Creación de nuevos empleos	+	5.03	RELEVANTE
	5	Oportunidades para el desarrollo de agroindustrias	+	2.36	IRRELEVANTE
	6	Aumento de las exportaciones de productos agrícolas	+	2.36	IRRELEVANTE

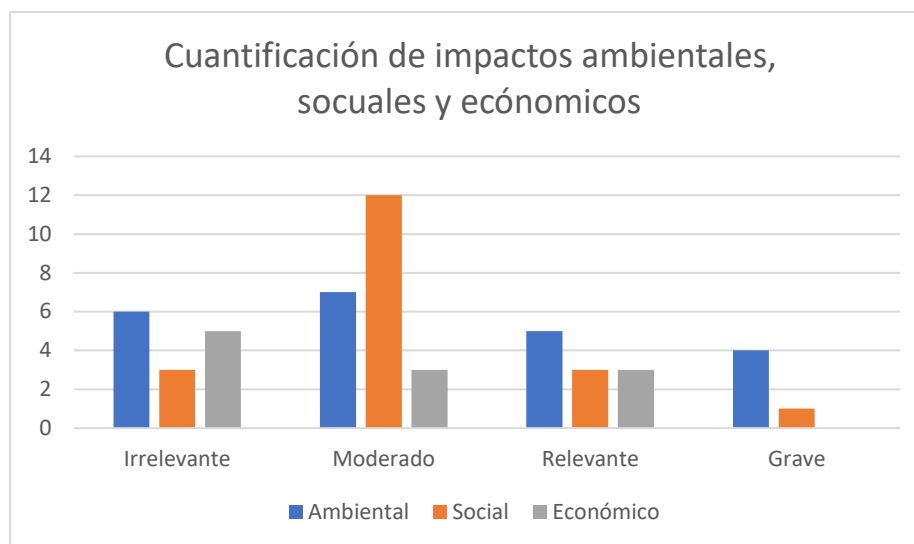
	7	Reducción de productividad laboral debido a ausencias laborales por la proliferación de enfermedades.	-	2.36	IRRELEVANTE
	8	Reducción de ingresos para los agricultores por malos productos	-	2.36	IRRELEVANTE
	9	Incremento de costos por la remediación de aguas y suelos contaminados por la contaminación hídrica.	-	4.39	MODERADO
	10	Mejoramiento de la economía local	+	5.13	RELEVANTE
	11	Aumento de los ingresos para los agricultores	+	5.26	RELEVANTE

Fuente: (Sistema nacional de evaluación de impacto ambiental, 2021)

El análisis de los impactos económicos del cultivo de papa revela que, en cuanto a los impactos moderados, estos incluyen el incremento de costos en la atención médica debido a brotes de enfermedades transmitidas por la contaminación del agua y los costos asociados a la restauración de ecosistemas dañados por la misma causa, estos efectos económicos negativos subrayan la carga financiera que puede tener la contaminación ambiental en las comunidades agrícolas. Además, se señala el incremento de costos por la remediación de aguas y suelos contaminados, lo cual también representa una carga económica significativa para los agricultores y las autoridades locales.

Por otro lado, se identifican varios impactos económicos positivos relevantes como la creación de nuevos empleos y las oportunidades para el desarrollo de agroindustrias son aspectos destacados, al igual que el aumento de los ingresos para los agricultores y el mejoramiento de la economía local. Estos impactos positivos reflejan el potencial económico del cultivo de papa, siempre y cuando se gestionen adecuadamente los efectos ambientales negativos. Sin embargo, también hay impactos considerados irrelevantes, como la disminución de la calidad de productos agrícolas, la reducción de productividad laboral debido a ausencias por enfermedades, y la reducción de ingresos para los agricultores debido a productos de baja calidad, estos impactos, aunque estén presentes, no tienen un peso significativo en la valoración global de los impactos económicos.

Figura 4. Cuantificación de impactos



Fuente: (Autores, 2024)

La mayoría de los impactos ambientales se clasifican como "Moderados", lo que indica la existencia de diversos problemas, aunque no todos de máxima gravedad. Sin embargo, también se identifican impactos "Graves" y "Relevantes", destacando la contaminación de cuerpos de agua y la erosión del suelo como preocupaciones significativas. Esto sugiere que, aunque muchos impactos ambientales son manejables, hay áreas críticas que requieren atención urgente.

En cuanto a los impactos sociales, la mayoría se clasifican como "Moderados", reflejando una preocupación considerable en la comunidad debido a problemas de salud y migración por condiciones ambientales adversas. Los impactos "Graves" incluyen el agotamiento de recursos hídricos y problemas crónicos de salud por pesticidas, subrayando la gravedad de estos problemas. Los impactos "Relevantes" e "Irrelevantes" son menos numerosos, pero la presencia de impactos "Graves" indica que algunos problemas sociales derivados de la actividad agrícola tienen un impacto severo en la calidad de vida de la población local.

Los impactos económicos están más dispersos, con una notable presencia en la categoría "Irrelevante", lo que indica que varios de los problemas económicos no son considerados críticos. Sin embargo, hay impactos "Relevantes" que subrayan beneficios económicos como la creación de empleos y el aumento de ingresos para los agricultores. Los impactos "Moderados" incluyen costos adicionales por remediación ambiental y atención médica, reflejando una preocupación por los costos económicos asociados a la gestión de problemas ambientales.

Los impactos "Moderados" son los más frecuentes en todas las categorías, lo que sugiere una cantidad significativa de problemas que requieren atención, aunque no todos son críticos. La presencia de impactos "Graves" y "Relevantes" en las categorías ambiental y social indica áreas específicas donde los problemas son severos y necesitan medidas inmediatas y efectivas. En el ámbito económico, los beneficios se contraponen a los costos, destacando la necesidad de un equilibrio entre el desarrollo económico y la gestión ambiental y social.

Discusión

La evolución de la cobertura del suelo en Toca a lo largo de dos décadas resalta tendencias significativas que ponen de relieve tanto los desafíos como las oportunidades para el desarrollo sostenible del municipio. Desde 2004, la cobertura forestal ha disminuido notablemente del 37.9% al 16.1% en 2024. Esta reducción, como lo mencionan Lambin et al. (2003), puede estar asociada a la conversión de tierras para usos agrícolas y urbanas. Esto, a su vez, incrementa la vulnerabilidad del suelo a la erosión y reduce la biodiversidad. Además, el incremento en tierras desnudas, que aumentó del 6.8% al 18.6%, sugiere un deterioro en la calidad del suelo, posiblemente como resultado de prácticas agrícolas insostenibles o la falta de cobertura vegetal (Borrelli et al., 2017).

El aumento de áreas urbanas, del 4.7% en 2004 al 7.9% en 2024, indica un crecimiento poblacional y un desarrollo de infraestructura urbana. Este fenómeno puede llevar a una mayor demanda de recursos y servicios, aumentando la presión sobre los ecosistemas locales (Seto et al., 2012). Es crucial gestionar el desarrollo urbano para evitar la expansión no planificada que podría exacerbar los problemas ambientales.

Por otro lado, las praderas han mostrado fluctuaciones en su extensión, mientras que los cultivos transitorios han aumentado del 18.1% en 2014 al 24.2% en 2024. La expansión de este tipo de cultivos sugiere una intensificación agrícola, impulsada por la creciente demanda de productos agrícolas y cambios en las prácticas locales. Sin embargo, esta intensificación, si no se acompaña de prácticas de manejo sostenible, puede tener consecuencias negativas para el suelo y los recursos hídricos (Foley et al., 2005).

Las variaciones en la cobertura del terreno tienen implicaciones significativas, la disminución de bosques y el aumento de áreas agrícolas y urbanas pueden llevar a problemas de salud, como un incremento en las enfermedades transmitidas por agua contaminada, además de impactos económicos, como el incremento de los gastos en atención médica y la restauración de ecosistemas dañados (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). A nivel social, la migración provocada por malas condiciones ambientales y de salud puede afectar la integración social y el bienestar de los habitantes (Adger et al., 2005).

En este contexto, la actualización del esquema de ordenamiento territorial de Toca se vuelve esencial. El EOT actual, que data de 2004, no incorpora medidas ni propuestas para la prevención o reducción de los efectos ambientales relacionados con la expansión de la agricultura, especialmente en áreas de páramo. López y García (2019) destacan que una revisión del EOT permitiría la aplicación de estrategias para una gestión sostenible del territorio, incluyendo la zonificación ambiental, la conservación de ecosistemas vitales y el fomento de prácticas agrícolas responsables.

La actualización del EOT de Toca es vital para abordar los problemas actuales relacionados con el uso del suelo y para planificar el desarrollo futuro del municipio. Martínez et al. (2020) señalan que la ausencia de un EOT actualizado resulta en una gestión territorial inadecuada, incapaz de enfrentar las dinámicas actuales de expansión agrícola y de proteger los ecosistemas de páramo, que son cruciales para mantener el equilibrio ecológico y asegurar la

oferta de servicios ecosistémicos. Además, Pérez y Rojas (2022) subrayan la necesidad urgente de incluir en los EOT propuestas concretas para reducir y adaptarse a los efectos del cambio climático, así como la implementación de corredores ecológicos para conectar áreas protegidas y conservar la biodiversidad.

Los cambios en la cobertura del suelo en Toca reflejan la compleja interacción entre el desarrollo humano y la sostenibilidad ambiental. Para abordar estos desafíos, es esencial implementar políticas de manejo sostenible del suelo y conservación de los recursos naturales. Estrategias como la reforestación, el uso de prácticas agrícolas sostenibles y una adecuada planificación urbana pueden ayudar a mitigar los impactos negativos y promover un desarrollo equilibrado que beneficie tanto al medio ambiente como a la población local.

CONCLUSIONES

La investigación ha revelado cambios significativos en el uso del suelo en Toca, Boyacá, entre 2004 y 2024, evidenciando una notable disminución de los bosques y un aumento en los cultivos transitorios y tierras desnudas, esta expansión agrícola ha tenido un impacto profundo en los ecosistemas naturales, subrayando la necesidad urgente de intervenciones para mitigar los efectos negativos.

Los impactos ambientales observados son graves, especialmente en términos de deforestación y la degradación de las zonas de páramo, lo que compromete la biodiversidad y los recursos hídricos de la región, estos cambios no solo alteran el equilibrio ecológico, sino que también tienen repercusiones sociales significativas. La contaminación del agua ha derivado en problemas de salud y migración forzada debido a las malas condiciones ambientales, afectando desproporcionadamente a las comunidades más vulnerables.

Económicamente, la expansión agrícola ha incrementado los gastos vinculados con la atención médica y a la restauración de ecosistemas dañados. A pesar de que esta expansión ha creado oportunidades para la creación de empleo y el crecimiento económico en la localidad, los costos sociales y ambientales evidencian el requerimiento de una gestión territorial más sostenible y equilibrada.

La situación se intensifica debido a la ausencia de actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Toca, que no ha sido revisado desde 2004, la ausencia de estrategias adecuadas para la prevención y mitigación de impactos ambientales y sociales en el EOT actual resalta la urgencia de una revisión adecuada, esta actualización debería incluir medidas de gestión sostenible, la protección de ecosistemas clave y un enfoque integral que aborde las dinámicas socioeconómicas y ambientales de la región. Los resultados destacan la necesidad de adoptar un enfoque integral en la gestión territorial de Toca, que no solo busque beneficios económicos, sino que también incluya la preservación de los recursos naturales y la mejora de la calidad de vida de sus residentes

REFERENCIAS

Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockström, J. (2005). Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309(5737), 1036-1039.

- Arboleda G, J. A. (2008). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., ... & Ballabio, C. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1), 1-13.
- Chowdhury, S. (2024). Comparison of accuracy and reliability of random forest, support vector machine, artificial neural network and maximum likelihood method in land use/cover classification of urban setting. *Environmental Challenges*, 14.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100800>
- Chowdhury, S. (2024). Comparison of accuracy and reliability of random forest, support vector machine, artificial neural network and maximum likelihood method in land use/cover classification of urban setting. *Environmental Challenges*, 14.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100800>
- Conesa Vítora, V. (2011). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental (Cuarta ed.). Mundi presa.
- Consejo municipal de Toca. (2020). Plan de desarrollo municipal 2020-2020 "Por Toca lo hicimos bien y lo haremos mejor". Boyacá.
- Coria, I. D. (2008). El estudio de impacto ambiental: Características y metodologías. *Ingenio*, 11(20), 125-135.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S., & Possingham, H. (2016). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2-4), 369-386.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.013>
- Empresas Públicas de Medellín. (2009). Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Garmendia, A.; Salvador, A.; Crespo, C.; Garmendia, L. (2005). Evaluación de Impacto Ambiental. PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid. ISBN: 84-205-4398-5. Materia: Medio Ambiente. 349.6. Páginas: 416
- Gillerspie, & Piers. (2024). The use of social impact assessment in agricultural projects requiring large-scale land acquisition.
- Hasmadi Ismail, M., Pakhriazad, H., & Shahrin, M. (2019). Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data. *Malaysian journal of society and space*, 6, 1-10.

- Instituto geográfico Agustín Codazzi. (2005). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá. Tomo I. Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2024). Cobertura del suelo en Toca, Boyacá [Mapa]. Datos obtenidos del IGAC y procesados con ArcGIS
- Jiang, R., Jayasundara, S., B. Grant, B., N. Smith, W., Qian, B., Gillespie, A., & Wagner-Riddle, C. (2023). Impacts of land use conversions on soil organic carbon in a warming-induced agricultural frontier in Northern Ontario, Canada under historical and future climate. *Journal of Cleaner Production*, 404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136902>
- Josimović, B., Petrić, J., & Milijic, S. (2014). The Use of the Leopold Matrix in Carrying Out the EIA for Wind Farms in Serbia. *Energy and Environment Research*, 4(1), 43-54. <https://doi.org/DOI:10.5539/eer.v4n1p43>
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205-241.
- Landsat 8. (2024). Cobertura del suelo en Toca, Boyacá [Imagen de satélite]. Datos obtenidos de Landsat 8 y procesados con ArcGIS.
- Lopes, V. C., Parente, L. L., Fernandes Baumann, L. R., Miziara, F., & Ferreira, L. G. (2020). Land-use dynamics in a Brazilian agricultural frontier region, 1985-2017. *Land Use Policy*, 97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104740>
- López, M., & García, F. (2019). Estrategias de ordenamiento territorial en áreas rurales: lecciones aprendidas. *Revista de Planificación Urbana y Regional*, 10(1), 45-60.
- Martínez, L., Pérez, J., & Gómez, R. (2020). La importancia del ordenamiento territorial en la conservación de ecosistemas estratégicos. *Revista de Gestión Ambiental*, 8(3), 123-135.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Listado de impactos ambientales específicos 2021 (v.4). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Listado-de-Impactos-Ambientales-Especificos-2021-V.4.pdf>
- Pérez, A., & Rojas, D. (2022). Propuestas de corredores ecológicos en esquemas de ordenamiento territorial. *Revista de Biodiversidad y Conservación*, 14(4), 200-215.
- Ramírez-Muñoz, F., Fournier-Leiva, M. L., Ruepert, C., & Hidalgo-Ardón, C. (2014). Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*.

Rodríguez, J., & Duque, A. (2021). Impacto de la agricultura en los ecosistemas de páramo: una revisión. *Revista de Ciencias Ambientales*, 15(2), 85-99.

Sistema nacional de evaluación de impacto ambiental. (2021). Guía de valoración económica de impactos ambientales en el marco del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental. Ministerio de ambiente Perú.
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/guia_de_valoracion_economica.pdf

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088.

Villamizar, S., Maturana Cordoba, A., Pacheco Bustos, C., & Soto Verjel, J. (2022). Scoping coupled to the Conesa methodology for the environmental assessment of an advanced system of landfill leachate decontamination. *Ingenieria y competitividad*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.25100/iyv.v24i2.11359>

Zhao, S., Tu, K., Ye, S., Tang, H., Hu, Y., & Xie, C. (2023). Land Use and Land Cover Classification Meets Deep Learning: A Review. *Sensors*, 23(21).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s2321896>