

**Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales
causados por la actividad humana en el distrito de manejo
integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de
detección remota**

Ricardo Andres Salazar Angarita

Jorge Andres Villa Lizarazo

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en
Sistemas de Información Geográfica

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Manizales, 2025

Resumen

El Distrito Regional de Manejo Integrado La Tatacoa (DRMI), ha experimentado transformaciones significativas en su cobertura vegetal debido a las actividades antrópicas. Por ende, este estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo que integre sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de teledetección para la evaluar los impactos ambientales generados por la intervención antrópica, utilizando datos sobre el uso del suelo por medio índices espectrales como NDBI, NDVI y MNDWI. Los resultados revelan cambios importantes en la cobertura vegetal, con pérdida de 239 hectáreas en áreas que originalmente contaban con vegetación alta, media y dispersa reflejando una transformación en el uso del suelo. Por otro lado, se observaron ganancias significativas en áreas de preservación y restauración, el NDVI reflejo un aumento del 48% en matorrales y praderas (vegetación media) y del 29% en pastos y rastrojo (vegetación dispersa), resultados atribuidos a las estrategias de conservación implementadas en el DRMI. Estos hallazgos permiten identificar tanto los impactos negativos y como positivos al interior del Distrito regional de manejo integrado DRMI La Tatacoa, resaltando la eficacia de las estrategias de conservación en áreas protegidas. En conclusión, se evidencia la necesidad de implementar un enfoque integral para abordar los problemas ambientales en el DRMI La Tatacoa, enfatizando en la importancia de la participación de los actores locales en la implementación de estrategias de sostenibilidad.

***Palabras clave:* Sistema de Información Geográfica, detección remota, daños ambientales, La Tatacoa, sostenibilidad.**

Abstract

The La Tatacoa Regional Integrated Management District (DRMI) has experienced significant transformations in its vegetation cover due to anthropogenic activities. Finally, this study aims to develop a model that integrates geographic information systems (GIS) and remote sensing techniques for the evaluation of environmental impacts generated by anthropic intervention, using data on land use through spectral indices such as NDBI, NDVI and MNDWI. The results reveal important changes in vegetation cover, with a loss of 239 hectares in areas that originally had high, medium and dispersed vegetation, reflecting a transformation in land use. On the other hand, significant gains were observed in preservation and restoration areas, the NDVI reflected an increase of 48% in shrublands and grasslands (medium vegetation) and 29% in pastures and stubble (dispersed vegetation), results attributed to the conservation strategies implemented in the DRMI. These results allow identifying both negative and positive impacts within the DRMI La Tatacoa regional integrated management district, highlighting the effectiveness of conservation strategies in protected areas. In conclusion, the need to implement a comprehensive approach to address environmental problems in the DRMI La Tatacoa is evident, emphasizing the importance of the participation of local actors in the implementation of sustainability strategies.

***Keywords:* Geographic Information System, remote sensing, environmental damage, La Tatacoa, sustainability.**

Contenido

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	9
2. OBJETIVOS	11
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. ANTECEDENTES.....	12
4. REFERENTE TEÓRICO.....	18
3.1. DISTRITOS ESPECIALES DE MANEJO	18
3.2. DISTRITO REGIONAL DE MANEJO INTEGRADO LA TATACOA	18
3.3. TELEDETECCIÓN AMBIENTAL	19
3.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – SIG.....	21
3.5. TELEDETECCIÓN PARA EVALUAR EL IMPACTO ANTROPOGÉNICO EN LOS ECOSISTEMAS ...	22
5. METODOLOGÍA.....	24
5.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	24
5.2. TIPO DE ESTUDIO	24
5.3. PROCEDIMIENTO.....	25
5.3.1. <i>Delimitación geográfica del área de estudio y línea base.....</i>	<i>25</i>
5.3.2. <i>Área de estudio</i>	<i>25</i>
5.3.3. <i>Procesamiento de imágenes satelitales</i>	<i>25</i>
5.3.4. <i>Procesamiento para composición de bandas</i>	<i>26</i>
5.3.5. <i>Determinar la presencia de zonas urbanísticas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa a través del índice de diferencia normalizada de edificaciones (NDBI) y datos de campo.</i>	<i>28</i>
5.3.6. <i>Analizar en dos temporalidades el impacto ambiental de las zonas urbanísticas identificadas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa.</i>	<i>31</i>
5.3.7. <i>Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI).....</i>	<i>31</i>
5.3.8. <i>Índice de agua de diferencia normalizada modificado MNDWI.....</i>	<i>32</i>
5.3.9. <i>Elaborar salidas gráficas, para evaluar los impactos ambientales negativos generados por la intervención antrópica en el Distrito Regional de manejo integrado DRMI la Tatacoa.....</i>	<i>34</i>

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
6.1. ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADA DE EDIFICACIONES (NDBI).....	36
6.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)	38
6.3. ANÁLISIS BITEMPORAL DE COBERTURAS DRMI LA TATACOA	41
6.4. ÍNDICE DE AGUA DE DIFERENCIA NORMALIZADA MODIFICADO MNDWI.....	44
6.5. VALIDACIÓN DE CAMPO	46
6.6. SISTEMA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES	47
7. DISCUSIÓN	48
8. CONCLUSIONES	51
9. RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	59

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación DRMI La Tatatoa.....	18
Figura 2. Proceso de teledetección	19
Figura 3. Etapas de un proceso de teledetección	21
Figura 4. Imagery> Process>> Composite	26
Figura 5. Mosaico año 2015	27
Figura 6. Mosaico año 2023	27
Figura 7. Área de estudio DRMI La Tatacoa.....	35
Figura 8. NDBI para el año 2015.....	37
Figura 9. NDBI para el año 2023.....	38
Figura 10. NDVI para el año 2015	39
Figura 11. NDVI para el año 2023	40
Figura 12. Análisis bitemporal para el año 2015 y 2023.....	44
Figura 13. MNDWI para el año 2015	45
Figura 14. MNDWI para el año 2023	46

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Características imágenes Landsat	25
Tabla 2. Esquema de encuesta aplicada para comunidad vinculada a la zona de estudio.	30
Tabla 3. Clasificación de los cambios y calidad de las coberturas vegetales, mediante el NDVI.	32
Tabla 4. Clasificación de las masas de agua a partir del MNDWI.	33
Tabla 5. Detección de cambios identificados en el análisis bitemporal.....	41
Tabla 6. Zonificación del DRMI vs Matriz de cambios.	42

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>DRMI</i>	Distrito Regional de manejo Integrado
<i>NDBI</i>	Índice de diferencia normalizada de edificaciones
<i>NDVI</i>	Índice diferencial de vegetación normalizado
<i>MNDWI</i>	Índice de agua de diferencia normalizada modificado

1. Introducción

Una de las características de los ecosistemas desérticos son las adaptaciones únicas de la flora y fauna a condiciones climáticas áridas extremas, pero su conservación es un desafío debido al aumento de la población humana y las necesidades de seguridad alimentaria y de tierras (Quoreshi, Kumar, Adeleke, Qu, & Atangana, 2022). Por esta razón los ecosistemas áridos son cruciales por su biodiversidad única y los servicios ecosistémicos que proporcionan; sin embargo, enfrentan amenazas significativas por el cambio climático y actividades humanas, lo que subraya la necesidad urgente de protegerlos.

La declaratoria del área de manejo especial, como DRMI, se fundamentó en estudios de caracterización biofísica y socioeconómica, zonificación ambiental y reglamentación del uso del suelo, que contiene un nivel adecuado para la comprensión de la dinámica ecosistémica, económica y social del área. Para la zonificación se tuvieron en cuenta las zonas de preservación, restauración, uso sostenible y uso público, categorías que fueron diseñadas con base en las necesidades específicas de gestión del área y de las características relevantes del territorio, las cuales resultaron pertinentes para la administración del Distrito Regional de Manejo Integrado (ForumNatura., 2019).

Los procesos de colonización y ocupación que paulatinamente han transformado el territorio en la región del DRMI la Tatacoa han traído como consecuencia el empobrecimiento de los recursos naturales en el área y la perturbación de las características más relevantes de los ecosistemas naturales. No se puede desconocer el hecho de que el área del DRMI La Tatacoa se encuentra sometida a procesos de ocupación y utilización de los recursos naturales. (Angarita, 2011). Sumado a lo anterior, los ocupantes ubicados en el área del DRMI la Tatacoa vierten las

aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento. Las aguas residuales no tratadas, son altamente contaminantes, causantes de malos olores y focos de propagación de enfermedades, estas además al ser absorbidas por el suelo, contaminan y al infiltrarse afecta las aguas subterráneas.

Con el fin de controlar y tomar medidas definitivas a las problemáticas anteriormente descritas, se plantea realizar un sistema que permita evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el DRMI y detectar los cambios en la cobertura a través de los años. Este sistema estará disponible tanto para el público como para las entidades pertinentes, con el propósito de facilitar el acceso a información crucial y la toma de decisiones efectivas para la implementación de acciones de conservación y restauración del ecosistema.

En este contexto, se plantea la hipótesis de que las actividades antropogénicas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa generan reducción de la cobertura vegetal y limitan su capacidad de regeneración. Para evaluar esta hipótesis, se implementó el uso de la teledetección mediante el SIG, a partir de la integración de diversas fuentes de información, tales como imágenes satelitales, datos de campo y zonificación ambiental.

1.1. Problema de investigación

El Distrito de Manejo Integrado La Tatacoa DRMI, es un ecosistema árido de gran importancia ecológica y turística en Colombia. Este ecosistema se encuentra sometido a una creciente presión antropogénica debido a actividades como el turismo, la agricultura y la ganadería, lo que ha generado un impacto negativo en su biodiversidad y funcionalidad ecológica. Si bien se han realizado esfuerzos para proteger esta región, la falta de un sistema integral para

10 Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el distrito de manejo integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de detección remota

evaluar los daños ambientales de manera precisa y actualizada dificulta la toma de decisiones efectivas para su conservación.

Entre las principales consecuencias, se encuentra la degradación del suelo, la pérdida de vegetación nativa, la contaminación de fuentes hídricas y la alteración del paisaje, afectado la biodiversidad, la calidad de vida de las comunidades locales y la sostenibilidad de las actividades económicas basadas en los recursos naturales (Puentes Ruiz & Esguerra Cabrera, 2018).

Ante esta situación, es fundamental desarrollar un sistema de monitoreo ambiental que permita evaluar objetiva y cuantitativamente el impacto de las actividades antropogénicas en el DRMI La Tatacoa, con el fin de generar información relevante para la planificación y gestión del territorio, contribuyendo a la conservación y uso sostenible del ecosistema.

2. Objetivos

1.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo que integre sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de teledetección para evaluar los impactos ambientales derivados de la intervención antrópica en el Distrito Regional de manejo integrado DRMI la Tatacoa.

1.2. Objetivos específicos

Determinar la presencia de zonas urbanizadas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa mediante el índice de diferencia normalizada de edificaciones (NDBI) y datos de campo.

Analizar en dos temporalidades el impacto ambiental de las zonas urbanísticas identificadas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa.

Generar salidas gráficas para evaluar los impactos ambientales asociados a la intervención antrópica en el Distrito Regional de Manejo Integrado DRMI la Tatacoa.

3. Antecedentes

La teledetección es una herramienta valiosa en la investigación ecológica, especialmente para la conservación de la biodiversidad. De acuerdo con (Sanchez-Diaz, 2018), la teledetección permite monitorear variables esenciales desde el espacio, lo que facilita la toma de decisiones en la gestión de la biodiversidad. Esta tecnología es particularmente útil para abordar amenazas como la fragmentación y pérdida de hábitat debido a la deforestación provocada por actividades humanas. Además, la teledetección ofrece una resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal que permite medir ciertas variables de biodiversidad de manera precisa.

(Kopec, y otros, 2020) en la investigación *“Application of Remote Sensing, GIS and Machine Learning with Geographically Weighted Regression in Assessing the Impact of Hard Coal Mining on the Natural Environment”*, buscaron evaluar el impacto ambiental de la minería subterránea de carbón en el área de la mina de Bogdanka, en Polonia, utilizando datos de teledetección, GIS y algoritmos de aprendizaje automático. Para ello, se desarrolló un modelo espacial para determinar la influencia de factores como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), la altura del terreno, el nivel freático y el desplazamiento del terreno en la formación de humedales. Los resultados mostraron que estos factores tuvieron un impacto significativo en la presencia de humedales en el área de estudio. Además, se utilizó un modelo de aprendizaje automático que logró detectar eficientemente zonas de inundación, identificando correctamente el 76% del área de humedales. La Geographically Weighted Regression (GWR) permitió identificar anomalías locales en la influencia de los factores en la formación de

humedales. La conclusión principal fue que la formación de humedales no depende de un solo factor, sino de múltiples, como la elevación del terreno, la estructura geológica y el nivel freático.

El objetivo de (Qin, 2024) en su estudio “*Remote sensing and geographical information system as an integrated method of ecological analysis*” era analizar la aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la evaluación del medio ambiente ecológico, revisando la práctica de la protección y restauración ecológica, así como hacer un resumen sistemático de la literatura existente y proponer sugerencias sobre los puntos críticos y riesgos potenciales. El estudio se realizó mediante una revisión de la literatura existente sobre el uso de la teledetección y los SIG en problemas ecológicos, evaluando diferentes metodologías de investigación y modelos utilizados en estudios previos. El principal resultado del estudio es que la combinación de la Teledetección y los SIG tiene un amplio rango de aplicaciones en la evaluación ecológica y el desarrollo sostenible, aunque se señala que el potencial de estas herramientas aún no se ha realizado completamente. Además, se destaca la necesidad de desarrollar herramientas especializadas y escenarios de aplicación para abordar problemas ecológicos de manera más efectiva.

(Tsou, 2004) en su trabajo “*Integrating Web-based GIS and image processing tools for environmental monitoring and natural resource management*” quiso demostrar el potencial y las oportunidades que ofrece la integración de sistemas de información geográfica (GIS) basados en la web y herramientas de teledetección en línea para el monitoreo y la gestión ambiental. Lo cual busca facilitar el acceso a información geoespacial y mejorar la capacidad de los gestores de recursos naturales y guardaparques en sus tareas diarias. El estudio realizado presenta una arquitectura integrada de SIG basada en la Web que combina tres niveles de servicios de

14 Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el distrito de manejo integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de detección remota

información geográfica (GIServices): archivo de datos, visualización de información y análisis espacial. Se llevaron a cabo sesiones de revisión con expertos, incluyendo profesionales de GIS, guardaparques y estudiantes de posgrado en GIS y teledetección, para evaluar la funcionalidad del mapeo web y las herramientas analíticas del prototipo. El principal resultado del estudio es que se desarrolló un prototipo de sitio Web, WGAT (Web-based GIS and Analytic Tools), para proporcionar un acceso fácil a la información geoespacial y facilitar el análisis de imágenes basado en la Web y las capacidades de detección de cambios para los administradores de recursos naturales y los guardabosques regionales.

En la revisión bibliográfica “*Editorial for the Special Issue: “Integrated Applications of Geo-Information in Environmental Monitoring”*” realizada por (Wu & Liu, 2022) el objetivo principal del estudio fue proporcionar una plataforma para la comunicación de investigaciones de alta calidad en el ámbito de la aplicación integral de la tecnología de geo-información. El estudio incluyó 10 artículos científicos de alto nivel sobre diversos temas, como monitoreo de desertificación, gobernanza de áreas mineras, identificación de objetivos dinámicos marinos, extracción de edificaciones, entre otros. El principal resultado fue el desarrollo de nuevas metodologías y enfoques para mejorar la evaluación y monitoreo ambiental a través de tecnologías de información geográfica y teledetección de alta resolución.

En el estudio de caso “*Remote Sensing and GIS techniques Enabled Approach for Environment Impact Assessment in Sanand Area by Evaluating Land Use/Cover Monitoring*” de (Prajapati, 2019) tenía como objetivo realizar un monitoreo del área de Sanand utilizando tecnología geoinformática con datos de satélite Landsat 7 TM+ y Landsat 8 OLI & TIRS de

febrero de 2000 y febrero de 2018. Para ello utilizó GIS, generando diversos mapas base y analizando diferentes clases de uso de la tierra, incluyendo densidades de tierras agrícolas. El resultado fue la disminución continua de áreas de tierras agrícolas dispersas, cuerpos de agua y tierras baldías en Sanand durante los últimos 18 años, lo que afecta parámetros climáticos como la lluvia y la temperatura. Se identificaron cinco parámetros principales para monitorear: tierras agrícolas densas, tierras agrícolas dispersas, tierras baldías, tierras en barbecho y cuerpos de agua. Además, se reveló una disminución en la cobertura de agua, lo que es perjudicial para la flora y fauna del área. Se destacó la importancia de conservar los cuerpos de agua y lagos en Sanand para el equilibrio ecológico.

El objetivo de (Michel & Mildes, 2016) del estudio “*Environmental monitoring in peat bog areas by change detection methods*” es la detección de cambios en el área de Vehnemoor, en el contexto del programa de protección de turberas de Baja Sajonia. Se busca clasificar el uso del suelo y evaluar los cambios en la cobertura terrestre a lo largo de las últimas dos décadas, utilizando imágenes satelitales y datos de referencia, para ello se combinaron datos de alta resolución panchromática con datos multispectrales de menor resolución utilizando un algoritmo de afilado de color hiperespectral. Esto permitió mejorar la resolución espacial y facilitar la detección de objetos más pequeños. Luego se utilizó un clasificador de máxima verosimilitud para clasificar el uso del suelo en diferentes categorías, como cultivos y tipos de vegetación, basándose en información de verdad de terreno y luego se realizó una validación manual de los puntos de muestra utilizando imágenes de Google Maps y ArcGIS, así como información de campo. El resultado del estudio fue la obtención de un mapa actualizado del uso del suelo en 2016, que muestra el estado actual de la cobertura terrestre en Vehnemoor. Se identificaron

errores sistemáticos en la clasificación, como la confusión de puntos de muestreo en áreas de vertederos de lodos, lo que afectó la precisión general de la clasificación. Sin embargo, se logró una precisión general del 82.42% en la clasificación final.

En la investigación de (Oppong, y otros, 2023) titulada *#THE INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) IN MANAGING URBAN ECOSYSTEMS*”, el objetivo del estudio fue investigar la integración de tecnologías de teledetección y SIG para monitorear y evaluar en tiempo real los parámetros ambientales en los ecosistemas urbanos, apoyando los esfuerzos de conservación de ecosistemas urbanos sostenibles, para ello, se adquirieron imágenes Landsat 8 OLI entre enero y abril de 2020 para evaluar y monitorear las dinámicas en los ecosistemas urbanos en Abiyán, Acra y Lagos. Se utilizó el Índice de Construcción Normalizado para detectar áreas cubiertas con estructuras de concreto y superficies impermeables, y el Índice Normalizado de Vegetación y el Índice Normalizado de Agua para detectar áreas cubiertas de vegetación y cuerpos de agua, respectivamente. Los resultados mostraron un aumento de áreas construidas a expensas de otros usos de la tierra, como los bosques, en Abiyán, Acra y Lagos. Se evidenció que el crecimiento urbano afecta los ecosistemas vulnerables como los bosques urbanos y cuerpos de agua.

El objetivo del estudio *“Geographical information system and remote sensing for monitoring the environment”* realizado por (Seen, 2003) era evaluar la degradación del manglar y su resiliencia en el subcontinente indio, específicamente en los casos del estuario del Godavari y el suroeste de Sri Lanka. Para desarrollar este estudio, se aplicaron Sistemas de Información Geográfica (GIS) y técnicas de Detección Remota (RS) para integrar y gestionar grandes

cantidades de datos de múltiples fuentes, realizar análisis espaciales y producir resultados sintéticos útiles para la toma de decisiones. El principal resultado obtenido fue la generación de información sintética, como mapas de cobertura del suelo en diferentes fechas, estimaciones aéreas de la extensión o regresión de los manglares, y superficies de acuicultura convertidas a partir de manglares, arrozales o tierras desnudas. Estos resultados permitieron una mejor comprensión de las tendencias ambientales y facilitaron la toma de decisiones informadas en la gestión de los recursos naturales.

(Gaita, 2017) en el estudio, *“Cuantificación e impacto del retroceso glaciar sobre los recursos naturales determinados mediante el SIG y teledetección - Microcuenca Lullán, Ancash – Perú”* tuvo como objeto caracterizar el estado actual de los recursos naturales en la microcuenca Lullán mediante los Sistemas de Información Geográfica y teledetección; formulando alternativas de manejo y gestión integrada de la microcuenca ante el retroceso glaciar. Para ello, cuantifico el retroceso glaciar a través del análisis multitemporal de 4 imágenes satelitales en el periodo de 27 años. El resultado obtenido, son los mapas de coberturas de los años: 1987, 2001, 2009 y 2014. Donde, logro estimar el grado de influencia de las variables climáticas (precipitación y temperatura), variables físicas (hidrografía, geología, geomorfología, fisiografía, capacidad de uso mayor del suelo y suelos), biológicas (zonas de vida y cobertura vegetal) y poblacionales (centros poblados e infraestructura), del área de estudio; lo que permitió elaborar el modelo de riesgo para determinar la poblaciones y zonas vulnerables a deslizamientos.

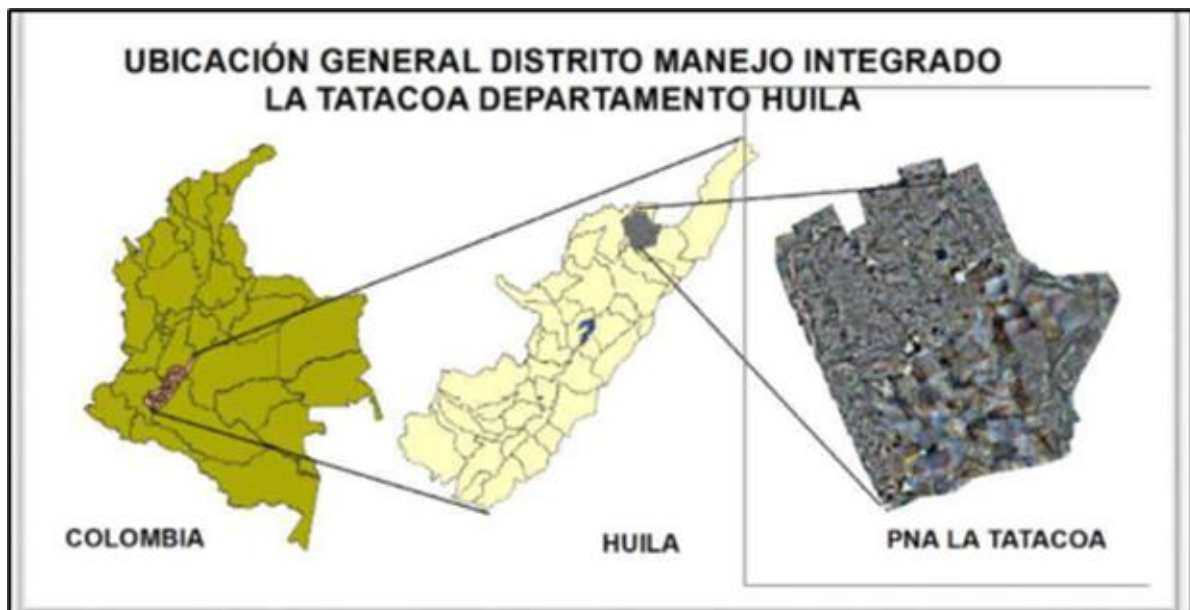
4. Referente teórico

3.1. Distritos especiales de manejo

De acuerdo con el decreto 1974 de 1989, un Distrito de Manejo Integrado (DMI) se define como un espacio de la biosfera que por razón de factores ambiental es socioeconómicos, se delimita para que dentro del principio de desarrollo sostenible se ordene, planifique y regule el uso y manejo de los recursos naturales renovables y las actividades económicas que allí se adelantan.

3.2. Distrito regional de manejo integrado la Tatacoa

Figura 1. Ubicación DRMI La Tatacoa



Fuente: Recuperado de PMA Distrito de manejo integrado DRM1 – La Tatacoa (2015)

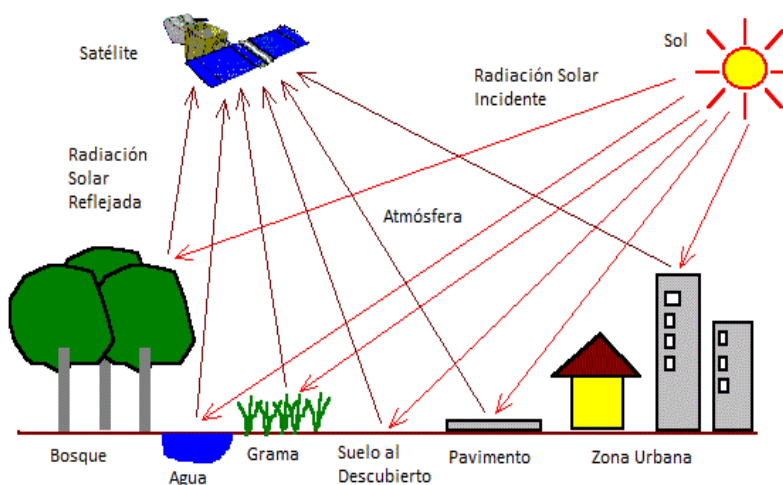
El DRMI La Tatacoa se localiza al norte del departamento del Huila en límites con el departamento del Tolima, abarcando territorios de los municipios: Baraya y Villavieja (Ver Figura 1), con una superficie total de 35.140,10 hectáreas de las cuales el municipio de Villavieja

alcanza la mayor superficie con 30.075 Has para un total de once (11) veredas y Baraya con una extensión de 5.065 Has con un total de siete (7) veredas (ForumNatura., 2019). Posee un rango Altitudinal de 340-1250 msnm, con una precipitación de 1078 mm Anuales, con una zona de vida de Bosque seco Tropical y bosque muy seco tropical, que comprende un 55,2 % del municipio de Villavieja y el 7,06 % del municipio de Baraya.

3.3. Teledetección ambiental

La teledetección ambiental, o la observación de la tierra desde el espacio, es el uso de sensores remotos para observar y analizar la superficie terrestre sin contacto físico directo (Chuvieco Salinero, 2002). Es una herramienta crucial para monitorear y comprender los cambios globales en el medio ambiente. Estos sensores montados en satélites u otras plataformas aéreas, capturan datos sobre la energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre. Este campo ha evolucionado significativamente, permitiendo una mejor gestión de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental.

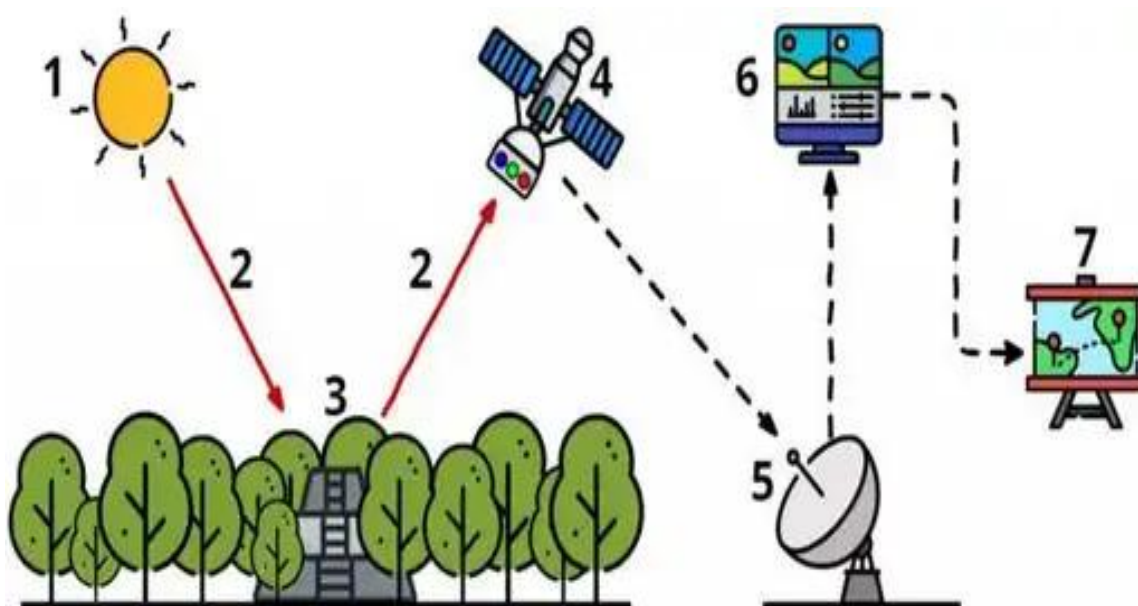
Figura 2. Proceso de teledetección



Fuente: Recuperado de: (Natura Resources Canada, s.f.)

En el proceso de teledetección la información espacial se adquiere mediante la medición de la radiación electromagnética entre el territorio y sensores ubicados lejos del objeto. La captación de imágenes por teledetección permite obtener los atributos geométricos de los elementos superficiales en función de las características de las ondas electromagnéticas, que son irradiadas o reflejadas por los objetos superficiales que luego registran los sensores (Pei, y otros, 2021). La evolución de este método ha mejorado la capacidad para explorar los recursos naturales de la Tierra. En la Figura 3 se ilustran detalladamente las etapas en un proceso de teledetección, las cuales son:

1. La fuente de energía
2. La onda electromagnética viaja desde su fuente hasta el objeto, interactúa con la atmósfera.
3. Interacción de la energía electromagnética con el objeto
4. Entrada de datos al sensor.
5. Salida de datos del sensor.
6. Los datos se analizan e interpretan.
7. Toma de decisiones

Figura 3. Etapas de un proceso de teledetección

Fuente: Recuperado de (Granell & Aguilar, 2020)

3.4. Sistemas de Información Geográfica – SIG

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han emergido como herramientas cruciales en la evaluación de impactos ambientales negativos, permitiendo un análisis detallado y espacial de los datos relacionados con el medio ambiente. Estos sistemas facilitan la identificación, evaluación y gestión de los impactos ambientales, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas (Cruz Marín, 2020).

Los SIG se utilizan ampliamente para evaluar los impactos ambientales de proyectos de desarrollo, permitiendo la comparación de datos relacionados con los recursos naturales y su sensibilidad a diversos impactos. Esto se logra mediante la superposición de datos espaciales y sus atributos, lo que convierte a los SIG en instrumentos altamente eficientes para tareas de planificación ambiental (Schaller, 1992).

3.5. Teledetección para evaluar el impacto antropogénico en los ecosistemas

La teledetección se utiliza para evaluar el impacto antropogénico en los ecosistemas mediante la adquisición de información sobre la Tierra desde plataformas aéreas o satelitales. Esta técnica permite obtener datos sobre la superficie terrestre, como la cobertura vegetal, el uso del suelo y los recursos hídricos, de manera rápida y en grandes extensiones (Abdrashitova & Chermoshentsev, 2019). Con la teledetección, es posible identificar cambios en el paisaje a lo largo del tiempo, lo que facilita la evaluación de cómo las actividades humanas afectan a los ecosistemas, como la deforestación, la urbanización o la contaminación.

Las ventajas de la teledetección para evaluar el impacto antropogénico en los ecosistemas incluyen la capacidad de obtener información detallada sobre grandes áreas de manera rápida, la posibilidad de monitorear cambios en el paisaje a lo largo del tiempo, y la capacidad de identificar patrones y tendencias ambientales (Abdrashitova & Chermoshentsev, 2019). Además, permite evaluar de forma remota áreas de difícil acceso y reducir la necesidad de trabajo de campo intensivo.

Por otro lado, las desventajas de la teledetección incluyen la necesidad de equipos especializados y costosos, la dependencia de condiciones climáticas favorables para la adquisición de imágenes de calidad, y la complejidad en la interpretación de los datos, especialmente en áreas con cobertura nubosa o vegetación densa. Además, la teledetección puede tener limitaciones en

la identificación precisa de ciertos elementos del paisaje o en la diferenciación de características sutiles en la superficie terrestre (Abdrashitova & Chermoshentsev, 2019).

5. Metodología

5.1. Enfoque metodológico

El propósito de la investigación es articular los procesos enfocados en la sostenibilidad ambiental, dirigidos a investigaciones pertinentes para el desarrollo sostenible y conservación del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, con un enfoque práctico en el reconocimiento de los actores involucrados en el desarrollo de los procesos normativos, su implementación y su aporte a los mismos.

La población por seleccionar se realizará del muestreo intencional o selectivo, según la cual el investigador determina configurar una muestra inicial de informantes que poseen un conocimiento general amplio sobre el tópico a indagar o informantes que hayan vivido la experiencia sobre la cual se quiere ahondar. (Bonilla & Rodríguez, 1997).

5.2. Tipo de estudio

El tipo de investigación es principalmente un estudio cualitativo-cuantitativo de carácter descriptivo, en el cual se realiza el diagnóstico y análisis de la incidencia de la Insuficiencia de control urbanístico y ambiental en el Distrito Regional de Manejo Integrado-DRMI La Tatacoa. La investigación pretende describir, establecer relaciones, interpretar, comprender y dar sentido a las relaciones y acciones que se dan entre los pobladores, actores sociales e instituciones y prestadores de servicios locales en el DRMI La Tatacoa en busca de la sostenibilidad ambiental del área de estudio.

5.3. Procedimiento

5.3.1. Delimitación geográfica del área de estudio y línea base

Se consultó información secundaria disponible en el Registro Único de Áreas Protegidas (RUNAP) sobre los límites del área de influencia del proyecto, es decir, el área geográfica del distrito de manejo integrado DRMI La Tatacoa, este paso es fundamental para establecer los límites espaciales de la presente investigación.

5.3.2. Área de estudio

El área de estudio se localiza en el departamento del Huila en los municipios de Villavieja y Baraya. Posee un rango altitudinal que va desde los 340 a los 1250 msnm. La zona de vida es Bosque seco Tropical y Bosque muy seco tropical y comprende el 55,2% del municipio de Villavieja y el 7.06% del municipio de Baraya.

5.3.3. Procesamiento de imágenes satelitales

Para el desarrollo de este estudio se hizo uso de imágenes satelitales Landsat 8 para el año 2015 y 2023. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 1. Características imágenes Landsat

ID Producto	Año	Formato	Profundidad Pixel(Bit)
LC08_L2SP_008058_20150104_20200910_02_T1	2015	TIFF	30

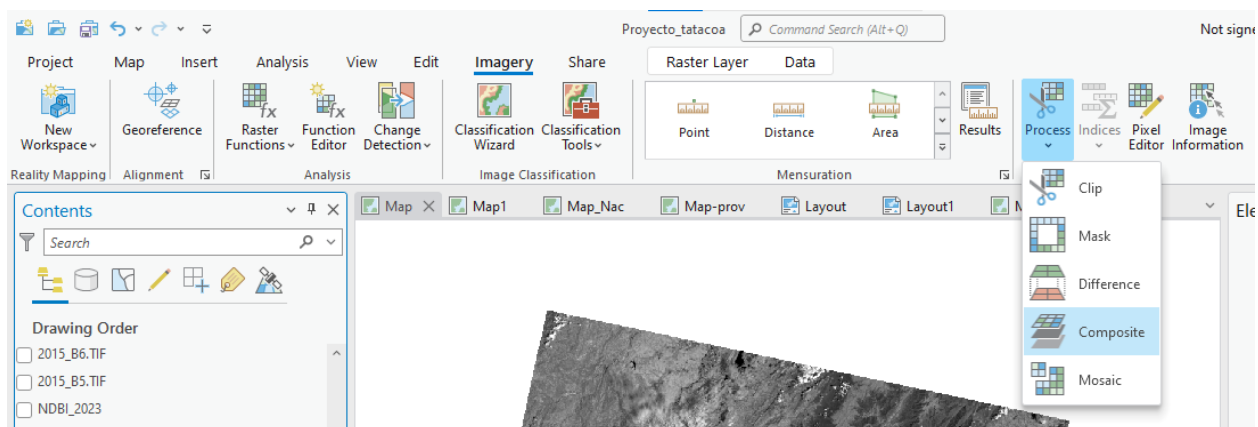
26 Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el distrito de manejo integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de detección remota

ID Producto	Año	Formato	Profundidad Pixel(Bit)
LC09_L2SP_008058_20230203_20230311_02_T1	2023	TIFF	30

5.3.4. Procesamiento para composición de bandas

En primera instancia, se procedió a realizar una composición de bandas para cada una de las imágenes para los años 2015 y 2023 (Ver Figura 4).

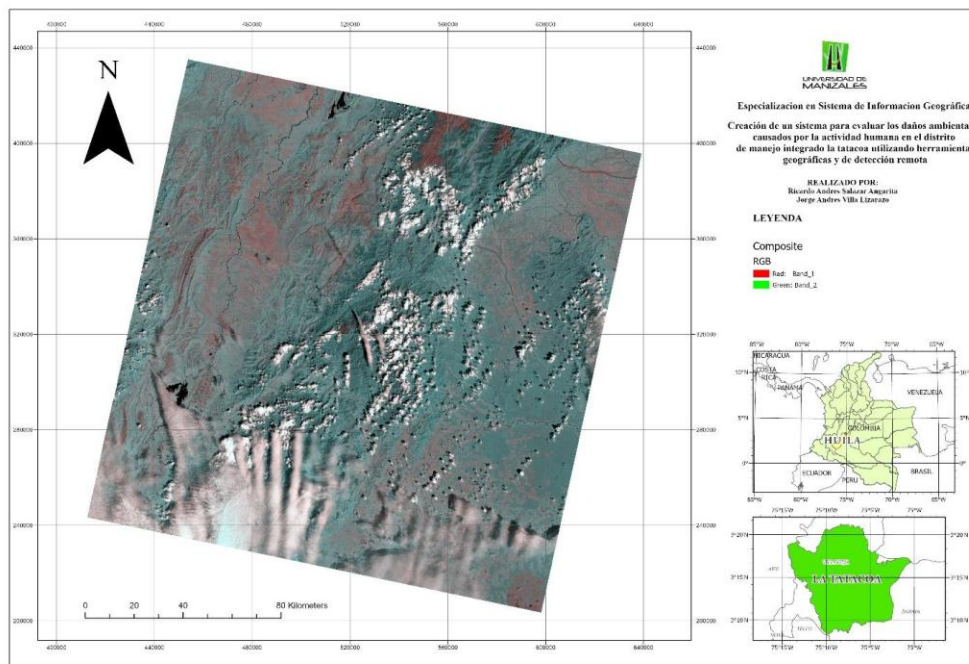
Figura 4. Imagery> Process>> Composite



Fuente: Autores

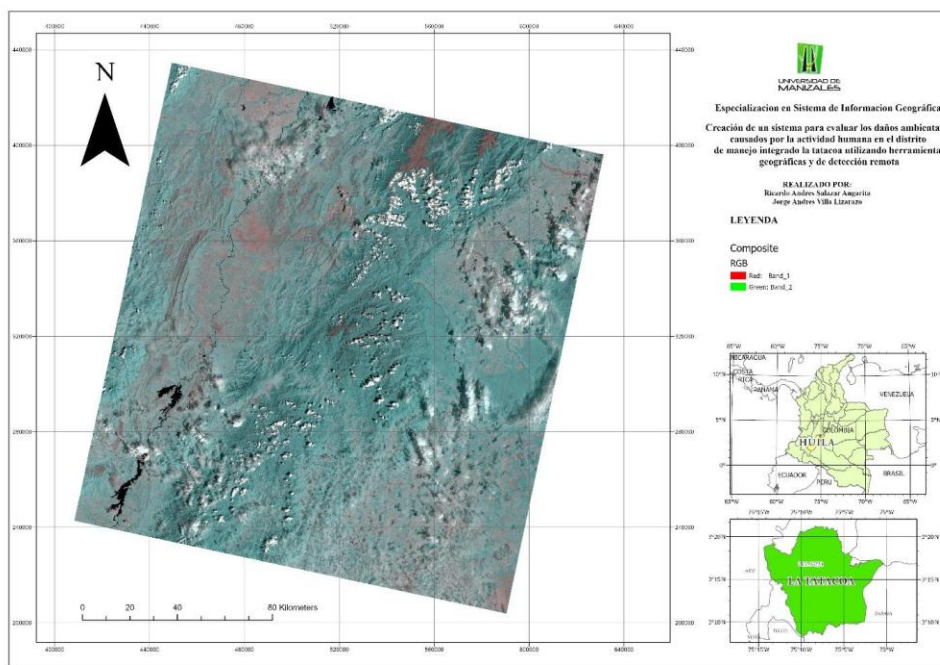
Una vez realizadas las composiciones para las 3 imágenes satelitales, se elaboraron los mosaicos de los años 2015 (Figura 5) y 2023 (Figura 6).

Figura 5. Mosaico año 2015



Fuente: Autores

Figura 6. Mosaico año 2023



Fuente: Autores

5.3.5. Determinar la presencia de zonas urbanísticas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa a través del índice de diferencia normalizada de edificaciones (NDBI) y datos de campo.

Etapas 1. Descarga y preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat.

Se realiza la búsqueda, adquisición y preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat por medio de diferentes plataformas con el objetivo de contar con imágenes las cuales presentaran el menor porcentaje de nubosidad y correspondiera al lapso determinado (2015-2023) las cuales son necesarias para llevar a cabo el análisis. Las imágenes se obtienen del visor de datos espaciales Earth Engine Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Etapas 2. Análisis espacial de las imágenes satelitales.

Las imágenes Landsat 8 y Landsat 9 son fotografías de teledetección que han sido procesadas para corregir distorsiones atmosféricas y geométricas, mejorando su precisión y confiabilidad para aplicaciones científicas y de gestión. Sus características principales son:

- Corrección atmosférica: Estas imágenes han sido ajustadas para eliminar los efectos de la atmósfera, como la dispersión y absorción de la luz, permitiendo que los datos representen de manera más precisa la reflectancia de la superficie terrestre.
- Corrección geométrica: Se han corregido las distorsiones geométricas causadas por la órbita del satélite, facilitando una superposición más precisa de las imágenes y su uso en la creación de mapas detallados.

- Integración de bandas: Las imágenes Landsat nivel dos combinan datos de varias bandas espectrales para generar imágenes multiespectrales, permitiendo a los usuarios identificar distintos tipos de cobertura del suelo y objetos.

Etapa 3. Procesamiento del Índice de diferencia normalizada de edificaciones (NDBI).

El índice de diferencia normalizada de edificaciones (NDBI), para landsat 8 y 9 emplea las bandas 5 (NIR) y 6 (SWIR), estas bandas abarcan longitudes de onda de 0,85 μm a 0,88 μm y de 1,57 μm a 1,65 μm , respectivamente para resaltar las áreas construidas. Este índice se basa en proporciones que mitigan los efectos de las diferencias de iluminación del terreno, así como los efectos atmosféricos.

(1)

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

Donde:

NDBI: Índice de diferencia normalizada de edificaciones

SWIR: Infrarrojo de onda corta

NIR: Luz del infrarrojo cercano

Al igual que en índices análogos (como el NDWI o el NDVI) el intervalo de valores resultantes oscila entre -1 y 1, donde aquellos valores de tendencia negativa indican presencia de zonas con vegetación. Valores intermedios comienzan a determinar zonas desnudas, cultivos en crecimiento o zonas o en fase de construcción a medida que adquieren valores de tendencia positivos elevados para indicar zonas territoriales con coberturas de suelo edificadas o infraestructuras antrópicas.

Etapa 4. Registros de datos en campo.

Como parte del proceso de socialización e interacción con la comunidad sobre el proyecto en desarrollo, se llevaron a cabo consultas con personas directamente vinculadas a la zona de estudio. Estas consultas permitieron conocer las percepciones, experiencias y conocimientos sobre el territorio, contribuyendo así a una comprensión más integral de la problemática ambiental y los impactos generados en el área. Este procedimiento se complementó con la georeferenciación de las infraestructuras identificadas en la zona de estudio, mediante recorridos.

Tabla 2. Esquema de encuesta aplicada para comunidad vinculada a la zona de estudio.

Pregunta	Respuesta abierta
¿Ha notado cambios en el paisaje o el ambiente de La Tatacoa en los últimos años?	
¿Cuáles cree que son los principales problemas ambientales en la zona?	
¿Cómo cree que el uso de tecnología como imágenes satelitales y mapas puede ayudar a proteger La Tatacoa?	
¿Cómo ha impactado la actividad humana en su vida cotidiana dentro del distrito?	

Nota: Las preguntas y respuestas complementarias, se encuentran disponibles en Anexos.

5.3.6. Analizar en dos temporalidades el impacto ambiental de las zonas urbanísticas identificadas en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa.

Etapas 1. Procesamiento De Imágenes Satelitales Landsat.

Se realizarán los siguientes análisis en el procesamiento de las imágenes satelitales:

5.3.7. Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), permite generar una imagen que muestra el verdor, también conocida como biomasa relativa. Este índice aprovecha el contraste de características entre dos bandas de un ráster multispectral: la absorción de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad del material de las plantas en la banda infrarroja cercana (NIR). Para Landsat 8 y 9, se emplean las bandas 5 (NIR) y 4 (Red) estas bandas tienen una longitud de onda correspondiente de 0,85 μm a 0,88 μm y de 0,64 μm a 0,67 μm respectivamente.

(2)

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

Donde:

NDVI: Índice diferencial de vegetación normalizado

NIR: Luz del infrarrojo cercano

Red: Luz roja visible

32 Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el distrito de manejo integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de detección remota

Los valores extremadamente bajos o negativos representan a las áreas sin ninguna vegetación, tales como nubes, agua o nieve. Los valores muy bajos representan a áreas con muy poca vegetación o sin ninguna vegetación, tales como hormigón, piedra o suelo desnudo. Los valores moderados representan áreas de matorrales y praderas. Los valores altos representan a las zonas forestales y la vegetación densa, véase la clasificación de las coberturas en la (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de los cambios y calidad de las coberturas vegetales, mediante el NDVI.

Valor NDVI	Clasificación de la cobertura
<-0.01	Clases no vegetales (Ríos, quebradas, lagunas, nubes)
-0.1 - 0.15	Tierra desnuda, degradada, asentamientos, vías, suelo sin cobertura vegetal
0.15 - 0.25	Vegetación dispersa, con presencia de herbazales, arbustos y pastizales
0.25 - 0.4	Vegetación media, con presencia de vegetación leñosa, plantación arbustiva, bosque seco.
> 0.4	Vegetación alta y vigorosa por presencia de plantas densas en crecimiento, generalmente de bosque húmedo.

Recuperado de: (Segura Guzmán & Bejarano Flórez, 2019).

5.3.8. Índice de agua de diferencia normalizada modificado MNDWI

El Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) utiliza las bandas verde y SWIR. Este método facilita un análisis integral para detectar cuerpos de agua presentes en la zona de estudio. Para landsat 8 y 9, las bandas correspondientes son la banda 3 (Green) y la

banda 6 (SWIR), con longitudes de onda de 0,53 μm a 0,59 μm y de 1,57 μm a 1,65 μm respectivamente (Nainggolan et al., 2024).

(3)

$$MNDWI = (Green - SWIR)/(Green + SWIR)$$

Donde:

MNDWI: Índice de agua de diferencia normalizada modificado

Green: Luz verde visible

SWIR: Infrarrojo de onda corta

Los valores del MNDWI suelen estar entre -1 y 1. Los valores más altos indican la presencia de agua, mientras que los valores más bajos indican otros tipos de superficie, como tierra o vegetación (Véase, la Tabla 3.)

Tabla 4. Clasificación de las masas de agua a partir del MNDWI.

Valor MNDWI	Clasificación
0 - 0,23	Superficie de agua
-0,12-0	Sequía Moderada
-0,60 - (-0,11)	Sequía

Recuperado de: (Nainggolan et al., 2024).

Etapas 2. Validación de los resultados con datos de campo.

Realizar validación de campo para identificar los desarrollos urbanísticos en el área de influencia en el Distrito de manejo integrado DRMI la TATACOA.

34 Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el distrito de manejo integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de detección remota

5.3.9. Elaborar salidas gráficas, para evaluar los impactos ambientales negativos generados por la intervención antrópica en el Distrito Regional de manejo integrado DRMI la Tatacoa.

Etapa 1. Elaboración de mapas temáticos

Una vez realizados los análisis, se procede a generar los mapas de los años de interés y la respectiva diferencia a través de los años, realizando un análisis con la información disponible.

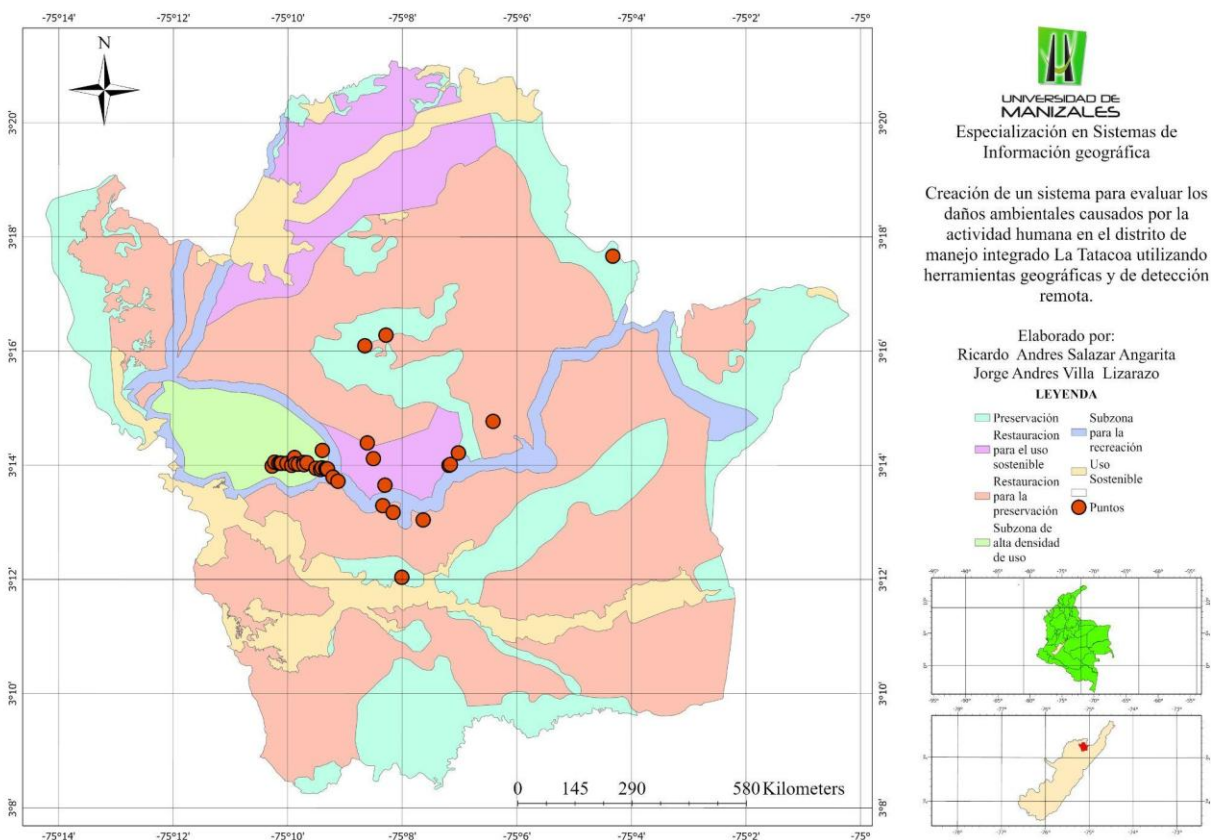
Etapa 2. Creación del sistema para evaluar los daños ambientales causados

Una vez realizados los mapas relevantes del estudio, a través de la herramienta storymaps se procede a crear una historia interactiva y dinámica donde se muestran los cambios en el uso del suelo, zonas geográficas en el Distrito Regional de Manejo DRMI La Tatacoa donde se presentan los mayores cambios por la actividad humana y demás aspectos relevantes encontrados durante el estudio.

6. Resultados y análisis de resultados

El Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, presenta transformaciones en la cobertura vegetal por la presencia de zonas urbanísticas. Se identificaron en campo 39 infraestructuras (representadas en rojo), 24 de ellas se distribuyen dentro de la subzona de alta densidad de uso, seis en restauración para el uso sostenible, cuatro para la preservación, tres para la subzona de recreación y dos infraestructuras distribuidas en las zonas establecidas de restauración para la preservación (Ver Figura 7).

Figura 7. Área de estudio DRMI La Tatacoa



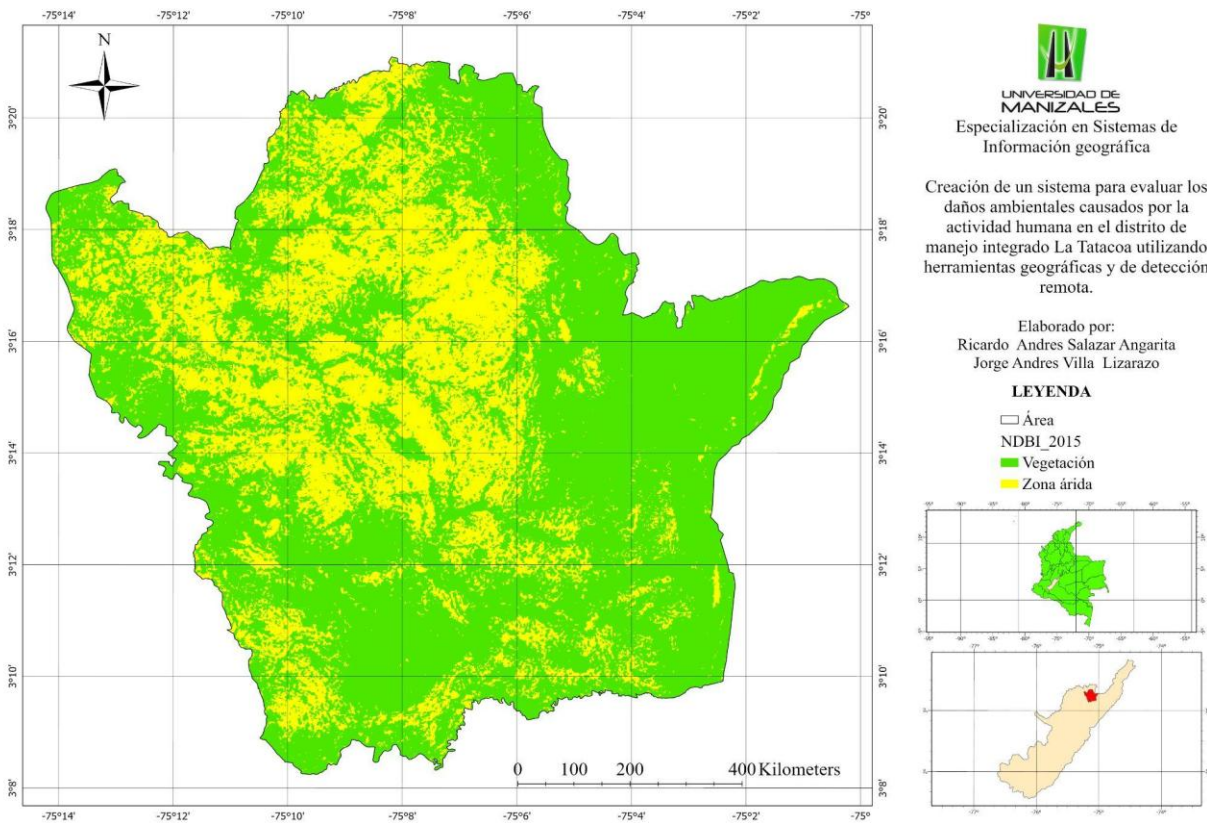
Fuente: Autores

Las encuestas aplicadas a las poblaciones vinculadas al Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa reflejan, el efecto de la intervención antrópica sobre el ecosistema, manifestando cambios en la vegetación, disminución de agua y aumento de las construcciones situación que con llevado al aumento de la deforestación, incremento en los residuos sólidos. El detalle de la encuesta se encuentra en los anexos.

6.1. Índice de diferencia normalizada de edificaciones (NDBI)

El índice de diferencia normalizada de edificaciones refleja la presencia de vegetación y zonas áridas. Para el año 2015 (Figura 8), la vegetación representa el 67% lo equivalente a 23500 hectáreas y para las zonas áridas el porcentaje de cobertura es del 33% ocupado por 11602 hectáreas. En el año 2023 (Figura 9), la vegetación presenta un crecimiento exponencial de 550 hectáreas correspondientes al 68% y una reducción en la ocupación de las zonas áridas de 559 hectáreas.

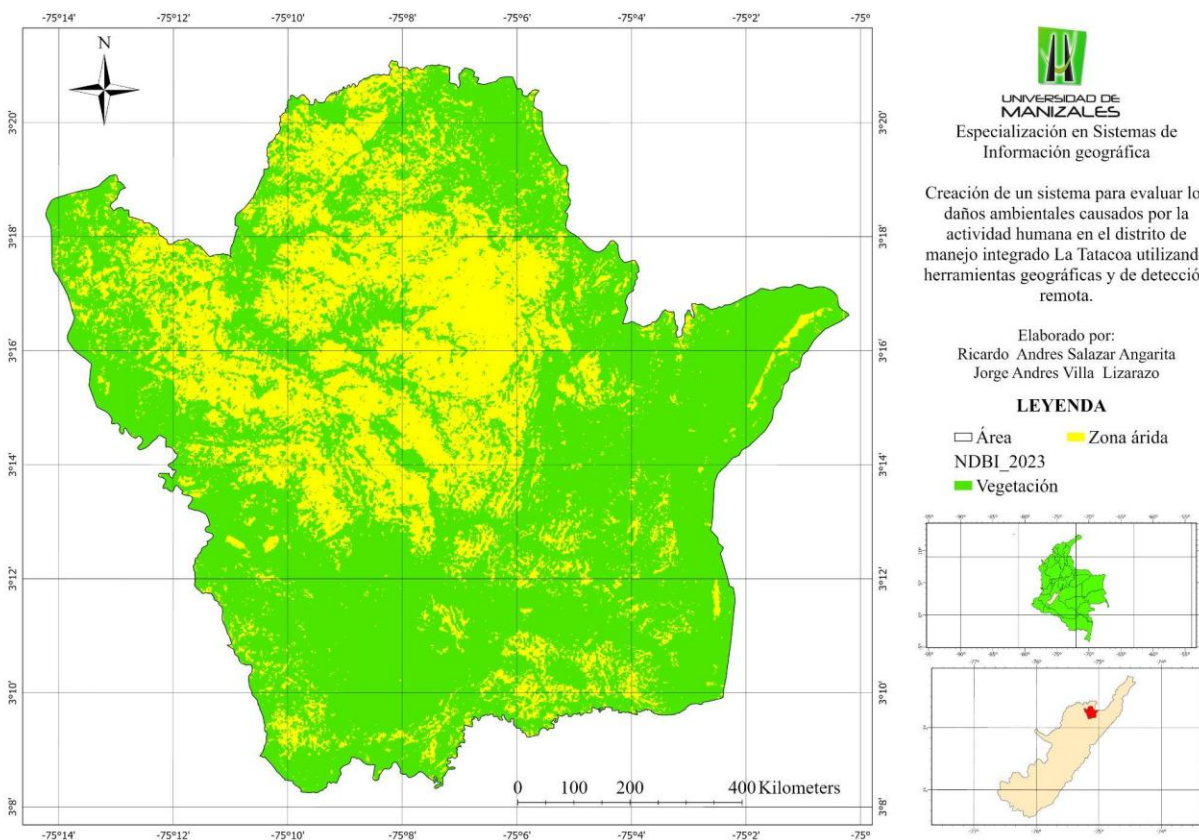
Figura 8. NDBI para el año 2015.



Fuente: Autores

El índice de diferencia normalizada de edificaciones no permite apreciar la ocupación y transformación de las coberturas de suelo edificado o infraestructura antrópica para el año 2015 ó 2023, sin embargo este análisis refleja claramente las zonas no urbanizadas y la transformación de las mismas por acciones antropogénicas de restauración o intervención. Además, los valores intermedios obtenidos en el análisis corresponden a las zonas áridas o desnudas representadas en color amarillo.

Figura 9. NDBI para el año 2023.



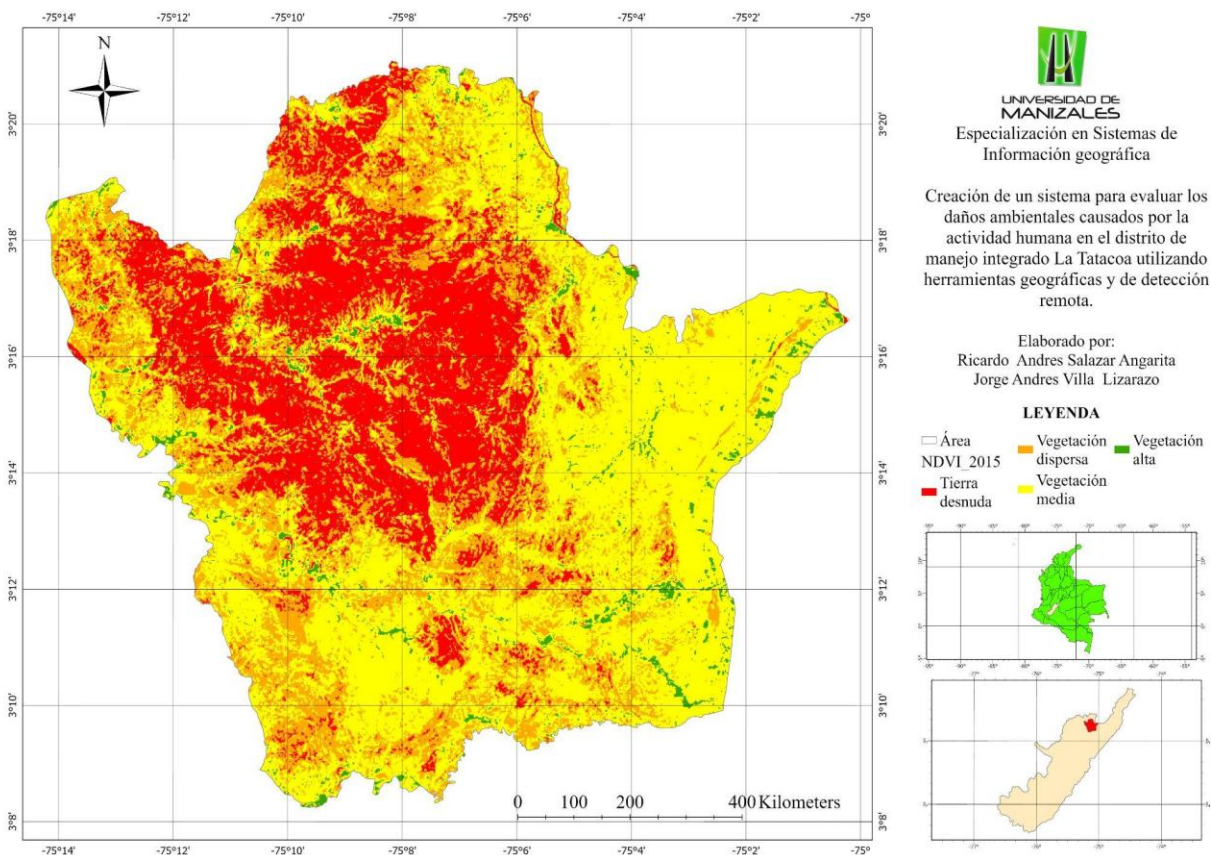
Fuente: Autores

6.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, reporta coberturas vegetales conformadas por vegetación dispersa, vegetación media y vegetación alta. Para el año 2015 (Figura 10), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) refleja, que el 45% de la vegetación asociada a matorrales y praderas (vegetación media-color amarillo) ocupa 15755

hectáreas, seguidamente de (vegetación dispersa-color naranja) representada por pastos y rastrojos con un porcentaje de ocupación del 28% lo correspondiente a 9908 hectáreas, por otro lado, la vegetación alta (color verde) representa la menor ocupación de la cobertura vegetal con 797 hectáreas y la tierra desnuda (color rojo) para el 2015, representa el 24% de la cobertura en 8641 hectáreas.

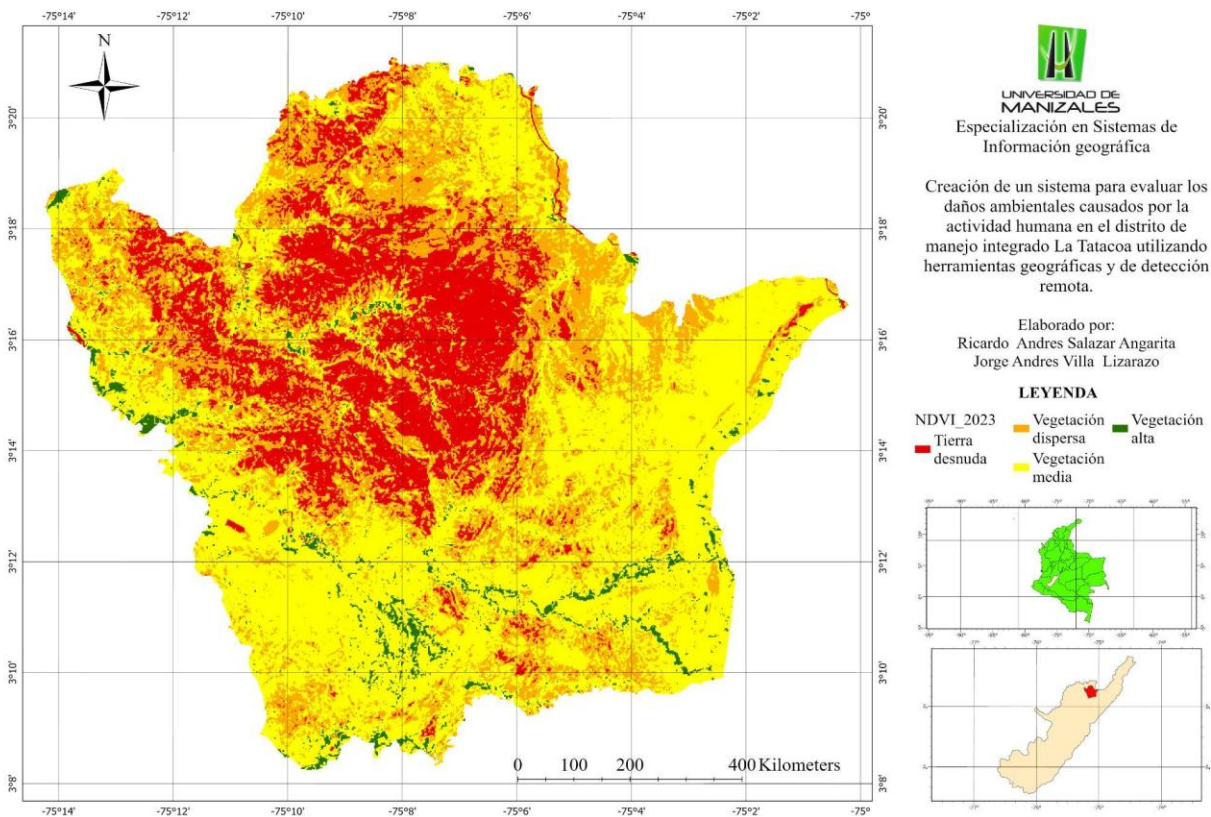
Figura 10. NDVI para el año 2015



En el 2023, El índice de vegetación normalizado (NDVI), (Figura 11) refleja un incremento de 1271 hectáreas asociadas a matorrales y praderas (vegetación media-color amarillo) con un porcentaje de cobertura neta del 48%. La vegetación dispersa, conformada por

pastos y rastrojos, evidencia un incremento de 430 hectáreas representadas por el 29%. Por otro lado, la vegetación alta presentó un incremento en la ocupación de la cobertura de 123 hectáreas. Lo anterior, en respuesta a la declaración de distrito regional de manejo integrado – DRMI La Tatacoa, y la designación de áreas destinadas para la preservación y restauración. Esta declaración se refleja en la reducción de 1825 hectáreas de suelo desnudo para el 2023, pasando de un porcentaje de ocupación del 24% en el 2015 a un porcentaje del 19% en 2023, impactando positivamente en las coberturas vegetales.

Figura 11. NDVI para el año 2023



6.3. Análisis bitemporal de coberturas DRMI La Tatacoa

La presencia de infraestructuras en el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, representa un efecto negativo en coberturas con presencia de vegetación, principalmente para algunas zonas donde en el año 2015 se contaba con vegetación tanto alta, media, como dispersa, y pasó a tierra desnuda en el 2023. El cambio de uso de suelo en el periodo de análisis fue del 14%, es decir el 86% equivalente a 30359 hectáreas que no presentaron cambios en su cobertura. El detalle del cambio del uso del suelo se puede revisar en la Tabla 5.

Tabla 5. Detección de cambios identificados en el análisis bitemporal.

Detección de Cambios	Área	Porcentaje	Infraestructura
Tierra desnuda->Vegetación dispersa	776,16	2	2
Tierra desnuda->Vegetación media	88,47	0	0
Tierra desnuda->Vegetación alta	3,15	0	0
Vegetación dispersa->Tierra desnuda	43,38	0	2
Vegetación dispersa->Vegetación media	2283,75	7	4
Vegetación dispersa->Vegetación alta	24,3	0	1
Vegetación media->Tierra desnuda	24,3	0	0
Vegetación media->Vegetación dispersa	1116	3	0
Vegetación media->Vegetación alta	418,5	1	0
Vegetación alta->Tierra desnuda	13,5	0	1
Vegetación alta->Vegetación media	261,72	1	2

42 Creación de un sistema para evaluar los daños ambientales causados por la actividad humana en el distrito de manejo integrado La Tatacoa utilizando herramientas geográficas y de detección remota

Detección de Cambios	Área	Porcentaje	Infraestructura
Sin Cambio	30359,7	86	27

Fuente: Autores

De las 39 infraestructuras identificadas en el interior del Distrito Regional de Manejo integrado DRMI La Tatacoa, 27 se encuentran en áreas que no presentan cambios en el uso del suelo, con 17 edificaciones ubicadas en tierra desnuda. Por otro lado, se identificaron otros 3 lugares donde la cobertura pasó de ser zonas con vegetación en el 2015 a ser tierras desnudas para el 2023. Por lo tanto durante el periodo de tiempo evaluado, las infraestructuras identificadas al interior del DRMI no permitieron cambios positivos en el crecimiento de vegetación.

También se identificó, que algunas de las infraestructuras presentes se encuentran dentro de áreas destinadas para la preservación y restauración para la preservación. El detalle del cambio del uso del suelo se puede revisar en la Tabla 6.

Tabla 6. Zonificación del DRMI vs Matriz de cambios.

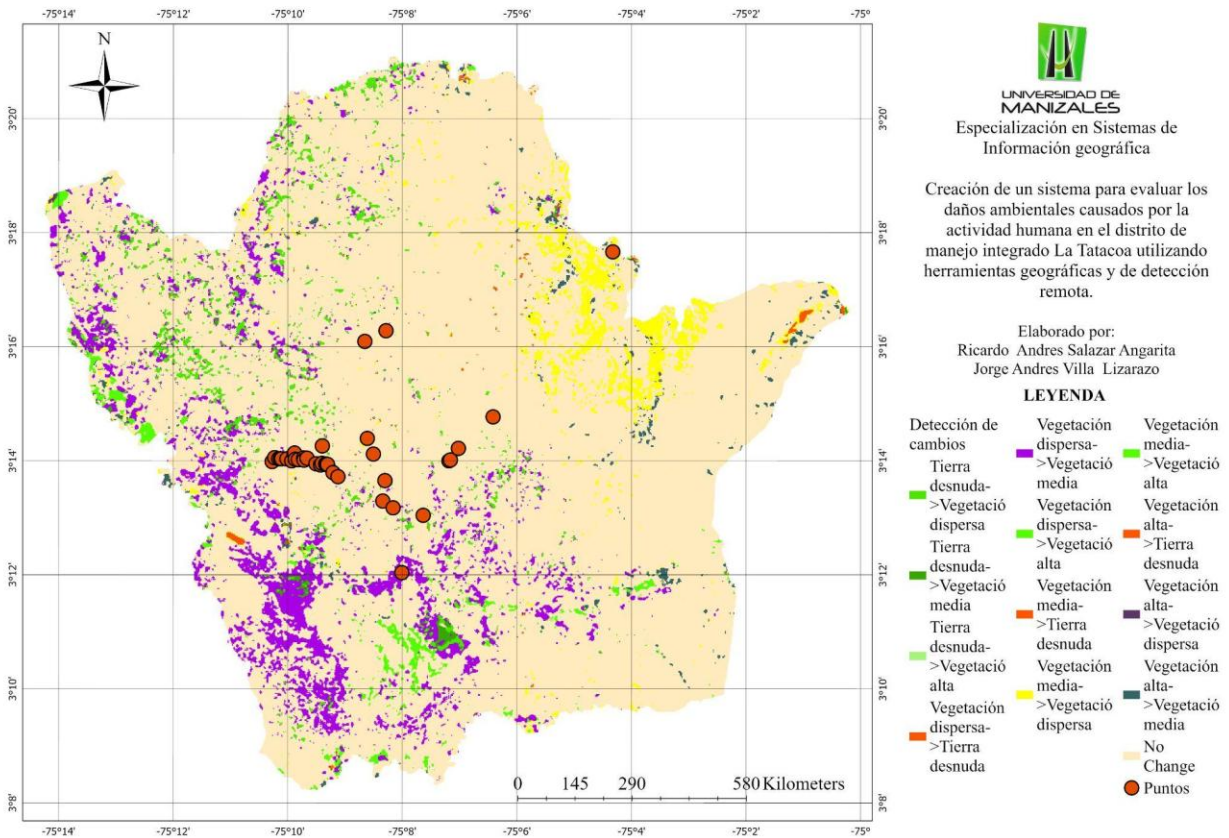
Zonificación PMA	Detección de cambio	Infraestructura
Preservación	Sin cambio	2
	Vegetación alta->Tierra desnuda	1
	Vegetación dispersa->Vegetación med	1
Restauración para el uso sostenible	Sin cambio	5
	Vegetación alta->Vegetación media	1
	Sin cambio	1

Zonificación PMA	Detección de cambio	Infraestructura
Restauración para la preservación	Vegetación dispersa->Tierra desnuda	1
Subzona de alta densidad de uso	Sin cambio	17
	Tierra desnuda->Vegetación dispersa	2
	Vegetación alta->Vegetación media	1
	Vegetación dispersa->Tierra desnuda	1
	Vegetación dispersa->Vegetación alt	1
	Vegetación dispersa->Vegetación med	2
Subzona para la recreación	Sin cambio	2
	Vegetación dispersa->Vegetación med	1

Fuente: Autores

A continuación, en la figura 12 se presenta el análisis de cambios en el Distrito regional de manejo integrado DRMI La Tatacoa.

Figura 12. Análisis bitemporal para el año 2015 y 2023.



6.4. Índice de agua de diferencia normalizada modificado MNDWI

El Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) tanto para el año 2015 (Figura 13) como para el año 2023 (Figura 14), se realizó con el fin de validar la presencia de zonas húmedas dentro del DRMI La Tatacoa. Durante el período de tiempo analizado, no se evidencia la pérdida en la presencia de los cuerpos hídricos. Para las dos temporalidades evaluadas,

los valores correspondientes son del 97% para la zona con sequía, 2% para la sequía moderada y 1% para la superficie de agua. Sin embargo, al trabajar con imágenes Landsat se presentan limitaciones en la resolución espacial. La aplicación de este análisis demuestra que la presencia de agua en la zona es escasa, por la presencia de Bosque seco Tropical y Bosque muy seco tropical en la zona de vida evaluada.

Figura 13. MNDWI para el año 2015

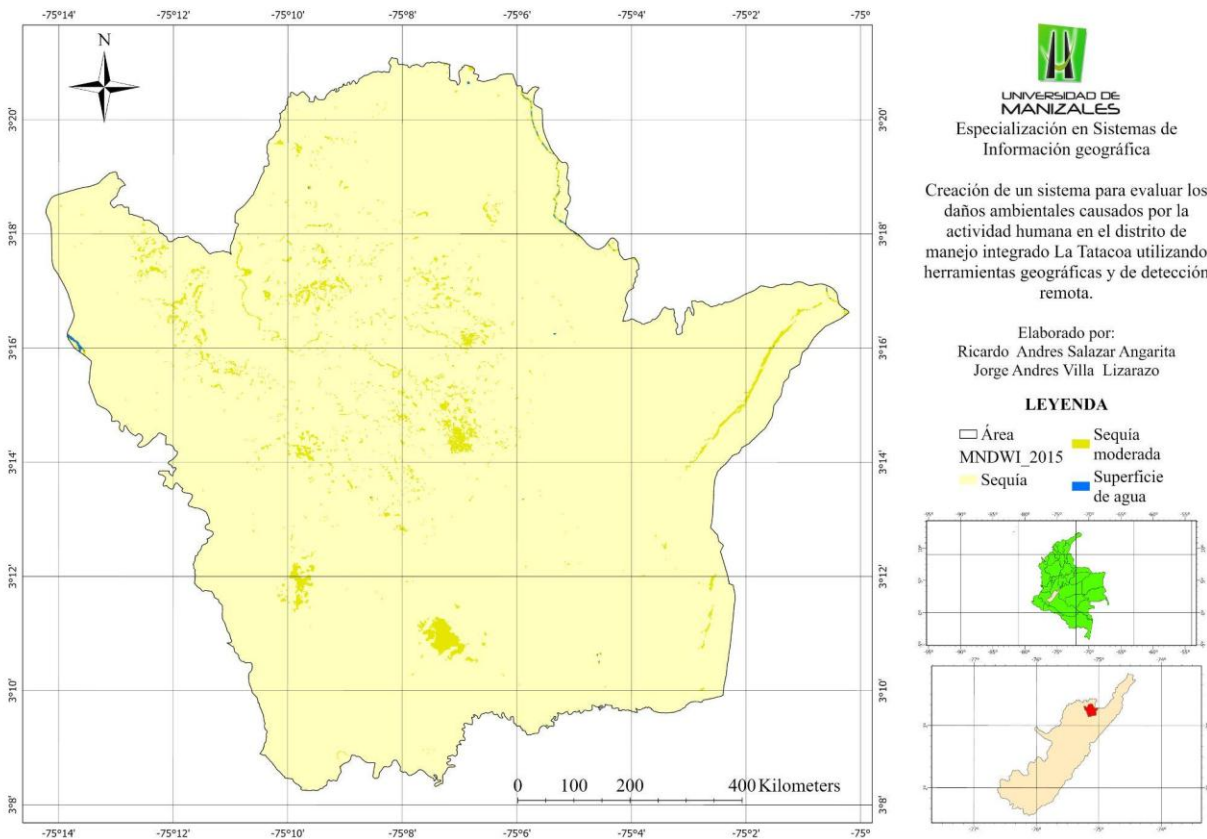
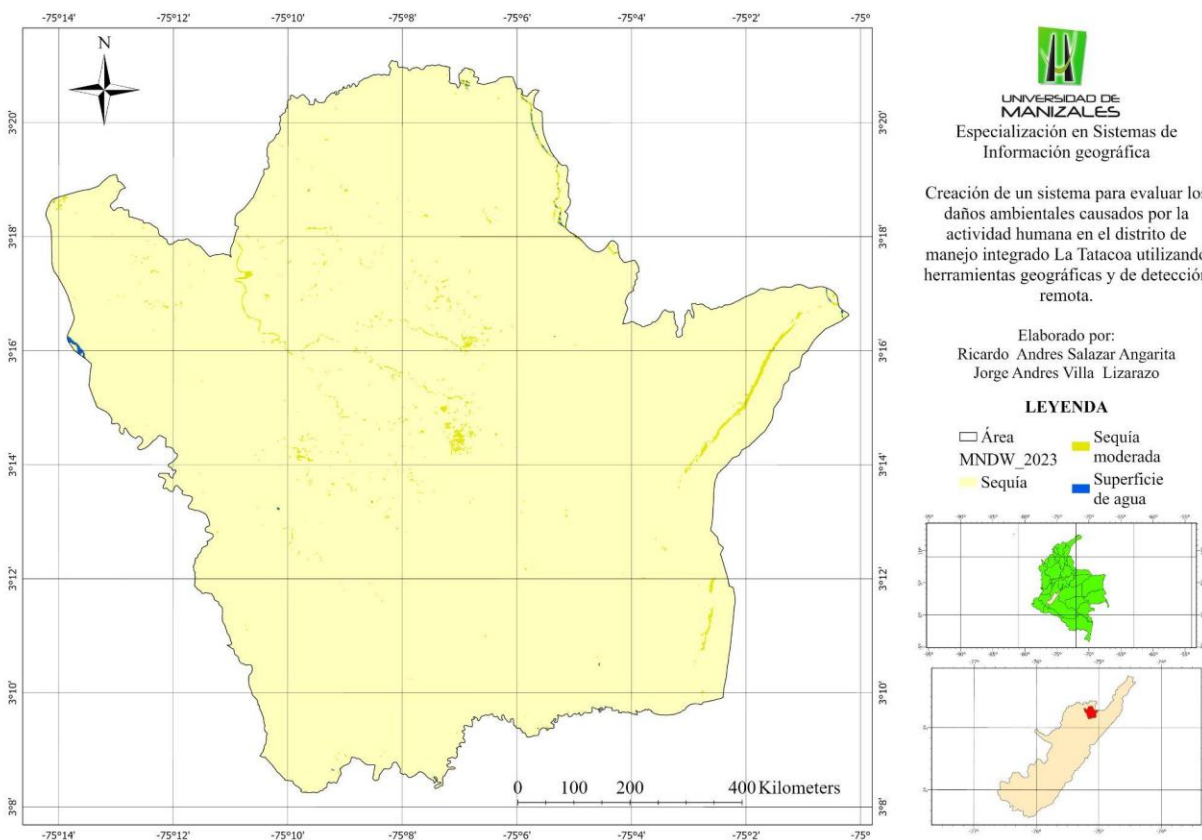


Figura 14. MNDWI para el año 2023



6.5. Validación de campo

Los resultados de la validación de campo arrojaron la presencia de un alto número de viviendas al interior del DRMI La Tatacoa, muchas de las cuales se dedican a actividades comerciales como Restaurantes, hostales, estaderos, posadas, ventas de artesanías entre otros, esto debido al alto índice de turismo en la zona. Los registros fotográficos se pueden apreciar dentro de los anexos del documento.

6.6. Sistema de evaluación de daños ambientales

A través de la herramienta storymaps se crea una historia interactiva y dinámica donde se muestran los cambios en el uso del suelo, zonas geográficas en el Distrito Regional de Manejo DRMI La Tatacoa, en el periodo de evaluación de 2015 a 2023. El resultado del ejercicio se encuentra disponible en:

<https://storymaps.arcgis.com/stories/79617d94a6f44ed8871cb2b07b6ce5e1>

7. Discusión

Al realizar el análisis del índice de diferencia normalizada de edificaciones, revela dos aspectos fundamentales. En primer lugar, se evidencia que el área ha experimentado fuertes presiones antrópicas entre 2015 y 2023, reflejando una disminución significativa en la cobertura vegetal en zonas que anteriormente reflejaban la presencia de vegetación. Este cambio, se asocia principalmente con la presencia de infraestructuras identificadas en campo. De las cuales 24 se localizan en la subzona de alta densidad de uso, seis en áreas de restauración para el uso sostenible y cuatro en zonas de preservación. Estos resultados se relacionan con los reportados por Seto et al. (2012) y Ding et al. (2020) en el que demostraron que la expansión urbana y las actividades antrópicas son un factor directo en la degradación de los ecosistemas naturales en su investigación relacionada con las “Previsiones globales de expansión urbana hasta 2030 e impactos directos sobre la biodiversidad y los depósitos de carbono” y “Mapeo de la cobertura del suelo en series temporales y análisis de la expansión urbana utilizando datos de OpenStreetMap y big data de teledetección: un estudio de caso de la Gran Área de la Bahía de Guangdong-Hong Kong-Macao, China”.

El segundo aspecto relevante es que, el NDBI no permite detallar las construcciones dentro del área protegida e identificar la ocupación y transformación de las coberturas del suelo edificado. Por lo tanto, se sugiere utilizar imágenes con mayor detalle en la resolución espacial en futuros estudios, ya que la resolución de 30 metros de las imágenes Landsat limita la detección de viviendas y cambios sutiles en el uso de suelo. Investigaciones previas como la de Xie et

al.(2008) han demostrado que el uso de imágenes con mayor resolución, mejora de manera directa la capacidad de detección de cambios en la cobertura.

Por otro lado, el análisis del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) revela resultados alentadores en términos de conservación. Desde la declaración del DRMI en 2015 hasta el 2023, se ha observado un incremento en la cobertura vegetal especialmente en las áreas asignadas para la preservación y restauración. La vegetación media (matorrales y praderas) aumentó en 1271 hectáreas y la vegetación dispersa (pastos y rastrojos) aumentó 430 hectáreas, incluso la vegetación alta, aunque con menor representación, reflejó un incremento de 123 hectáreas. Estos cambios positivos se atribuyen a las estrategias de conservación implementadas en el DRMI La Tatacoa, que categorizó en el plan de manejo ambiental (PMA) las zonas de manejo acorde a lo dispuesto en el Decreto 1076 del 2015, lo que ha logrado reducir la presencia de suelo desnudo en un 5%, pasando del 24% en el 2015 al 19% en 2023. Este éxito, resalta la importancia de continuar con los planes de manejo y las actividades encaminadas a la restauración y preservación en las áreas protegidas.

No obstante, el análisis bitemporal de coberturas, revela que el 14% del área evaluada experimentó cambios en el uso del suelo, principalmente asociados a la transformación de zonas con vegetación en tierras desnudas. Este fenómeno se observa en áreas donde se identificaron infraestructuras, muchas de las cuales se encuentran en zonas de tierra desnuda o en áreas que pasaron de tener vegetación a estar desprovistas de la misma. Defries et al. (2010) y Venter et al.(2016) han documentado tendencias similares en otras regiones donde las actividades antrópicas han generado pérdida en la cobertura vegetal y fragmentación del paisaje. Esto sugiere que, aunque las estrategias de conservación han sido efectivas en algunas áreas, las actividades

antrópicas continúan ejerciendo presión sobre el ecosistema, especialmente en zonas de uso público y en áreas aledañas al DRMI.

Por otro lado, el índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) confirma que la presencia de cuerpos hídricos en el DRMI La Tatacoa es escasa, lo que es consistente con las características del bosque seco tropical y bosque muy seco tropical que predominan en la zona. En el periodo de tiempo evaluado, no se observaron pérdidas significativas en la superficie. Sin embargo, la limitada resolución espacial de las imágenes landsat puede afectar la precisión de este análisis. Gao (1996) introdujo el índice NDWI como herramienta efectiva para mejorar la detección de cuerpos de agua mediante imágenes satelitales, lo que sugiere que la incorporación de estos índices en combinación con datos de mayor resolución podría mejorar significativamente la identificación de los recursos hídricos. Pekel y otros (2016) también evidenciaron, a través del análisis de datos satelitales, la variabilidad en la superficie de agua debido a factores climáticos y antrópicos, sugieren la importancia de monitorear los cambios a largo plazo. Por ende, se recomienda complementar este tipo de investigaciones con datos de campo y herramientas de mayor resolución con la finalidad de obtener una evaluación más precisa de los recursos hídricos.

8. Conclusiones

- El DRMI La Tatacoa ha experimentado significativas presiones antrópicas entre 2015 y 2023, reflejadas en la disminución de áreas vegetadas.
- Aunque las construcciones y edificaciones no son claramente visibles en las imágenes Landsat debido a su resolución, se identificaron en campo infraestructuras al interior del DRMI La Tatacoa con fines comerciales y de ecoturismo, lo cual sugiere una presión continua sobre los cambios en el uso del suelo.
- La zona presenta una escasa presencia de agua, coherente con su clasificación como Bosque Seco Tropical y Bosque Muy Seco Tropical. Esto refuerza la necesidad de un manejo adecuado de los recursos hídricos en la zona.
- El uso de imágenes satelitales Landsat y herramientas de teledetección y análisis geoespacial indica que se requieren imágenes con mejor resolución espacial para evidenciar con mayor detalle los desarrollos urbanísticos al interior del área de influencia del DRMI La Tatacoa, ya que la resolución actual dificulta su identificación.
- Establecer figuras de protección en áreas de importancia ecológica ha sido beneficioso. En el caso del DRMI La Tatacoa, se ha observado un incremento en la vegetación entre 2015 y 2023 en las zonas destinadas a la preservación y la restauración.
- La urbanización dentro del área protegida afecta negativamente las figuras de conservación existentes. Las zonas de uso público y de alta densidad tienden a extenderse, afectando las áreas preservadas, tal como se evidenció en el análisis de 2015 a 2023.

9. Recomendaciones

- Para futuros estudios, se recomienda utilizar imágenes satelitales con mayor resolución espacial que permitan una mejor identificación y monitoreo de construcciones y viviendas dispersas.
- Continuar con el monitoreo de la vegetación y las actividades antrópicas dentro del DRMI para evaluar el impacto de las estrategias de conservación y ajustar las medidas de manejo según sea necesario.
- Reforzar las políticas de manejo y conservación en las zonas designadas para la preservación y restauración, con el fin de seguir promoviendo el incremento de la vegetación y la recuperación de áreas degradadas.
- Para las actividades de ecoturismo se sugiere implementar medidas que minimicen su impacto negativo sobre el DRMI, promoviendo prácticas sostenibles que beneficien tanto a la comunidad local como al medio ambiente.
- Implementar estrategias específicas para la conservación y manejo de los recursos hídricos, considerando la limitada presencia de agua en la zona y la importancia de este recurso para la biodiversidad del Bosque Seco Tropical.

Bibliografía

- Abdrashitova, L., & Chermoshentsev, A. (2019). APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA TO THE ESTIMATION OF ANTHROPOGENOUS IMPACT ON ECOSYSTEMS (ON THE EXAMPLE WESTERN MONGOLIA). *Interexpo GEO-Siberia*. doi:org/10.33764/2618-981x-2019-6-2-128-133
- Angarita, F. R. (2011). Figuras municipales de conservación ambiental en Colombia: ¿áreas protegidas, redes ecológicas o infraestructuras verdes?. *Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 6(11), 65-76.
- Ashikur Rahman, S., Islam, M., Salman, A., & Risalat Rafiq, M. (2022). Evaluating bank erosion and identifying possible anthropogenic causative factor of Kirtankhola River in Barishal, Bangladesh: an integrated GIS and Remote Sensing approaches. *International Journal of Engineering and Geosciences*.
- Bhatpuria, D., Matheswaran, K., Piman, T., Tha, T., & Towashiraporn, P. (2022). Assessment of Large-Scale Seasonal River Morphological Changes in Ayeyarwady River Using Optical Remote Sensing Data. *MDPI*.
- Bioresita, F., Puissan, A., Stumpf, A., & Philippe Malet, J. (2018). A Method for Automatic and Rapid Mapping of Water Surfaces from Sentinel -1 1 Imageria. *MDPI*.
- Bonilla, E., & Rodríguez, P. (1997). *Mas allá del dilema de los métodos*. ciudad de mexico: pandora.
- Boothroyd, R., Williams, R., Hoey, T., Barrett, B., & Prasojo, O. (2020). Applications of Google Earth Engine in fluvial geomorphology for detecting river channel change. *Wiley*.
- Bosque Sendra, J., & Garcia, R. C. (2000). El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*(20), 49-67.
- Chuvieco Salinero, E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Cruz Marín, C. M. (2020). *Metodología para la selección de rutas socio-ambientalmente sostenibles de líneas de transmisión. caso de estudio línea de transmisión a 115 kv Purnio-Dorada Norte [Tesis de especialización, Universidad de Manizales]*. Repositorio

- institucional. Obtenido de <https://ridum-umanizales-edu-co.biblioproxy.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/5958>
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178-181.
- Ding, Q., Shao, Z., Huang, X., Altan, O., & Hu, B. (2022). Time-series land cover mapping and urban expansion analysis using OpenStreetMap data and remote sensing big data: A case study of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 113, 103001.
- ForumNatura., C. A. (2019). *Plan de manejo ambiental Tatacoa y su área de influencia Elementos básicos para un turismo sostenible en las áreas naturales*. Neiva, Huila: portafolio verde.
- Freihardt, J., & Frey, O. (2023). Assessing riverbank erosion in Bangladesh using time series of Sentinel-1 radar imagery in the Google Earth Engine. *EGU*.
- Gaita, M. (2017). Cuantificación e impacto del retroceso glaciar sobre los recursos naturales determinados mediante el SIG y teledetección - Microcuenca Lullán, Ancash - Perú. *Escuela de Posgrado. Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2913>
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- Granell, C., & Aguilar, E. (2020). *Observando desde el espacio: agricultura y medio ambiente*. Obtenido de GEOTEC: <https://geotecinit.github.io/GISDay2020/#1>
- Huan, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water From Space using Optical Sensors: A Review. *Reviews of Geophysics*.
- Isalm, M. (2021). Riverbank Erosion Assessment of Sandha River and Identification the Human Induced Key Factor by Using GIS and Remote Sensing Methon. *Applied sciences & Technology*.

- Islam, M. (2018). Physical Modelling for the Improvement of Barisal Harbor Area . *Tech*.
- Kopec, A., Trybała, P., Glabicki, D., Buczyńska, A., Owczarz, K., Bugajska, N., . . . Gattner, A. (2020). Application of Remote Sensing, GIS and Machine Learning with Geographically Weighted Regression in Assessing the Impact of Hard Coal Mining on the Natural Environment. *Sustainability*. doi:10.3390/su12229338
- Laonamsai, J., Juphunthong, P., Saprathet, T., Kimmany, B., Ganchanasuragit, T., Chomcheawchan, P., & Tomun, N. (2023). Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for Estimating Erosion and Deposition in Ping River in Thailand. *MDPI*.
- Martínez Peláez, G. L. (2010). Análisis de restricciones ambientales de la interconexión eléctrica Colombia Panamá. Tramo colombiano. *CIER*(54), 10-20.
- Michel, U., & Mildes, W. (2016). Environmental monitoring in peat bog areas by change detection methods. *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII, 10005*, 448-454. doi:10.1117/12.2243059
- Mohamad, N., Abdul Khana, M., Musliman, I., & Hazli, W. (2018). Spatio-temporal analysis of river morphological changes and erosion detection using very high resolution satellite image. *Earth and Environmental Science*.
- Natura Resources Canada*. (s.f.). Obtenido de Fundamentals of remote Sensing: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-elevation-data-and-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/9309>
- Nainggolan, L., Ni, C. F., Darmawan, Y., Lo, W. C., Lee, I. H., Lin, C. P., & Hiep, N. H. (2024). Cost-Effective Groundwater Potential Mapping by Integrating Multiple Remote Sensing Data and the Index–Overlay Method. *Remote Sensing*, 16(3), 502.
- Nguyen Dinh, H. L., & Dao, N. K. (2020). Using Landsat satellite images for assessing riverbank changes in the Mekong and Bassac rivers in An Giang province, Vietnam. *Engineering and Technology*.
- Obida, C., Blackburn, G., Whyatt, J., & Semple, K. (2019). River network delineation from Sentinel-1 SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.
- Oppong, J., Ning, Z., Twumasi, Y., Antwi, R., Anokye, M., Ahoma, G., . . . Akinrinwoye, C. (2023). THE INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC

- INFORMATION SYSTEM (GIS) IN MANAGING URBAN ECOSYSTEMS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. doi:10.5194/isprs-archives-xxviii-m-3-2023-169-2023.
- Pei, T., Xu, J., Liu, Y., Huang, X., Zhang, L., Dong, W., . . . Zhou, C. (2021). GIScience and remote sensing in natural resource and environmental research: Status quo and future perspectives. *Geography and Sustainability*, 2(3), 207-215. doi:org/10.1016/j.geosus.2021.08.004
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
- Prajapati, K. (2019). Remote Sensing and GIS techniques Enabled Approach for Environment Impact Assessment in Sanand Area by Evaluating Land Use/Cover Monitoring. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. doi:10.22214/ijraset.2019.4299
- Puentes Ruiz, J. A., & Esguerra Cabrera, M. (2018). Sostenibilidad ambiental del turismo en el Distrito Regional de Manejo Integrado La Tatacoa, Municipio de Villavieja, Departamento del Huila. (*Tesis de maestría*). Universidad de Manizales, Manizales. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3402>
- Qin, R. (2024). Remote sensing and geographical information system as an integrated method of ecological analysis. *E3S Web of Conferences*. doi:org/10.1051/e3sconf/202455304008
- Quoreshi, A. M., Kumar, V., Adeleke, R., Qu, L., & Atangana, A. R. (2022). Editorial: Soils and vegetation in desert and arid regions: Soil system processes, biodiversity and ecosystem functioning, and restoration. *10*. doi:10.3389/fenvs.2022.962905
- Restrepo, J. (2015). El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena (1980-2010). *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*.
- Rokni, K., Ahmad, A., & Hazini, S. (2014). Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery. *MDPI*.

- Sanchez-Diaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista científica*, 33(3), 243-253. doi:org/10.14483/23448350.13370
- Schaller, J. (1992). GIS application in environmental planning and assessment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 16, 337-352. doi:org/10.1016/0198-9715(92)90015-J
- Seen, D. (2003). Geographical information system and remote sensing for monitoring the environment. *Tropical Ecology*, 44(1), 113-119.
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, 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.
- Segura Guzmán, D.A., & Bejarano Flórez, F.S. (2019). Análisis del índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI) en la zona sur del departamento del Tolima. [Tesis de pregrado, Universidad de Ibagué]. <https://hdl.handle.net/20.500.12313/1827>
- Souza Dias, V., Silva de Faria, K. M., Pereira da Luz, M., & Martins Formiga, K. T. (2022). Investigation and Quantification of Erosions in the Margins of Water Bodies: A Systematic Review. *MDPI*.
- Tasbirul Hussain, M., Uddin, M., & Gulam, M. (2021). Assessment of bank erosion-deposition and bankline shifting of Padma River at Chapainawabgonj District in Bangladesh using RS and GIS technique. *International Journal of Scientific & Technology Research*.
- Tha, T., Pima, T., Bhatpuria, D., & Ruangrassamee, P. (2022). Assessment of Riverbank Erosion Hotspots along the Mekong River in Cambodia Using Remote Sensing and Hazard Exposure Mapping. *MDPI*.
- Tsou, M.-H. (2004). Integrating Web-based GIS and image processing tools for environmental monitoring and natural resource management. *Journal of Geographical Systems*, 6, 155-174. doi:10.1007/s10109-004-0131-6
- Van Binh, D., Wietlisbach, B., Kantoush, S., Huu Loc, H., Park, E., Cesare, G., . . . Sumi, T. (2020). A Novel Method for River Bank Detection from Landsat Satellite Data: A Case Study in the. *MDPI*.

- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., ... & Watson, J. E. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature communications*, 7(1), 12558.
- Wisman, D. P. (27 de Diciembre de 2022). Salamina: erosión del río Magdalena está a 500 metros de la cabecera municipal. *Caracol Radio*. Recuperado el 16 de Mayo de 2023, de <https://caracol.com.co/2022/12/27/salamina-erosion-del-rio-magdalena-esta-a-500-metros-de-la-cabecera-municipal/>
- Wu, W., & Liu, Y. (2022). Editorial for the Special Issue: "Integrated Applications of Geo-Information in Environmental Monitoring". *Remote Sens*, 14(4251). doi:10.3390/rs14174251
- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of plant ecology*, 1(1), 9-23.

Anexos

	
<p>Nombre del establecimiento: Observatorio Astronómico La Tatacoa Coordenadas: X 878525 Y 849453</p>	<p>Nombre del establecimiento: El sabor del chivo Coordenadas: X 878439 Y 849330</p>
	
<p>Nombre del establecimiento: Hostal laberinto del cusco Coordenadas: X 878652 Y 849419</p>	<p>Nombre del establecimiento: El deseo del Desierto Coordenadas: X 878712 Y 849426</p>



Nombre del establecimiento: Parador Emanuel
Coordenadas: X 878747 Y 849422



Nombre del establecimiento: Hostal sol de verano
Coordenadas: X 878921 Y 849414



Nombre del establecimiento: La Guaca
Coordenadas: X 879076 Y 849348



Nombre del establecimiento: Posada turística Noches de Saturno
Coordenadas: X 879167 Y 849603



Nombre del establecimiento: Estadero la Tatacoa
Coordenadas: X 879285 Y 849388



Nombre del establecimiento: Posada Rincón el Cabrito
Coordenadas: X 879572 Y 849437



Nombre del establecimiento: La Tranquilidad
Coordenadas: X 879460 Y 849440



Nombre del establecimiento: El tigre de Marte
Coordenadas: X 879856 Y 849257

	
<p>Nombre del establecimiento: Posada Villa del Márquez Coordenadas: X 880004 Y 849217</p>	<p>Nombre del establecimiento: Restaurante la Cagüinga Coordenadas: X 880173 Y 849245</p>
	
<p>Nombre del establecimiento: Achiras Candelabro Coordenadas: X 880183 Y 849235</p>	<p>Nombre del establecimiento: Tatacoa Selfies Coordenadas: X 880192 Y 849248</p>



Nombre del establecimiento:
Artesanías del Desierto
Coordenadas: X 880053 Y 849270



Nombre del establecimiento: Astrosur
Coordenadas: X 880230 Y 849233



Nombre del establecimiento: El amanecer de las estrellas
Coordenadas: X 879192 Y 849401



Nombre del establecimiento: Nuevo
Coordenadas: X 880066 Y 849835



Nombre del establecimiento: El manantial de la Tatacoa
Coordenadas: X 882022 Y 848049



Nombre del establecimiento: El peñón de Constantino
Coordenadas: X 885591 Y 850763



Nombre del establecimiento: Bereshit Bará Flor de Liz
Coordenadas: X 883323 Y 847586



Nombre del establecimiento: Hospedaje Payandé
Coordenadas: X 879152 Y 849580

	
<p>Nombre del establecimiento: Hostal las Brisas Coordenadas: X 889464 Y 856095</p>	<p>Nombre del establecimiento: La Barzalosa Coordenadas: X 882090 Y 848708</p>
	
<p>Nombre del establecimiento: Los Cactus Coordenadas: X 880573 Y 848834</p>	<p>Nombre del establecimiento: Estadero los Hoyos Coordenadas: X 884208 Y 849373</p>



Nombre del establecimiento: Mariluna
Coordenadas: X 880412 Y 848969



Nombre del establecimiento: Piscina los Hoyos
Coordenadas: X 884467 Y 849749



Nombre del establecimiento: Mirador valle de la Tatacoa
Coordenadas: X 880065 Y 849835



Nombre del establecimiento: Sol Picante
Coordenadas: X 882352 Y 847831

	
<p>Nombre del establecimiento: Star Lounge Coordenadas:</p>	<p>Nombre del establecimiento: Lunazul Coordenadas: X 873238 Y 849234</p>
	
<p>Nombre del establecimiento: Piscilodo Coordenadas: X 873231 Y 849235</p>	<p>Nombre del establecimiento: Claro de Luna Coordenadas: X 881442 Y 853206</p>



Nombre del establecimiento: Aires del Desierto
Coordenadas: X 882130 Y 853552



Nombre del establecimiento: El mesón de la Tatacoa
Coordenadas: X 883321 Y 853009



Nombre del establecimiento: Bethel Bioluxury
Coordenadas: X 884158 Y 849347



Nombre del establecimiento: Pachingo la Primavera
Coordenadas: X 881717 Y 849565



Isaac Rubiano. 45 años de edad
Habitante del DRMI por mas de 15 años

1. Pregunta: ¿Ha notado cambios en el paisaje o el ambiente de La Tatacoa en los últimos años?

Respuesta: Sí, hemos observado cambios en la vegetación, en la disponibilidad de agua y en la cantidad de construcciones. También ha aumentado la presencia de visitantes, lo que ha impactado algunos sectores del ecosistema.

2. Pregunta: ¿Cuáles cree que son los principales problemas ambientales en la zona?

Respuesta: Algunos de los principales problemas que identificamos son la deforestación, el aumento de residuos sólidos, la erosión del suelo y la reducción de fuentes de agua. También nos preocupa el crecimiento de construcciones sin planificación adecuada.



Yureidy Rojas. 36 años de edad
Habitante del DRMI por 8 años

1. Pregunta: ¿Cómo cree que el uso de tecnología como imágenes satelitales y mapas puede ayudar a proteger La Tatacoa?

Respuesta: Creemos que estas tecnologías pueden ayudar a monitorear los cambios ambientales y detectar los lugares más afectados. Así, se pueden tomar mejores decisiones para proteger el ecosistema y regular actividades que puedan causar daño.

2. Pregunta: ¿Cómo ha impactado la actividad humana en su vida cotidiana dentro del distrito?

Respuesta: El turismo ha traído beneficios económicos, pero también ha generado problemas como el aumento de residuos y el deterioro de algunos caminos. También hemos notado cambios en la temperatura y menos disponibilidad de agua en ciertas épocas del año.



Policía de turismo – Distrito de manejo integrado la tatacoa

1. Pregunta: ¿Qué medidas cree que podrían tomarse para reducir los impactos negativos en el distrito?

Respuesta: Se podrían implementar programas de educación ambiental, mejorar la gestión de residuos, regular la construcción de nuevas infraestructuras y fortalecer la vigilancia de las zonas protegidas. También sería útil involucrar más a la comunidad en la toma de decisiones

2. Pregunta: ¿Qué herramientas utilizan actualmente para monitorear y controlar estos impactos ambientales?

Respuesta: Actualmente contamos con patrullajes periódicos, monitoreos en campo y reportes de la comunidad. Sin embargo, el uso de herramientas tecnológicas como imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG) podría mejorar significativamente la capacidad de control y prevención.

3. Pregunta: ¿Cuáles son las principales dificultades que enfrentan en la vigilancia y protección del área?

Respuesta: Algunas de las principales dificultades incluyen la falta de personal suficiente, recursos limitados para monitoreo continuo, dificultades en el acceso a ciertas zonas y la necesidad de mayor conciencia y cooperación por parte de la comunidad y visitantes.

4. Pregunta: ¿Cómo considera que un modelo basado en SIG y teledetección podría fortalecer la gestión ambiental en el DRMI La Tatacoa?

Respuesta: Un modelo de este tipo permitiría una detección temprana de cambios en el territorio, facilitando la toma de decisiones informadas. También ayudaría a optimizar la vigilancia y a priorizar acciones en las zonas más vulnerables, mejorando la eficiencia en la protección del área.

5. Pregunta: ¿Qué acciones considera necesarias para complementar la implementación de este modelo y garantizar su efectividad?

Respuesta: Sería clave capacitar al personal en el uso de estas herramientas tecnológicas, establecer protocolos de respuesta ante cambios detectados, fortalecer la articulación con la comunidad y garantizar recursos para el mantenimiento y actualización del sistema de monitoreo.