

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA
CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE SECCIÓN DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR
MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**



AUTORES:

MARLON DAVID BALLENA ACOSTA

JEFFERSON CHARRYS GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA
CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE SECCIÓN DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR
MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**

AUTORES:

MARLON DAVID BALLENA ACOSTA

JEFFERSON CHARRYS GUTIÉRREZ

DIRECTOR(A)

FERNANDO ANAYA PAYARES

MAGISTER EN SALUD OCUPACIONAL

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

AGRADECIMIENTOS

A Dios, primeramente, porque me ha iluminado el camino y me ha permitido llegar hasta esta instancia tan importante de mi vida. A mis padres porque han guiado y apoyado cada paso que doy siendo fundamentales en la persona que soy. A mi compañero Jefferson Charrys, quién me acompañó en esta importante travesía para alcanzar el máximo merito académico que es finalizar nuestra tesis de grado. A mi tutor Fernando Anaya, quién con sus consejos estuvo delimitando y aportando significativamente a esta idea, que hoy surge y es uno de los tantos peldaños de la escalera de la vida.

MARLON DAVID BALLENA ACOSTA



AGRADECIMIENTOS

Primero y ante todo, a la fuerza divina que guía mis pasos, iluminando cada desafío y bendiciendo cada logro. A mis padres, arquitectos de mi carácter y pilares de mi esencia, gracias por ser el faro constante en mi vida. A Marlon Ballena, compañero de mil batallas académicas, juntos hemos navegado las aguas a veces turbulentas de esta tesis. Y a Fernando Anaya, maestro y mentor, cuya sabiduría ha esculpido esta obra, convirtiéndola en un escalón más en el infinito ascenso de la vida.

JEFFERSON CHARRYS GUTIÉRREZ



DEDICATORIA

A Melanie Vanessa, luz centelleante que ilumina mis días; a Keyler David, mi valiente aventurero que me recuerda la magia de lo desconocido; y a Yisela, mi roca y cómplice en esta danza llamada vida. En este libro de aventuras que escribimos juntos, ustedes son los protagonistas, los héroes y la inspiración detrás de cada palabra. Con amor y gratitud, en cada página y en cada suspiro

- *Marlon David Ballena Acosta*

A mis pilares, Edgar Enrique y Yesenia, que con su sabiduría cimentaron mi vida; a Novelis, mi brújula y compañera de aventuras, y a Kylian José y Keily Marcela, las estrellas que iluminan mi existencia. En este viaje llamado vida, ustedes son mi mapa, mi destino y mi razón de ser.

- *Jefferson Charrys Gutiérrez*



RESUMEN

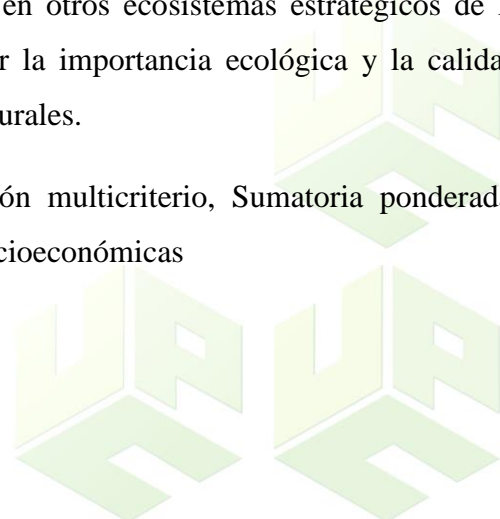
Este proyecto presenta resultados de la evaluación de la calidad ecológica en la Cuenca del Canal del Dique, utilizando la metodología de Evaluación Multicriterio de Sumatoria Ponderada. Se recolectó información geoespacial de variables biofísicas y socioeconómicas, como geología, geomorfología, pendiente del terreno, precipitaciones, unidades hidrológicas, uso agrológico, importancia de la biodiversidad, estructura ecológica principal, clasificación arqueológica, zonificación ambiental, grado de conflictividad, distritos de riego, obras de restauración de las ciénagas y la división político-administrativa de los municipios de la cuenca.

Se asignaron pesos a cada variable según su impacto ambiental y se realizó la conversión de las cartografías a formatos raster. Luego, se llevó a cabo la Evaluación Multicriterio de Sumatoria Ponderada, operando matemáticamente las imágenes satelitales obtenidas y realizando la reclasificación de los valores para obtener las zonas de alta calidad ecológica.

Los resultados revelaron que la variable de agrológica tuvo el mayor valor e impacto ambiental en la cuenca, debido a la clasificación del uso agrológico de la tierra. Por otro lado, las obras de restauración de las ciénagas tuvieron una relación de valoración positiva sin impactos negativos asociados.

Se recomienda complementar los estudios futuros con otras variables de relevancia y consultar fuentes adicionales de información, como institutos científicos y bases de datos académicas. Además, se sugiere replicar este enfoque en otros ecosistemas estratégicos de la región y del mundo, con el fin de reconocer y valorar la importancia ecológica y la calidad ambiental para una gestión sostenible de los recursos naturales.

Palabras Claves: Calidad ecológica, Evaluación multicriterio, Sumatoria ponderada, Cuenca del Canal del Dique, y, Variables biofísicas y socioeconómicas



ABSTRACT

This project presents the results of the evaluation of ecological quality in the Canal del Dique Basin using the methodology of Multicriteria Evaluation with Weighted Sum. Geospatial information was collected for biophysical and socioeconomic variables including geology, geomorphology, terrain slope, precipitation, hydrological units, agrological land use, biodiversity importance, main ecological structure, archaeological classification, environmental zoning, conflict level, irrigation districts, wetland restoration projects, and the political-administrative division of municipalities within the basin.

Weights were assigned to each variable based on their environmental impact, and the cartographic data were converted into raster formats. Subsequently, the Multicriteria Evaluation with Weighted Sum was performed by mathematically operating the obtained satellite imagery and reclassifying the values to identify areas of high ecological quality.

The results revealed that the agrology variable had the highest value and environmental impact in the basin due to the classification of land agrological use. Conversely, wetland restoration projects showed positive value assessment without associated negative impacts.

It is recommended to complement future studies with other relevant variables and consult additional sources of information such as scientific institutes and academic databases. Furthermore, it is suggested to replicate this approach in other strategic ecosystems within the region and worldwide to recognize and value ecological importance and environmental quality for sustainable natural resource management.

Keywords: *Ecological quality, Multicriteria evaluation, Weighted sum, Canal del Dique Basin, and Biophysical and socioeconomic variables.*

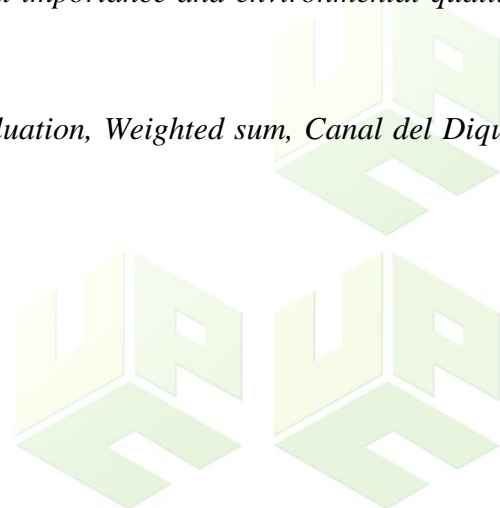
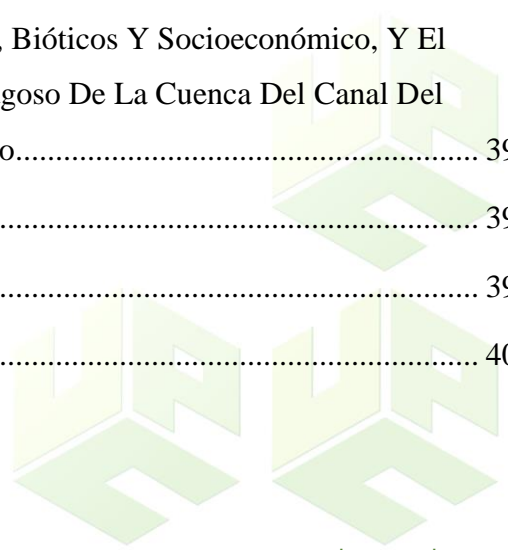


TABLA DE CONTENIDO

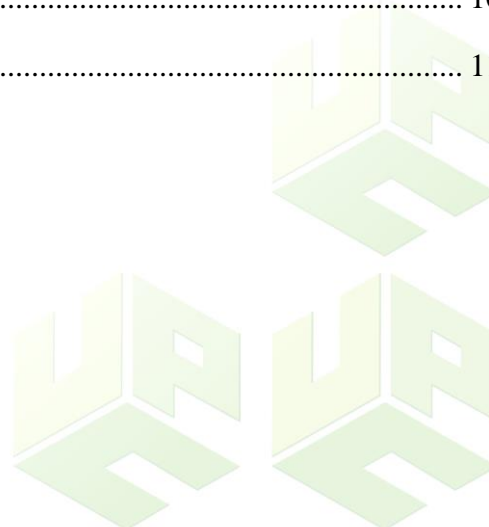
| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO | 19 |
| 3. OBJETIVOS | 21 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 21 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 21 |
| 4. MARCO REFERENCIAL..... | 22 |
| 4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 22 |
| 4.2. MARCO TEÓRICO..... | 25 |
| 4.2.1. Ecología | 25 |
| 4.2.1.1. Modelos de Clasificación de Zonas Ecológicas..... | 25 |
| 4.2.2. Conectividad Ecológica | 26 |
| 4.2.3. Características ecológicas | 27 |
| 4.2.4. Comunidades Ecológicas | 27 |
| 4.2.5. Gestión Ambiental | 28 |
| 4.2.6. Sistemas de Información Geográfica | 28 |
| 4.3. MARCO CONCEPTUAL | 29 |
| 4.4. MARCO CONTEXTUAL..... | 30 |
| 4.4.1. Información General de la Cuenca del Canal del Dique..... | 30 |
| 4.5. MARCO LEGAL..... | 33 |
| 5. MARCO METODOLÓGICO..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 5.1. LÍNEA, SUB-LÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN..... | 35 |
| 5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN | 35 |
| 5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN | 35 |
| 5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO | 35 |
| 5.5. MUESTRA POBLACIONAL | 36 |
| 5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 37 |
| 5.7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA..... | 37 |
| Etapa 1. Caracterización De La Línea Base De Los Componentes Físicos, Bióticos Y Socioeconómico Del Complejo Cenagoso De La Cuenca Del Canal Del Dique En El Departamento De Bolívar, Colombia | 37 |
| Actividad 1.1. Variables Biofísicas. | 37 |
| Actividad 1.2. Variables Socioeconómicas. | 38 |
| Etapa 2. Definición De Los Valores De Ponderación De Los Componentes Físicos, Bióticos Y Socioeconómico Mediante Análisis De Zonificación Del Complejo Cenagoso De La Cuenca Del Canal Del Dique En El Departamento De Bolívar, Colombia..... | 38 |
| Actividad 2.1. Selección De Criterios | 38 |
| Actividad 2.2. Relaciones De Pesos. | 38 |
| Etapa 3. Zonificación De Los Componentes Físicos, Bióticos Y Socioeconómico, Y El Valor De La Calidad Ecológica Del Complejo Cenagoso De La Cuenca Del Canal Del Dique Mediante Sistema De Información Geográfico..... | 39 |
| Actividad 3.1. Zonificación Componentes | 39 |
| Actividad 3.2. Zonificación Calidad Ecológica..... | 39 |
| 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS | 40 |



| | |
|--|----|
| 6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y SOCIOECONÓMICO DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR, COLOMBIA | 40 |
| 6.1.1. Variables Biofísicas | 42 |
| 6.1.1.1. Geología..... | 42 |
| 6.1.1.2. Geomorfología..... | 47 |
| 6.1.1.3. Pendiente..... | 55 |
| 6.1.1.4. Agua..... | 56 |
| 6.1.1.4.1. Isoyetas..... | 56 |
| 6.1.1.4.2. Unidades Hidrológicas | 57 |
| 6.1.1.4.3. Índice NDWI..... | 59 |
| 6.1.1.5. Suelos..... | 62 |
| 6.1.1.5.1. Uso Agrológico..... | 62 |
| 6.1.1.6. Flora y Fauna..... | 63 |
| 6.1.1.6.1. Importancia de la Biodiversidad..... | 63 |
| 6.1.1.6.2. Estructura Ecológica Principal..... | 65 |
| 6.1.2. Variables Socioeconómicas | 66 |
| 6.1.2.1. Sociocultura | 66 |
| 6.1.2.1.1. Clasificación Arqueológica..... | 66 |
| 6.1.2.1.2. Zonificación Ambiental..... | 67 |
| 6.1.2.1.3. Conflictos Del Uso..... | 69 |
| 6.1.2.2. Economía, Infraestructura y Productividad..... | 70 |
| 6.1.2.2.1. Distrito de Riego..... | 70 |
| 6.1.2.2.2. Obras de Restauración de Ciénagas..... | 71 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 6.1.2.2.3. | División Administrativa e Infraestructura Vial. | 72 |
| 6.1.2.2.4. | Índice NDBI. | 73 |
| 6.2. | DEFINICIÓN DE LOS VALORES DE PONDERACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y SOCIOECONÓMICO MEDIANTE ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR, COLOMBIA | 75 |
| 6.2.1. | Selección De Criterios | 75 |
| 6.2.1.1. | Clases Biofísicas. | 75 |
| 6.2.1.2. | Clases Socioeconómicas. | 82 |
| 6.2.2. | Relaciones De Peso..... | 86 |
| 6.3. | ZONIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y SOCIOECONÓMICO, Y EL VALOR DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO..... | 87 |
| 6.3.1. | Zonificación De Componentes | 87 |
| 6.3.2. | Zonificación Calidad Ecológica..... | 104 |
| 7. | CONCLUSIONES | 106 |
| 8. | RECOMENDACIONES..... | 109 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 112 |



LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Sistema de Clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge | 25 |
| Figura 2. Tipos de conexiones espaciales | 26 |
| Figura 3. Localización de la cuenca del Canal del Dique..... | 31 |
| Figura 4. Trayecto del canal del Dique por Varios Municipios..... | 32 |
| Figura 5. Localización general del área de la cuenca del Canal del Dique | 40 |
| Figura 6. Delimitación General de la Cuenca del Canal del Dique y su Zona de Influencia | 41 |
| Figura 7. Unidades Geológicas de la cuenca del Canal del Dique | 42 |
| Figura 8. Unidades Geomorfológicas de la cuenca del Canal del Dique..... | 48 |
| Figura 9. Clasificación de la pendiente de la cuenca del Canal del Dique | 55 |
| Figura 10. Distribución de las Isoyetas (precipitaciones) en la cuenca del Canal del Dique | 56 |
| Figura 11. Cuencas Generales del Canal del Dique y embalse del Guajaro..... | 58 |
| Figura 12. Manejo actual del agua caudales medios..... | 59 |
| Figura 13. Índice de Agua de Diferencia Normalizada de la Cuenca del Canal del Dique..... | 61 |
| Figura 14. Clasificación Agroecológica del Suelo del Canal del Dique..... | 62 |
| Figura 15. Clasificación de la Importancia de la Biodiversidad de la cuenca del Canal del Dique | 64 |
| Figura 16. Zonificación de la Estructura Ecológica Principal del Canal del Dique | 65 |
| Figura 17. Clasificación sociocultural de los hallazgos arqueológico en la cuenca del Canal del Dique..... | 66 |
| Figura 18. Zonificación Ambiental de la cuenca del Canal del Dique | 67 |
| Figura 19. Grado de conflictividad por uso del suelo de la Cuenca del Canal del Dique | 69 |
| Figura 20. Distritos de Riego de la cuenca del Canal del Dique | 70 |
| Figura 21. Obras de restauración de las ciénagas de la cuenca del Canal del Dique..... | 71 |
| Figura 22. Municipios que integran la zona de influencia de la cuenca del Canal del dique | 72 |
| Figura 23. Índice de Diferencia Normalizada Edificada de la Cuenca del Canal del Dique | 74 |
| Figura 24. Reclasificación de los atributos de la variable Geología..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| Figura 25. Reclasificación de los atributos de la variable Geomorfología | 89 |
| Figura 26. Reclasificación de los atributos de la variable Pendiente del Terreno | 90 |
| Figura 27. Reclasificación de los atributos de la variable Isoyetas de Precipitaciones | 91 |
| Figura 28. Reclasificación de los atributos de la variable subcuencas | 92 |
| Figura 29. Reclasificación de los atributos de la variable NDWI..... | 93 |
| Figura 30. Reclasificación de los atributos de la variable de Uso Agrológico | 94 |
| Figura 31. Reclasificación de los atributos de la variable Importancia de la Biodiversidad | 95 |
| Figura 32. Reclasificación de los atributos de la variable Estructura Ecológica Principal..... | 96 |
| Figura 33. Reclasificación de los atributos de la variable Arqueología | 97 |
| Figura 34. Reclasificación de los atributos de la variable Zonificación Ambiental | 98 |
| Figura 35. Reclasificación de los atributos de la variable Grado de Conflictividad..... | 99 |
| Figura 36. Reclasificación de los atributos de la variable Distritos de Riegos..... | 100 |
| Figura 37. Reclasificación de los atributos de la variable División Administrativa..... | 101 |
| Figura 38. Reclasificación de los atributos de la variable Obras de Restauración | 102 |
| Figura 39. Reclasificación de los atributos de la variable NDBI..... | 103 |
| Figura 40. Clasificación Porcentual de las Categorías de Calidad Ecológica | 104 |
| Figura 41. Calidad Ecológica de la Cuenca del Canal del Dique | 105 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Referencias Legales y Normativas consideradas para el proyecto | 33 |
| Tabla 2. Características físicas y poblacionales de los municipios | 36 |
| Tabla 3. Cuencas Generales y Subcuencas del Canal del Dique y embalse del Guajaro | 57 |
| Tabla 4. Asignación de Puntajes a los Atributos Geológicos de la Cuenca del Canal del Dique. | 75 |
| Tabla 5. Asignación de Puntajes a los Atributos Geomorfológicos de la Cuenca del Canal del Dique | 76 |
| Tabla 6. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Pendiente de la Cuenca del Canal del Dique | 77 |

| | |
|---|----|
| Tabla 7. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Precipitación Media Anual de la Cuenca del Canal del Dique..... | 79 |
| Tabla 8. Asignación de Puntajes a las subunidades hidrológicas de la Cuenca del Canal del Dique | 80 |
| Tabla 9. Asignación de Puntajes a los Atributos del Índice de Agua de Diferencia Normalizada – NDWI, de la Cuenca del Canal del Dique | 80 |
| Tabla 10. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Clasificación Agrológica del Suelo de la Cuenca del Canal del Dique..... | 81 |
| Tabla 11. Asignación de Puntajes a los Atributos de Valor de Importancia de la Biodiversidad de la Cuenca del Canal del Dique..... | 82 |
| Tabla 12. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Estructura Ecológica Principal de la Cuenca del Canal del Dique..... | 82 |
| Tabla 13. Asignación de Puntajes a los Atributos del Valor Arqueológico de la Cuenca del Canal del Dique..... | 82 |
| Tabla 14. Asignación de Puntajes a los Atributos de Zonificación Ambiental de la Cuenca del Canal del Dique..... | 83 |
| Tabla 15. Asignación de Puntajes a los Atributos de Grado de Conflictos de la Cuenca del Canal del Dique..... | 83 |
| Tabla 16. Asignación de Puntajes a los Atributos de Distritos de Riego de la Cuenca del Canal del Dique..... | 84 |
| Tabla 17. Asignación de Puntajes a los Atributos de Obras de Restauración de las Ciénagas de la Cuenca del Canal del Dique..... | 84 |
| Tabla 18. Asignación de Puntajes a los Atributos de Influencia Municipal de la Cuenca del Canal del Dique..... | 84 |
| Tabla 19. Asignación de Puntajes a los Atributos del Índice de Diferencia Normalizada Edificada, de la Cuenca del Canal del Dique..... | 85 |
| Tabla 20. Relación de Peso entre las Variables de Análisis | 86 |

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas brindan oportunidades desde sus funciones ecológicas, bienes y servicios ambientales y recursos naturales, sin embargo, la estructura, integridad y biodiversidad de estos están en peligro por la sobre explotación de estos, la demanda que estos ofertan es reducida y no alcanzan para suministrar y satisfacer las necesidades de los seres humanos, produciendo un entorno altamente degradado y sin oportunidades de recuperación.

Conforme al razonamiento practicado y la situación actual de los ecosistemas de lagunas y humedales que surca el canal del Dique, es indicado presentar que las características principales que llevaron a considerar este estudio es que no se tiene información de como estos ecosistemas han evolucionado con el tiempo y como, la intromisión de elementos antrópicos afecta la naturalidad y rareza, así como permite determinar zonas altamente endémicas y primitivas del entorno de estas.

Debido a esto, entonces se puede mencionar que las principales causas que llevaron a plantear este trabajo son asociadas al detrimento ambiental de estos ecosistemas por consecuencia de la sobre explotación, el uso extractivo de recursos hidrobiológicos y vegetales, los vertimientos de aguas residuales, el pastoreo de ganado y la agricultura extensiva, la quema y tala de árboles y mangles, el depósito de residuos sólidos, la transformación y adecuación del paisaje con fines extractivistas y económicos, entre muchos otros que se deben distinguir en la exploración de datos de este trabajo.

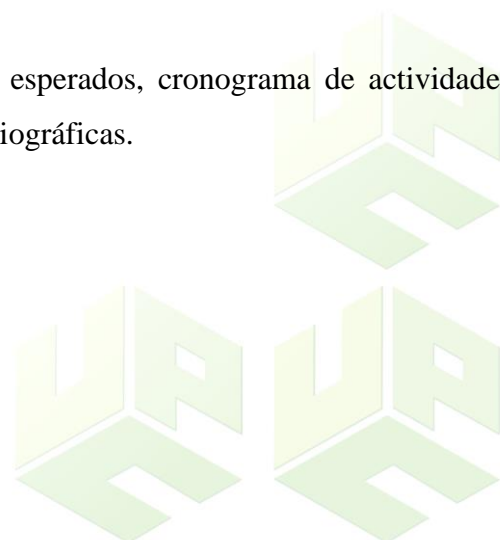
Consecutivamente, estas fueron las principales razones que motivaron a los investigadores a formular este trabajo y sobre todo radicando el interés en que, aunque son ecosistemas altamente impactados y muy poco estudiados, es posible encontrar aún en ellos lugares que contengan condiciones nativas y primigenia, y que por características y accesibilidad resguarden información original de estos para la constitución de estrategias de restauración, recuperación y rehabilitación ambiental.

Cabe resaltar que para conseguir esto se emplearán imágenes satelitales e información desarrollada en torno a estos ecosistemas, empleando un Sistema de Información Geográfico, de la cual se extraerá información de atributos asociados a los componentes biofísicos y socioeconómicos, también, adentrándose en la revisión de información.

Para obtener los resultados de esta investigación se propone una metodología que implica la asociación de variables con diferentes jerarquías en sus atributos y diferentes pesos de importancia, tomando como base los componentes ambientales como factores de análisis y que serán sometidos a una evaluación multicriterio de sumatoria ponderada mediante herramienta que presenta el sistema de información geográfico.

Este documento se constituye de cuatro capítulos así:

- i. *Primer Capítulo:* constituido por el planteamiento y formulación del problema, justificación del proyecto y objetivos del proyecto.
- ii. *Segundo Capítulo:* constituido por los antecedentes de la investigación, marco teórico, marco conceptual, marco contextual y el marco legal, para conformar el marco referencial.
- iii. *Tercer capítulo:* constituido por la línea, sublínea, área temática de investigación, enfoque de la investigación, alcance de la investigación, población de estudio, muestra poblacional, diseño de la investigación y estrategia metodológica, para conformar el marco metodológico.
- iv. *Cuarto capítulo:* constituido por los resultados esperados, cronograma de actividades, presupuesto de la investigación y referencias bibliográficas.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los ecosistemas del mundo se encuentran amenazados por el calentamiento global y el cambio climático, la deforestación y la sobreexplotación de los recursos (ACNUR, 2019) la intención del ser humano para recuperarlos es limitada por la gobernabilidad y los intereses políticos (Quintero, 2008) que chocan en contra de los principios que se deben considerar para gestionar de manera correcta el aprovechamiento de los recursos naturales.

Por otra parte, aunque todos tienen sus intereses políticos, la recuperación de los ecosistemas es un compromiso no adquirido por las naciones, aunque pertenezcan a tratados internacionales y así lo interpreta y aplicada cada persona, puesto que se actúa de manera inconsciente y no se valora correctamente el valor ecosistémico y la calidad de la biodiversidad en su rol para las funciones de sostenibilidad y sustentabilidad. (BBC, 2021).

En Colombia, los ecosistemas son claves y más en este periodo gubernamental presidencial, puesto que son pilares de la economía verde que propone el Presidente Gustavo Petro (Universidad Javeriana, 2022), sin embargo, el 46% de los ecosistemas del país están en riesgo y peligro crítico, encontrando que solo el 16% están protegidos, un 32% son de preocupación menor. (Ambiente y Sociedad, 2017).

Los ecosistemas estratégicos de mayor representatividad de Colombia son las zonas de humedales y ciénagas. Aunque se han adelantado planes de manejo, la gobernabilidad y el grado para ejercer territorialidad es un factor que conlleva a la pérdida de los planes de acción encaminados a la conservación y/o recuperación de estas. Aunque uno de los

Como tal, la construcción del Canal del Dique fue una solución de interés económico y con connotación social, sobre todo, para proteger a personas que habitaban en zonas inundables, con alrededor de 27 kilómetros de concreto, sin embargo, la afectación sobre los ecosistemas de ciénagas y humedales fue notable, en la actualidad, se aúnan esfuerzos para poder recuperarlos más cuando la accesibilidad y la extensión de la línea agrícola favorece la presencia de incendios

forestales provocados, la deforestación de vastas extensiones de tierra como terreno para la agricultura y la ganadería, por otra parte, se encuentra la tala y quema del mangle. (López, 2017).

Por otra parte, las ciénagas como ecosistemas estratégicos en torno al Canal de Dique han sido fundamentales para el sostenimiento y seguridad alimentaria de los habitantes, pero la sobreexplotación y la pobreza han llevado a situaciones que enferman la salud ecosistémica. Además, los fenómenos naturales también han impactado sobre la calidad y fragilidad de este complejo cenagoso en torno a lo que hoy se denomina el Canal del Dique.

En cuestionamiento a todo lo expuesto nunca se han practicado estudios en torno de la evaluación de la calidad de estos ecosistemas, puesto que la extensión geográfica era una desventaja, sin embargo, en este documento se presentará de manera estratégica como aprovechar información secundaria para poder evaluar la calidad ecológica de los complejos cenagosos en torno al canal del dique, y para ello, los autores, conociendo la información de la problemática, formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál será la evaluación de la Calidad Ecológica del Complejo Cenagoso del canal del dique sección departamento de Bolívar, Colombia, mediante Sistema de Información Geográfica?



2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Llevar a cabo este trabajo es importante porque se tendrá un resultado de la calidad ecosistémica actual, conforme a múltiples factores estudiados que inciden en el valor ecosistémico de las ciénagas por las cuales transcurre el canal del dique y será la primera observación sobre la cual se pueden hacer planificaciones que ayuden a mejorar las condiciones del complejo cenagoso e impacte directamente sobre la calidad de la vida.

Por lo anterior, esta investigación se realizó porque aún se desconoce el impacto ambiental positivo que tienen estos ecosistemas para el desarrollo de la vida de las comunidades campesino-anfibias del Bolívar y partes del Magdalena, además, permite identificar los puntos que tienen mayor potencial ecológico, sobre todo, por su biodiversidad e inaccesibilidad por las actividades antrópicas.

Por consiguiente, el desarrollo de esta investigación es sinónimo de buscar las mejores características de este ecosistema afectado, con la finalidad de detectar las zonas menos afectadas, y que, además, tenga menos condiciones antrópicas, que pueda servir de referentes para futuros estudios biológicos e investigativos. En todo caso, obtener información espacial de la distribución de los puntos de mayor valor sería pertinentes puesto que se conseguiría un referente para programas de restauración ecológica con especies propias de los ecosistemas.

Conforme a los resultados obtenidos, los principales beneficiarios serán las entidades de ordenamiento territorial, quienes pueden tomar este resultado como insumo para planificar sobre sus territorios y realizar programas orientados a la sostenibilidad ecosistémica, a la mejora y recuperación de los actuales ecosistemas y definición también del límite de valor ecológico del complejo cenagoso que se asienta en la influencia del canal del dique.

Además, los principales beneficios de este estudio fueron que se obtuvo una caracterización y ponderación de valores que ayudaron a comprender el impacto y su distribución en relación con las entidades y atributos de estudio. Esta información, considerando los factores relacionados con el estudio, también brindó una comprensión desde el punto de vista socioambiental y económico

de los efectos ambientales sobre la calidad de los ecosistemas estratégicos cercanos al canal del Dique, especialmente los complejos cenagosos que se encuentran en esa área.

Con los resultados de este trabajo también se generó cartografía temática que puede ser objeto de múltiples estudios, dentro de las dimensiones de la economía, la sociedad y el medio ambiente, además, que puede tener múltiples funciones y utilidades, por lo cual, esta información puede hacer parte de un silo cartográfico que desee constituir el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, o hacer parte de este, en caso dado esté constituido.

Por otra parte, este trabajo permite tener un marco de referencia para posteriores estudios de índole investigativo, en materia de medio ambiente y desarrollo socioeconómico, y sobre todo para este último componente, del cual, se tiene poca información consolidada en un solo elemento gráfico. Otra problemática que se soluciona es que al fin se tiene una referencia más pertinente para evaluar la calidad del ecosistema, pero también se tiene una metodología transversal, que puede también aplicarse desde diferentes aspectos de determinación de potencial ecológico.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la Calidad Ecológica del Complejo Cenagoso de la Cuenca del Canal del Dique sección departamento de Bolívar mediante Sistema de Información Geográfico

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar la Línea Base de los Componentes Físicos, Bióticos y Socioeconómico del Complejo Cenagoso de la Cuenca del Canal del Dique en el departamento de Bolívar, Colombia

Realizar la Definición de los Valores de Ponderación de los Componentes Físicos, Bióticos y Socioeconómico Mediante Análisis de Zonificación del Complejo Cenagoso de la Cuenca del Canal del Dique en el departamento de Bolívar, Colombia

Zonificar los Componentes los Componentes Físicos, Bióticos y Socioeconómico, y el Valor de la Calidad Ecológica del Complejo Cenagoso de la Cuenca del Canal del Dique mediante Sistema de Información Geográfico



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), (2021), desarrolló el artículo titulado "El Canal del Dique, un megaproyecto fluvial que busca recuperar ecosistemas degradados, pero también mitigar el impacto de posibles inundaciones en la región Caribe ante fenómenos climáticos", se presenta un análisis detallado del proyecto de restauración del Canal del Dique en Colombia. El autor realiza esta investigación con el objetivo de mostrar las medidas que se están tomando para recuperar los ecosistemas degradados del Canal del Dique y mitigar el impacto de posibles inundaciones en la región Caribe ante fenómenos climáticos. Para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación, se realizó un análisis de la situación actual del Canal del Dique y se presentaron las acciones y medidas que se están implementando para su restauración y conservación. Como resultado de la investigación, se obtuvieron importantes medidas prácticas para la restauración del Canal del Dique, como la construcción de diques y la limpieza del canal para permitir el flujo adecuado del agua. El aporte que realiza este antecedente es principalmente práctico, ya que presenta medidas y soluciones concretas para la restauración de un importante cuerpo de agua en Colombia, lo que puede servir como modelo para otros proyectos similares en el país y en la región.

Espinosa, J. (2019), desarrolló la investigación titulada Apoyo Cartográfico Aplicado en la Georreferenciación y Delimitación de los Ecosistemas de Humedales, como Insumo para las Áreas y Ecosistemas Estratégicos en la Fase de Diagnostico del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental (POMCA) de la Cuenca de Rio Negro por la Jurisdicción de la CAR; para optar el título de Ingeniero Catastral y Geodesta, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con la finalidad de utilizar la interpretación de imágenes y el procesamiento de imágenes digitales pueden transformar la base de datos de las áreas producidas por la cartografía en un sistema de información espacial a todos los niveles, donde se van mejorando los productos existentes. Esta investigación se llevó a cabo en seis (6) etapas; primeramente, se realizó una revisión cartográfica para delimitar las zonas de mayor interés, a través de este estudio se mejoró la delimitación de ecosistemas de humedales con base en información ambiental, social y económica, logrando una actualización de

humedales existentes de 52 a 3,125 en 6,076 cuerpos de agua existentes en la cuenca. Este estudio demostró el potencial del uso de la interpretación de imágenes y su actualización como un insumo necesario en la selección de decisiones relacionadas con la geodesia y el uso de SIG. Los aportes directos al presente estudio son la enseñanza de cómo manejar y diseñar un plan para utilizar un SIG y así manejar un volumen de información.

Sánchez, M. (2018), desarrolló la investigación titulada Identificación de Áreas a Reforestar Mediante Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográficos (Caso los Córdoba – Córdoba) ; para optar el título de Especialista en Información Geográfica, en la Universidad de Manizales, con la finalidad de demostrar la importancia que conllevan los sistemas de información geográficos para la identificación de los procesos de pérdidas de cobertura vegetal y la zonificación de áreas con prioridad a reforestación. Esta investigación se llevó a cabo en tres (3) etapas; estas fueron: ETAPA 1: en esta fase de la investigación, el autor identificó los criterios espaciales de cada variable a estudiar en el Municipio Los Córdoba. ETAPA 2: en segunda instancia el autor realizó una evaluación multicriterio para el análisis de variables. ETAPA 3: por último, se hizo una zonificación de áreas prioritarias a reforestar. Los resultados de la investigación fueron que el 8% del territorio (2.966 Ha) deben ser reforestado de forma inmediata, a corto plazo deben ser reforestadas las áreas que presentan el 44% del Municipio, es decir, 15.308 Ha. Los aportes directos al presente estudio son el manejo y la importancia que se le da a los Sistemas de Información Geográficos como herramienta para realizar estudios para la toma de decisiones.

Tamayo D. & León, F. (2017), desarrollaron la investigación titulada Diseño y Elaboración de una Herramienta SIG Enfocada a la Sistematización de Experiencias en Educación y Gestión Ambiental a Nivel Distrital; para optar el título de Especialistas en Educación y Gestión Ambiental, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con la finalidad de promover los sistemas de información geográfica para la contribución de tratamiento de información, interacción y análisis de conceptos ambientales para percibir los procesos que se atribuyen a un territorio y las acciones antrópicas de este. Esta investigación se llevó a cabo en tres (3) etapas, en primer lugar, los autores construyeron una base de datos de las características de los actores y la población teniendo en cuenta aspectos ambientales y geográficos, a partir de un SIG se ingresó la

base de datos además de la información cartográfica de Bogotá para conocer los aspectos ambientales encontrados en la base de datos y finalmente, elaboraron una cartilla para formar a los usuarios del uso de la herramienta. Esta investigación aporta positivamente a nuestro proyecto en la manera de como se le da utilidad e importancia a los sistemas de información geográfica para demostrar y verificar aspectos ambientales en cualquier territorio.

Díaz A. (2017), desarrolló la investigación titulada Evaluación de Sistemas Agroforestales Mediante la Implementación de Sistemas de Información Geográficos; para optar el título de Ingeniera Agroforestal, en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, con la finalidad de identificar zonas adecuadas para la implementación de los sistemas agroforestales mediante georreferenciación. Esta investigación se llevó a cabo en cuatro (4) etapas; en primer lugar, el autor realizó una descripción de las características y funcionalidades de los sistemas agroforestales, para luego utilizar un sistema de información geográfico como herramienta de georreferenciación para obtener información agrícola y forestal. Los resultados de la investigación fueron que los suelos identificados presentan baja presencia de Materia Orgánica y minerales, así mismo se obtuvo un análisis de las condiciones de la calidad de estos suelos para ejercer mecanismos de recuperación y/o conservación. Los aportes directos al presente estudio son la metodología empleada para la identificación de las condiciones ecológicas que presentan las zonas estudiadas para la implementación de sistemas agroforestales mediante un sistema de información geográfico.

González, V. & Rivera, L. (2016), desarrollaron la investigación titulada Diseño de una Herramienta SIG para la Definición de Áreas de Conectividad Ecológica con Fines de Conservación de *Choloepus Hoffmani* como Estrategia de Gestión Territorial En 5 Municipios del departamento de Cundinamarca; para optar el título de Especialista em Información Geográfica, en la Universidad de Manizales. Se desarrolló a través de tres fases metodológicas, comenzando con la identificación de las variables estructurales del hábitat de esta especie, así como las variables paisajísticas asociadas y la identificación de redes de conectividad ecológica como propuesta de conservación y manejo del territorio. Se tomaron en cuenta las variables de precipitación, temperatura, humedad, pendiente de pendiente y cobertura del suelo y se utilizó el método o modelo Delphi para obtener ponderaciones de calidad y obtener un mapa de distribución de

especies. Los resultados de la investigación fueron la identificación como factores más relevantes las cualidades de los factores físicos naturales y antrópicos que pueden reducir la permanencia de una especie en un lugar determinado, en este caso los arbustos perennes, la cadena hidroeléctrica del Río Bogotá CASALACO, la carretera y Urbana Nueva Esperanza. Los aportes directos al presente estudio son el uso de Model Builder para consolidar los geoprosos del SIG como una herramienta eficiente y económica cuando se trabaja con múltiples insumos.

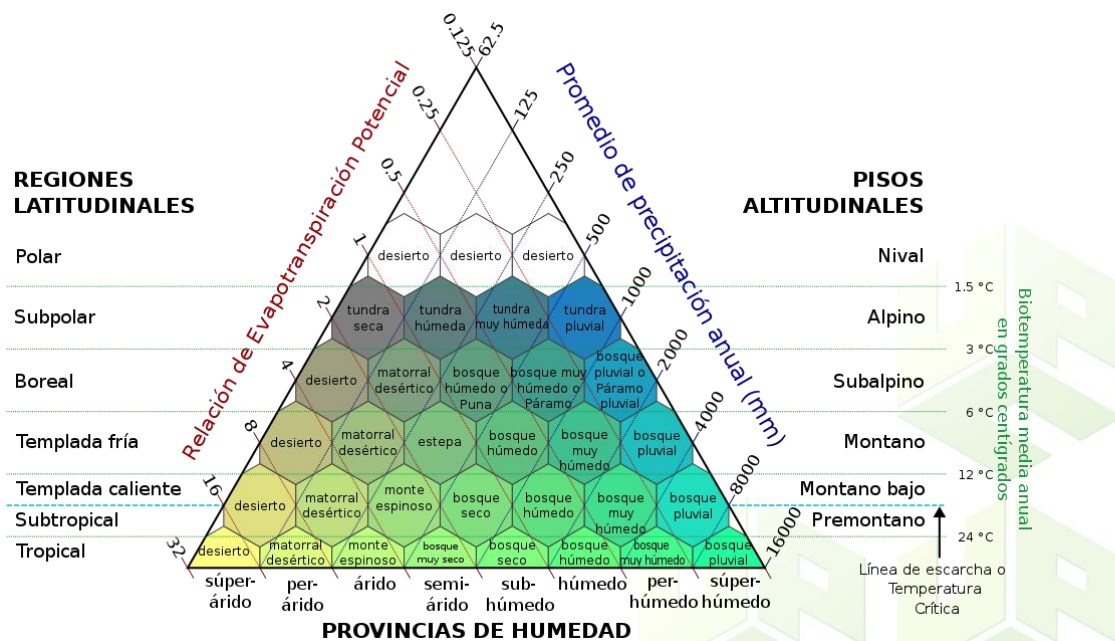
4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Ecología

De acuerdo con Dobzhansky T. (1973) La ecología, es el estudio de las interacciones de los organismos vivos, incluidos los factores abióticos y bióticos, se ubica entre las ciencias de nivel superior en lo que respecta a las poblaciones, las comunidades, los ecosistemas y la biosfera. Los ecólogos modernos como Molles (2006) definen varios niveles de estudio: (1) Organismo, (2) Población, (3) Comunidad, (4) Ecosistema y (4) Biosfera.

4.2.1.1. Modelos de Clasificación de Zonas Ecológicas

Figura 1. Sistema de Clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge



Nota: Tomado por autores (2023), Holdridge 1982.

Las ecorregiones representan grandes extensiones de la superficie terrestre donde crecen plantas y animales, y gracias a estos estudios ecológicos se han desarrollado modelos de clasificación de zonas de vida, por ejemplo, tenemos un esquema que clasifica diferentes regiones según el comportamiento bioclimático desarrollado por Leslie Holdridge, donde define las zonas de vida como un conjunto de asociaciones vegetales dentro de una división climática natural, que surgen, teniendo en cuenta condiciones efímeras y etapas sucesionales, y tienen características fisiológicas similares en todo el mundo.

4.2.2. Conectividad Ecológica

La conectividad ecológica se entiende desde una perspectiva horizontal y vertical, siendo la primera un conjunto de fenómenos físicos y biológicos que brindan la oportunidad de establecer relaciones que se perciben en un contexto espacial, mientras que la segunda se refiere a la gestión social y ambiental que es causado por la interacción de la estructura del país y la economía de la sociedad. (Díaz, y otros, 2006)

Se han generado varios estudios sobre este tema y se han aplicado a ejercicios cartográficos en los que se han derivado acciones cuantitativas que permiten describir espacialmente estos fenómenos.:

Figura 2. Tipos de conexiones espaciales



Nota: Tomado por Autores (2023) de (Díaz, Schmitz, & Hernández, Conexiones Espaciales, 2002).

La conectividad ecológica es la capacidad de un territorio para permitir el movimiento de organismos, constituyendo una propiedad del territorio para una especie en particular o para un grupo funcional de especies con requerimientos ecológicos y capacidades de dispersión similares. (Gurrutuxaga & Lozano, 2008)

Una de las consecuencias de los procesos ecológicos, originada por el cambio espacial del paisaje, se produce por procesos de fragmentación del hábitat, es decir, pérdida de la unidad natural. (Gurrutuxaga & Lozano, 2008)

4.2.3. Características ecológicas

De acuerdo con las Políticas de Humedales Ramsar, las características ecológicas son la combinación de los componentes, procesos y servicios ecosistémicos que caracterizan a la zona en un determinado momento, estas características ecológicas se interpretan dentro de dos factores ecológicos que son los bióticos y abióticos.

4.2.4. Comunidades Ecológicas

La comunidad ecológica se refiere a un conjunto de poblaciones con historia evolutiva común, que se encuentran interactuando en espacio y tiempo, (Flores, 2012). Los ecólogos tratan de entender a estas comunidades como agrupación de especies, teniendo en cuenta su distribución y las variantes dinámicas que puedan presentar.

Dentro de los atributos de comunidades ecológicas se menciona:

La forma de vida (formas de crecimiento de la vegetación predominante)

Lista de especies, son atributos cualitativos que componen la comunidad

Riqueza de especies, valor cuantitativo de las especies presentes

Abundancia relativa

Dominancia, especies que ejercen mayor influencia en la estructura del ecosistema

Diversidad específica, variabilidad de organismos presentes en el ecosistema.

4.2.5. Gestión Ambiental

La gestión ambiental es un sistema de prácticas, leyes, políticas y acciones destinadas a organizar las actividades antrópicas de tal manera que causen un daño mínimo al medio ambiente. La gestión ambiental hace parte de los conceptos de desarrollo sostenible en los planes de la Agenda 21 que presentó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). (López, 2019)

Dentro de algunas herramientas de la Gestión Ambiental se mencionan:

- Legislación Ambiental
- Educación Ambiental
- Planes de Manejo
- Ordenamiento Territorial
- Estudios de Impacto Ambiental
- Auditorias Ambientales
- Etiquetado Ecológico
- Sistemas de diagnóstico e información ambiental, entre otros.

4.2.6. Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) pueden simular y analizar datos relacionados con factores territoriales como ríos, rangos de temperatura, áreas boscosas, distribución espacial natural, etc. Además, se pueden analizar diversos parámetros naturales como la vegetación, la elevación, la proximidad a zonas urbanas o la presencia de humedales para generar mapas de adecuación territorial o distribución potencial para identificar áreas clave donde se puede encontrar una especie. (Matallanes, 2014)

Principalmente con un sistema de información geográfica se pueden dar solución a las siguientes situaciones:

- **Localización:** características de un lugar específico.

- **Condición:** cumplir o no condiciones impuestas.
- **Tendencia:** relaciones situacionales temporales o en lapsos de tiempo.
- **Rutas:** estimación de decisión sobre criterios de ruteo.
- **Pautas:** relaciones específicas entre dos contextos geográficos.
- **Modelos:** simulación de modelos a partir actuaciones.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

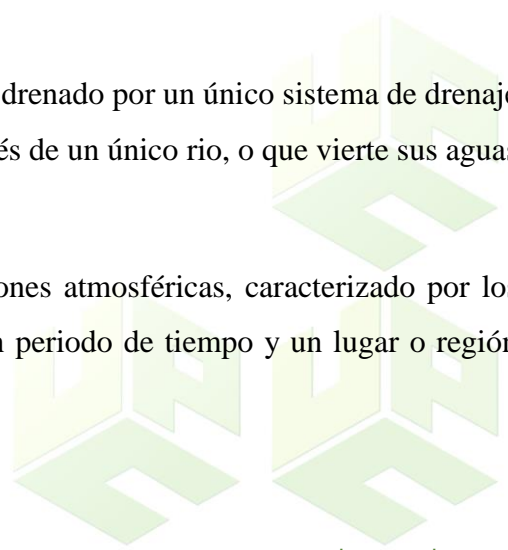
Ambiente: el concepto de ambiente ha estado asociado de manera exclusiva a los sistemas naturales, a la protección y a la conservación de los ecosistemas, es una relación única entre los factores bióticos y abióticos, sin medir un análisis o una reflexión sobre la incidencia de los aspectos socioculturales, políticos y económicos en la dinámica de dichos sistemas naturales. (SINA, 2002)

Biodiversidad: el concepto de biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros sistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte, comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas. (Convenio de la Diversidad Biológica, 1992)

Desarrollo Sostenible: Es el que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, preserva el medio ambiente local y global y fomenta una auténtica mejora de la calidad de vida. (Fernández & Gutiérrez, 2013).

Cuenca: una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas llegan hasta el mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. (Wilches, 2018)

Clima: es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados. (IDEAM)



Ecosistema: Se refiere a los seres vivos y a los elementos no vivos que habitan una zona determinada y a las interacciones biológicas, químicas y físicas que se producen entre ellos. (Dechoumla, 2010)

Sistema de Información Geográfica: Un SIG permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica, es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos y los muestra en una representación gráfica, están diseñados para almacenar, manipular, analizar y desplegar información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada. (MinEducación)

4.4. MARCO CONTEXTUAL

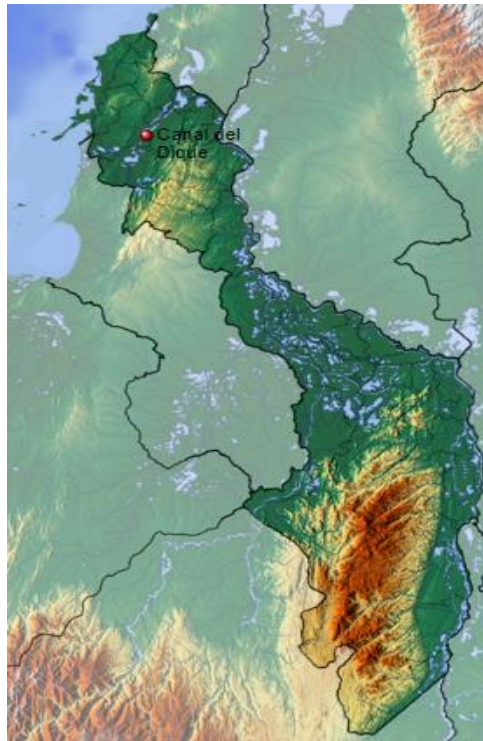
4.4.1. Información General de la Cuenca del Canal del Dique

La cuenca hidrográfica del canal del Dique se encuentra en el extremo Norte del curso de agua del río Magdalena, sobre la zona deltaica de sus desembocadura en el mar caribe, se encuentra localizado de acuerdo a las coordenadas geográficas 9°45' y 10°45' de latitud Norte y 74°45' y 75°30' de longitud Oeste. (Aguilera, 2006)

Hacia el norte se extiende hasta la Serranía del piojo, en el departamento del Atlántico y hacia el sur hasta la serranía de San Jacinto, en el departamento de Bolívar, por el oriente limita con el río Magdalena, donde se origina el canal del Dique y por el oeste con el mar caribe. (Aguilera, 2006)



Figura 3. Localización de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por Autores (2023) de la Página de Wikipedia, en la sección establecida para la localización del Canal del Dique.

El canal del dique tiene una longitud de 115 Kilómetros, 50 curvas, 65 metros de ancho en promedio y una profundidad que varía entre los 3 metros en época seca y entre los 7 a 10 metros en la época de lluvias, (Cormagdalena & Unal, 2006). El canal del Dique se encuentra presente en tres departamentos: Atlántico, Bolívar y Sucre, mientras que su área de influencia se extiende hasta el sector marino incluyendo las bahías de Barbaçoas y Cartagena, Islas Rosario y San Bernardo.

La pesca, la agricultura y la ganadería son las principales fuentes de la economía en la región, lo que conlleva al fraccionamiento del hábitat por acciones antrópicas y repercute causando contaminación en la cuenca hídrica. (Cormagdalena & Unal, 2006)

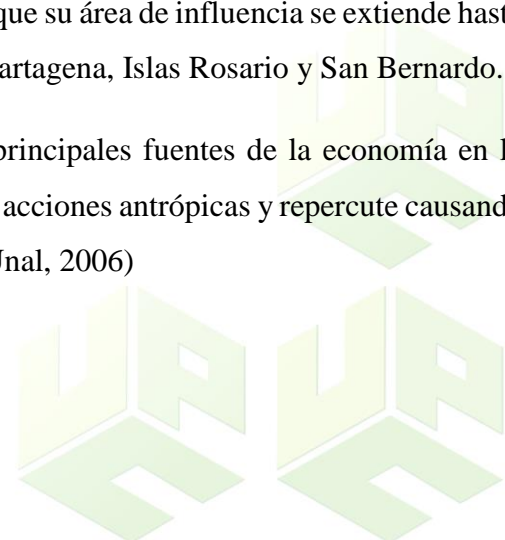
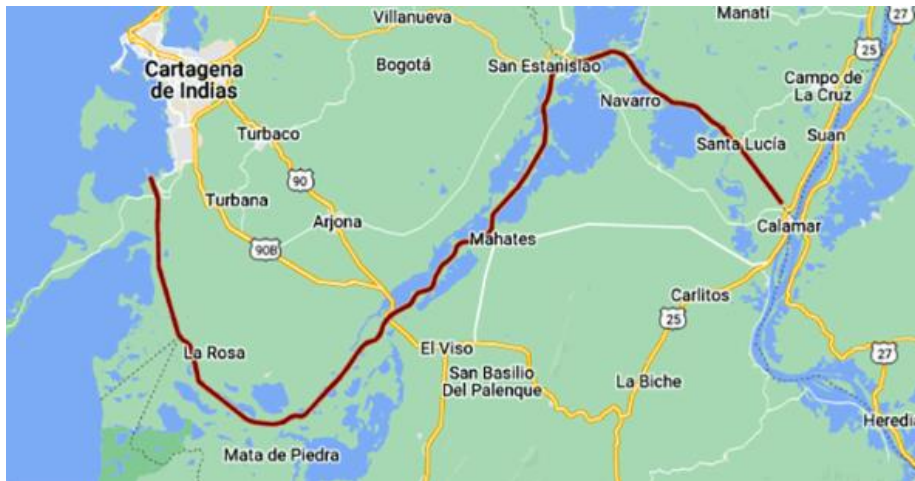


Figura 4. Trayecto del canal del Dique por Varios Municipios.



Nota: Tomado por Autores, 2023.

La cuenca del Canal del Dique está constituida dentro de la política ambiental como un Ecosistema Estratégico, ya que provee múltiples bienes y servicios ecosistémicos, esta cuenca fue declarada por el Gobierno Nacional como área de manejo especial desde el año 1978 de acuerdo con el Decreto 1751 del mismo año. (Aguilera, 2006)



4.5. MARCO LEGAL

Tabla 1. Referencias Legales y Normativas consideradas para el proyecto

| Normativa | Descripción | Aplicación |
|-------------------------------|--|--|
| Constitución Política de 1991 | <p>Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p> | Las directrices generales deben ser respetadas como derechos y obligaciones de todos los ciudadanos que se identifican como colombianos. |
| Ley 23 de 1973 | Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones. | Dado que en el objeto de análisis se requiere la planificación de los recursos naturales, se deben considerar lineamientos normativos. |
| Ley 99 de 1993 | Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. | En la medida en que se solicite información a las entidades científicas del SINA, se deberá considerar la normativa que las sustente. |

| Normativa | Descripción | Aplicación |
|-------------------------|--|--|
| Decreto 2811 de 1974 | Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. | Como existe oposición a la creación de lineamientos para la protección y uso sustentable de los recursos naturales, se necesita apoyo legal en esta materia. |
| Decreto 1076 de 2015 | Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. | Reglamentado en el Libro 2 Parte 2 Título 2ª referente a la Biodiversidad Capítulo 1, 2 y 4. |
| Decreto 1640 de 2012 | Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos y se dictan otras disposiciones. | Dado que en el objeto de análisis se requiere la planificación de los recursos naturales, se deben considerar lineamientos normativos. |
| Decreto 1741 de 1978 | Por el cual se reglamenta la creación de un Área de Manejo Especial al Canal del Dique. | Reglamentado por la Ley 23 de 1983, el Decreto Ley 2811 de 1974 y los Decretos 2349 de 1971 y 133 de 1976. |
| Resolución 1415 de 2012 | Por la cual se actualiza y modifica el modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) contenido en la Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales adoptada en la resolución 1503 del 04 de agosto de 2010. | Como se creará cartografía y almacenará información cartográfica se desarrollará la metodología referente. |
| Resolución 471 de 2020 | Por medio del cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia. | Los mapas deben cumplir con los requisitos de calidad y materiales necesarios, por lo que se aceptan especificaciones pequeñas. |
| Resolución 529 de 2020 | Por medio de la cual se modifica la Resolución 471 de 2020 “Por medio del cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia”. | Las cartografías deben cumplir con características y elementos necesarios conforme a criterios y por lo tanto se adopta los requisitos técnicos mínimos. |

Nota: Tomado de la sección normativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE, 2022) y del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2022).

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA, SUB-LÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Estos tres aspectos claves de direccionamiento del proyecto se obtienen conforme a lo establecido en el acuerdo No. 003 del 08 de julio de 2021, en donde se indica que la línea de investigación correspondiente es Sostenibilidad y Gestión Ambiental. En el orden de ideas de la temática, la sub línea de acción se denomina Gestión Integral de la Biodiversidad y el Patrimonio Ambiental, situado en el área temática Ecosistemas Estratégicos para la Conservación y desarrollo de la Región. (UNICESAR, 2021).

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

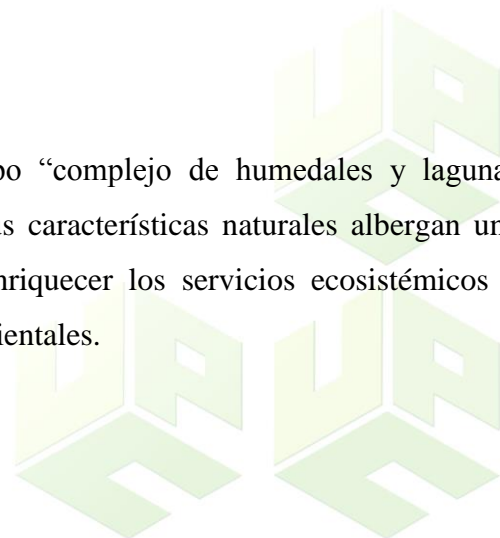
De acuerdo con Hernández S. y Mendoza T. (2018), se define que las investigaciones cuantitativas son aquellas que toman información numérica que pueden dar una razón de análisis o medida. En este caso particular, se busca medir la extensión de los ecosistemas estratégicos aledaños al canal del dique, por lo tanto, requiere un análisis multivariado de diferentes coberturas que se hayan practicado en esta zona.

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Conforme a Hernández S. y otros (2014), se define que la investigación es de alcance descriptivo, puesto que con el análisis de la información colectada mediante imágenes satelitales se pretende describir características que ayuden a evaluar la calidad ecológica de los ecosistemas estratégicos aledaños al canal del dique.

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Corresponde a los ecosistemas estratégicos tipo “complejo de humedales y lagunas ecuatoriales”, como hábitat y nicho, los cuales, por sus características naturales albergan una importante cantidad de biodiversidad, que ayuda a enriquecer los servicios ecosistémicos y también a mejorar la provisión de bienes y recursos ambientales.



5.5. MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional es no probabilística y dirigida y corresponde al complejo de humedales y ciénagas conformados alrededor del Canal del Dique, en el departamento de Bolívar, partiendo el recorrido de estudio el transecto longitudinal que cumple el canal del dique, en sus 115 kilómetros, iniciando desde el municipio de Calamar y continuando a través de la jurisdicciones de los municipios Santa Lucía, San Cristóbal, San Estanislao de Kostka, Arjona, María La Baja y Cartagena de Indias, siendo los primeros municipios y el último la capital del departamento de Bolívar, aunque se hacen otras inclusiones considerando que parte del área de influencia directa se encuentra primordialmente en el departamento de Atlántico, en donde se asientan municipios como Luruaco, Repelón, Manatí y con influencia de Sabana Larga.

Tabla 2. Características físicas y poblacionales de los municipios

| <i>Municipios</i> | <i>Área (km²)</i> | <i>Población (N° habitantes)</i> |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| <i>Santa Lucía</i> | <i>384</i> | <i>12.406 habitantes</i> |
| <i>San Cristóbal</i> | <i>252</i> | <i>5.274 habitantes</i> |
| <i>San Estanislao de Kotska</i> | <i>567</i> | <i>11.605 habitantes</i> |
| <i>Arjona</i> | <i>448</i> | <i>57.908 habitantes</i> |
| <i>María La Baja</i> | <i>648</i> | <i>71.293 habitantes</i> |
| <i>Cartagena de Indias</i> | <i>609</i> | <i>1.003.685 habitantes</i> |
| <i>Luruaco</i> | <i>172</i> | <i>16.279 habitantes</i> |
| <i>Repelón</i> | <i>398</i> | <i>30.350 habitantes</i> |
| <i>Manatí</i> | <i>385</i> | <i>22.821 habitantes</i> |
| <i>Sabana Larga</i> | <i>37</i> | <i>4.267 habitantes</i> |

Nota: Tomado y Adaptado por los Autores (2023) a partir del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas – DANE. (2018). Hay otros municipios que integran la cuenca del canal del Dique que no son expuestos aquí, sin embargo, serán discutidos en los resultados.

Durante este recorrido se da principal importancia a la Ciénaga de Jobo, Ciénaga de Guájaro, Ciénaga del Totumo, Ciénaga Limpia, Ciénaga de Quintanilla, Ciénaga de Luisa, Ciénaga Matuya, Ciénaga Aguas Claras, Ciénaga La Cruz, Ciénaga Jinete, Ciénaga de Correa, Ciénaga de María La Baja, Ciénaga de Juan Gómez, Ciénaga Honda, entre otras pequeñas lagunas que se

identificarán durante la obtención de información, las cuales, conforman una extensión de aproximadamente 1000 kilómetros cuadrados.

En cuanto a su población natural, el área seleccionada para el estudio del Canal del Dique posee una cobertura vegetal diversa (Salgado & Londoño-Murcia, 2018):

Manglares: El Canal del Dique alberga varios ecosistemas de manglares en su desembocadura en la Bahía de Cartagena. Los manglares son importantes para la conservación de la biodiversidad y la protección de la costa contra la erosión y los efectos de las marejadas y los huracanes.

Vegetación acuática: El Canal del Dique también alberga una gran variedad de vegetación acuática, incluyendo juncos, totoras y lirios de agua. Esta vegetación proporciona hábitat para una gran variedad de especies acuáticas, como peces, aves y reptiles.

Vegetación de ribera: A lo largo de las riberas del Canal del Dique, se pueden encontrar diferentes especies de árboles y arbustos, como el mangle rojo, el caracolí, el balso y la ceiba. Esta vegetación es importante para la conservación de los suelos y la prevención de la erosión.

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Conforme a lo planteado por Hernández S. y Mendoza (2018), el diseño de la investigación es no experimental de clase transeccional o transversal y de tipo descriptivo, puesto que se tomará información existente en un único momento, la cual ayudó a explicar diferentes contextos que asemejen o expliquen la situación en estudio.

5.7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Etapa 1. Caracterización De La Línea Base De Los Componentes Físicos, Bióticos Y Socioeconómico Del Complejo Cenagoso De La Cuenca Del Canal Del Dique En El Departamento De Bolívar, Colombia

Actividad 1.1. Variables Biofísicas.

Descripción: Se realizó la recopilación de información geográfica y cartográfica del componente biofísico a partir de planes, programas, proyectos y medidas de manejo en torno a los

ecosistemas de humedales y lagunas aledaños a lo que se conocía como el canal del Dique. Esto se hizo con la idea de describirlos y mencionar su importancia para el objetivo de determinar la calidad ecológica.

Actividad 1.2. Variables Socioeconómicas.

Descripción: Se realizó la recopilación de información geográfica y cartográfica del componente socioeconómico a partir de planes, programas, proyectos y medidas de manejo en torno a los ecosistemas de humedales y lagunas aledaños a lo que se conocía como el canal del Dique. Esto se hizo con la idea de describirlos y mencionar su importancia para el objetivo de determinar la calidad ecológica.

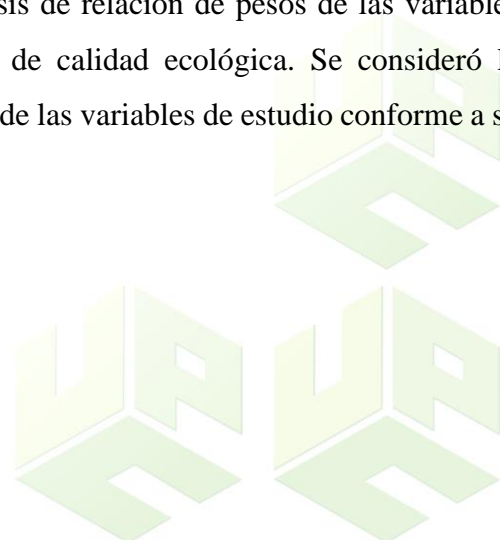
Etapa 2. Definición De Los Valores De Ponderación De Los Componentes Físicos, Bióticos Y Socioeconómico Mediante Análisis De Zonificación Del Complejo Cenagoso De La Cuenca Del Canal Del Dique En El Departamento De Bolívar, Colombia

Actividad 2.1. Selección De Criterios

Descripción: Se realizó la selección de los criterios a partir de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos, conforme a las coberturas obtenidas de las primeras actividades. Se les asignaron las categorías numéricas pertinentes y relaciones descriptivas adecuadas para aclarar la asignación de pesos y jerarquía de orden.

Actividad 2.2. Relaciones De Pesos.

Descripción: Posteriormente, se realizó el análisis de relación de pesos de las variables que se verán implicadas en el análisis de evaluación de calidad ecológica. Se consideró la representatividad, calidad, consistencia y homogeneidad de las variables de estudio conforme a su marco de representación geográfica.



Etapa 3. Zonificación De Los Componentes Físicos, Bióticos Y Socioeconómico, Y El Valor De La Calidad Ecológica Del Complejo Cenagoso De La Cuenca Del Canal Del Dique Mediante Sistema De Información Geográfico

Actividad 3.1. Zonificación Componentes

Descripción: Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcMAP, se desarrolló la distribución espacial y geográfica de los criterios seleccionados y reclasificados, conforme a los atributos ponderados y la asignación de categorías numéricas de importancia.

Actividad 3.2. Zonificación Calidad Ecológica

Descripción: Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcMAP, se desarrolló la distribución espacial y geográfica de la calidad ecológica, realizando una Evaluación Multicriterio de Sumatoria Ponderada para los pesos asignados y la asignación de categorías numéricas de importancia. De esta manera, se revelaron las zonas de mayor representatividad ecológica y ecosistémica en torno a lo que fue el canal del Dique.

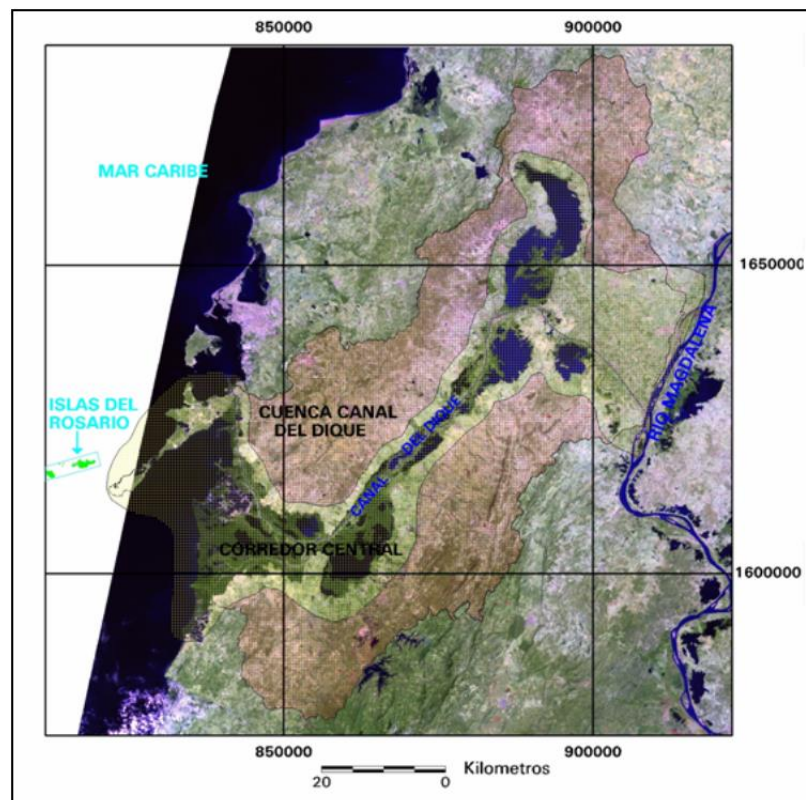


6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y SOCIOECONÓMICO DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR, COLOMBIA

Se realizó una exhaustiva búsqueda de información sobre los ecosistemas estratégicos mencionados, con el objetivo de obtener datos relevantes y actualizados sobre zonificación ambiental. Sin embargo, durante la investigación, se encontró un Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del Canal del Dique, que brinda insumos de gran interés para el desarrollo de este trabajo.

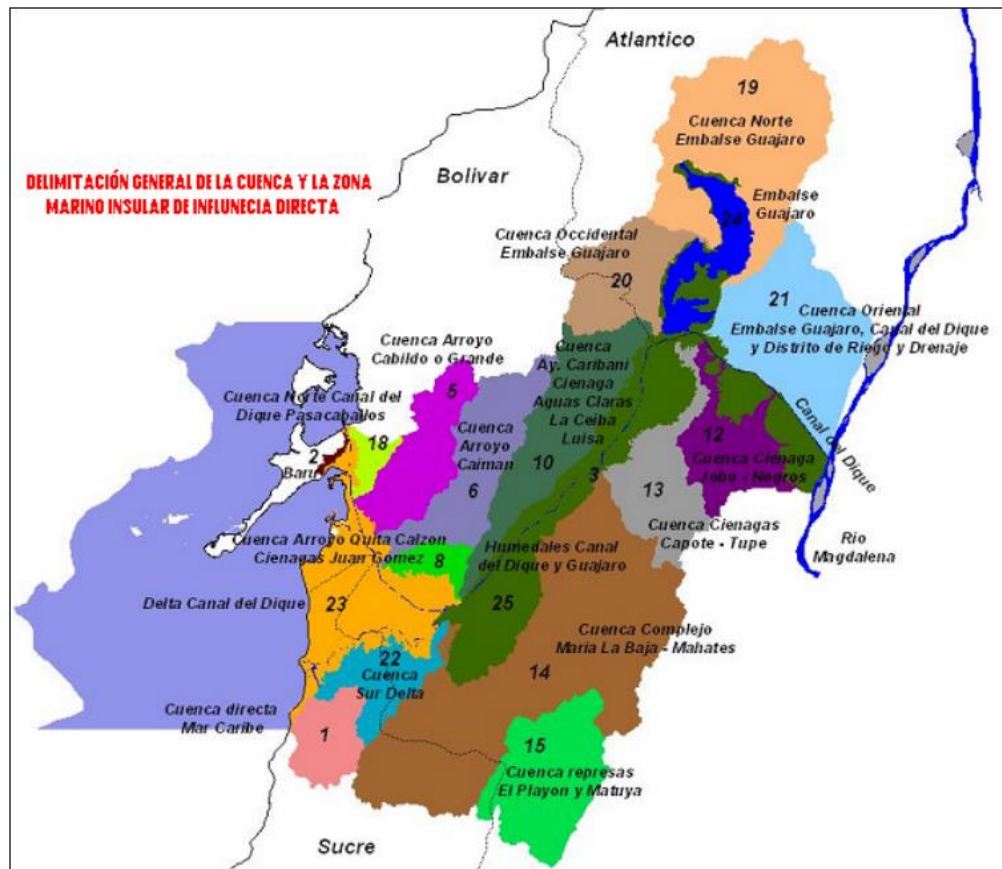
Figura 5. Localización general del área de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

Este POMCA proporciona un marco integral de acciones y lineamientos para la gestión sostenible de la cuenca, abordando aspectos ambientales, socioeconómicos y de planificación. A través de este documento, se obtendrán valiosas directrices y recomendaciones que contribuirán al análisis y la comprensión de la calidad ecológica del Canal del Dique.

Figura 6. Delimitación General de la Cuenca del Canal del Dique y su Zona de Influencia



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

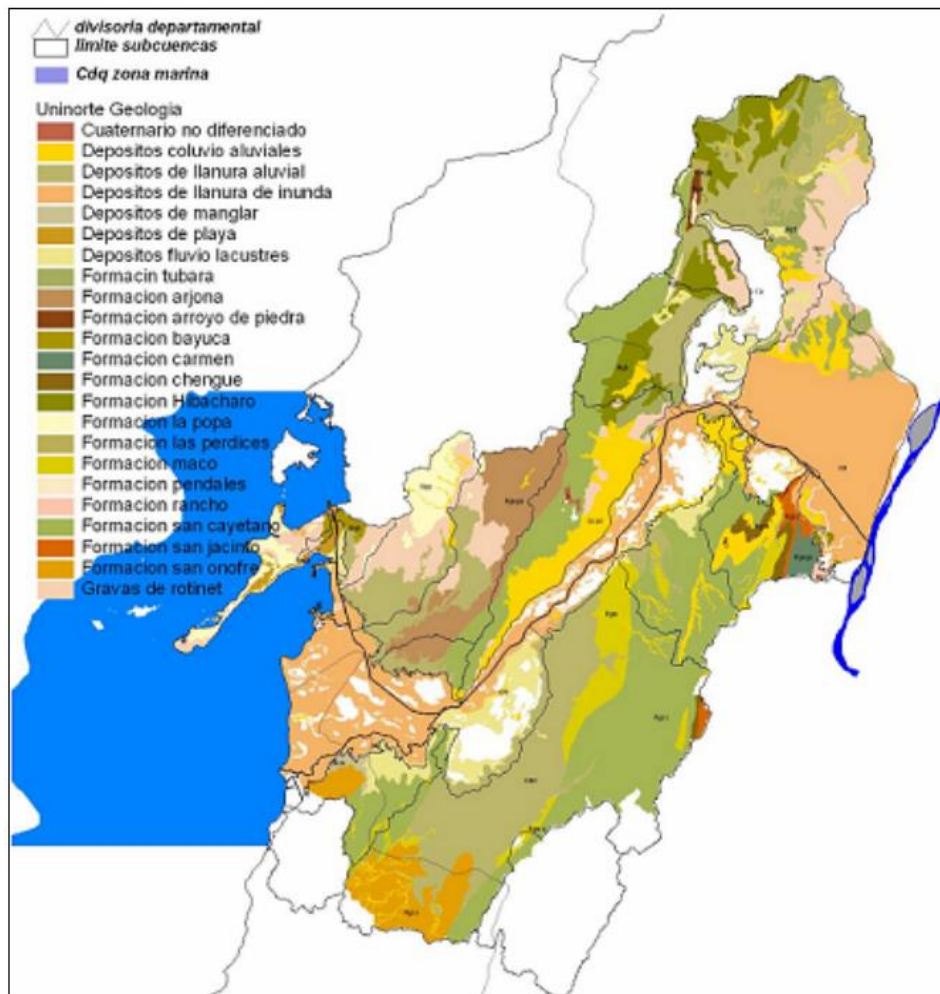
Por otra parte, estas variables fueron completadas con otros indicadores de interés que ayuden a mejorar la comprensión e interacción de ellas como lo son el Índice NDBI o Índice de Diferencia Normalizada Edificada y el Índice NDWI o Índice de Agua de Diferencia Normalizada, la explicación y cálculo de estos será llevada a cabo a medida se avanza en la lectura del documento.

6.1.1. Variables Biofísicas

6.1.1.1. Geología.

La primera variable contemplada corresponde a la **Geología**, la cual tiene una influencia importante dentro del estudio, considerando que las formaciones geológicas tienen una contraposición de los diferentes ecosistemas la variedad de ellos en la extensión territorial.

Figura 7. Unidades Geológicas de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

En el siguiente apartado se hace una descripción amplia de las unidades que conforman la geología de la cuenca del Canal del Dique (CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional , 2007):

- Unidades del Terciario Paleogéneo

La Formación San Cayetano (Pgsc) está compuesta por capas y bancos que varían en espesor de 0,3 a 2 metros. Estos consisten en conglomerados de bloques, areniscas conglomeráticas y areniscas de grano fino de color gris verdoso, compuestas principalmente de cuarzo feldespático. También se encuentran intercalaciones locales de arcillolitas grises oscuras y lodolitas silíceas, así como capas de limolita silícea y chert de hasta 15-20 metros en algunos lugares. Además, hay nódulos de caliza de unos 20 centímetros. Esta formación se encuentra en el costado sur oriental de la cuenca y tiene una extensión de 767,5 kilómetros cuadrados.

La Formación Arroyo de Piedra (Pga) consiste en una secuencia de calizas bioesparíticas compuestas de algas rojas y lodolitas calcáreas con laminación plano-paralela y microfauna. Cubre un área de 5,7 kilómetros cuadrados.

La Formación Pendales (Pgp) está compuesta por un conglomerado polimíctico mal seleccionado con matriz arenosa y con intercalaciones de areniscas de grano grueso líticas. Se encuentra en el sector norte de las estribaciones de la serranía de San Jacinto y abarca un área de 6,2 kilómetros cuadrados.

La Formación Maco (Pgm - Pgma) tiene aproximadamente 500 metros de espesor y está compuesta por bancos de conglomerados arenosos de 1-2 metros de espesor, con capas de areniscas conglomeráticas a finas con cemento silíceo en tonos grises y amarillos. Los conglomerados contienen clastos de rocas ígneas y sedimentarias de tipo chert con tamaños de 3 a 50 centímetros. Hacia la parte superior, se encuentran capas de limolitas y areniscas arcillolitas amarillas de 10 a 50 centímetros de espesor. Aflora en la parte central de la cuenca y abarca un área de 117,6 kilómetros cuadrados.

La Formación Chengue (Pgch) se presenta en franjas y lentes de 0,5 a 1,5 kilómetros de ancho en el costado oriental de los montes de María, aflorando en los municipios de Arroyo Hondo y Calamar. Puede alcanzar un espesor de hasta 300 metros y está compuesta principalmente por calizas algáceas de color amarillo claro, con interdigitaciones de lodolitas y areniscas líticas calcáreas. En algunas áreas, predominan las lodolitas líticas de colores amarillo verdoso y gris rojizo. Tiene una extensión de 21,5 kilómetros cuadrados.

La Formación San Jacinto (Pgsj) aflora en el costado oriental de los montes de María en franjas de 1-2 kilómetros de ancho y dirección suroeste a noreste, cruzando por la localidad de San Jacinto. Está compuesta por capas gruesas de areniscas de color amarillo pardusco, con intercalaciones lenticulares de arcillolitas arenosas amarillas. Hacia la base, existen capas gruesas de conglomerados con guijos y guijarros de granodiorita, chert, cuarzo lechoso y filitas. Tiene una extensión de 19,3 kilómetros cuadrados.

La Formación San Onofre (Pgso) está compuesta por areniscas cuarzosas de color gris amarillo de grano fino a medio, con lentes de areniscas conglomeráticas que contienen clastos de arcillolitas grises en la base. También se encuentran areniscas de grano grueso conglomeráticas con granos subangulares de cuarzo, líticos y feldespatos en una matriz arcillosa. Aparecen capas medias con estratificación plano paralela e intercalaciones de lodolitas de color gris verdoso en capas de 50-60 centímetros. Además, hay niveles de areniscas cuarzosas en una matriz arcillosa de 10-20 centímetros. Aflora en la parte sur de la cuenca y abarca 118,7 kilómetros cuadrados.

La Formación Arjona (PgNga) tiene un espesor de hasta 1.200 metros y está compuesta principalmente por arcillolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas cuarzo-feldespáticas en capas gruesas y medianas de color pardo amarillento. En la base, se presentan niveles de chert radiolarítico y niveles delgados de calizas micríticas, además de concreciones métricas de composición calcárea y arcillolítica. Se encuentra en el sector norte del Embalse El Guájaro y cubre una superficie de 161,3 kilómetros cuadrados.

La Formación Las Perdices (PgNgp) consiste en lodolitas grises con capas laminares y de consistencia fisible, intercaladas con areniscas de grano fino en capas delgadas. Aflora en pequeñas áreas a lo largo de la zona de estudio y cubre una superficie de 8,5 kilómetros cuadrados.

La Formación Carmen (PgNgc) alcanza un espesor de hasta 1.200 metros y está compuesta principalmente por arcillolitas de color gris oscuro y parduzco, con niveles localmente delgados de areniscas pardo amarillento de grano fino a grueso. Destaca la presencia de un nivel de arenisca calcárea de grano medio a grueso, a veces conglomerática, de 35 a 75 metros de espesor, presente al occidente de la localidad del Carmen de Bolívar. Aflora cerca del río Magdalena y cubre una superficie de 16,5 kilómetros cuadrados.

- Rocas del Terciario Neógeno

La Formación Rancho (Ngr) tiene aproximadamente 800 metros de espesor y está compuesta principalmente por areniscas cuarzo feldespáticas de grano fino a medio de color verde oliva claro. Se observan interstratificaciones de arcillolitas en capas gruesas de 1-2 metros del mismo color. Hacia la base, se informa la presencia de un nivel de caliza clástica conocida como Calizas de Barcelona, que se extiende desde San Jacinto hasta el Carmen de Bolívar. Esta unidad abarca un área de 4,5 kilómetros cuadrados.

La Formación Hibachazo (Ngh) tiene un espesor general de unos 800 metros y está compuesta por intercalaciones de arcillolitas y limolitas en capas de 5 a 60 centímetros de espesor. También se encuentran areniscas medias de grano fino a conglomerático de color amarillo y, localmente, niveles delgados de calizas de color amarillo claro. Es común la presencia de yeso diseminado y fósiles en estas rocas. Aflora en la parte norte de las estribaciones de la Serranía de San Jacinto y cubre un área de 148,3 kilómetros cuadrados.

La Formación Tubará (Ngt) está compuesta por areniscas grises amarillentas de grano medio a conglomerático, dispuestas en capas gruesas, con un espesor de 300 a 400 metros. Se encuentran fragmentos abundantes de conchas de bivalvos y gasterópodos, así como nódulos de arenisca calcárea de color gris. También se presentan intercalaciones delgadas y discontinuas de arcillolitas grises oscuras. Aflora en las proximidades de la unidad anterior y ocupa un área de 129,3 kilómetros cuadrados.

La Formación Bayunca (Ngb) tiene un espesor de unos 500 metros. Hacia la base, está compuesta por arcillolitas grises oscuras con intercalaciones de areniscas arcillosas muy finas,

donde es común la presencia de yeso diseminado y capas de hasta 120 centímetros de espesor. En la parte intermedia, predominan capas gruesas de areniscas parduzcas y muy friables de 0,5 a 1 metro de espesor, con intercalaciones de arcillolitas grises. Hacia la parte superior, son más comunes las arcillolitas y limolitas en capas finas de 5 a 100 centímetros, con presencia localizada de grava.

- Rocas del Cuaternario Pleistoceno

La Formación la Popa (Qpp) conforma una plataforma entre los municipios de Turbaco y Turbana. Se presenta localmente como bloques aislados dispersos en estos municipios, con un espesor de 100 metros en la zona de estudio. Está compuesta por bancos de calizas arrecifales de 3 a 4 metros de espesor y color amarillo crema, localmente muy compactas, y areniscas calcáreas pardo amarillentas con delgadas capas de arcillolitas calcáreas de colores grises y amarillos. Hacia la parte superior, dependiendo del grado de meteorización, las calizas presentan aspecto terroso y poroso. Aflora cerca de la desembocadura del Canal del Dique y ocupa un área de 90,2 kilómetros cuadrados.

La Formación Gravas de Rotinet (Qpr) tiene un espesor de 70 metros y está compuesta por gravas, arenas y, localmente, intercalaciones de arcillas. Las gravas consisten principalmente en chert negro y marrón, cuarzo lechoso y fragmentos ígneos. Aflora cerca de la población que lleva su nombre y cubre un área de 308,8 kilómetros cuadrados.

- Depósitos no consolidados del cuaternario

Los Depósitos de llanura costera (Qlc) son depósitos marinos de llanuras de inundación de marismas recientes y subrecientes. Están compuestos por material fino, como limos y arenas, y contienen material orgánico con presencia de sales y un nivel freático muy superficial. Estos depósitos se encuentran en la zona donde el Canal del Dique se conecta con el mar y abarcan un área de 0,2 kilómetros cuadrados.

Los Depósitos eólicos (Qe) tienen una morfología de dunas onduladas y están compuestos por arenas finas y limos. Estos depósitos cubren un área de 0,1 kilómetros cuadrados.

Los Depósitos de playa (Qmp) son depósitos marinos y, en algunos casos, de cauces menores. Están compuestos por arenas, limos y lodos calcáreos, así como abundante material fino. Se encuentran a lo largo de la bahía de Barbacoas y cubren una extensión de 17,1 kilómetros cuadrados.

Los Depósitos de llanura de inundación (Qli) son materiales de limos y arcillas orgánicas compactos y estables. Se encuentran en planicies o valles fluvio-lacustres no activos, sin estar asociados a zonas de ciénagas. Predominan a lo largo del Canal del Dique y cubren un área de 717 kilómetros cuadrados.

Los Depósitos de manglar (Qmm) son depósitos con altos contenidos de materia orgánica y turba, formados por la descomposición de la vegetación de manglar.

Los Depósitos fluviolacustres (Qfl) se componen de arcillas orgánicas con niveles de limos y, en algunos casos, capas de arenas finas. Estos depósitos están asociados con valles fluvio-lacustres amplios y son materiales moderadamente compactos.

Los Depósitos de llanura aluvial (Qlal) están compuestos por limos, arenas finas y capas de arcillas, y son el resultado de antiguos cursos del río Magdalena y otros cauces. En la actualidad, estos depósitos se presentan más compactos y tienen una consistencia moderadamente dura a dura. Afloran en la planicie aluvial que bordea el cauce principal del río Magdalena, cerca de Calamar.

Los Depósitos coluvioaluviales (Qcal) representan materiales aluviales provenientes de cauces menores, como cañadas y quebradas, que se mezclan con materiales de ladera del tipo coluvial y derrubios. Incluyen fragmentos de rocas sedimentarias, como areniscas, limolitas o lodositas, con bordes redondeados (aluviales) y angulares (coluviales). Estos fragmentos se dispersan sobre una matriz arenosa o areno-limosa. Se pueden diferenciar depósitos de abanico coluvio-aluvial y depósitos coluvio-aluviales.

6.1.1.2. Geomorfología.

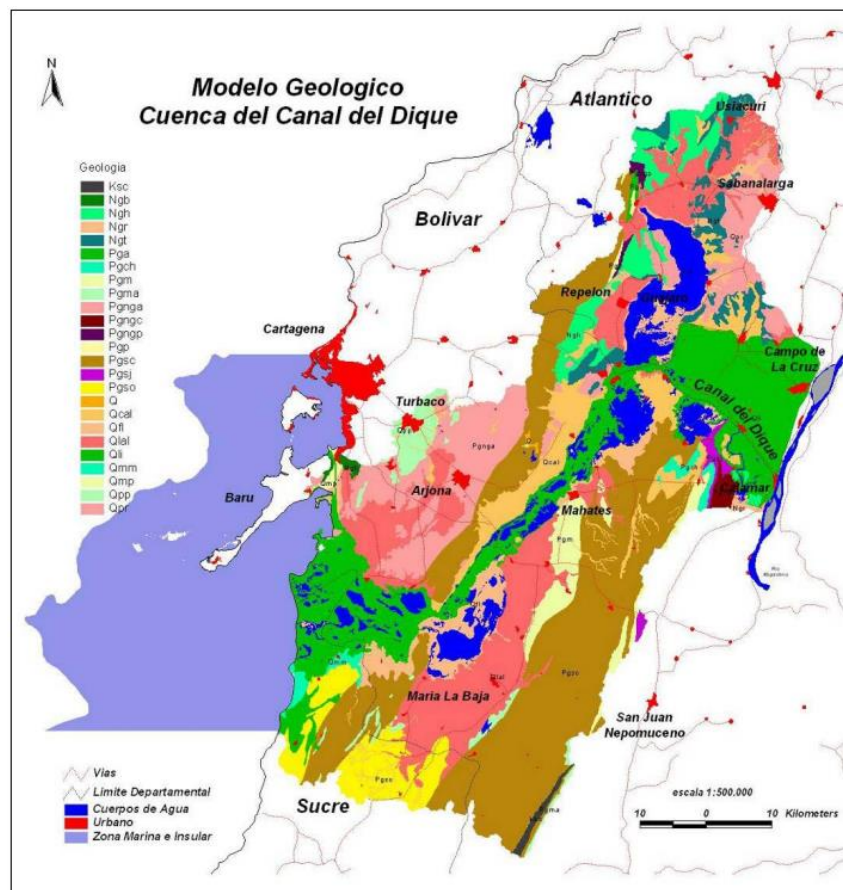
El aspecto visual de un área geográfica se forma debido a la influencia de diferentes fuerzas, tanto internas como externas. Los procesos endógenos, como los movimientos tectónicos, los terremotos y la actividad volcánica, junto con los procesos exógenos, como la erosión causada

por las lluvias, los huracanes y los ríos, son responsables de moldear el paisaje. (Canchola & Sánchez, 2017).

Estos procesos dan lugar a la formación de distintas formas de relieve, que se ven influenciadas por las características inherentes del área, como la composición y estructura del suelo. Asimismo, la dinámica de los materiales en la superficie, incluyendo la erosión y sedimentación, así como el tiempo durante el cual estos procesos han actuado, también contribuyen a la configuración final del paisaje. (Canchola & Sánchez, 2017).

La geomorfología del canal del dique es la presentada a continuación:

Figura 8. Unidades Geomorfológicas de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

La zona abarcada por el Canal del Dique comprende toda la cuenca hidrográfica desde su desvío del río Magdalena en Calamar hasta su desembocadura en el mar Caribe en Pasacaballos. Esta área se caracteriza por la presencia de extensas llanuras de inundación que incluyen un complejo de zonas de ciénagas, y se divide en tres regiones distintas:

- El Alto Canal del Dique, con una extensión de 540,4 kilómetros cuadrados.
- La Zona Central, que abarca 351,2 kilómetros cuadrados.
- El Delta del Canal del Dique, con una extensión de 311,7 kilómetros cuadrados.

La Zona Central se encuentra rodeada por cerros y montañas pertenecientes a la serranía de San Jacinto en el lado este, con una superficie de 1596,39 kilómetros cuadrados. Hacia el lado oeste, se extienden las estribaciones de esta misma serranía, abarcando una superficie de 1212,63 kilómetros cuadrados. Estas áreas presentan un complejo sistema de formas geológicas originadas por procesos de erosión y tectónica. Además, se encuentra la Península de Barbacoas, que ocupa una superficie de 67,8 kilómetros cuadrados e incluye colinas y pequeñas áreas de terreno llano.

Las siguientes describen cada una de las unidades de paisaje fisiográfico de acuerdo con la unidad genética del relieve originario:

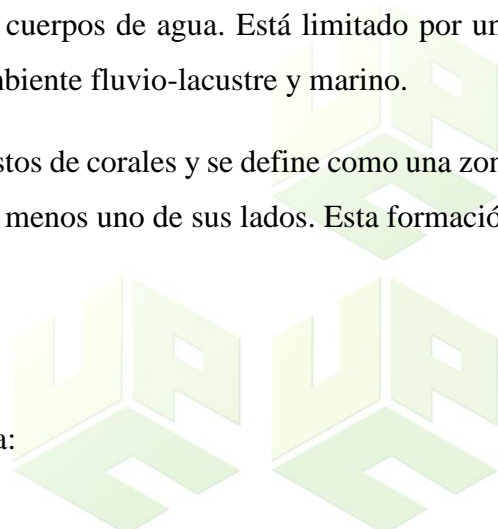
- Unidades de origen fluvio-marino-deltáico

El Delta del Canal del Dique se encuentra en el suroeste de la cuenca y se caracteriza por tener una amplia red de drenaje y una gran cantidad de cuerpos de agua. Está limitado por una llanura o zona de transición que se encuentra entre un ambiente fluvio-lacustre y marino.

La Terraza marina (Fmdtz) está compuesta por restos de corales y se define como una zona plana en la superficie, pero con un borde escarpado en al menos uno de sus lados. Esta formación abarca un área de 8,0 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen fluvial

Principalmente relacionadas con el río Magdalena:



Los Paleocauces (Fcmpe) son antiguos cauces del río Magdalena que se encuentran en el Alto Canal del Dique, con un área aproximada de 5,5 kilómetros cuadrados.

La Terraza aluvial media (Fdtzm) presenta una forma escarpada en uno de sus bordes y una superficie plana en la parte superior. Estas terrazas se forman como resultado de la sedimentación intermedia del río y sus materiales son heterométricos, es decir, están compuestos por capas o lentes de diferentes tamaños de sedimentos. Ocupan un área de 0,8 kilómetros cuadrados.

- Unidades de Origen Fluvioacustre

La Isla de ciénaga (Flcic) agrupa todas las islas del complejo de ciénagas de la cuenca del Canal del Dique. Estas islas son altamente susceptibles a los cambios y experimentan variaciones durante las épocas de aguas altas y bajas. En total, ocupan un área de 6,5 kilómetros cuadrados dentro de la cuenca.

Las Llanuras de inundación (Flcll) son áreas bajas de superficie cóncava que actúan como amortiguadores para las zonas de ciénagas. La zona central del Canal del Dique se caracteriza por tener una gran extensión de llanuras de inundación que son bajas y se inundan con frecuencia. En estas llanuras, se pueden observar pequeñas irregularidades del terreno debido a la acumulación de sedimentos arcillosos y limosos que forman pequeños montículos. Estas llanuras cubren un área de 858,8 kilómetros cuadrados.

La Llanura aluvial (Flia) se encuentra en la parte central de la cuenca y representa una zona baja donde se depositan los sedimentos transportados por el río. Esta llanura tiene un área de 75,6 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen marino peninsular

Hace referencia a la península de Barbacoas, con geoformas de origen marino y eventuales también formas denudacionales. Sus suelos tienen altos contenidos de sal por la influencia marina en la zona. Desarrollar una morfología plana, con depresiones ocupadas por cuerpos de agua marino-lacustre o marismas, algunos de los cuales presentan alta sedimentación.

Las Marismas (Mpma) son áreas donde la influencia del mar alcanza la zona continental, a nivel del mar. Estas áreas están separadas del mar por un cordón litoral que regula la entrada de agua salada. Algunos sectores de las marismas experimentan una alta sedimentación. Ocupan un área de 12,2 kilómetros cuadrados.

Las Colinas bajas en península (Mpas) son pequeñas áreas ubicadas a lo largo de la península de Barbacoas y muestran una alta sedimentación. Estas colinas cubren una superficie de 55,8 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen denudacional fluvial

Son zonas con influencia fluvial donde ocurren procesos denudativos de acumulación. Se localizan en la serranía de San Jacinto y en sus estribaciones.

Los Abanicos coluvioaluviales (Dfac) tienen forma de cono o abanico y se componen de sedimentos de flujo. Se encuentran cerca de la ciénaga de María la Baja y ocupan un área de 15,5 kilómetros cuadrados.

La Planicie aluvial (Dfpa) es una llanura donde los cauces de los ríos han recorrido y depositado sus sedimentos durante las crecidas. Esta planicie se caracteriza por tener una altitud baja y se desarrolla sobre depósitos aluviales y fluviolacustres. Tiene una extensión de 151,8 kilómetros cuadrados.

Los Cañones (Dfcñ) son cauces profundos labrados por el drenaje y predominan en la parte norte de las estribaciones de la serranía de San Jacinto. Estos cañones cubren un área de 66,3 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen denudacional

Son geoformas desarrolladas por procesos denudacionales normales como meteorización, intemperismo y erosión.

Las Colinas bajas moderadamente irregulares (Dcb) son laderas y colinas alargadas ligeramente onduladas con pendientes suavemente inclinadas a inclinadas (de 5° a 10°). Se

encuentran en la región del piedemonte en la base colinada de la margen derecha en la zona central del Canal del Dique. Estas colinas siguen un patrón de drenaje subdrenáltico a subrectangular y ocupan un área de 275,07 kilómetros cuadrados. También se pueden encontrar colinas bajas irregulares (Dcbi) que cubren una superficie de 61,4 kilómetros cuadrados.

Las Colinas altamente disectadas (Dcad) se refieren a colinas aisladas que muestran una fuerte disectación y denudación, con un patrón de drenaje subdrenáltico. Estas colinas se distribuyen por toda la cuenca y cubren un área total de 320,6 kilómetros cuadrados.

Las Colinas denudadas irregulares (Dci) son predominantemente encontradas en las estribaciones de la serranía de San Jacinto, cerca del embalse El Guájaro. Estas colinas presentan alturas máximas de 100 metros sobre el nivel del mar y tienen formas geométricas irregulares. Además, exhiben un relieve irregular con pendientes moderadamente abruptas de 15° a 30°. Estas colinas cubren una superficie total de 361,2 kilómetros cuadrados. En estas áreas, se encuentran depósitos cuaternarios de diferentes orígenes y composiciones, como depósitos costeros, eólicos, marinos, fluvio-lacustres, aluviales y coluviales, que ocupan el 43,63% del área de estudio.

Las Laderas de piedemonte (Dclp) son laderas bajas formadas por materiales coluviales que crean conos, abanicos y bases de laderas con pendientes moderadamente inclinadas a abruptas. Estas laderas cubren un área de 258,5 kilómetros cuadrados.

Las Colinas suavemente onduladas (Dco) se presentan al este y oeste de la cuenca como un relieve de colinas amplias y ligeramente onduladas, poco disectadas, con pendientes moderadamente inclinadas a inclinadas. Estas colinas tienen un patrón de drenaje subdrenáltico y ocupan un área total de 48,5 kilómetros cuadrados.

La Morfología plana a suavemente ondulada (Dcpo) se encuentra al sureste y oeste del área y cubre una extensa superficie de 499,2 kilómetros cuadrados.

Los Glacis o pedimentos (Dcgp) son superficies suavemente inclinadas (0°-7°) en los piedemontes de las zonas montañosas. Estas superficies son el resultado de procesos de denudación y acumulación de sedimentos debido a la erosión intensa en climas áridos a semiáridos. En la cuenca, se puede observar la peneplanización de la zona montañosa, formando una ladera

cóncava con inclinaciones de 3° a 7° en rocas arenosas de la Formación Maco. Los sedimentos resultantes de este proceso se acumulan en la parte más baja de la ladera. Esta unidad cubre un área de 12,8 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen dedunacional estructural

Estas unidades son desarrolladas por estructuras geológicas (fallas, pliegues, etc.) y procesos denudativos.

La Cuesta estructural (Sdce) se refiere a la zona menos escarpada de un cerro y se encuentra en la cuenca en los costados noroeste, en las estribaciones de la serranía de San Jacinto, y en el sureste, en la serranía. Esta unidad abarca un área de 52,27 kilómetros cuadrados.

El Escarpe estructural (Sdee) es la parte más escarpada de un cerro y se encuentra junto a la unidad anterior en las mismas zonas de la cuenca. Ocupa un área de 25,93 kilómetros cuadrados.

Las Colinas irregulares controladas por fallas (Sdcif) se presentan en los costados oeste y este de la cuenca, en la serranía y las estribaciones de San Jacinto. Estas colinas forman cadenas con una amplitud reducida, laderas rectas y formas irregulares controladas por fracturas y fallas. Siguen un patrón de drenaje subparalelo a subdrenáltico. Esta unidad cubre una superficie total de 85,12 kilómetros cuadrados.

Las Colinas irregulares controladas por pliegues (Sdcip) también son cadenas de colinas de poca amplitud, laderas rectas y formas irregulares, pero en este caso están controladas por pliegues. Estas colinas se encuentran en los mismos sectores que la unidad anterior. Ocupan un área de 82,3 kilómetros cuadrados.

La Depresión tectónica por fallamiento (Sddt) es una depresión morfológica de orientación sur-norte que está limitada por laderas controladas por fallas. Tiene una extensión de 6,09 kilómetros cuadrados.

Los Cerros estructurales asociados a pliegues (Sdcpl) son formas de cerros con pendientes estructurales de alta inclinación que convergen en un eje central y presentan una zona de relieve

bajo en su parte central. En la cuenca, se encuentran en el sector sureste de la Serranía de San Jacinto y cubren un área de 339,4 kilómetros cuadrados.

Los Cerros estructurales asociados a fallas (Sdcf) se localizan en el sector sureste de la Serranía de San Jacinto. Estos cerros se evidencian mediante lineamientos con pendientes estructurales pronunciadas y también presentan una zona de relieve bajo, similar a la unidad anterior. Su extensión es de 33,9 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen diapírico volcánico

Los Volcanes de lodo son prominencias topográficas aisladas con formas cónicas que tienen una base de 1,0 a 1,5 kilómetros y una altura de 50 a 80 metros. Estos volcanes se forman debido a levantamientos generados por la presión ejercida por arcillas y gases subpresurizados en profundidad. Presentan laderas convexas con aberturas por donde se expulsa lodo y gas. Algunos de estos volcanes se encuentran al noreste de María La Baja. También existen volcanes de lodo con aberturas de 0,2 a 1,5 metros de diámetro y formas cónicas de hasta 20 metros de altura, como el conocido volcán de lodo del Totumo. Aunque son visitados por turistas, representan una amenaza geológica que debe ser evaluada. Estos volcanes cubren un área de 0,9 kilómetros cuadrados.

- Unidades de origen eólico

Están constituidas por franjas de arena y grava existentes en la interfase mar – continente, originados por la dinámica costera y la actividad del viento. Las dunas son del tipo barjan y alcanzan alturas de 3 a 5 m. Cubren un área de 23,83 Km².

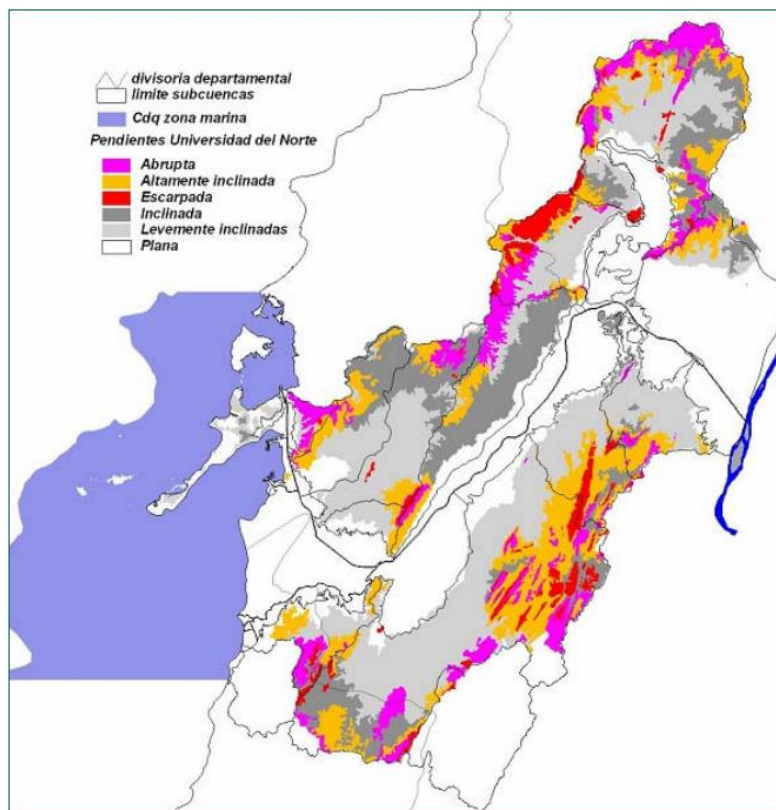
- Formas de Influencia Antrópica (Ar)

Algunas formas de origen o con intervención antrópica fueron identificados como zonas urbanas (Aru) generalizadas en los centros poblados de la cuenca del Canal del Dique y el canal fluvial (Arc) como el Canal del Dique

6.1.1.3. Pendiente.

Dentro del estudio realizado por CARDIQUE, se presentan seis categorías de la pendiente, variando la fracción del área y estableciendo que mayoritariamente se tienen pendientes planas, representadas por un 38% de la extensión total de la cuenca del Canal del Dique. Solamente el 3% del área posee pendientes escarpadas (superior a los 45° de inclinación). La siguiente figura recoge la clasificación de la pendiente y la tabla de estas:

Figura 9. Clasificación de la pendiente de la cuenca del Canal del Dique



| Inclinación (Grados) | Descripción | Área (km ²) | Fracción de área (%) |
|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|
| 0° | Plana | 1526,6 | 38,0 |
| 1° - 5° | Levemente inclinada | 1083,2 | 26,0 |
| 6° - 15° | Inclinada | 545,8 | 13,0 |
| 16° - 30° | Altamente inclinada | 539,6 | 13,0 |
| 31° - 45° | Abrupta | 305,5 | 7,0 |
| > 45° | Escarpada | 135,4 | 3,0 |

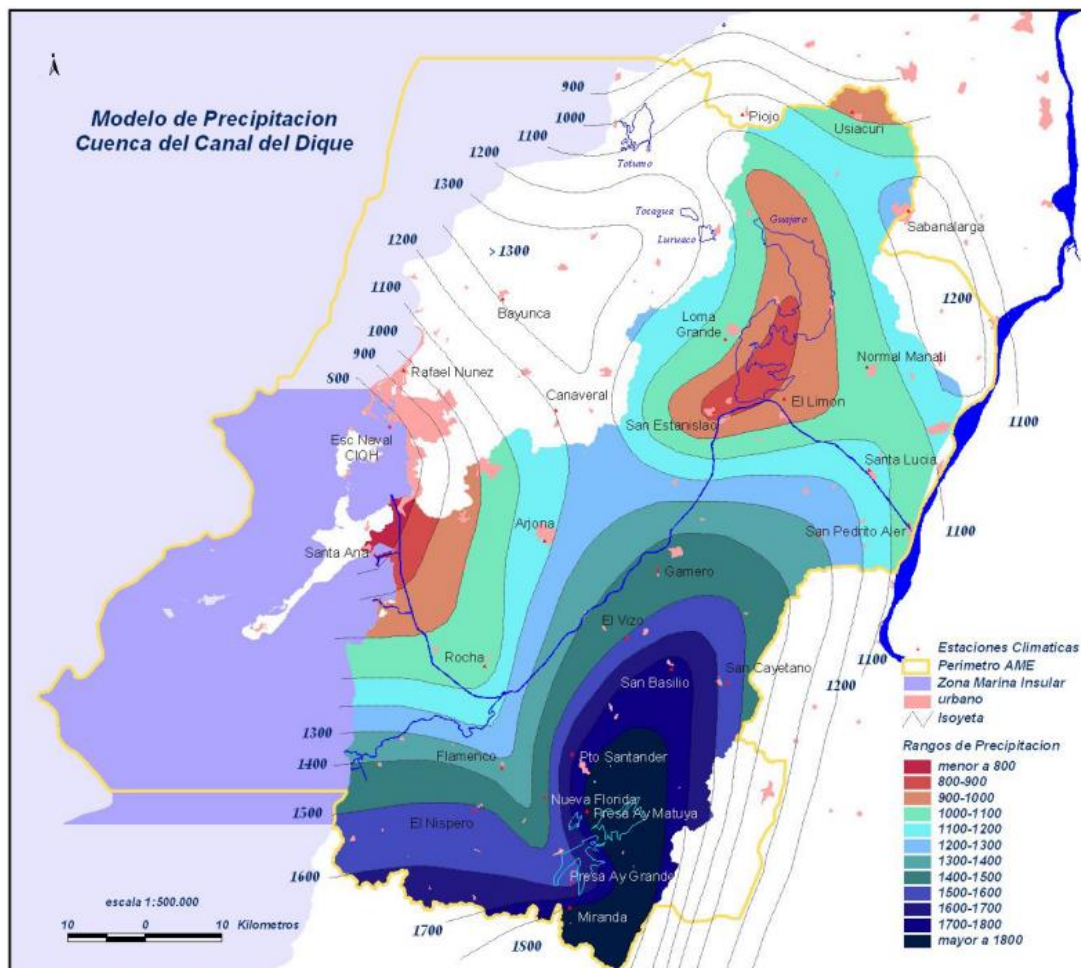
Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

6.1.1.4. Agua.

6.1.1.4.1. Isoyetas.

La precipitación promedio anual en toda la cuenca es de 1.236 mm. Para analizar su distribución espacial, se utilizaron isoyetas basadas en las precipitaciones promedio anuales de cada estación. A partir de estas isoyetas, se puede observar que la región más seca, con lluvias inferiores a 1000 mm/año, se encuentra en el sector cercano a la línea costera, en el lado suroeste de la cuenca, donde las precipitaciones son inferiores a 800 mm/año.

Figura 10. Distribución de las Isoyetas (precipitaciones) en la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

A medida que la elevación de la cuenca aumenta, especialmente sobre la estructura geológica del Cinturón del Sinú, las precipitaciones también aumentan. Alcanzan los 1200 mm/año en la divisoria de aguas entre las cuencas de la ciénaga de La Virgen y del Canal del Dique, donde las alturas del terreno apenas superan los 400 metros sobre el nivel del mar. En el lado sur de la cuenca, donde las alturas del terreno superan los 500 metros sobre el nivel del mar, las precipitaciones promedio anuales son de alrededor de 1800 mm/año. Hacia el norte y el este de la cuenca, las lluvias disminuyen a alrededor de 990 mm/año en el extremo norte y a aproximadamente 1060 mm/año en las cercanías de Calamar, en el lado oriental de la cuenca. Es importante destacar la presencia de un microclima seco en las proximidades y sobre la superficie de agua de la ciénaga del Guájaro, donde las precipitaciones oscilan entre 800 y 900 mm/año.

6.1.1.4.2. Unidades Hidrológicas

El canal del dique cuenta con 23 subcuencas hidrográficas y 4 cuencas generales, repartidas como se presenta en la siguiente tabla:

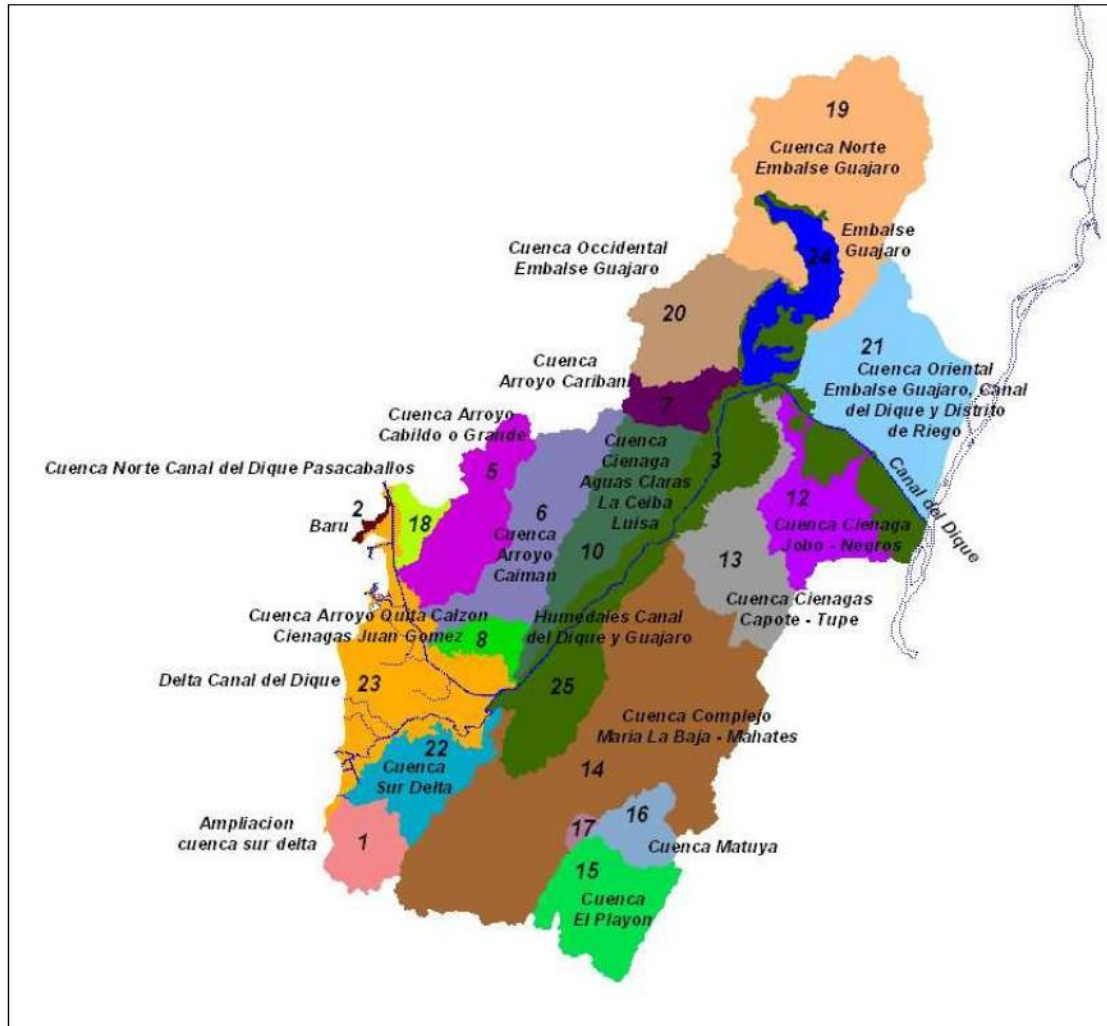
Tabla 3. Cuencas Generales y Subcuencas del Canal del Dique y embalse del Guajaro

| Cuenca General | Cod | Unidad o Subcuenca |
|--|--|--|
| Humedales 54459 ha 12% | 3 | Canal del Dique |
| | 25 | Humedales Canal del Dique y Guajaro |
| | 23 | Delta Canal del Dique |
| Delta del Canal 103605 ha 23% | 2 | Baru |
| | 18 | Cuenca Norte Canal del Dique Pasacaballos |
| | 1 | Ampliación cuenca sur delta |
| | 22 | Cuenca Sur Delta |
| | 6 | Cuenca Arroyo Caimán |
| | 5 | Cuenca Arroyo Cabildo o Grande |
| | 8 | Cuenca Arroyo Quita Calzón Ciénagas Juan Gómez |
| Cuenca Sur Canal 148041 ha 33% | 12 | Cuenca Ciénaga Jobo - Negros |
| | 13 | Cuenca Ciénagas Capote - Tupe |
| | 14 | Cuenca Complejo Maria La Baja - Mahates |
| | 15 | Cuenca El Playón |
| | 16 | Cuenca Matuya |
| | 17 | Cuenca Matuya 2 |
| Cuenca Norte Canal 144077 ha 32% | 7 | Cuenca Arroyo Caribani |
| | 24 | Embalse Guajaro |
| | 19 | Cuenca Norte Embalse Guajaro |
| | 20 | Cuenca Occidental Embalse Guajaro |
| | 21 | Cuenca Oriental Embalse Guajaro y Canal del Dique |
| | amp | Ampliación C. Oriental Guajaro y Distrito de Riego |
| 10 | Cuenca Ciénaga Aguas Claras - La Ceiba - Luisa | |
| | | Total Cuenca Canal del Dique |

Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

En la siguiente figura se hace la representación de las Cuencas Generales:

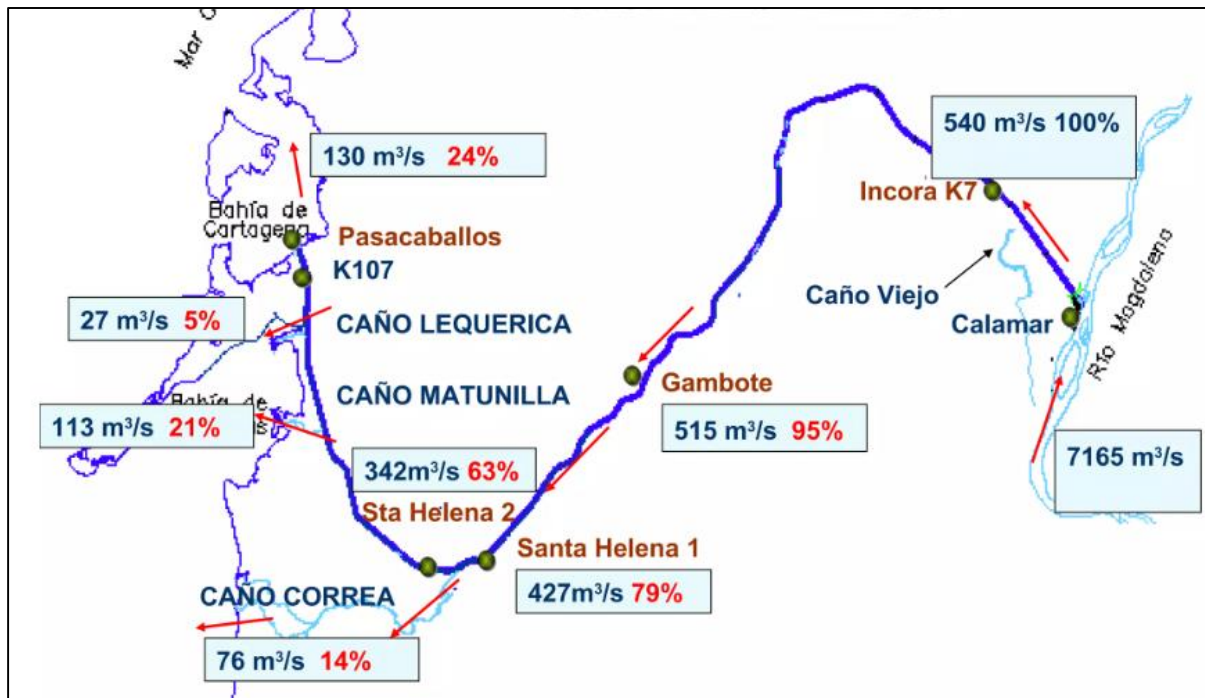
Figura 11. Cuencas Generales del Canal del Dique y embalse del Guajaro



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

El grado de importancia de estas radica en la capacidad de surtir y mantener la calidad ecológica de los ecosistemas del canal del Dique, debido a que el 10% del caudal del río Magdalena es desviado hacia este canal (Correa T., 2013), durante su recorrido se tienen pérdidas al sistema cenagoso de entre 194 metros cúbicos por segundo o bien sea el 36% de los 540 metros cúbicos por segundo desviados del río Magdalena.

Figura 12. Manejo actual del agua caudales medios



Nota: Tomado por los Autores (2023) de las Alternativas para el control sedimentológico del Canal del Dique y sus efectos sobre el balance ecológico de la Región. (Foros Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2011).

6.1.1.4.3. Índice NDWI.

El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) se utiliza para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite. Para ello, se reduce considerablemente la reflectancia del suelo y la vegetación, lo que permite que dichas masas de agua “destaquen” en la imagen. Este se calcula de la siguiente manera (EOS Data Analytics):

$$NDWI = \frac{\text{Banda 3} - \text{Banda 5}}{\text{Banda 3} + \text{Banda 5}}$$

Siendo la Banda 3 el espectro del color verde visible y la Banda 5 el espectro del infrarrojo cercano o NIR, por sus siglas en inglés, las cuales corresponden a imagen satelital obtenida del EarthData del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS, 2023) correspondientes a la plataforma satelital LandSat 8-9 OLI/TIRS C2 L2. (USGS, 2020).

El procedimiento para llevar a cabo la obtención del NDWI en ArcGIS es la siguiente:

Se accede a la pestaña "ArcToolbox" en ArcMap y se abre la herramienta "Composite Bands" para combinar las diferentes bandas de la imagen satelital en una sola imagen multiespectral.

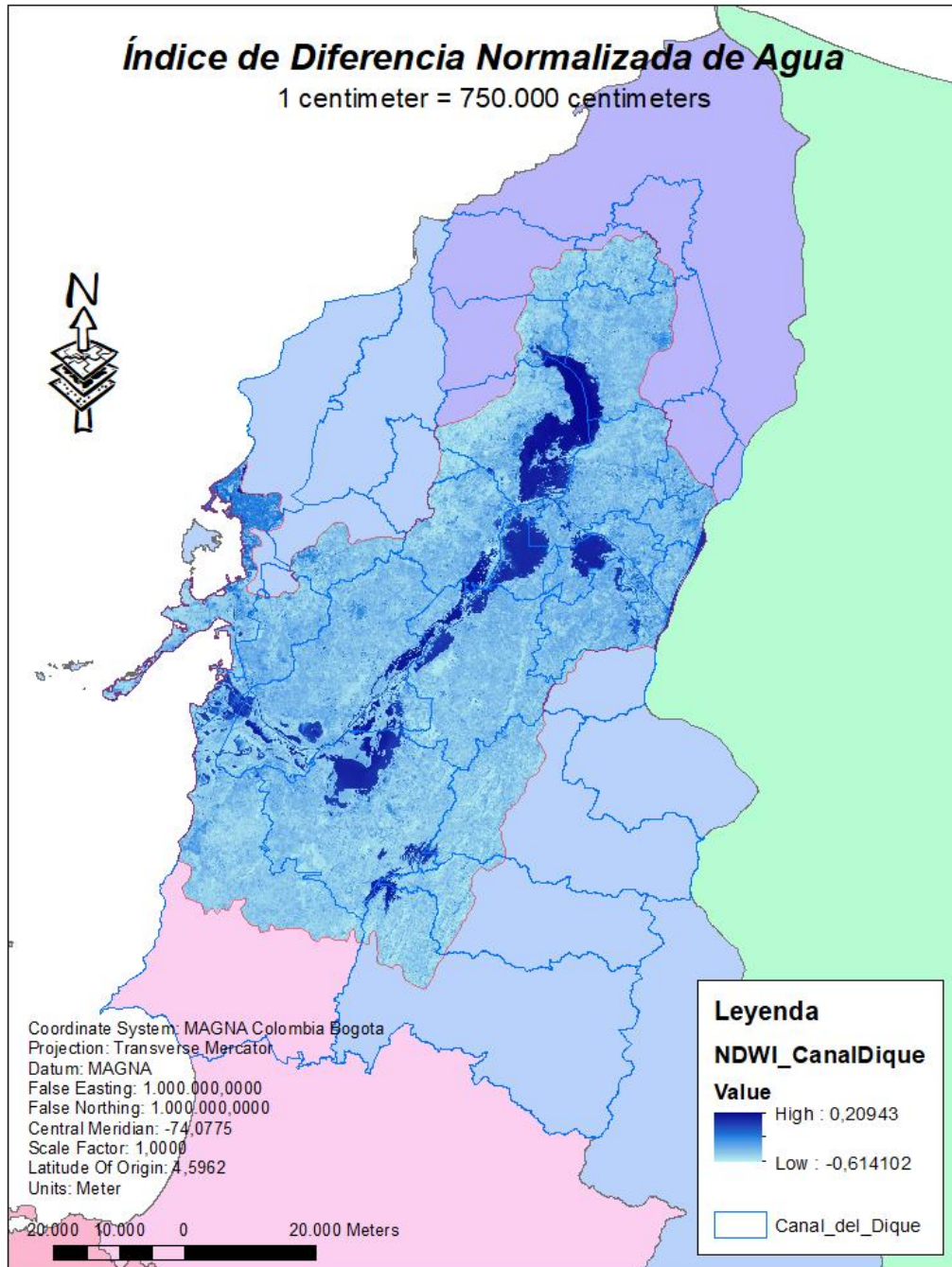
Se seleccionan las bandas pertinentes para el cálculo del NDWI, que generalmente son la banda infrarroja cercana (NIR) y la banda roja (RED), identificadas por números de banda asociados, como B4 para NIR y B3 para RED. La herramienta "Composite Bands" se ejecuta y se especifican las bandas seleccionadas en el orden adecuado, lo que resulta en la creación de una nueva capa con la imagen multiespectral combinada.

A continuación, se procede a calcular el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) utilizando las bandas combinadas. Para ello, se navega a la pestaña "ArcToolbox" y se busca la herramienta "Raster Calculator". En esta herramienta, se ingresa la fórmula correspondiente al cálculo del NDWI: $(B4 - B3) / (B4 + B3)$, asegurándose de reemplazar "B4" y "B3" con los nombres de las bandas correspondientes en la imagen. Se ejecuta la herramienta "Raster Calculator" y esto da como resultado la creación de una nueva capa con el NDWI calculado.

Para visualizar y analizar el NDWI, se puede aplicar una clasificación de colores para resaltar las áreas de agua. Se utiliza la herramienta "Symbology" en la capa del NDWI para establecer la simbología adecuada y ajustar los límites de clasificación según sea necesario. El proyecto de ArcMap se guarda con todas las capas y configuraciones relevantes para su análisis posterior.

El resultado de la aplicación del NDWI se presenta en la imagen continua a este texto. Es de sumar que el polígono o área correspondiente a la cuenca del Canal del Dique se elaboró también mediante la herramienta creación de shape, accediendo al ArcCatalogo haciendo el procedimiento de añadirlo, posteriormente se edita y se procede a dibujar mediante la digitalización de las imágenes indicadas en este apartado, previamente georreferenciadas.

Figura 13. Índice de Agua de Diferencia Normalizada de la Cuenca del Canal del Dique



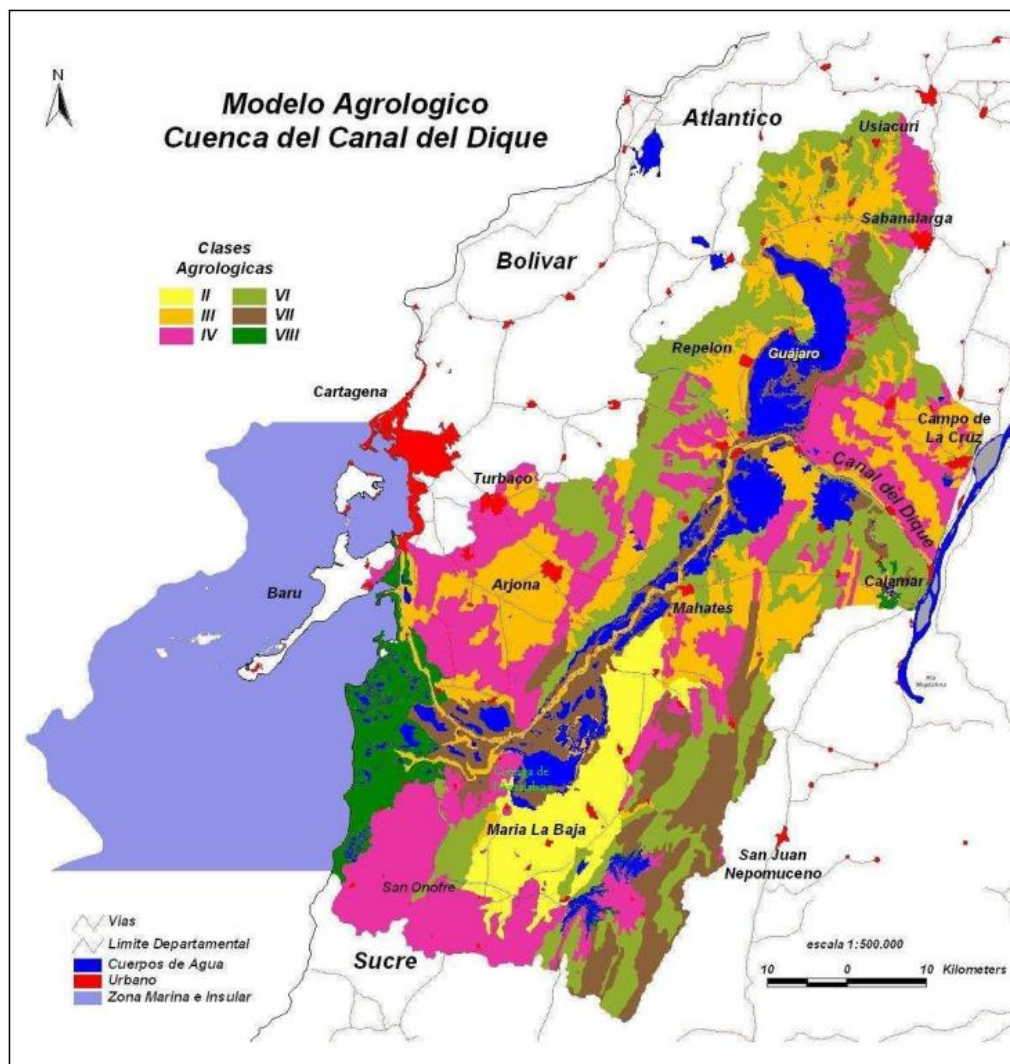
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

6.1.1.5. Suelos.

6.1.1.5.1. *Uso Agrológico.*

En términos agrológicos y en relación con su capacidad productiva, los suelos ubicados dentro de la cuenca del Canal del Dique se clasifican en 5 de las 8 categorías agrológicas ampliamente aceptadas a nivel mundial. Esta información detallada fue incluida en la caracterización del Sistema Físico.

Figura 14. Clasificación Agroecológica del Suelo del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

Estas clases se pueden definir de la siguiente manera (NRCS, 1990):

Clase II: Son adecuados para la agricultura altamente intensiva, utilizando diversos sistemas de riego (gravedad, bombeo, aspersión, goteo e inundación), junto con sistemas adecuados de drenaje y desagüe. Se pueden cultivar una amplia variedad de cultivos transitorios y perennes, como maíz, yuca, ajonjolí, sorgo, frijoles, algodón, hortalizas, plátanos, frutales, palma y caña de azúcar. También son aptos para la producción de forraje, tanto en forma fresca como para ensilaje y henificación, durante todo el año.

Clase III: Son adecuados para la ganadería con pastos mejorados, así como para actividades agrícolas, especialmente durante la temporada de lluvias o mediante sistemas de riego (aspersión, goteo), dependiendo de la pendiente del terreno. Se pueden cultivar cultivos como maíz, yuca, ajonjolí, sorgo, frijoles, algodón, plátanos, frutales, palma y caña de azúcar.

Clase IV: La mejor utilización de estos suelos es para la ganadería semi extensiva y para la explotación de algunos cultivos durante la temporada de lluvias, como maíz, frijoles y yuca. Con sistemas de riego adecuados, es posible aumentar significativamente el rendimiento de los pastos y ampliar la variedad de cultivos agrícolas con producción durante todo el año.

Clase VI: Los suelos no son aptos para la actividad agrícola, siendo más adecuados para la conservación de la vegetación natural y la reforestación combinada con ganadería extensiva.

Clase VII: Su mejor uso es para la reforestación y la conservación de la vegetación nativa existente. No ofrecen posibilidades agropecuarias, aunque en casos extremos pueden emplearse para la ganadería silvopastoril extensiva.

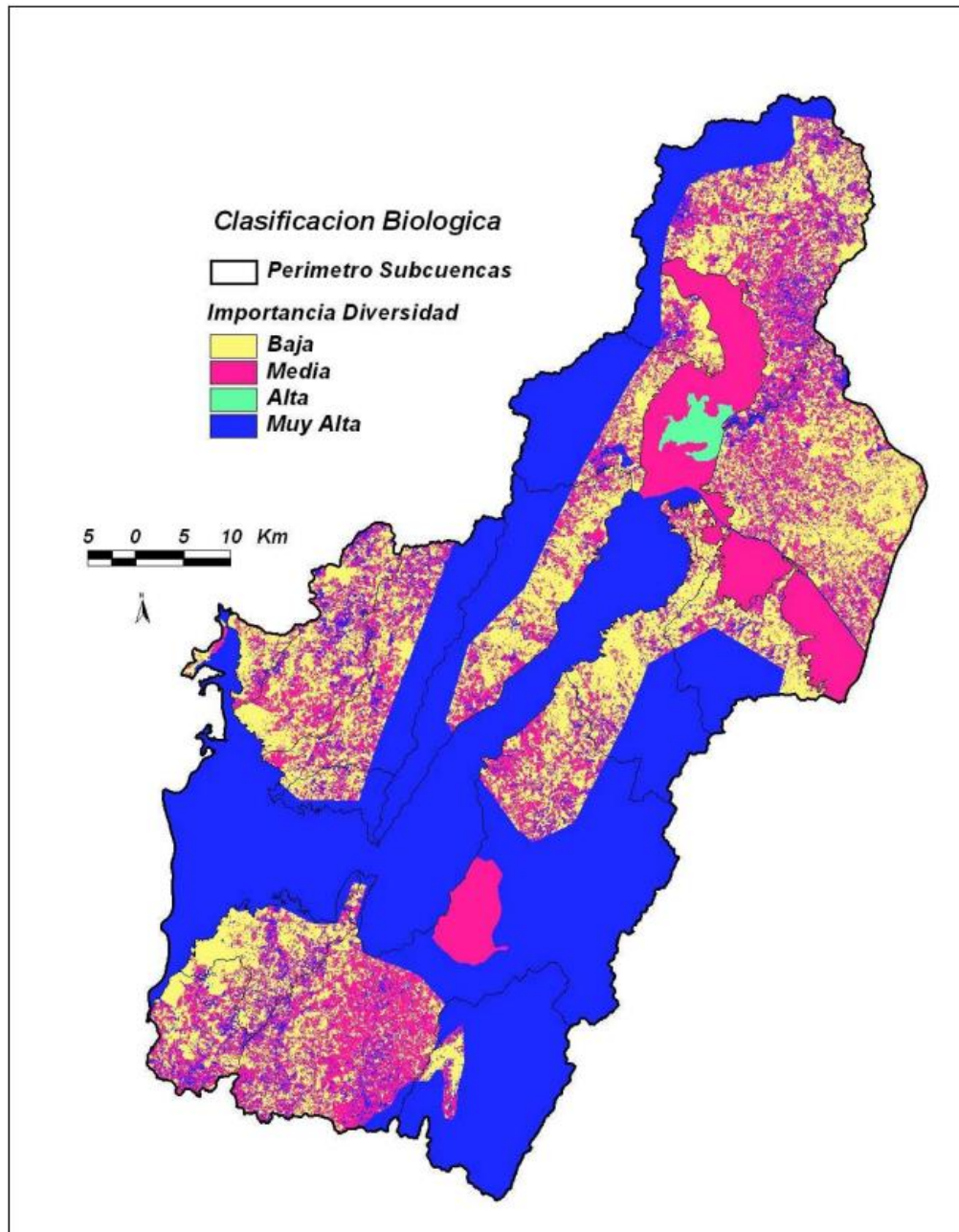
6.1.1.6. Flora y Fauna.

6.1.1.6.1. Importancia de la Biodiversidad.

Gracias a las labores realizadas en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (POMCA) del Canal del Dique, se logró desarrollar un modelo de gran relevancia para la biodiversidad. Para ello, se consideraron los registros y distribuciones de especies amenazadas disponibles en la bibliografía, así como los datos recopilados en campo. Además, se tuvieron en cuenta las unidades

de cobertura y relieve, las cuales actúan como hábitats permanentes y de paso para las diferentes especies seleccionadas para el análisis.

Figura 15. Clasificación de la Importancia de la Biodiversidad de la cuenca del Canal del Dique

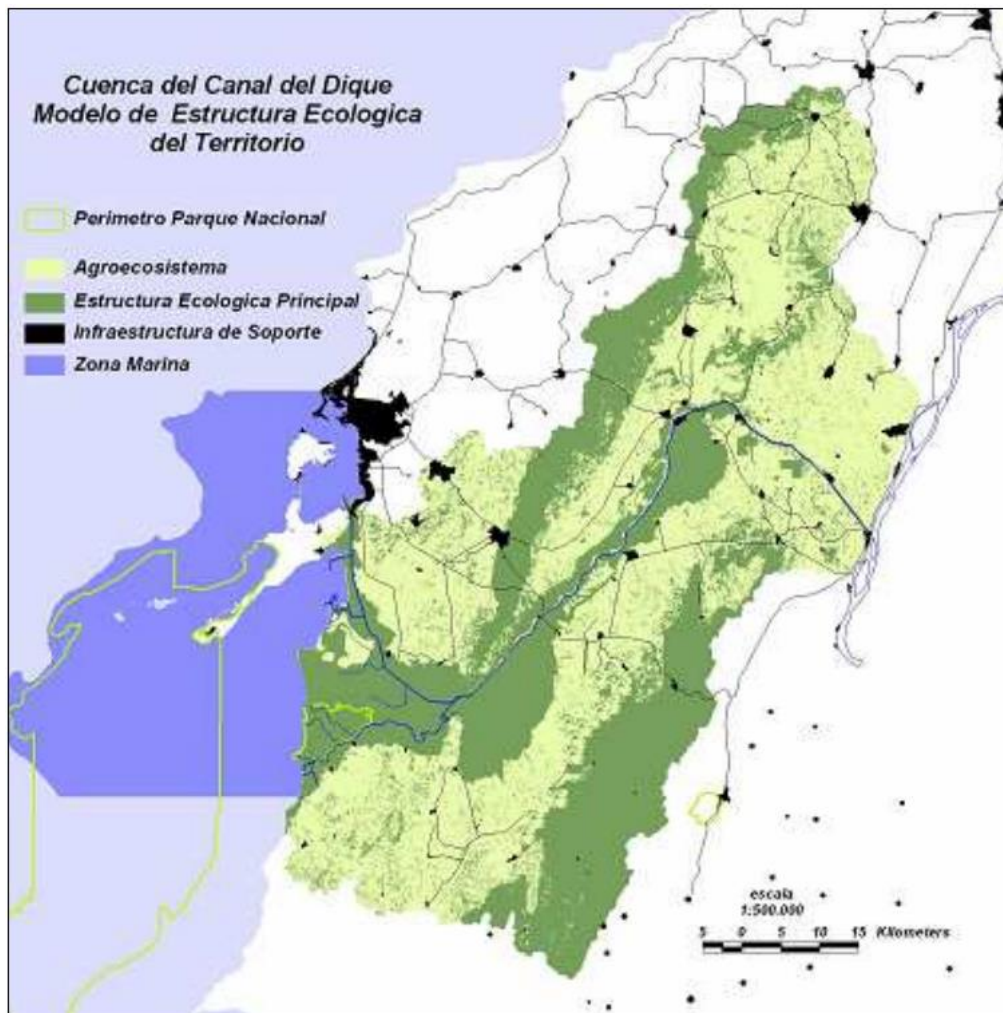


Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

6.1.1.6.2. Estructura Ecológica Principal.

Otro insumo de relevancia es identificar como se compone y clasifica la estructura ecológica, teniendo distribuciones de importancia y relevancia en cuanto a la identificación del valor de la calidad ecológica.

Figura 16. Zonificación de la Estructura Ecológica Principal del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

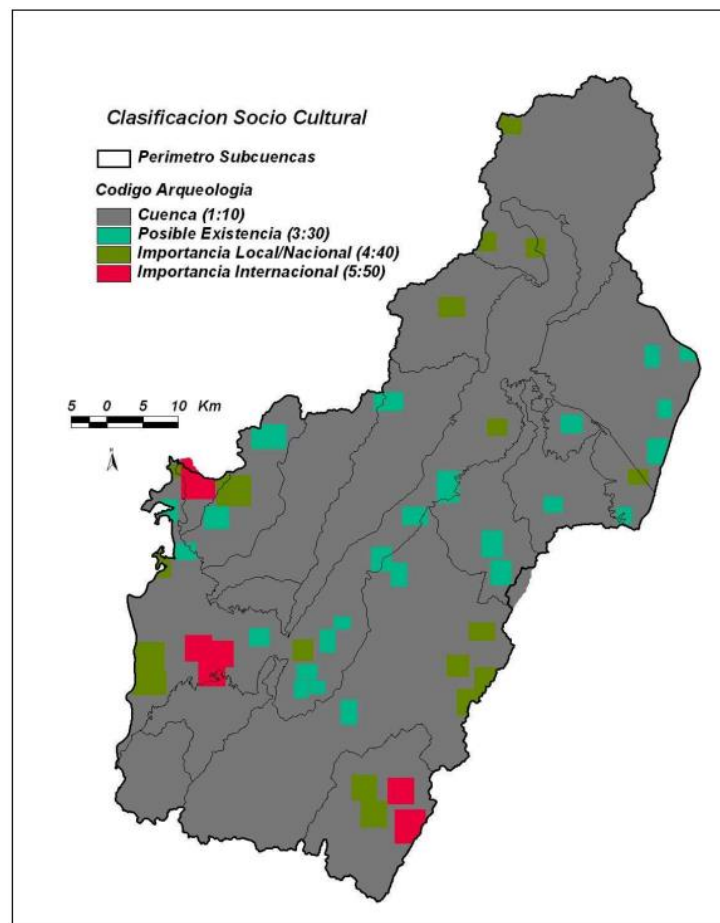
6.1.2. Variables Socioeconómicas

6.1.2.1. Sociocultura

6.1.2.1.1. Clasificación Arqueológica.

El canal del Dique, así como lo es la región Caribe; es un sitio con muchos hallazgos arqueológicos de importancia que resalta la presencia e historia de los grupos indígenas caribe habitantes prehispánicos que tenían una gran predominancia en estas tierras, por lo cual, este aspecto es clave al considerarlo con un factor que puede influenciar mayoritariamente en la valoración de la calidad ecológica.

Figura 17. Clasificación sociocultural de los hallazgos arqueológico en la cuenca del Canal del Dique

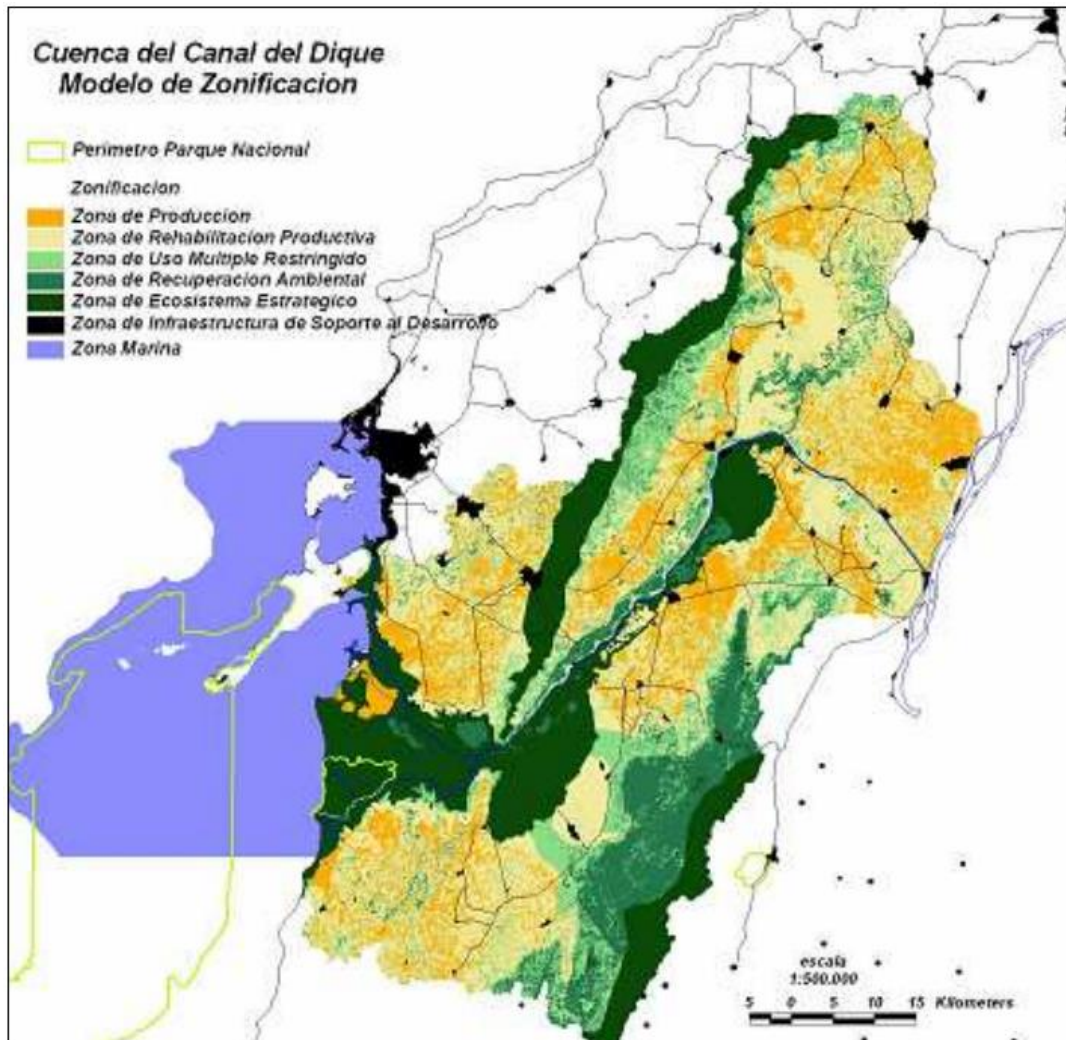


Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

6.1.2.1.2. Zonificación Ambiental.

Otro aspecto relevante corresponde a las zonas de uso desde el concepto del aprovechamiento de los recursos naturales y la planificación de la oferta y sostenibilidad ecosistémicas, por lo cual, el mejor ítem para representar el factor socio ambiental consiste en el mapa de zonificación ambiental.

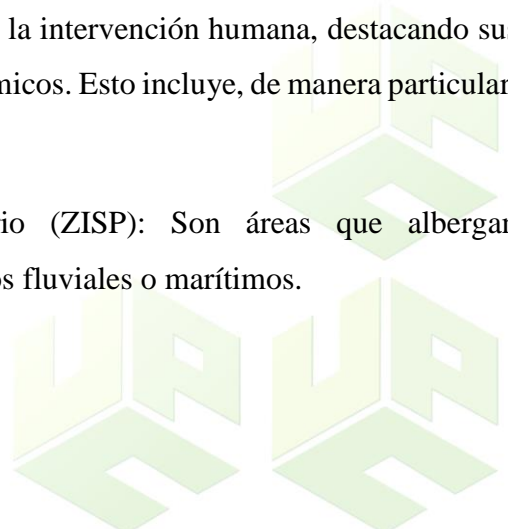
Figura 18. Zonificación Ambiental de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

Cada una de las clases presentadas anteriormente presentan las siguientes definiciones.

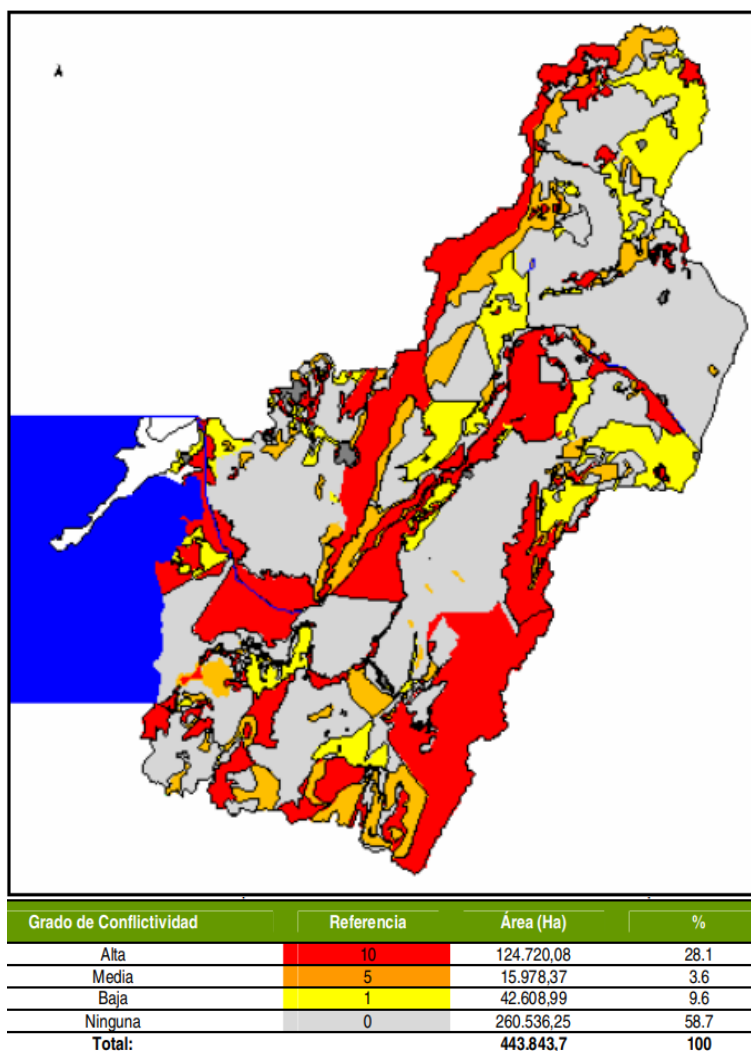
- Zona de Ecosistema Estratégico (ZEE): Son áreas que poseen biomas, ecosistemas o coberturas de gran importancia ambiental para la región.
- Zona de Recuperación Ambiental (ZRA): Son espacios destinados a la restauración de bienes y servicios ambientales que han sido fuertemente afectados, permitiendo la conexión entre los ecosistemas estratégicos y otras zonas sensibles, asegurando así el desarrollo económico, social y ambiental de la región.
- Zona de Uso Múltiple Restringido (ZUMR): Son áreas que presentan cierta sensibilidad o fragilidad ecológica o ambiental, donde se debe garantizar la conservación de sus valores naturales mediante prácticas y actividades de bajo impacto y un riguroso manejo ambiental.
- Zona de Rehabilitación Productiva (ZRHP): Son áreas con potencial para la producción, pero que actualmente se encuentran deterioradas o inutilizadas, por lo que se busca su recuperación y habilitación para actividades productivas.
- Zona de Producción (ZP): Son áreas destinadas a la generación de bienes y servicios económicos y sociales, asegurando la calidad de vida de la población a través de un uso racional de los recursos naturales renovables y en el contexto del desarrollo sostenible.
- Zona de Infraestructura de Soporte para el Desarrollo (ZISD): Son áreas que contienen infraestructuras, obras y actividades derivadas de la intervención humana, destacando sus valores intrínsecos, históricos, culturales y económicos. Esto incluye, de manera particular, la infraestructura portuaria.
- Zona de Infraestructura de Soporte Portuario (ZISP): Son áreas que albergan infraestructuras destinadas al desarrollo de puertos fluviales o marítimos.



6.1.2.1.3. Conflictos Del Uso.

Para la elaboración de este mapa temático, se superpuso el mapa de zonificación de uso del suelo que determino el POMCA.; posteriormente se digitalizó los diferentes polígonos resultantes de individualizar las nuevas unidades originadas según una matriz de conflictividad en la cual se cruzaron las unidades establecidas en el mapa homologado de usos del suelo según POT con el mapa de zonificación de CI., las cuales fueron clasificadas:

Figura 19. Grado de conflictividad por uso del suelo de la Cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

6.1.2.2. Economía, Infraestructura y Productividad.

6.1.2.2.1. Distrito de Riego.

El propósito original de la construcción del Canal del Dique fue facilitar el transporte fluvial entre la costa y el interior del país. A lo largo del tiempo, las obras de rectificación y ampliación se han llevado a cabo con el mismo objetivo. Estas acciones han generado beneficios tanto para diversos sectores económicos como para la población, ya que pueden aprovechar el suministro de agua dulce que proporciona el Canal del Dique.

Figura 20. Distritos de Riego de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) de la CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional (2007)

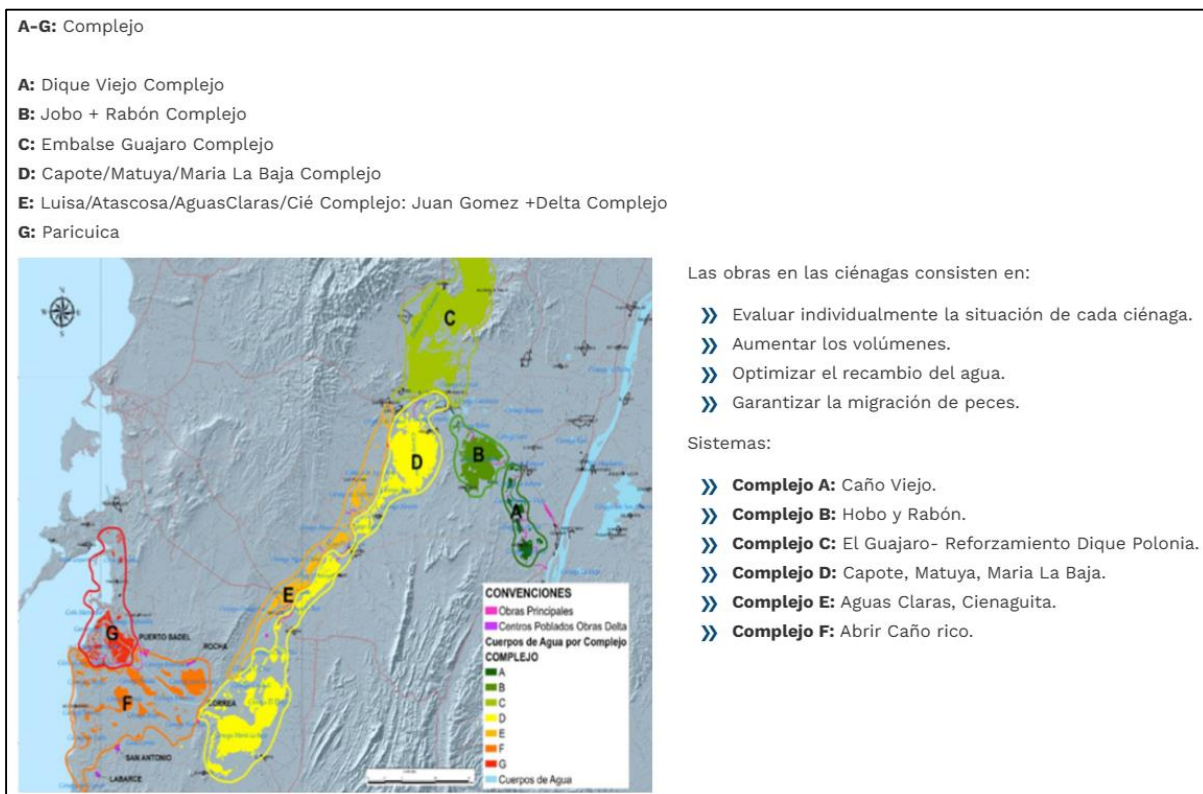
Dentro del área de la cuenca, se encuentran en funcionamiento el Proyecto Atlántico 3, que incluye los Distritos de Riego de Repelón y Santa Lucía. También se encuentra el Distrito de Riego de Marialabaja, el cual no se abastece directamente del canal. Actualmente, se están evaluando la factibilidad del Distrito de Riego de San Estanislao, que ya cuenta con la aprobación correspondiente, y el Distrito de Riego de Conejos, que se encuentra en una etapa inicial de reconocimiento.

6.1.2.2.2. Obras de Restauración de Ciénagas.

En la actualidad, las ciénagas que rodean el Canal del Dique experimentan problemas debido al transporte de sedimentos. Esto significa que a medida que más agua fluye hacia el canal, también se arrastran mayores cantidades de sedimento.

Cuando los niveles de agua disminuyen, estos sedimentos se acumulan en las ciénagas, obstruyendo sus conexiones. En algunos lugares, las ciénagas se desconectan del Canal, lo que resulta en una disminución de sus niveles de agua.

Figura 21. Obras de restauración de las ciénagas de la cuenca del Canal del Dique



Nota: Tomado por los Autores (2023) a partir de la página oficial del Fondo de Adaptación de Colombia. Macroproyecto Canal del Dique. (Fondo de Adaptación).

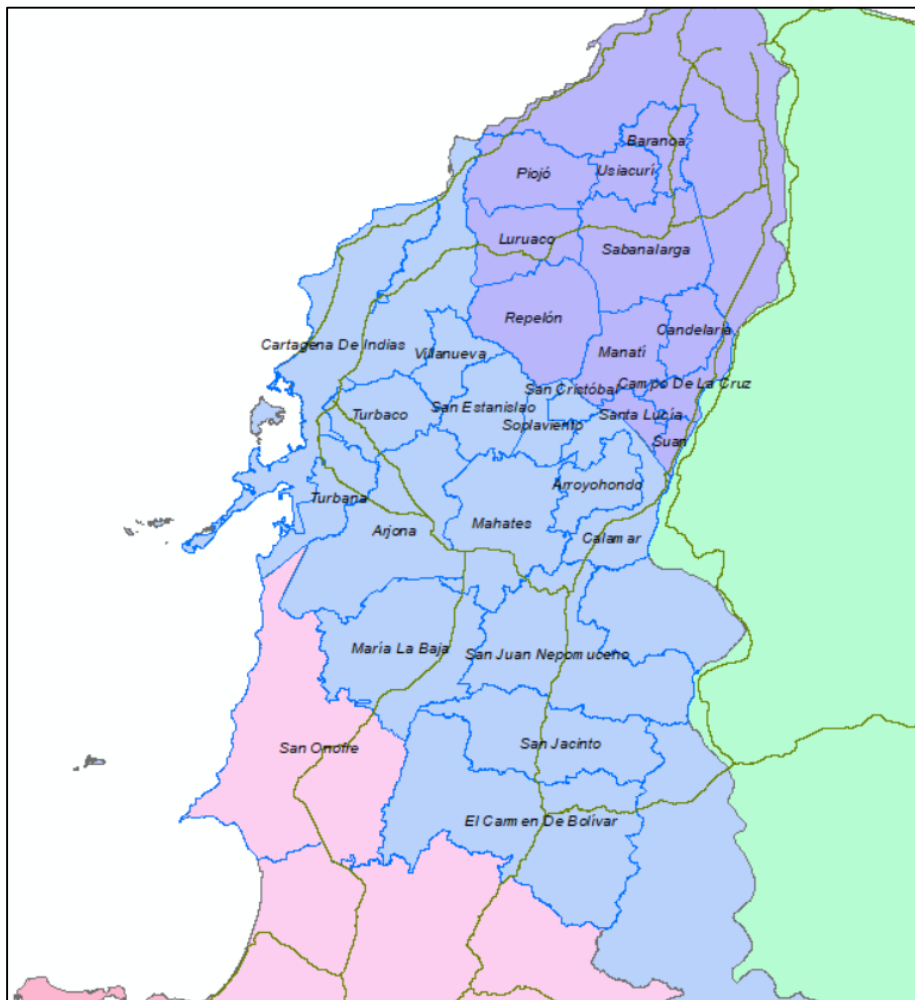
Para garantizar la navegación futura en el Canal del Dique, se llevarán a cabo diversas medidas. Se construirán dos esclusas para facilitar el paso de embarcaciones, se implementarán actividades de control y dragado en las áreas donde se produce la sedimentación durante los años

de operación y mantenimiento del sistema. Además, se realizarán obras de conexión y mitigación, que incluyen la protección de los centros poblados, en los complejos de ciénagas para controlar y minimizar estos problemas.

6.1.2.2.3. División Administrativa e Infraestructura Vial.

En el capítulo de muestra poblacional se presentaban los municipios que tienen influencia en la cuenca del Canal del Dique y en el ecosistema de este. En la siguiente figura se presenta la distribución de estos y las vías primarias que lo integran.

Figura 22. Municipios que integran la zona de influencia de la cuenca del Canal del dique



Nota: Tomado por los Autores (2023), de la base de datos de ArcGIS Online: Cartografía Municipal, Base Cartográfica de Colombia, vías de principales de Colombia.

6.1.2.2.4. Índice NDBI.

El Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) se utiliza para estimar y distinguir áreas urbanizadas o en proceso de construcción de las áreas naturales habituales con vegetación o sin vegetación. Junto con otros índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Urbanización (UI), el NDBI se utiliza como herramienta de análisis territorial en estudios urbanísticos, infraestructuras y para comparar la evolución de las áreas urbanas a lo largo del tiempo. (Zha, Gao, & Ni, 2003).

Al igual que otros índices similares (como el Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI o el NDVI), los valores del NDBI oscilan entre -1 y 1. Los valores negativos indican la presencia de vegetación, mientras que los valores intermedios sugieren áreas sin vegetación, cultivos en crecimiento o áreas en construcción. A medida que los valores positivos aumentan, indican la presencia de áreas urbanizadas o infraestructuras humanas en el territorio.

La fórmula de cálculo del NDBI, es la siguiente:

$$NDBI = \frac{Banda\ 6 - Banda\ 5}{Banda\ 6 + Banda\ 5}$$

Siendo las bandas correspondientes al espectro de infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), por sus siglas en inglés, las cuales corresponden a imagen satelital obtenida del EarthData del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS, 2023) correspondientes a la plataforma satelital Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2. (USGS, 2020).

El uso del NDBI ofrece una forma efectiva y confiable de identificar, mapear y analizar áreas urbanas y construidas en imágenes de satélite. Proporciona información clave para el monitoreo del cambio urbano, la planificación urbana y los estudios relacionados con el entorno urbano y su desarrollo sostenible.

En la siguiente página se representa el resultado de la aplicación del NDBI:

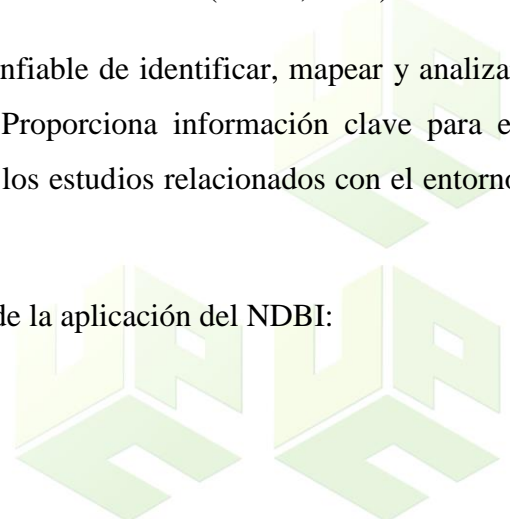
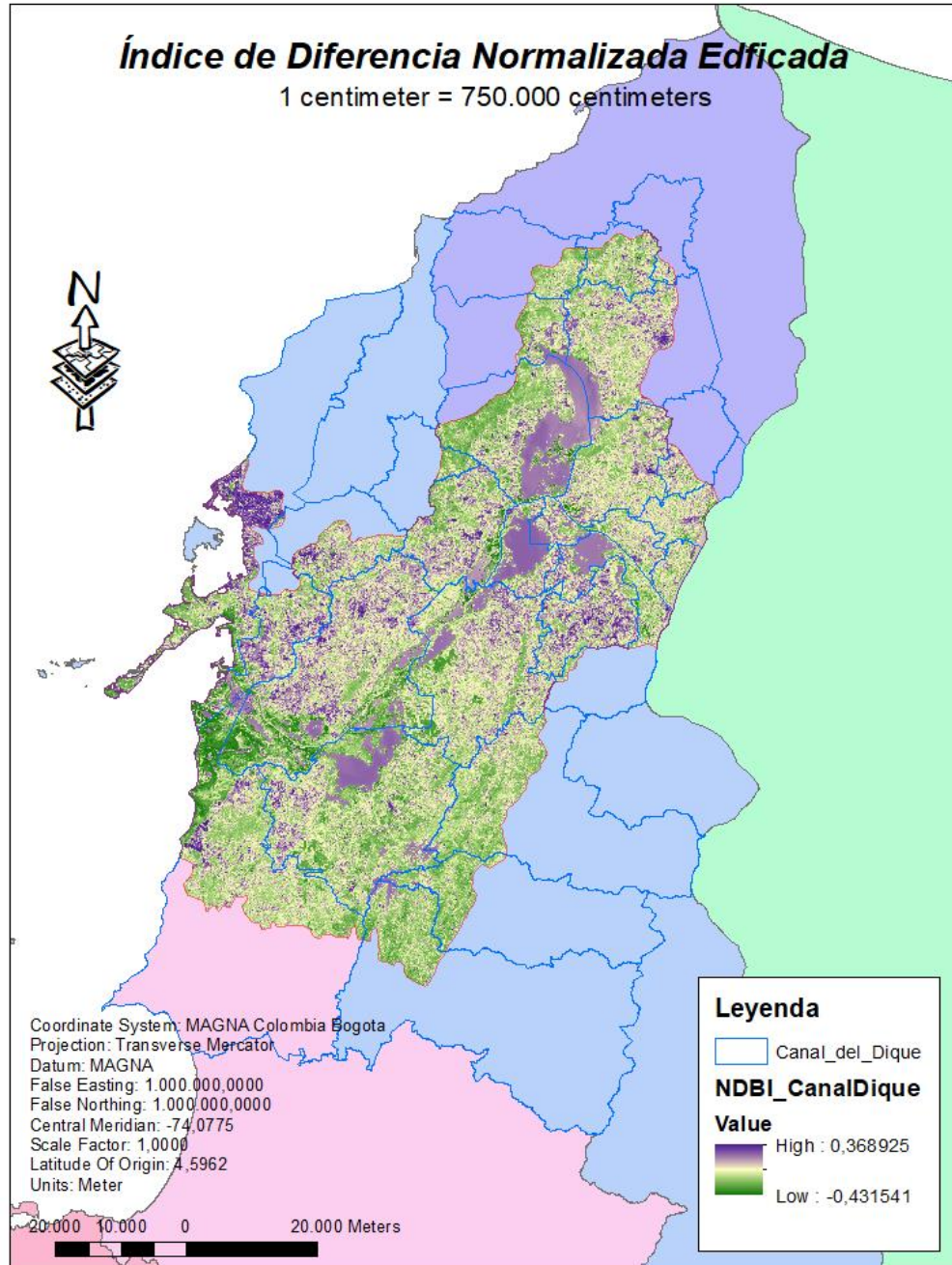


Figura 23. Índice de Diferencia Normalizada Edificada de la Cuenca del Canal del Dique



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

6.2. DEFINICIÓN DE LOS VALORES DE PONDERACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y SOCIOECONÓMICO MEDIANTE ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR, COLOMBIA

6.2.1. Selección De Criterios

6.2.1.1. Clases Biofísicas.

La asignación de los valores de importancia se hizo en escala, referente a cuán es importante el atributo de la variable para con la calidad ecológica de las ciénagas y humedales de la Cuenca del Canal del Dique, considerando que los atributos con valores equivalentes a la unidad refieren a mayor valor ecológico puesto que implicaría menos impacto del atributo para con la calidad ecológica y que los valores más lejanos a la unidad refieren a menor valor ecológico, puesto que implicaría más impacto del atributo a la calidad ecológica, esto señala entonces que hay una relación inversamente proporcional en la calificación que se quiere expresar.

Para esta clase biofísica, la primera variable estudiada es la Geología, la cual se compone de 15 atributos definidos como Unidades Cronoestratigráficas, y de las cuales, conforme a su composición se puede hacer una asignación subjetiva de interés para la calidad ecológica del Complejo Cenagoso de la cuenca del Canal del Dique. Estos atributos, de acuerdo con su orden de relevancia del mencionado interés pueden ser reorganizados así:

Tabla 4. Asignación de Puntajes a los Atributos Geológicos de la Cuenca del Canal del Dique

| Unidades Cronoestratigráficas Geológicas | Valor de Importancia |
|--|----------------------|
| <i>Calizas arrecifales y terrígenas, y arenas calcáreas de grano fino a grueso. Depósitos de gravas intercaladas con arenas gravosas y niveles de lodos.</i> | 1 |
| <i>Depósitos de gravas y arenas acumulados en playas, y de lodos ricos en materia orgánica asociados al desarrollo de manglares.</i> | 1 |
| <i>Terrazas aluviales.</i> | 1 |
| <i>Depósitos aluviales y de llanuras aluviales.</i> | 1 |
| <i>Arenitas líticas y feldespáticas de grano fino a grueso con glauconita, y shales calcáreos intercalados con lodolitas.</i> | 1 |
| <i>Arenitas líticas granodrecientes de conglomeráticas a arenas de grano fino intercaladas con lodolitas y olitostromas de calizas micríticas.</i> | 2 |
| <i>Intercalaciones de conglomerados, arenitas líticas a sublíticas de grano medio a conglomeráticas, arenitas calcáreas y lodolitas.</i> | 2 |
| <i>Intercalaciones de lodolitas, arenitas calcáreas y cuarzoarenitas de grano grueso a conglomeráticas.</i> | 2 |

| Unidades Cronoestratigráficas Geológicas | Valor de Importancia |
|--|----------------------|
| <i>Arenitas líticas de grano medio a conglomeráticas, calizas y conglomerados.</i> | 2 |
| <i>Arenitas líticas de grano fino a conglomeráticas, ocasionalmente glauconíticas, intercaladas con calizas y conglomerados.</i> | 2 |
| <i>Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas intercaladas con lodolitas.</i> | 3 |
| <i>Depósitos eólicos (dunas) y loes.</i> | 3 |
| <i>Calizas, arenitas y lodolitas calcáreas.</i> | 3 |
| <i>Lodolitas; arenitas lodosas y arenitas líticas; cherts; calizas; tobas, y aglomerados. Localmente cataclásitas.</i> | 3 |
| <i>Depósitos paludales</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Esta clasificación se basa en la suposición de que las unidades cronoestratigráficas con presencia de calizas y arenas calcáreas, así como depósitos aluviales y de manglares, pueden ser de mayor importancia para el medio ambiente y la calidad ecológica de humedales y ciénagas en la cuenca del Canal del Dique. También se considera la presencia de lodolitas y la intercalación de diferentes tipos de sedimentación.

Tabla 5. Asignación de Puntajes a los Atributos Geomorfológicos de la Cuenca del Canal del Dique

| Unidades Geomorfológicas | Valor de Importancia | Unidades Geomorfológicas | Valor de Importancia |
|---|----------------------|---|----------------------|
| <i>Depósitos de manglar (Qmm)</i> | 1 | <i>Formación Las Perdices (PgNgp)</i> | 2 |
| <i>Depósitos de llanura aluvial (Qlal)</i> | 1 | <i>Formación Carmen (PgNgc)</i> | 2 |
| <i>Depósitos coluvioaluviales (Qcal)</i> | 1 | <i>Formación Hibachazo (Ngh)</i> | 3 |
| <i>Depósitos de llanura de inundación (Qli)</i> | 1 | <i>Formación Tubará (Ngt)</i> | 3 |
| <i>Formación Chengue (Pgch)</i> | 1 | <i>Formación Bayunca (Ngb)</i> | 3 |
| <i>Formación San Jacinto (Pgsj)</i> | 1 | <i>Formación la Popa (Qpp)</i> | 3 |
| <i>Formación San Cayetano (Pgsc)</i> | 1 | <i>Formación Gravas de Rotinet (Qpr)</i> | 3 |
| <i>Formación Maco (Pgm - Pgma)</i> | 2 | <i>Depósitos fluviolacustres (Qfl)</i> | 3 |
| <i>Formación Arroyo de Piedra (Pga)</i> | 2 | <i>Depósitos de playa (Qmp)</i> | 3 |
| <i>Formación San Onofre (Pgso)</i> | 2 | <i>Depósitos eólicos (Qe)</i> | 4 |
| <i>Formación Arjona (PgNga)</i> | 2 | <i>Depósitos de llanura costera (Qlc)</i> | 4 |
| <i>Formación Rancho (Ngr)</i> | 2 | | |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

El ordenamiento de la tabla anterior toma como base las unidades geomorfológicas en relación con su papel en el funcionamiento y la conservación de los ecosistemas acuáticos y

terrestres de la cuenca del Canal del Dique. Se priorizan las unidades que tienen una influencia directa en la salud y la resiliencia de los humedales y ciénagas, como los depósitos de manglar (Qmm) que brindan hábitats críticos y servicios ecológicos indispensables.

Además, se valoran los depósitos de llanura aluvial (Qlal) que proveen nutrientes y sedimentos, así como los depósitos coluvioaluviales (Qcal) que interactúan con las laderas y contribuyen a la dinámica del paisaje.

Asimismo, se considera la importancia de los depósitos de llanura de inundación (Qli) que retienen agua y sustentan la fertilidad del suelo en las áreas de inundación. Estos suelos son fundamentales para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres. En general, el ordenamiento busca resaltar la relevancia de los procesos hidrológicos, la conservación de hábitats y la disponibilidad de nutrientes en la cuenca del Canal del Dique, reconociendo la interconexión y la dependencia entre las diferentes unidades y los ecosistemas que sustentan.

En cuanto a las pendientes, se tiene la siguiente clasificación y asignación de puntajes:

Tabla 6. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Pendiente de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación de la Pendiente | Valor de Importancia |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Plana</i> | 1 |
| <i>Levemente inclinada</i> | 1 |
| <i>Inclinada</i> | 2 |
| <i>Altamente inclinada</i> | 2 |
| <i>Escarpada</i> | 3 |
| <i>Abrupta</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

La asignación de los puntajes queda argumentada por las siguientes razones:

Aquí tienes la clasificación de las pendientes de la cuenca del Canal del Dique ordenadas según su importancia para la calidad ecológica de humedales y ciénagas:

Plana: Las áreas con pendientes planas son de gran importancia para la calidad ecológica de humedales y ciénagas, ya que brindan condiciones favorables para la acumulación de agua y la

formación de ecosistemas acuáticos. Estas áreas suelen albergar una gran diversidad de especies acuáticas y terrestres, proporcionando hábitats vitales y facilitando procesos ecológicos clave como la filtración y retención de nutrientes.

Levemente inclinadas: Las pendientes levemente inclinadas también desempeñan un papel significativo en la calidad ecológica de los humedales y ciénagas. Estas áreas permiten un flujo de agua más lento, lo que promueve la formación de hábitats acuáticos estables y favorece la retención de sedimentos y nutrientes. Además, las pendientes levemente inclinadas suelen albergar una vegetación diversa, proporcionando refugio y alimento para diversas especies.

Inclinada: Aunque las pendientes inclinadas pueden presentar desafíos en términos de estabilidad del suelo y erosión, también pueden ser importantes para la calidad ecológica de humedales y ciénagas. Estas áreas pueden actuar como zonas de recarga de agua y ayudar a mantener la dinámica hidrológica de los ecosistemas acuáticos. Además, las pendientes inclinadas pueden albergar comunidades vegetales especializadas que contribuyen a la diversidad biológica y a la provisión de servicios ecosistémicos.

Altamente inclinada: Las pendientes altamente inclinadas presentan desafíos significativos para la calidad ecológica de humedales y ciénagas. Estas áreas son propensas a la erosión y a la pérdida de suelo, lo que puede afectar negativamente la calidad del agua y la estabilidad de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, las pendientes altamente inclinadas también pueden ser importantes en términos de conectividad hidrológica y como hábitats para especies adaptadas a condiciones más extremas.

Escarpada: Las pendientes escarpadas suelen ser áreas difíciles de acceder y pueden presentar condiciones extremas para la vida acuática y terrestre. Estas áreas pueden ser menos relevantes para la calidad ecológica de los humedales y ciénagas debido a su limitada capacidad para retener agua y a la dificultad para el establecimiento de comunidades biológicas estables.

Abrupta: Las pendientes abruptas son generalmente zonas inapropiadas para la calidad ecológica de los humedales y ciénagas. Estas áreas presentan una alta probabilidad de erosión y

no permiten la acumulación adecuada de agua y la formación de hábitats acuáticos y terrestres adecuados.

Conforme a la variable agua, se tienen diferentes formas de identificar su contexto o papel dentro del ecosistema, por lo cual, el principal criterio de análisis serán las precipitaciones. La siguiente tabla presenta el orden de interés:

Tabla 7. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Precipitación Media Anual de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación de la Precipitación Media Anual (mm/año) | Valor de Importancia |
|---|-----------------------------|
| <i>Más de 1800</i> | 1 |
| <i>1700 – 1800</i> | 1 |
| <i>1500 – 1600</i> | 1 |
| <i>1300 – 1400</i> | 1 |
| <i>1200 - 1300</i> | 1 |
| <i>1000 – 1200</i> | 2 |
| <i>900 – 1000</i> | 2 |
| <i>800 – 900</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Los rangos de precipitación entre los 1200 a los 1800 milímetros de precipitación media anual representan un importante aporte de provisión de agua y el sustento de la biodiversidad en los humedales y ciénagas y son esenciales para el funcionamiento y la productividad de los humedales y ciénagas, así como para la diversidad biológica asociada.

Aquellos que se sitúan entre los 900 a los 1200 milímetros de precipitación media anual puede apoyar a la vegetación y hábitats, aunque las lluvias en las áreas pueden ser limitadas para algunos aspectos de la hidrología y la productividad biológica, sin embargo, sigue siendo importante para el ecosistema. En cuanto al rango de 800 a 900 milímetros de precipitación media anual es reflejo de la escasez y puede influir en la disponibilidad de agua y en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.

Conforme a la disponibilidad de agua y el aporte de cada una de las unidades o subcuencas, se define el siguiente orden de importancia:

Tabla 8. Asignación de Puntajes a las subunidades hidrológicas de la Cuenca del Canal del Dique

| Subunidades Hidrológicas | Valor de Importancia | Subunidades Hidrológicas | Valor de Importancia |
|--|----------------------|--|----------------------|
| <i>Canal del Dique</i> | 1 | <i>Cuenca sur delta</i> | 2 |
| <i>Canal del Dique y Guajaro</i> | 1 | <i>Cuenca Arroyo caimán</i> | 2 |
| <i>Delta Canal del Dique</i> | 2 | <i>Cuenca Arroyo cabildo o grande</i> | 2 |
| <i>Barú</i> | 2 | <i>Cuenca Arroyo Quita Calzón Ciénagas Juan Gómez</i> | 2 |
| <i>Cuenca norte Canal del Dique Pasacaballos</i> | 2 | <i>Cuenca ciénagas Jobo – Negros</i> | 1 |
| <i>Ampliación cuenca sur delta</i> | 2 | <i>Cuenca ciénagas Capote – Tupe</i> | 1 |
| <i>Cuenca complejo María La Baja – Mahates</i> | 2 | <i>Cuenca Norte Embalse Guajaro</i> | 3 |
| <i>Cuenca El Playón</i> | 3 | <i>Cuenca Occidental Embalse Guajaro</i> | 2 |
| <i>Cuenca Matuya</i> | 3 | <i>Cuenca Oriental Embalse Guajaro y canal del Dique</i> | 1 |
| <i>Cuenca Matuya 2</i> | 3 | <i>Ampliación Cuenca Oriental y Distrito de Riego</i> | 3 |
| <i>Cuenca Arroyo Caribani</i> | 2 | <i>Cuenca Ciénaga Aguas Claras – La Ceiba – Luisa</i> | 1 |
| <i>Embalse Guajaro</i> | 1 | | |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

La tabla anterior, a diferencia de las presentadas con antelación, difiere en que la selección de los valores de importancia se hizo de manera geográfica, considerando el aporte o la extracción hídricos que le hacen o reciben del Canal del Dique, por lo tanto, estas quedan distribuidas así y de manera aleatoria.

En cuando al Índice de Agua de Diferencia Normalizada, las categorías de trabajo serán las siguientes:

Tabla 9. Asignación de Puntajes a los Atributos del Índice de Agua de Diferencia Normalizada – NDWI, de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación del NDWI | Valor de Importancia |
|-------------------------|----------------------|
| <i>Cuerpo de Agua</i> | 1 |
| <i>Zonas Inundables</i> | 1 |
| <i>Zonas Secas</i> | 2 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Para definir este índice es importante aclarar que en ArcGIS se llevó el proceso de reclasificación del espectro de onda, logrando solamente captar las tres primeras categorías de las cuatro disponibles y limitándose a un rango de -0,614 hasta 0,209. Posteriormente, se procede a convertir en Shape y categorizar conforme a la presencia de agua o no, estas categorías son las siguientes:

- 0,2 a 1 – Superficie del agua,*
- 0,0 a 0,2 – Inundación, humedad,*
- 0,3 a 0,0 – Sequía moderada, superficies sin agua,*
- 1 a -0,3 – Sequía, superficies sin agua*

Por otra parte, y para el recurso suelo, se tiene la clasificación agrológica, la cual, desde su concepto es muy clara y permite determinar con precisión los valores de los atributos que aportarían a la calidad ecológica. Considerando esto, entonces se tiene la siguiente tabla:

Tabla 10. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Clasificación Agrológica del Suelo de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación Agrológica | Valor de Importancia |
|---------------------------------|-----------------------------|
| <i>Clase VIII</i> | 1 |
| <i>Clase VII</i> | 1 |
| <i>Clase VI</i> | 2 |
| <i>Clase IV</i> | 3 |
| <i>Clase III</i> | 4 |
| <i>Clase II</i> | 4 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

En la definición, las clases de mayor valor son más aptas para la conservación ecológica, por ende, son factores que elevan la calidad, por lo tanto, su valor de importancia asignado así, tal como se presentó en la tabla anterior.

En cuanto a los componentes de Flora y Fauna, se presenta primeramente los atributos de la importancia de la Biodiversidad, la cual también posee una escala adaptable a la metodología de desarrollo de este trabajo de asignación de puntuaciones.

Tabla 11. Asignación de Puntajes a los Atributos de Valor de Importancia de la Biodiversidad de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación de la Importancia de la Biodiversidad | Valor de Importancia |
|--|-----------------------------|
| <i>Muy Alta</i> | 1 |
| <i>Alta</i> | 1 |
| <i>Media</i> | 3 |
| <i>Baja</i> | 5 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

En cuanto a la estructura ecológica principal solo se consideran dos atributos de interés:

Tabla 12. Asignación de Puntajes a los Atributos de la Estructura Ecológica Principal de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación de la Estructura Ecológica | Valor de Importancia |
|---|-----------------------------|
| <i>Estructura Ecológica</i> | 1 |
| <i>Agroecosistema</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

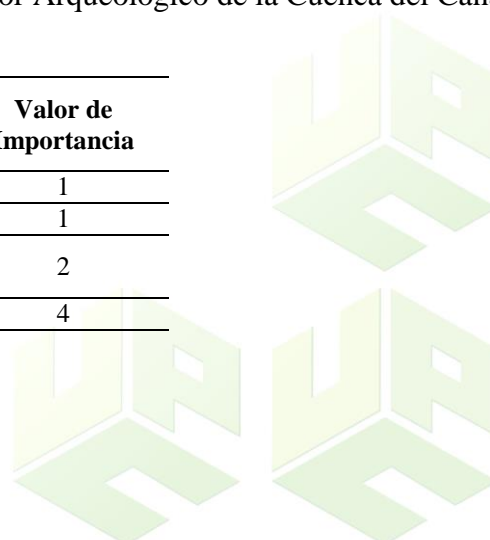
6.2.1.2. Clases Socioeconómicas.

En cuanto a la clase de sociocultura, uno de los aspectos relevantes corresponde a la clasificación arqueológica, la cual se encuentra comprendida con atributos igualmente correlacionables con las escalas de importancia de este trabajo, por lo cual, quedaría clasificado así:

Tabla 13. Asignación de Puntajes a los Atributos del Valor Arqueológico de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación de la Importancia de la Arqueología | Valor de Importancia |
|--|-----------------------------|
| <i>Importancia Internacional</i> | 1 |
| <i>Importancia Local/Nacional</i> | 1 |
| <i>Posible Existencia de Artefactos Arqueológicos</i> | 2 |
| <i>No relevante</i> | 4 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.



Asimismo, la zonificación ambiental permite tener un detallado análisis de como se planifica desde los lineamientos y estrategias del POMCA de la CARDIQUE, para con los ecosistemas que componen la cuenca, estos valores también poseen un marco de establecimiento de los criterios e indicadores de valor de importancia y se representan a continuación:

Tabla 14. Asignación de Puntajes a los Atributos de Zonificación Ambiental de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación de la Zonificación | Valor de Importancia |
|--|-----------------------------|
| <i>Zona de Ecosistema Estratégico</i> | 1 |
| <i>Zona de Recuperación Ambiental</i> | 1 |
| <i>Zona de Uso Múltiple Restringido</i> | 2 |
| <i>Zona de Rehabilitación Productiva</i> | 3 |
| <i>Zona de Producción</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Otro marco de establecimiento lo posee los atributos de grado de conflictos por uso del suelo para multipropósitos en la cuenca del Canal del Dique, con esto, se permite tener mayor razonamiento y menos aleatorización en los posibles resultados que se puedan obtener mediante la aplicación del método de ponderación y constitución de zonificación del valor de la calidad ecológica. En la siguiente tabla se observa el valor de importancia.

Tabla 15. Asignación de Puntajes a los Atributos de Grado de Conflictos de la Cuenca del Canal del Dique

| Grado de Conflictividad | Valor de Importancia |
|--------------------------------|-----------------------------|
| <i>Ninguno</i> | 1 |
| <i>Bajo</i> | 1 |
| <i>Medio</i> | 3 |
| <i>Alto</i> | 4 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Otro factor relevante corresponde a la existencia o no de distritos de riego. Como se apreció con anterioridad, existen cuatro distritos de riego, por lo cual, estos tomarán el valor de 3 y las otras áreas que no tengan consumo de agua tomarán el valor de 1, tal como se presenta en la tabla:

Tabla 16. Asignación de Puntajes a los Atributos de Distritos de Riego de la Cuenca del Canal del Dique

| Existencia de Distritos de Riego | Valor de Importancia |
|---|-----------------------------|
| <i>No hay Presencia de Distritos de Riego</i> | 1 |
| <i>Sí hay Presencia de Distritos de Riego</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Por otra parte, se tienen como factores adicionales las obras que se adelantan en el Canal del Dique en cuanto a la restauración de las Ciénagas, por lo cual, estas áreas también tomarán el valor de 1 y las otras áreas tomarán el valor de 3.

Tabla 17. Asignación de Puntajes a los Atributos de Obras de Restauración de las Ciénagas de la Cuenca del Canal del Dique

| Obras de Restauración | Valor de Importancia |
|--|-----------------------------|
| <i>Sí hay Presencia de Obras de Restauración</i> | 1 |
| <i>No hay Presencia de Obras de Restauración</i> | 3 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Por otra parte, se tiene la división administrativa de los municipios que poseen o tienen influencia dentro de la Cuenca del Canal del Dique. Estos, a diferencia de los otros indicadores serán ordenados de acuerdo con su posición geográfica y accesibilidad, conforme se distinguió en su mapa previo, además, en su capacidad de producir impactos ambientales.

Tabla 18. Asignación de Puntajes a los Atributos de Influencia Municipal de la Cuenca del Canal del Dique

| Municipios | Valor de Importancia | Municipios | Valor de Importancia |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <i>Suan</i> | 1 | <i>Campo de la Cruz</i> | 2 |
| <i>Santa Lucía</i> | 1 | <i>Candelaria</i> | 2 |
| <i>San Cristóbal</i> | 1 | <i>Cartagena de Indias</i> | 3 |
| <i>Calamar</i> | 1 | <i>El Carmen de Bolívar</i> | 2 |
| <i>Arroyo Hondo</i> | 1 | <i>Luruaco</i> | 2 |
| <i>Soplaviento</i> | 1 | <i>Piojó</i> | 2 |

| Municipios | Valor de Importancia | Municipios | Valor de Importancia |
|-----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| <i>Mahates</i> | 1 | <i>Sabana Larga</i> | 2 |
| <i>San Estanislao</i> | 1 | <i>San Jacinto</i> | 2 |
| <i>Arjona</i> | 1 | <i>San José Nepomuceno</i> | 2 |
| <i>María La Baja</i> | 1 | <i>San Onofre</i> | 2 |
| <i>Turbana</i> | 1 | <i>Turbaco</i> | 3 |
| <i>Manatí</i> | 1 | <i>Usiacurí</i> | 2 |
| <i>Repelón</i> | 1 | <i>Villanueva</i> | 2 |
| <i>Baranoa</i> | 2 | | |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Por último, se tiene el Índice de Diferencia Normalizada Edificada, en el cual, se tienen las siguientes categorías tabuladas:

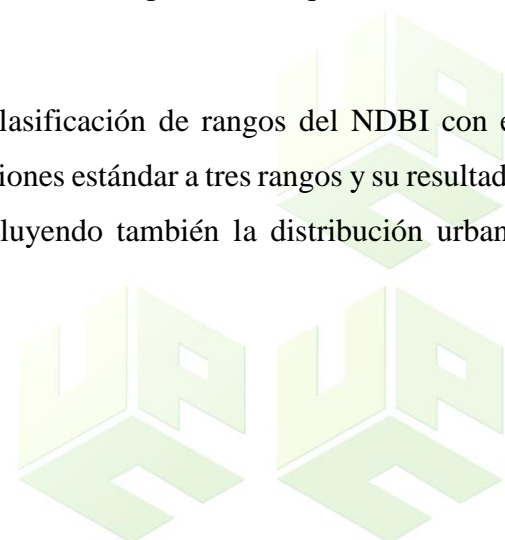
Tabla 19. Asignación de Puntajes a los Atributos del Índice de Diferencia Normalizada Edificada, de la Cuenca del Canal del Dique

| Clasificación del NDBI | Valor de Importancia |
|---------------------------------------|----------------------|
| <i>Zonas poco o nada Intervenidas</i> | 1 |
| <i>Zonas intervenidas</i> | 3 |
| <i>Zonas Muy Intervenidas</i> | 5 |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Para definir este índice se llevaron mismos procesos que con el NDWI, por lo cual, con este índice solo procede establecer las relaciones de pesos necesarias para definir que variable tiene mayor incidencia.

Es de aclarar que existen diferencias entre la clasificación de rangos del NDBI con el NDWI, sin embargo, el NDBI fue clasificado por desviaciones estándar a tres rangos y su resultado implicaría más la intervención antrópica territorial incluyendo también la distribución urbana orográfica que repulsa el paisaje de análisis geográfico.



6.2.2. Relaciones De Peso

La asignación de peso es subjetiva y de interés de los investigadores, basados en los elementos que puedan atribuir mayor valor de importancia y calidad ecológica a la cuenca del Canal del Dique. En ese orden de ideas, la naturaleza de la asignación de las relaciones de peso permite definir que las variables sean clasificadas así:

Tabla 20. Relación de Peso entre las Variables de Análisis

| Clases | Variables de Análisis | Peso | Porcentaje |
|----------------|-------------------------------------|--------|------------|
| Biofísico | Geología | Peso 2 | 4,8% |
| | Geomorfología | Peso 2 | 4,8% |
| | Pendiente del Terreno | Peso 3 | 7,1% |
| | Isoyetas | Peso 3 | 7,1% |
| | Subcuencas | Peso 4 | 9,5% |
| | Índice NDWI | Peso 2 | 4,8% |
| | Agrología | Peso 2 | 4,8% |
| | Importancia de la Biodiversidad | Peso 5 | 11,9% |
| | Estructura Ecológica Principal | Peso 4 | 9,5% |
| Socioeconómico | Clasificación Arqueológica | Peso 2 | 4,8% |
| | Zonificación Ambiental | Peso 3 | 7,1% |
| | Grado de Conflictividad | Peso 1 | 2,4% |
| | Distritos de Riego | Peso 2 | 4,8% |
| | Obras de Restauración de la Ciénaga | Peso 4 | 9,5% |
| | División Administrativa | Peso 1 | 2,4% |
| | NDBI | Peso 2 | 4,8% |

Nota: Elaborado por los Autores, 2023.

Con base a esto, entonces se procede a realizar la digitalización de los productos cartográficos representativos de las variables, con la respectiva asignación de los atributos estudiados y descritos durante la redacción de este trabajo hasta este punto.

El proceso de digitalización requiere la construcción del insumo cartográfico a partir de la referencia visual, es un proceso de estimación en sí, pero ayuda a obtener un resultado conciso que puede definir concretamente el trabajo y que posteriormente puede llevar a la clasificación con la asignación de los puntajes debidos. Este trabajo toma tiempo considerable.

6.3. ZONIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y SOCIOECONÓMICO, Y EL VALOR DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL COMPLEJO CENAGOSO DE LA CUENCA DEL CANAL DEL DIQUE MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

6.3.1. Zonificación De Componentes

Para proceder a realizar la zonificación y obtener los resultados del procedimiento del valor de la calidad ecológica se llevaron a cabo los siguientes pasos.

i. Conversión de los archivos shape a rasters:

Los archivos shape que se desean convertir a rasters se importan en el software. Se utiliza la herramienta de conversión correspondiente, como "Polygon to Raster" o "Point to Raster" en ArcGIS, para convertir los shapes en rasters.

ii. Asignación de valores a los rasters:

Una vez generados los rasters a partir de los shapes, se asignan valores a cada uno de acuerdo con su importancia relativa en la evaluación multicriterio. Los valores pueden ser proporcionales a la importancia asignada o se pueden utilizar rangos numéricos predefinidos.

iii. Normalización de los rasters:

Se realiza la normalización de los valores de los rasters para asegurarse de que todos estén en una escala común y comparables. Esto puede lograrse mediante técnicas de normalización, como la normalización min-max o la normalización z-score.

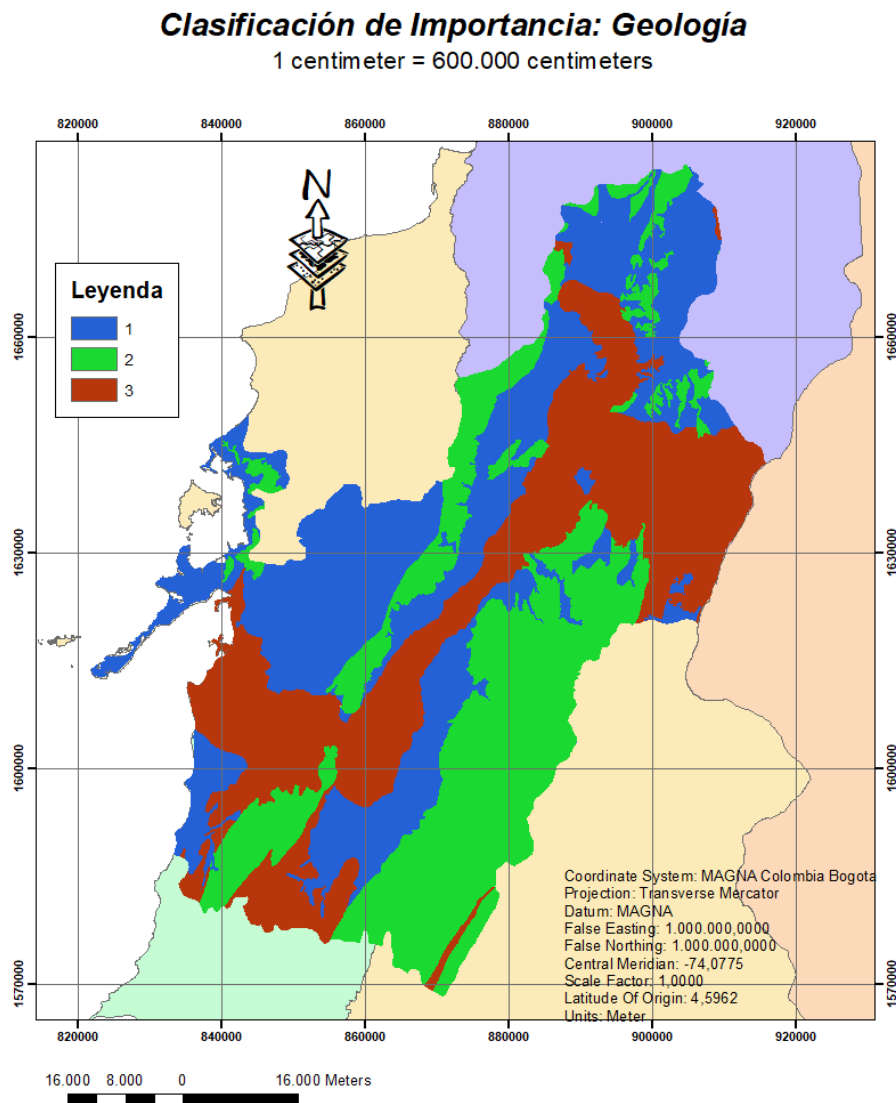
iv. Realización de la sumatoria ponderada:

Se asignan pesos a cada uno de los rasters normalizados, reflejando su importancia relativa en la evaluación multicriterio. Los pesos pueden ser proporcionales a la importancia asignada anteriormente. Cada raster normalizado se multiplica por su respectivo peso. Se realiza la suma ponderada de todos los rasters para obtener un raster resultante que representa la evaluación

multicriterio. Esta suma ponderada se puede calcular utilizando la herramienta de suma de rasters disponible en el software de SIG.

Para ello se preparan los insumos reclasificados así:

Figura 24. Reclasificación de los atributos de la variable Geología

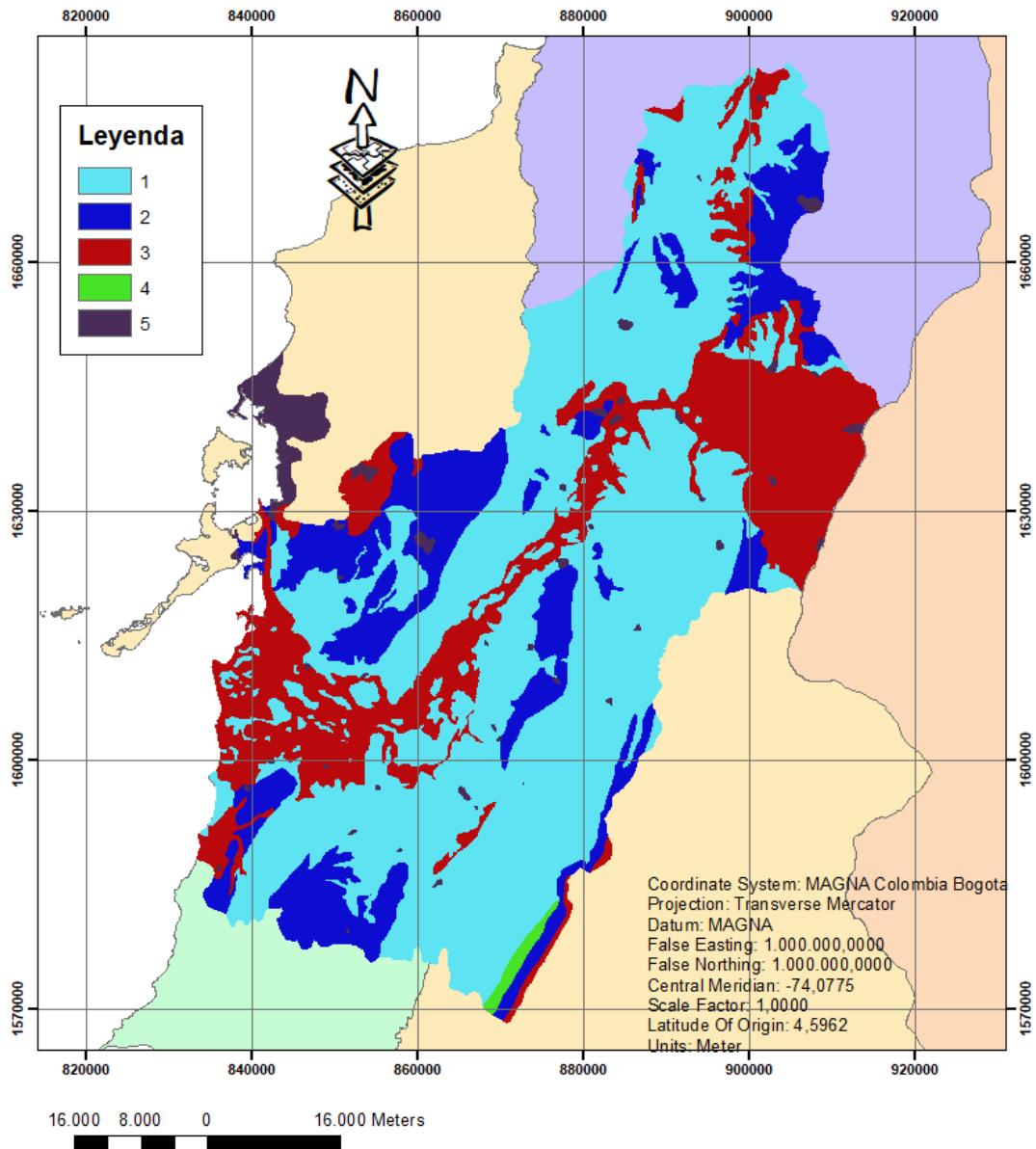


Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 25. Reclasificación de los atributos de la variable Geomorfología

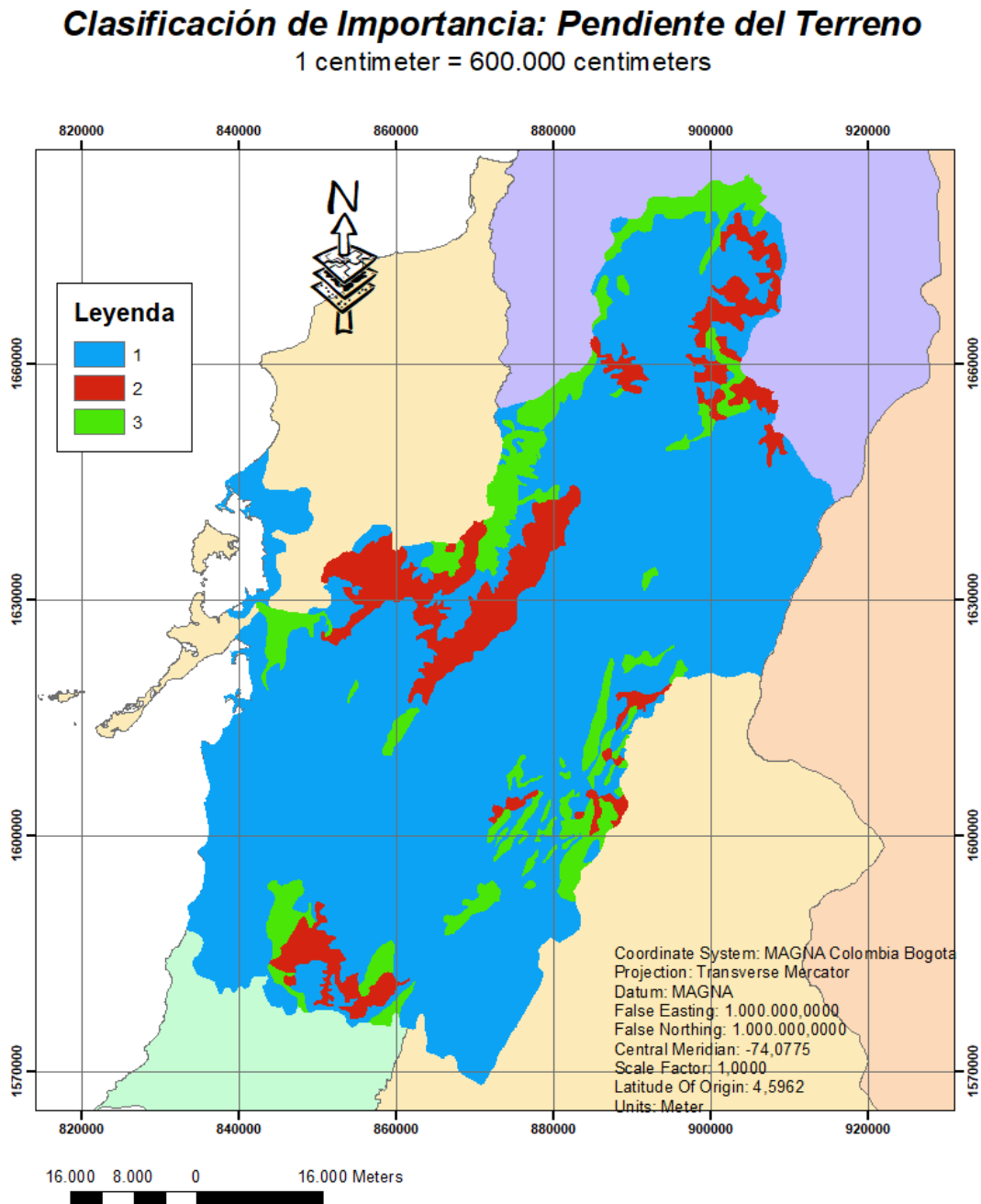
Clasificación de Importancia: Geomorfología

1 centimeter = 600.000 centimeters



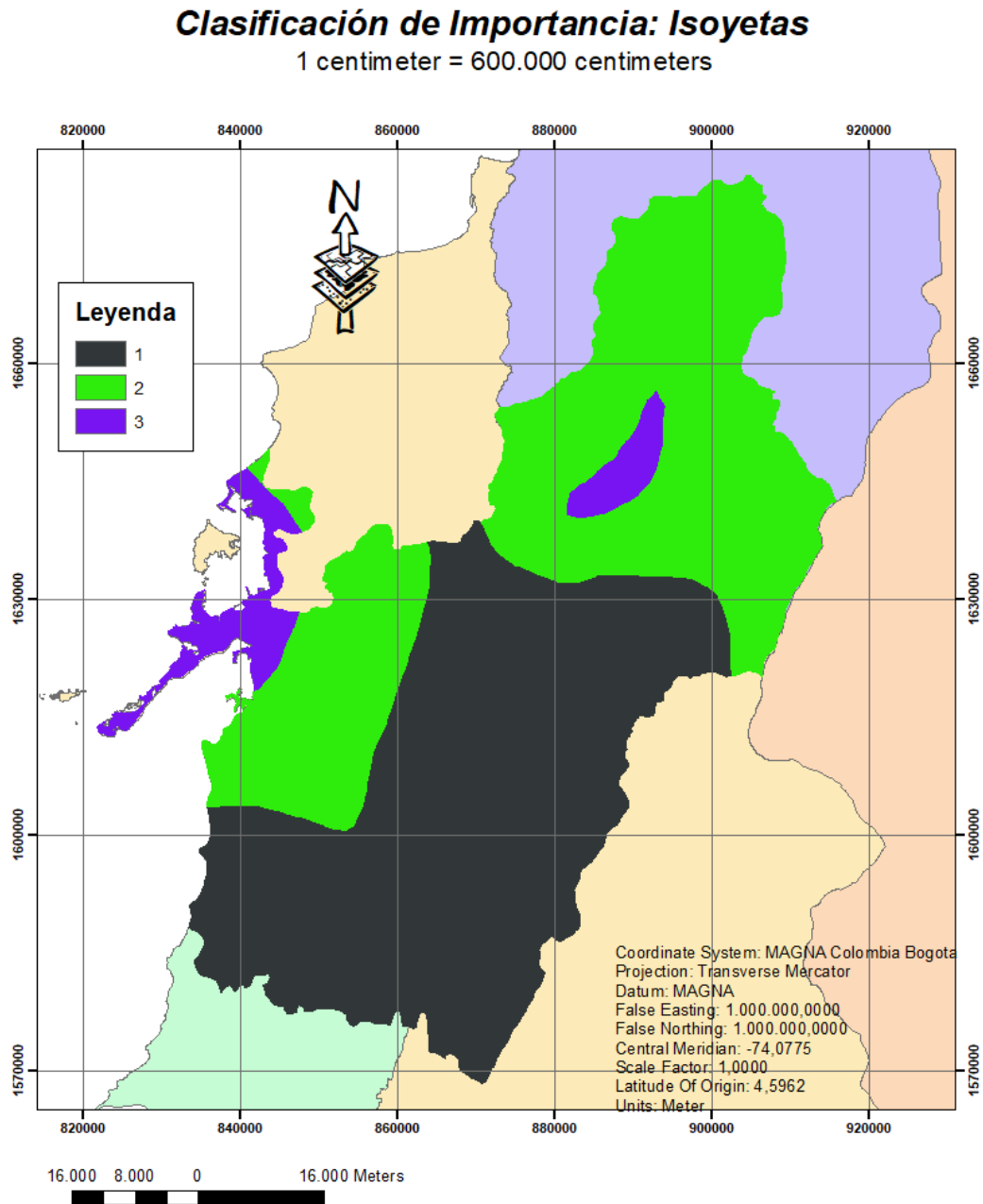
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 26. Reclasificación de los atributos de la variable Pendiente del Terreno



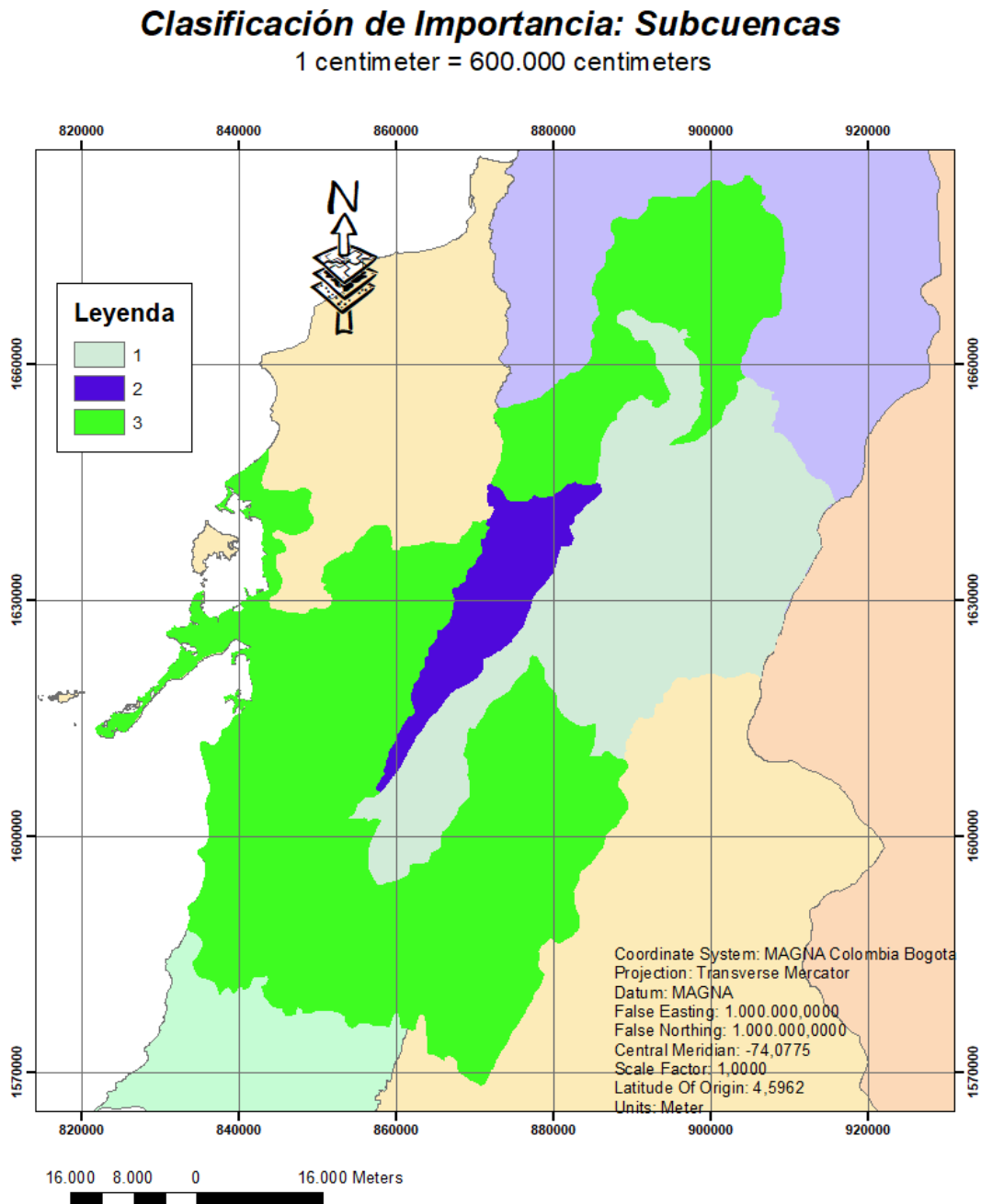
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 27. Reclasificación de los atributos de la variable Isoyetas de Precipitaciones



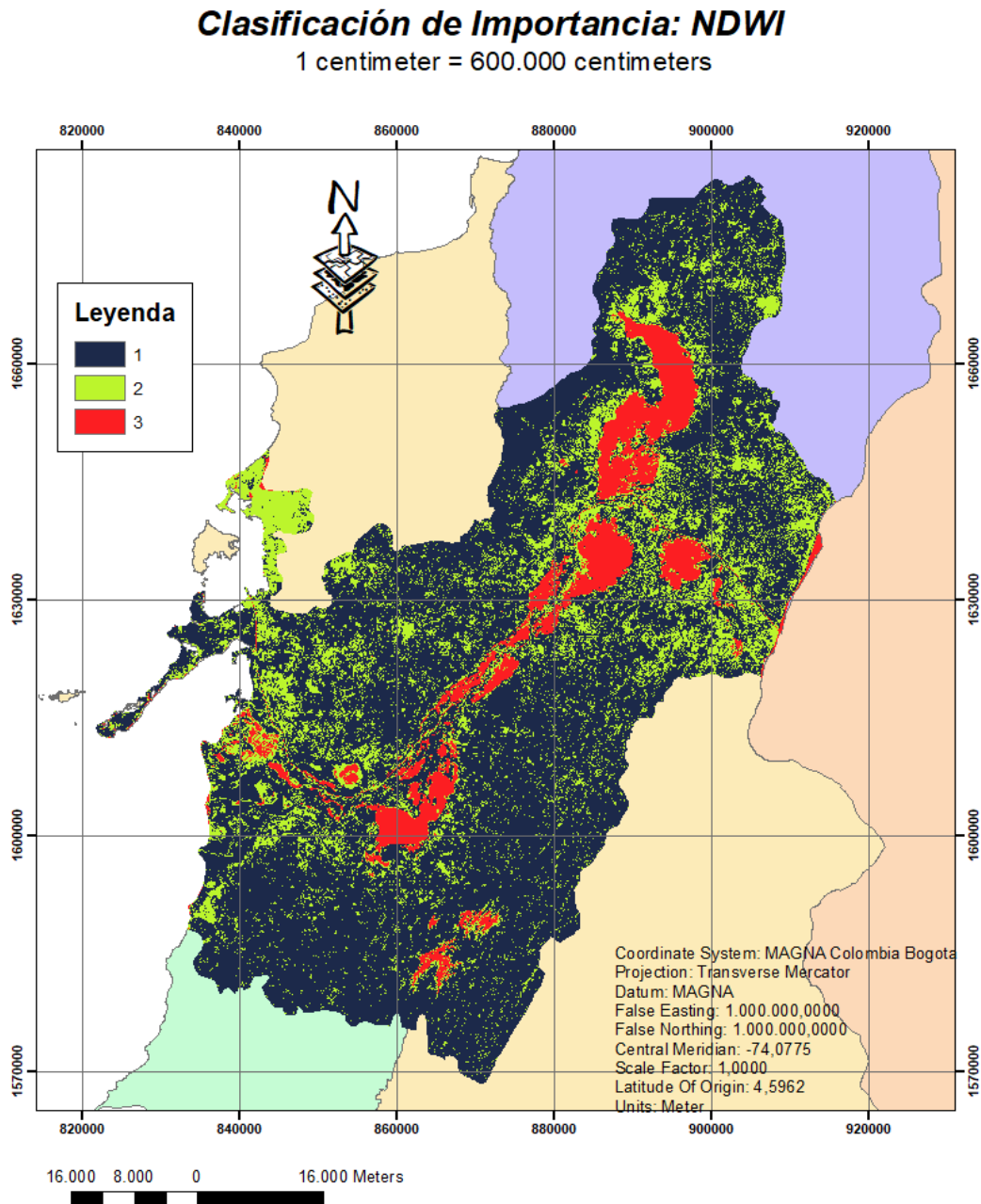
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 28. Reclasificación de los atributos de la variable subcuencas



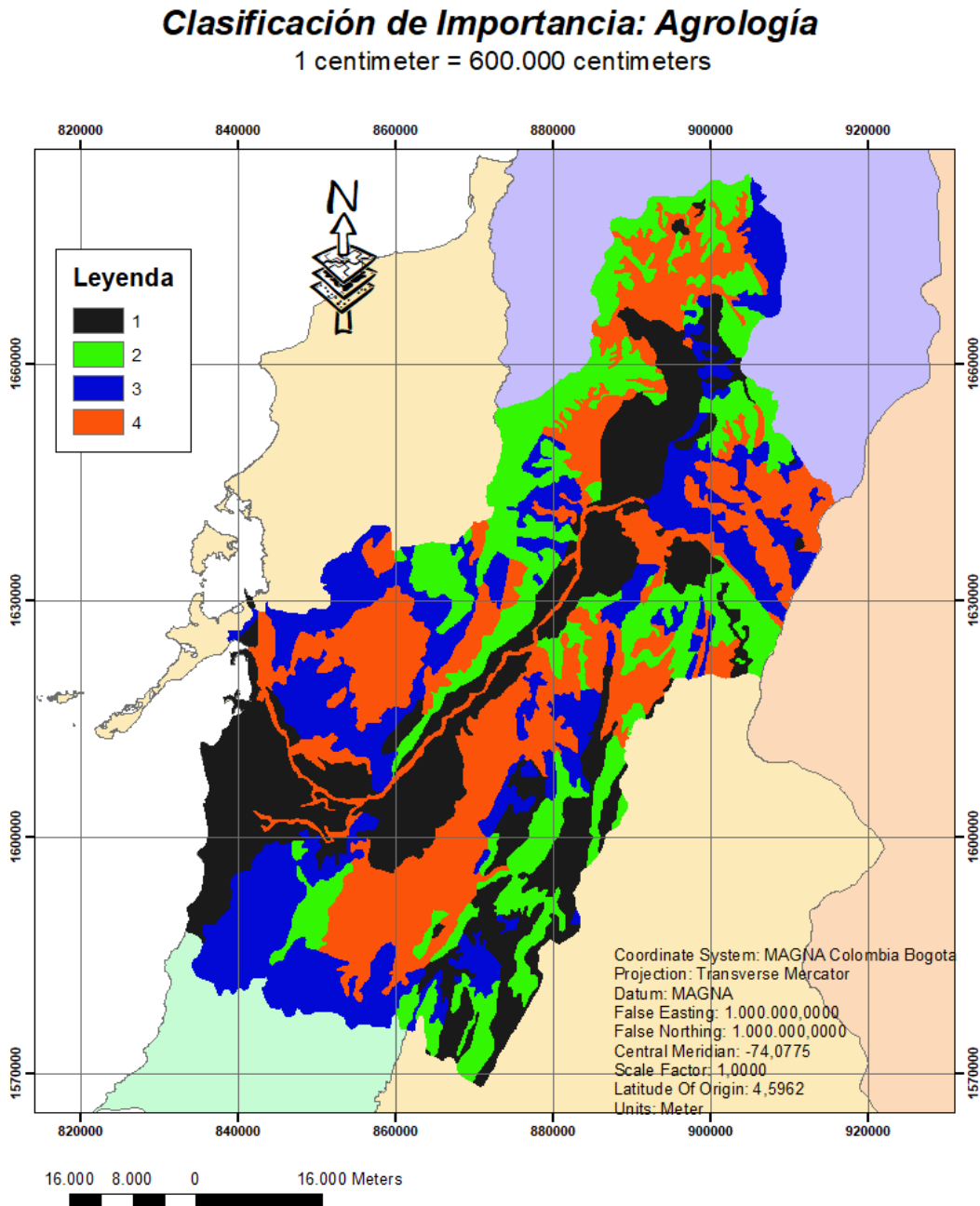
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 29. Reclasificación de los atributos de la variable NDWI



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

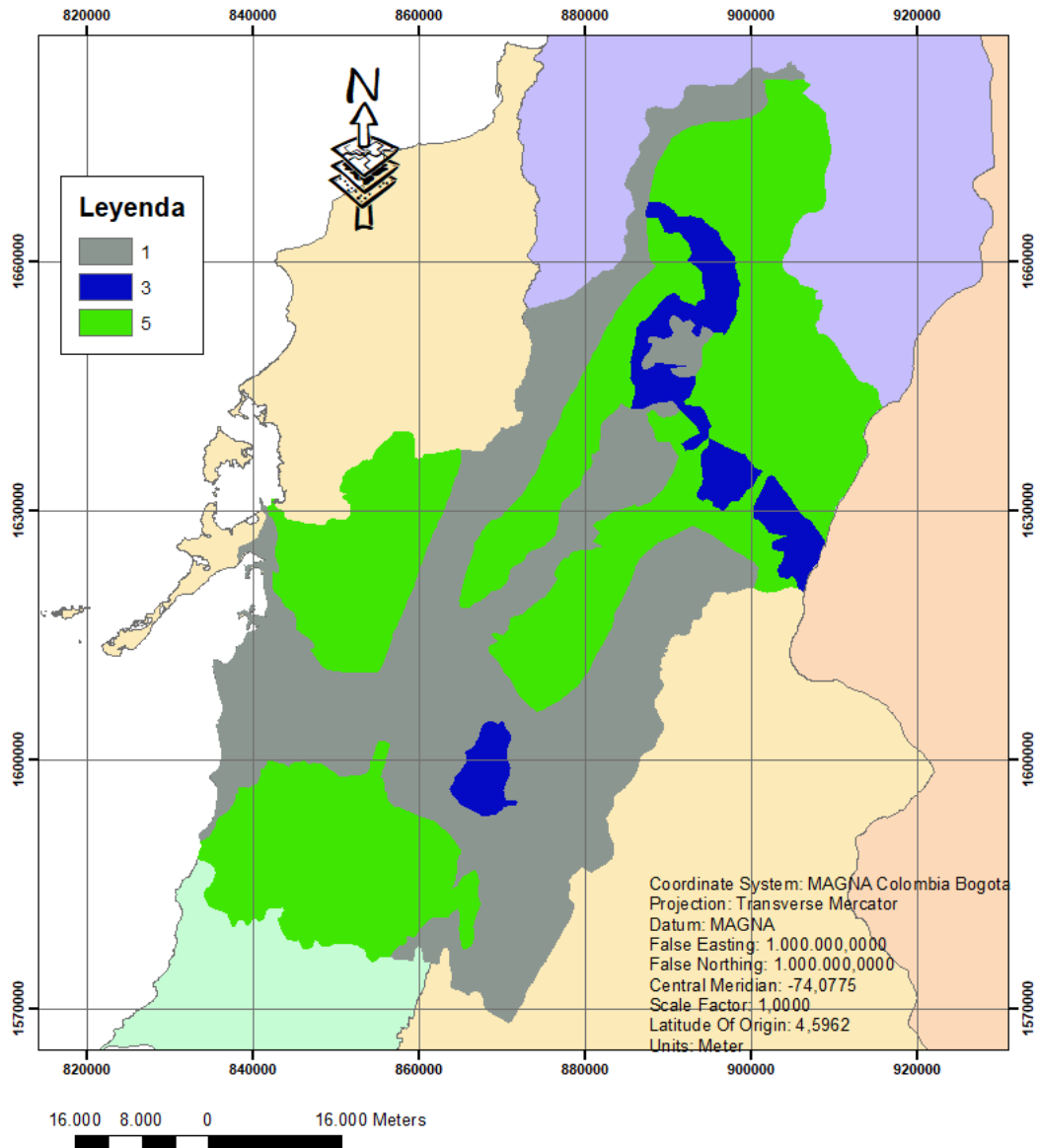
Figura 30. Reclasificación de los atributos de la variable de Uso Agrológico



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 31. Reclasificación de los atributos de la variable Importancia de la Biodiversidad

Clasificación de Importancia: Biodiversidad
1 centimeter = 600.000 centimeters

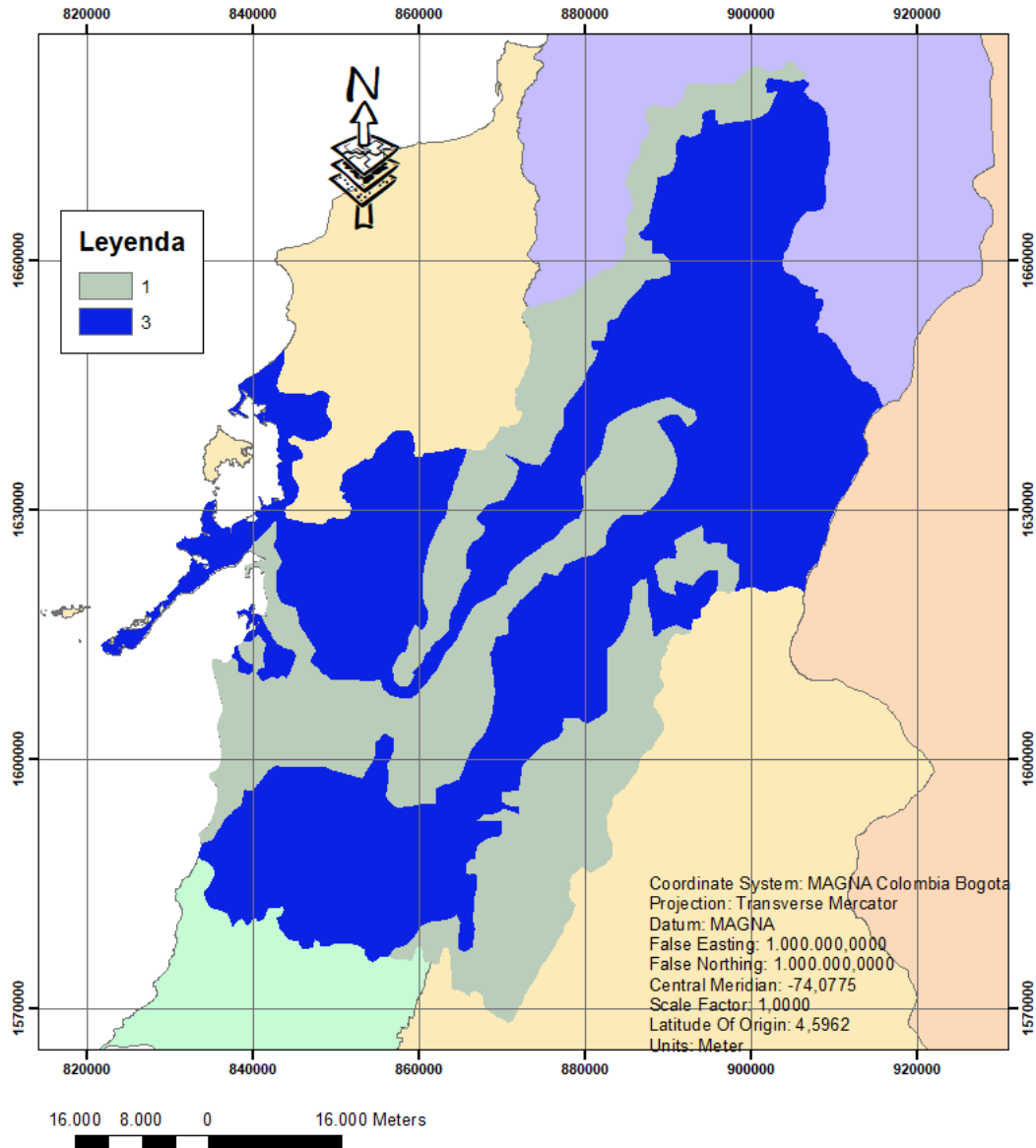


Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 32. Reclasificación de los atributos de la variable Estructura Ecológica Principal

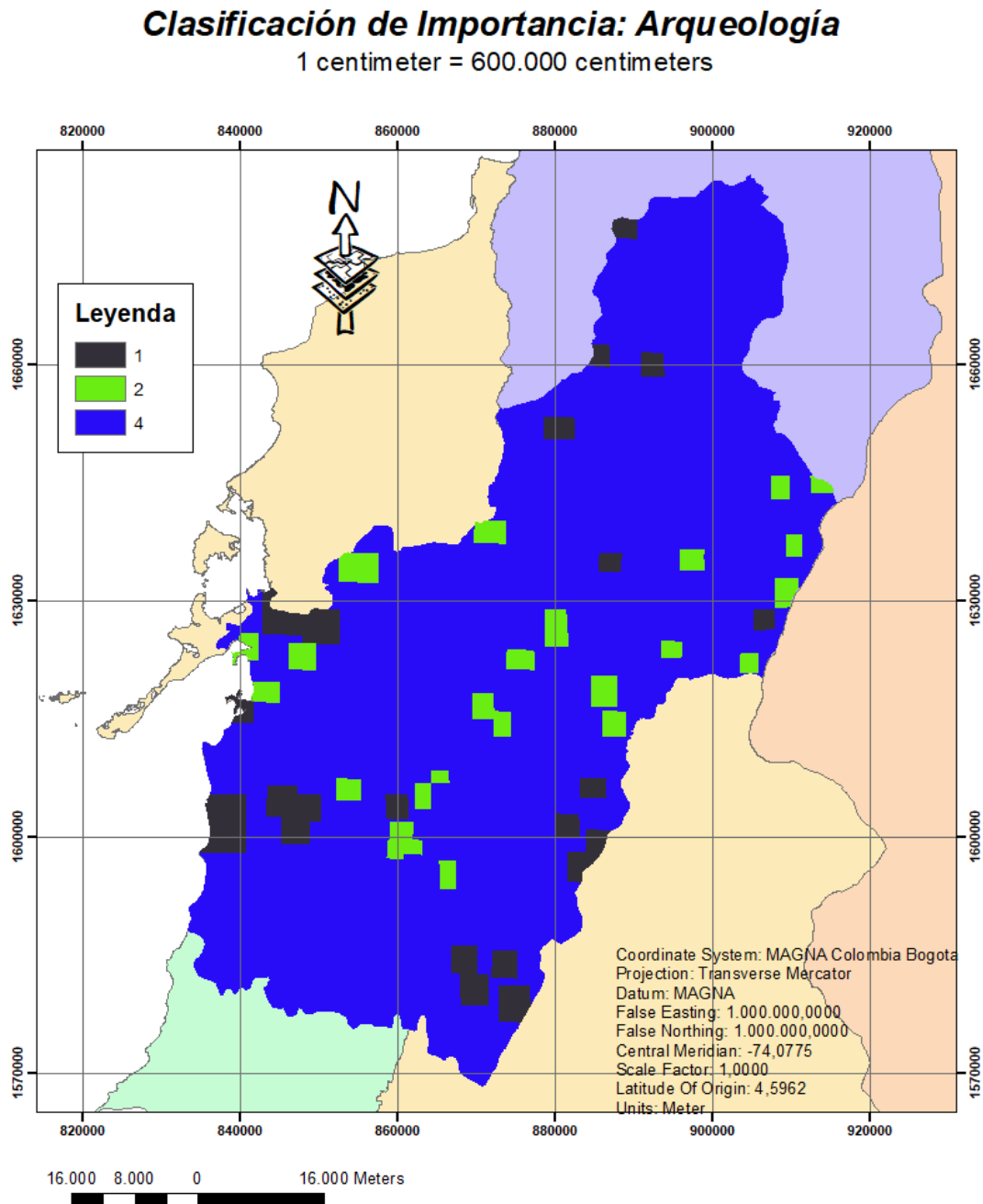
Clasificación de Importancia: Estructura Ecológica Ppal.

1 centimeter = 600.000 centimeters



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

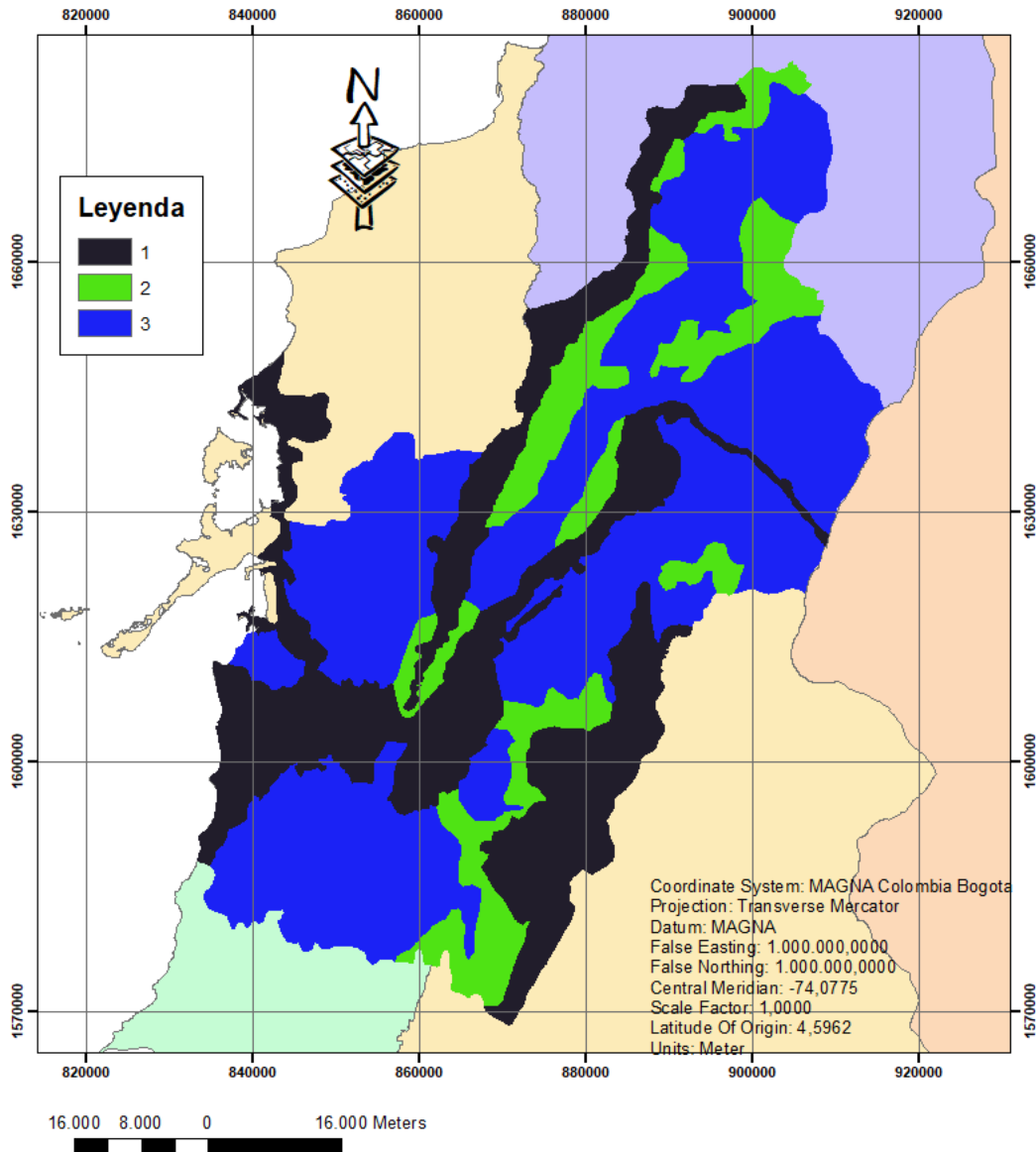
Figura 33. Reclasificación de los atributos de la variable Arqueología



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

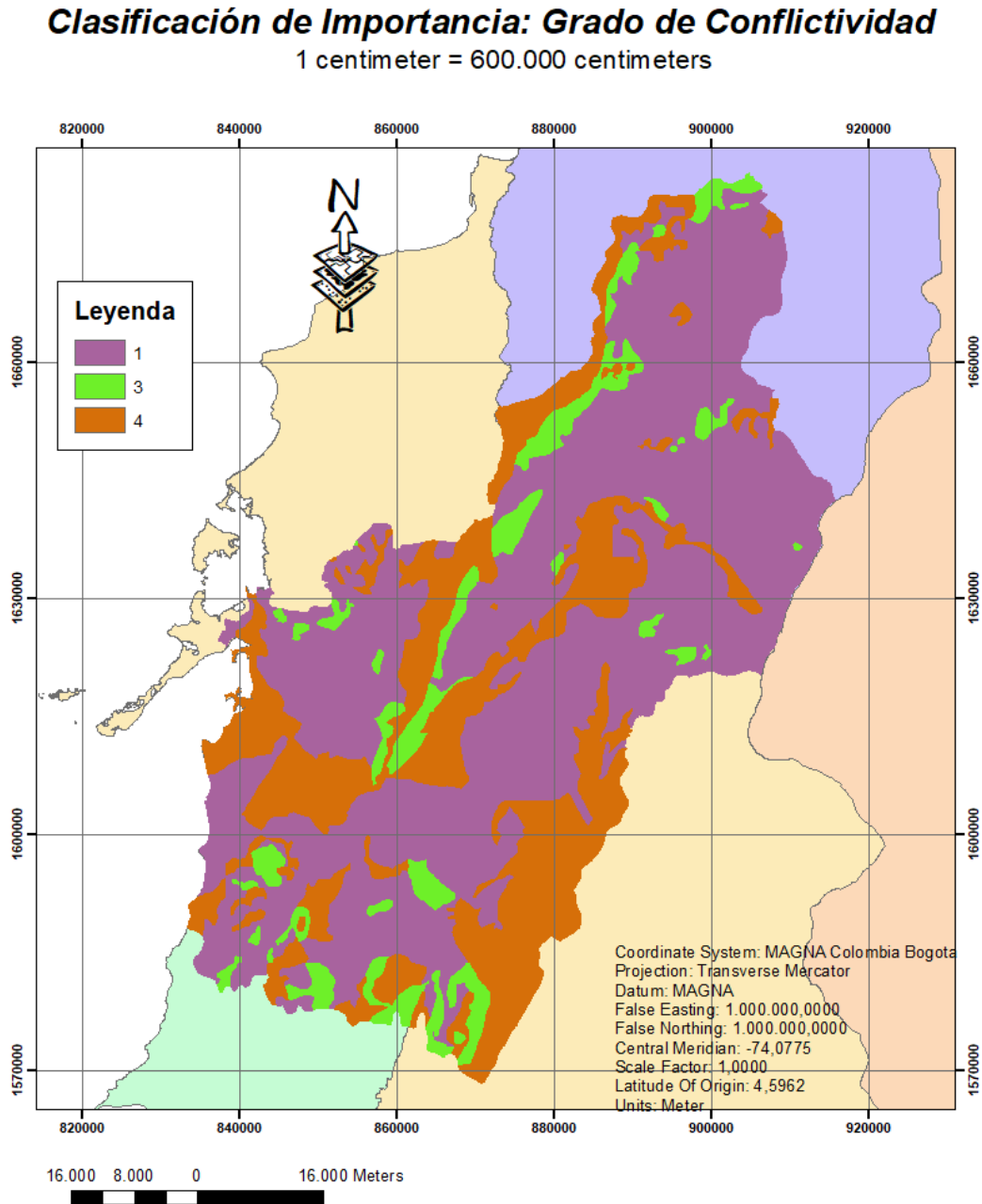
Figura 34. Reclasificación de los atributos de la variable Zonificación Ambiental

Clasificación de Importancia: Zonificación Ambiental
1 centimeter = 600.000 centimeters



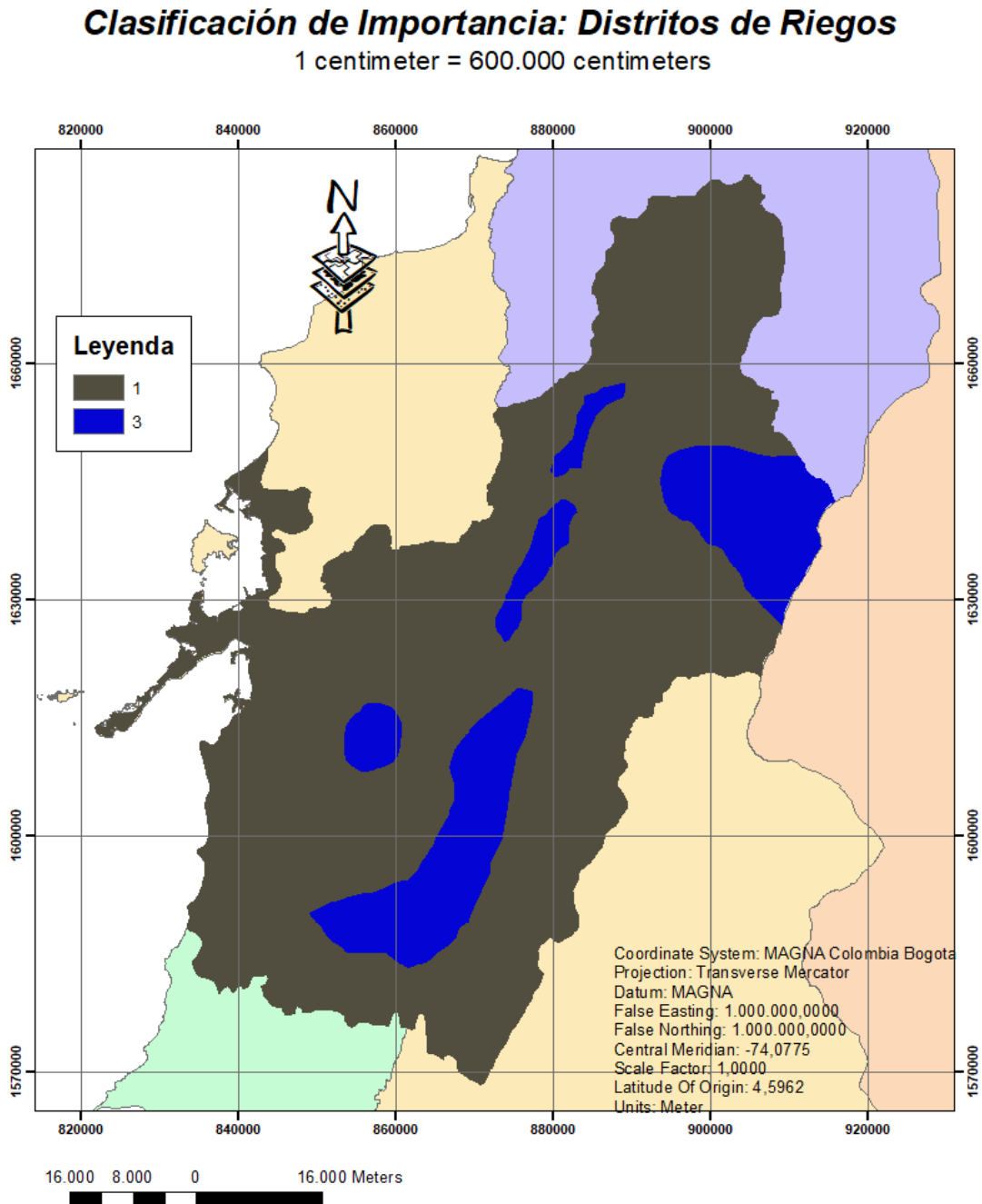
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 35. Reclasificación de los atributos de la variable Grado de Conflictividad



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

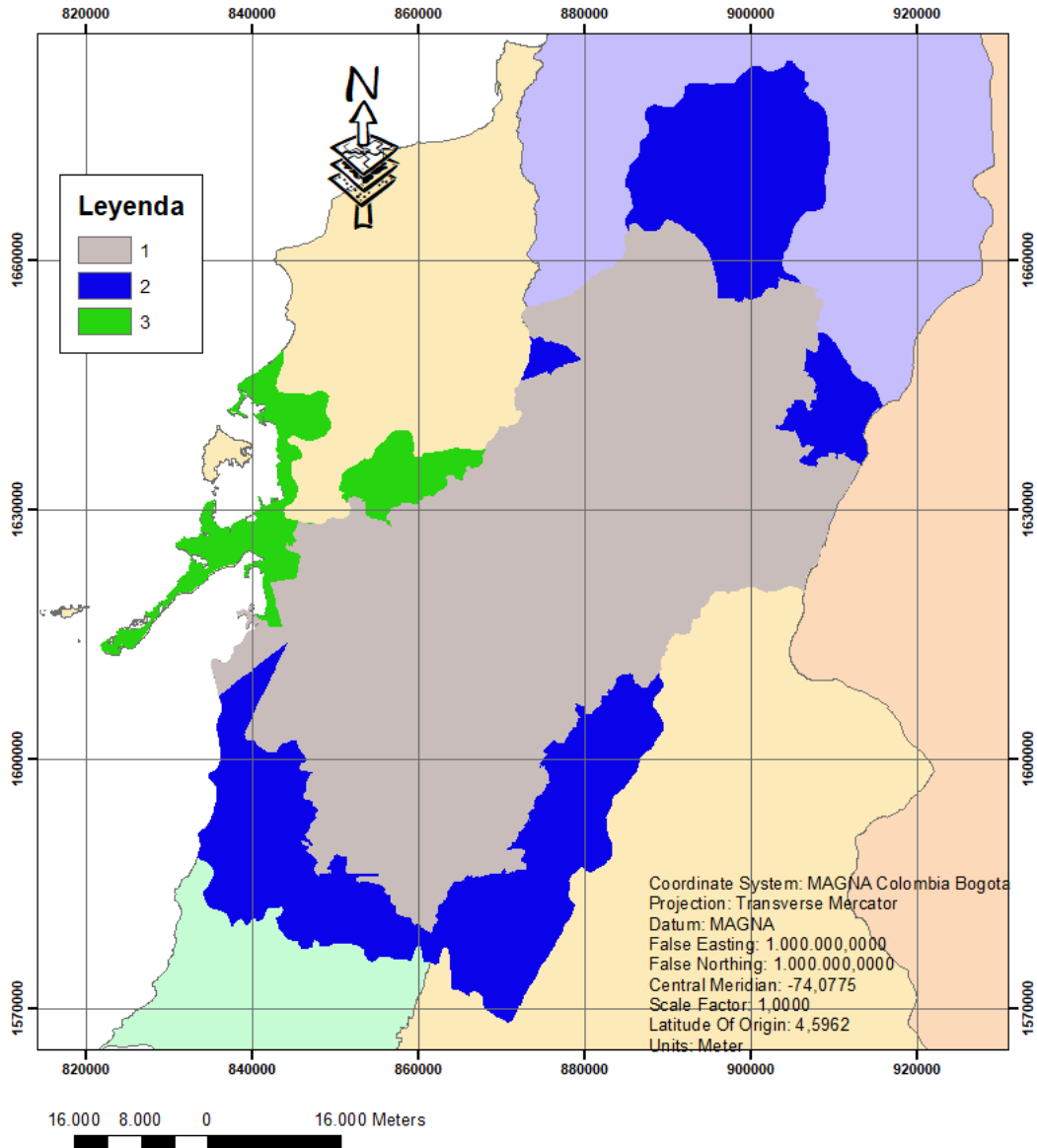
Figura 36. Reclasificación de los atributos de la variable Distritos de Riegos



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

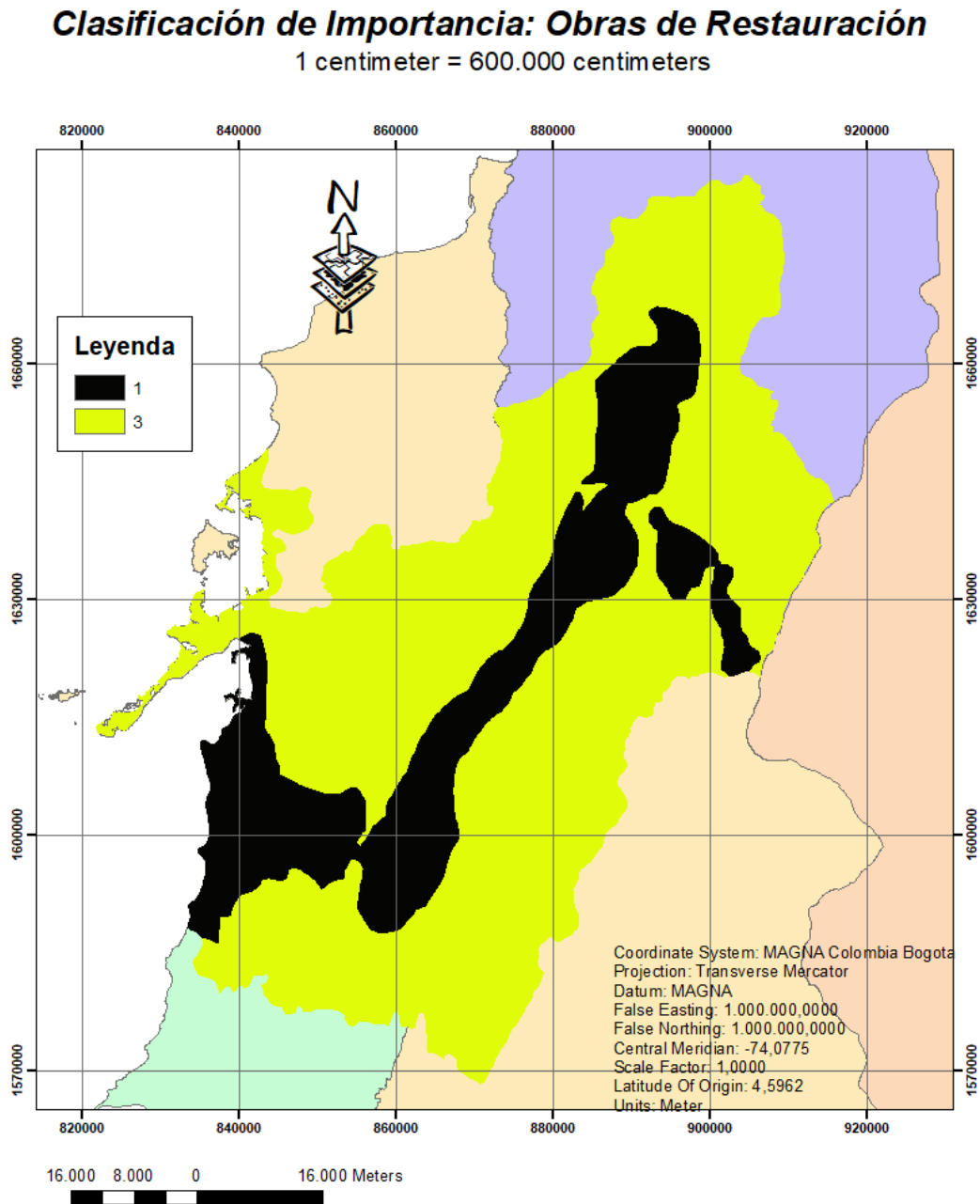
Figura 37. Reclasificación de los atributos de la variable División Administrativa

Clasificación de Importancia: División Administrativa
1 centimeter = 600.000 centimeters



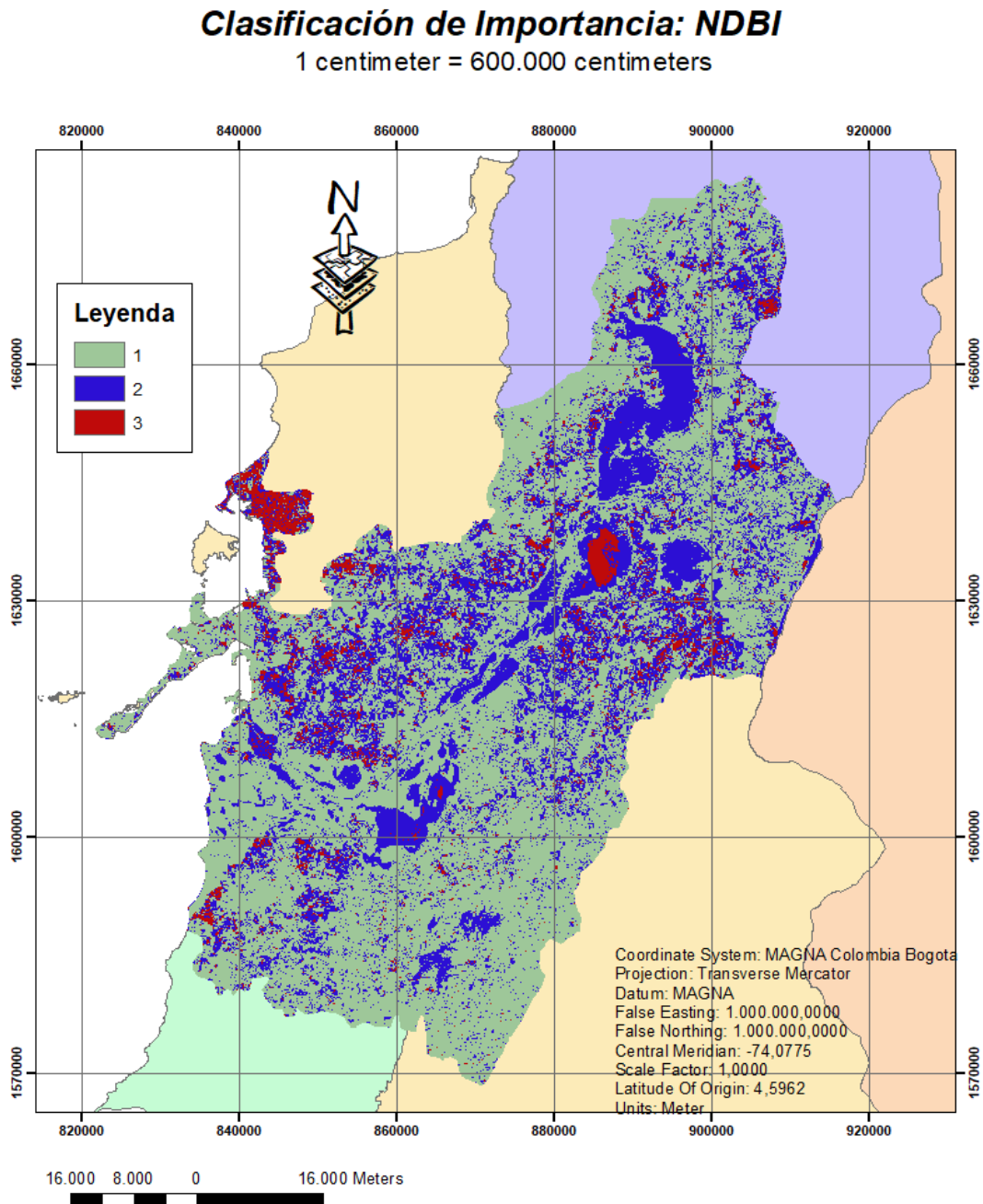
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 38. Reclasificación de los atributos de la variable Obras de Restauración



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

Figura 39. Reclasificación de los atributos de la variable NDBI



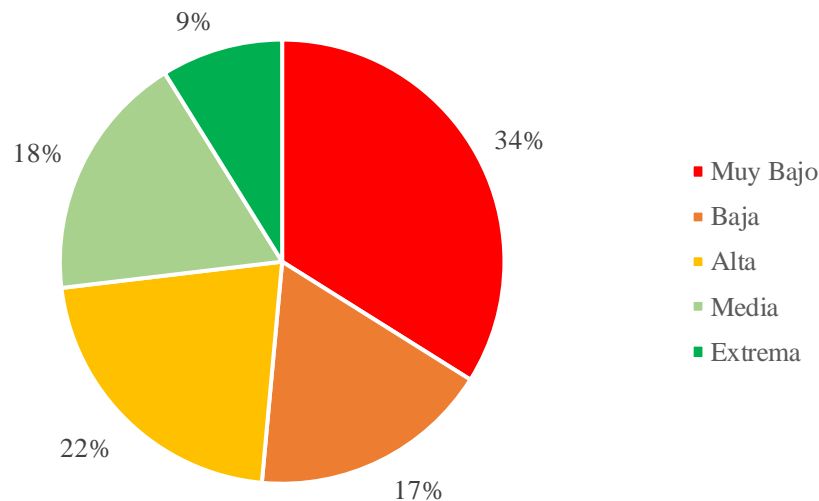
Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

6.3.2. Zonificación Calidad Ecológica

Para realizar la zonificación de calidad ecológica se consideraron cinco categorías de calidad como lo son Muy Baja, Baja, Media, Alta y Extrema, siendo de interés la categoría extrema, puesto que es donde se alberga la mayor área particular y de interés.

Al realizar los análisis estadísticos de las categorías, se tiene el siguiente gráfico como principal representación del resultado de análisis con el SIG.

Figura 40. Clasificación Porcentual de las Categorías de Calidad Ecológica



Nota: Elaborado por los Autores (2023)

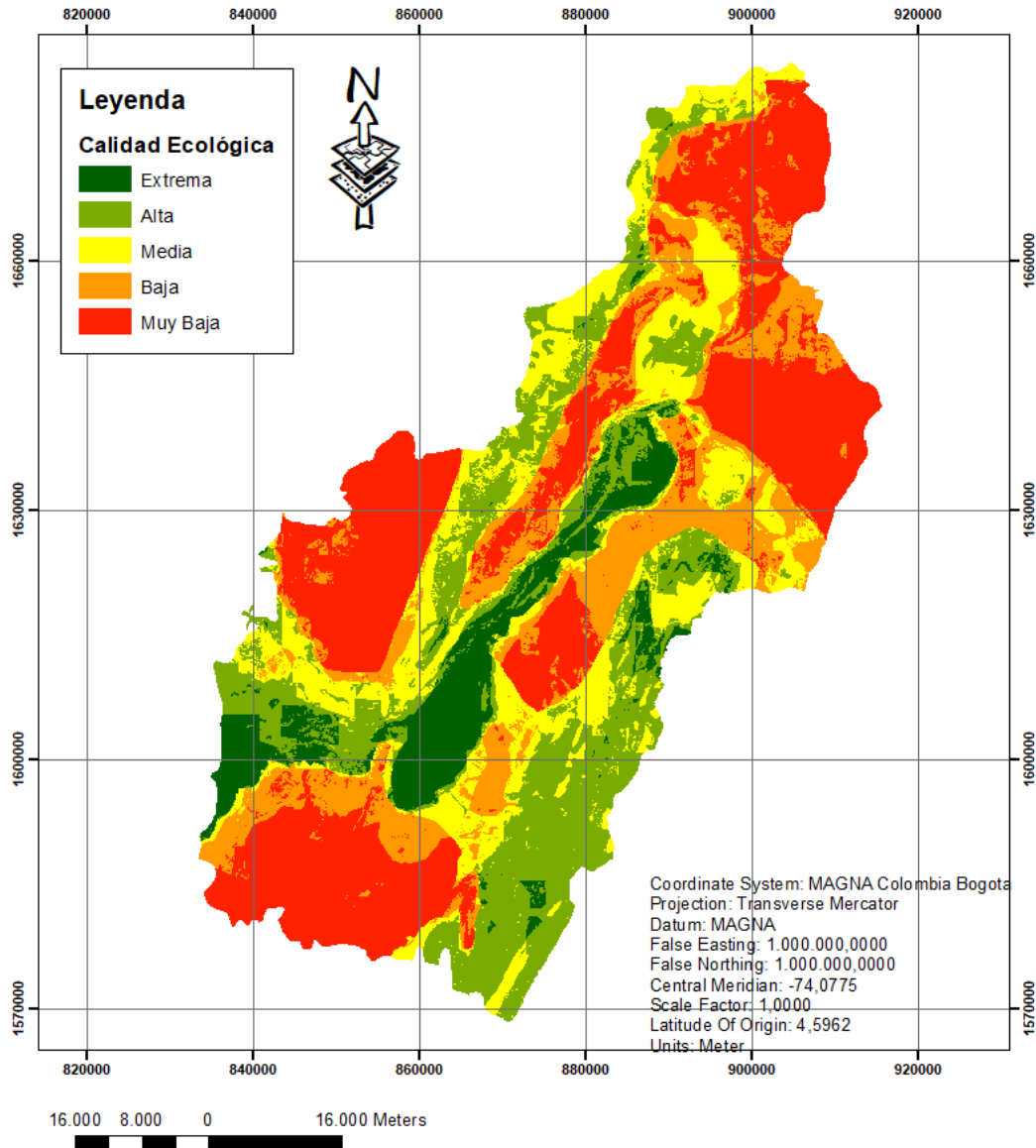
Como se aprecia, la mayoría del área posee una calidad ecológica muy baja, siendo representada por una extensión de 1538,48 kilómetros cuadrados, seguido de una extensión alta de representada por un área de 982,19 kilómetros cuadrados. Seguidamente, la calidad ecológica se categoriza como baja con una extensión de 795,53 kilómetros cuadrados. Con esto se tiene más del 50% del área dentro de categorías que significan que la calidad ecológica de la cuenca del Canal del Dique está afectada.

Las otras categorías son mínimas en cuanto a su extensión, sin embargo, la distribución geográfica dan conocimiento de la distribución del valor ecológico alrededor de las ciénagas.

Figura 41. Calidad Ecológica de la Cuenca del Canal del Dique

EMSP Calidad Ecológica del Canal del Dique

1 centimeter = 600.000 centimeters



Nota: Elaborado por los Autores (2023). Realizado a través del software ArcMAP de ArcGIS, producto de ESRI Corporation.

7. CONCLUSIONES

El proyecto comenzó con la recolección exhaustiva de información relevante en la Cuenca del Canal del Dique. Se caracterizaron diversas variables geoespaciales, como la geología, geomorfología, pendiente del terreno, precipitaciones, unidades hidrológicas o subcuencas, uso agrológico, importancia de la biodiversidad, estructura ecológica principal, clasificación arqueológica, zonificación ambiental, grado de conflictividad, distritos de riego, obras de restauración de las ciénagas y la división político-administrativa de los municipios involucrados. Este proceso de recolección de información permitió obtener una visión completa de los elementos geográficos y ambientales presentes en la cuenca, sentando las bases para el análisis posterior.

Además, se incorporó el cálculo de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para complementar la evaluación del área de estudio. En particular, se utilizó el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI). Estos índices se obtuvieron a partir de una imagen satelital de alta resolución adquirida del Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2, proporcionada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América a través de su plataforma EarthData. Estas herramientas permitieron evaluar la presencia y distribución de agua y áreas edificadas en la cuenca, brindando información adicional relevante para el análisis de los factores ambientales y la toma de decisiones en el contexto del proyecto.

Cada una de las variables recolectadas fue cuidadosamente clasificada en componentes biofísicos y socioeconómicos para comprender su influencia en la calidad ecológica de las ciénagas y otros procesos que ocurren en la Cuenca del Canal del Dique. Se reconoció que factores geológicos, geomorfológicos y climáticos, como la geología, geomorfología y precipitaciones, desempeñan un papel fundamental en la formación y mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y la diversidad biológica. Asimismo, se identificaron variables socioeconómicas, como el uso agrológico, la estructura ecológica principal y el grado de conflictividad, que influyen en la conservación de los humedales y en la sostenibilidad de los recursos naturales en la región.

Estas clasificaciones y análisis permitieron obtener una expectativa preliminar de los puntajes de importancia para cada variable, teniendo en cuenta su contribución relativa a la calidad ecológica de las ciénagas y otros procesos clave en la Cuenca del Canal del Dique. Si bien estos puntajes son subjetivos y requieren una validación posterior, sentaron las bases para los posteriores procesos de evaluación multicriterio y sumatoria ponderada, donde se asignaron pesos a cada variable y se realizaron análisis cuantitativos para obtener una visión integral de los diferentes factores y su influencia en la gestión ambiental y ecológica de la cuenca.

Posteriormente, se procedió a la selección de criterios, un proceso que implicó identificar cada uno de los atributos de las variables estudiadas y asignarles un valor de importancia en relación con su impacto ambiental en el paisaje de la cuenca del Canal del Dique. Para llevar a cabo esta asignación, se emplearon escalas dicotómicas y escalas múltiples, donde se asignó un valor mínimo de unidad y valores máximos de hasta cuatro unidades. En estas escalas, un valor de uno indicaba un menor impacto ambiental, mientras que un valor de cinco representaba un mayor impacto ambiental.

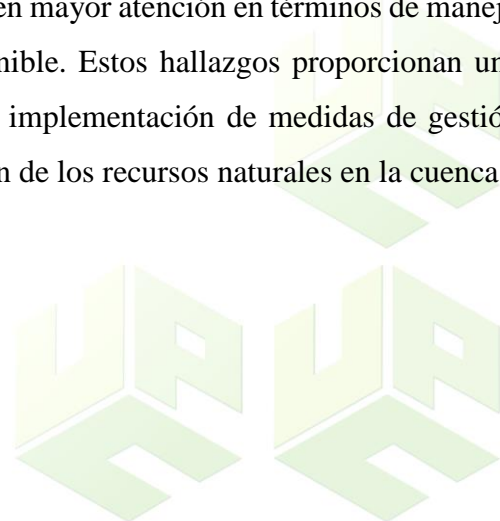
La asignación de estos valores de importancia se plasmó en tablas que reflejaban los criterios seleccionados y sus respectivos puntajes. Estas tablas proporcionaron una herramienta estructurada para evaluar y comparar los diferentes atributos de las variables, permitiendo una toma de decisiones más informada y precisa en relación con la gestión ambiental y ecológica de la cuenca. El proceso de asignación de valores de importancia se basó en la revisión de literatura especializada, la consulta a expertos en el campo y la consideración de las características particulares de la cuenca del Canal del Dique.

Entre las variables evaluadas, se encontró que la agrología fue la de mayor valor, debido a los impactos asociados a la clasificación del uso agrológico de la tierra dentro del área de la Cuenca del Canal del Dique. Esta variable tuvo una influencia significativa en el paisaje y los ecosistemas de la cuenca, destacándose por su potencial para generar efectos tanto positivos como negativos en la calidad ecológica. Por otro lado, se identificó que la variable relacionada con las Obras de Restauración de las Ciénagas presentó una relación de valoración más limitada, ya que su valor indicaba únicamente un impacto positivo y no se consideraron efectos negativos directos.

El estudio de las categorizaciones, asignación y selección de criterios permitió la asignación de puntajes para cada una de las variables evaluadas. Se observó que la importancia de la biodiversidad obtuvo el mayor valor asignado, con un total de cinco unidades, seguido de las unidades hidrológicas o subcuencas, la estructura ecológica principal y las obras de restauración de las ciénagas, también con un valor de cinco unidades. Otras variables fueron englobadas con puntajes de tres, dos y uno, siendo las de mayor valor aquellas que se consideraron de mayor interés para la calidad ecológica y ambiental de la cuenca del Canal del Dique. Estos resultados proporcionaron una base sólida para la toma de decisiones y la gestión adecuada de los recursos naturales en la cuenca.

La asignación de pesos a través del proceso de Evaluación Multicriterio de Sumatoria Ponderada fue crucial para la obtención de las zonas de calidad ecológica en la Cuenca del Canal del Dique. Utilizando las imágenes satelitales como rasters, se realizaron operaciones matemáticas que involucraron la reclasificación y conversión a shape de las variables evaluadas. Este enfoque permitió integrar de manera sistemática la información biofísica y socioeconómica, generando un mapa final que refleja la distribución espacial de la calidad ecológica en la cuenca.

Finalmente, se presentaron los resultados obtenidos de manera clara y concisa, empleando los elementos gráficos mínimos necesarios para transmitir la información de las cartografías y siguiendo el orden metodológico establecido en el documento. Estos resultados brindan una visión integral de la calidad ecológica en la Cuenca del Canal del Dique, permitiendo identificar las áreas prioritarias para la conservación, los sectores que requieren mayor atención en términos de manejo ambiental y los posibles escenarios de desarrollo sostenible. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas de gestión adecuadas que contribuyan a la preservación y protección de los recursos naturales en la cuenca.



8. RECOMENDACIONES

Además de las variables de estudio seleccionadas en este proyecto, se sugiere que futuras investigaciones consideren la incorporación de otras variables que puedan enriquecer la comprensión de la calidad ecológica en la Cuenca del Canal del Dique. Algunas posibles variables para explorar podrían incluir la calidad del agua, la cobertura vegetal, la presencia de especies endémicas, la conectividad ecológica, entre otros aspectos relevantes para la evaluación integral del ecosistema. La inclusión de estas variables adicionales permitiría obtener una visión más completa y precisa de los procesos ecológicos y los factores que influyen en la salud de los humedales y ciénagas en esta importante cuenca. Asimismo, se recomienda la aplicación de metodologías de monitoreo continuo y seguimiento de los cambios en el paisaje, lo que contribuiría a la actualización y mejora constante de los resultados obtenidos, fortaleciendo así la gestión y conservación de este valioso ecosistema.

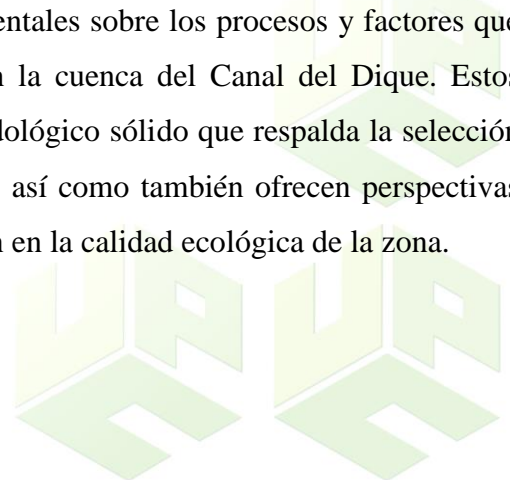
Adicionalmente, es importante destacar que algunos de los productos cartográficos utilizados en este proyecto, como los mapas y datos geospaciales, están disponibles en instituciones científicas como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y pueden ser consultados en bases de datos de universidades y otras entidades académicas. Estas fuentes confiables proporcionan acceso a información actualizada y precisa, lo cual facilita la realización de estudios e investigaciones relacionadas con la calidad ecológica de la Cuenca del Canal del Dique.

Por otro lado, es relevante mencionar que el proceso de digitalización de la información física puede llevarse a cabo mediante métodos alternativos, permitiendo así la incorporación de datos analógicos a formatos digitales. Entre los métodos recomendados se encuentran la digitalización mediante escaneo de mapas y documentos impresos, el uso de tecnologías de teledetección como imágenes satelitales de alta resolución y drones, y la captura de datos a través de sistemas de información geográfica (SIG) mediante técnicas de levantamiento y mapeo en campo. Estas alternativas brindan la posibilidad de aprovechar y preservar el conocimiento contenido en fuentes físicas, facilitando su acceso, análisis y uso en investigaciones futuras.

Es igualmente importante destacar la relevancia de solicitar información a otras entidades privadas que poseen datos de relevancia para la planificación y gestión del paisaje en la Cuenca del Canal del Dique. Estas entidades pueden ser consultadas para obtener información adicional y complementaria que enriquezca el insumo obtenido en este trabajo. La colaboración y cooperación entre diferentes actores involucrados en la gestión del territorio, tanto públicos como privados, es fundamental para lograr una visión integral y holística que permita abordar de manera efectiva los desafíos ambientales y promover el desarrollo sostenible de la cuenca.

Además, este instrumento de evaluación multicriterio y sumatoria ponderada puede ser utilizado de manera complementaria a otras estrategias o acciones implementadas por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) participantes, destacando especialmente la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE). La información generada a partir de este trabajo puede ser utilizada como un recurso valioso para apoyar la toma de decisiones en la gestión ambiental y el diseño de políticas públicas relacionadas con la conservación y uso sostenible de los recursos naturales en la cuenca. Además, puede contribuir a fortalecer los planes, programas y proyectos contemplados en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del Canal del Dique, brindando una base científica y técnica para la implementación de medidas de manejo y mitigación de impactos ambientales.

El desarrollo del presente estudio de identificación de zonas con alta calidad ecológica se ve influenciado por investigaciones científicas y estudios previos que abordan temáticas relacionadas. Diversas investigaciones en disciplinas como la ecología, la hidrología, la geografía y la biología han proporcionado conocimientos fundamentales sobre los procesos y factores que determinan la calidad ambiental de los ecosistemas en la cuenca del Canal del Dique. Estos estudios previos han brindado un marco teórico y metodológico sólido que respalda la selección de variables y criterios utilizados en esta investigación, así como también ofrecen perspectivas valiosas sobre las interacciones y dinámicas que influyen en la calidad ecológica de la zona.



Se invita a la comunidad científica y a los profesionales interesados en la conservación y gestión de los ecosistemas a replicar este tipo de trabajos en otros ecosistemas estratégicos de la región, de Colombia y del mundo. El reconocimiento del valor ecológico y la calidad ambiental es esencial para la protección y manejo sostenible de los recursos naturales. La implementación de evaluaciones multicriterio de sumatoria ponderada, combinada con el uso de tecnologías de teledetección y sistemas de información geográfica, permite generar información precisa y actualizada sobre las zonas de alta calidad ecológica. Al promover la replicación de estos trabajos, se fortalece la base de conocimiento científico y se fomenta la adopción de enfoques integrados para la conservación y gestión de los ecosistemas, en beneficio de las generaciones presentes y futuras.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACNUR. (Agosto de 2019). *Los principales problemas medioambientales del momento*. Obtenido de ACNUR Comité Español: https://eacnur.org/blog/principales-problemas-medioambientales-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
- Aguilera, M. (2006). *El canal del dique y su subregion: Una economia basada en la riqueza hidrica*. Banco de la republica .
- Ambiente y Sociedad. (18 de Agosto de 2017). *El 46% de los ecosistemas de Colombia están en riesgo*. Obtenido de Asociación Ambiente y Sociedad: <https://www.ambienteysociedad.org.co/el-46-de-los-ecosistemas-de-colombia-estan-en-riesgo/#:~:text=Espec%C3%ADficamente%2C%20los%20ecosistemas%20que%20se,h%C3%BAmedo%20tropical%20del%20pedemonte%20llanero>.
- ANI. (2021). El Canal del Dique, un megaproyecto fluvial que busca recuperar ecosistemas degradados, pero también mitigar el impacto de posibles inundaciones en la región Caribe ante fenómenos climáticos. *Agencia Nacional de Infraestructura*.
- BBC. (10 de noviembre de 2021). *Medio ambiente: ¿a qué se han comprometido los países de América Latina en la cumbre sobre cambio climático?* Obtenido de BBC News Mundo: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-59207326>
- Canchola, J., & Sánchez, M. (2017). La geomorfología en el estudio del paisaje: nociones teóricas y metodológicas. *Revista Geográfica de América Central*, 1-16.
- CARDIQUE, CAR Atlántico, CORMAGDALENA, CARSUCRE, Parques Nacionales de Colombia y Conservación Internacional . (2007). *PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL COMPLEJO DE HUMEDALES DEL CANAL DEL DIQUE*. Barranquilla, Atlántico: CARDIQUE.
- Convenio de la Diversidad Biológica. (1992). *Diversidad Biologica*.

- Cormagdalena, & Unal. (2006). *Corporación Autonoma Regional del Río Grande de la Magdalena*.
- Correa T., P. (05 de septiembre de 2013). *Solución para el Canal del Dique en 2017*. Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/solucion-para-el-canal-del-dique-en-2017-article-444714/>
- DANE. (2018). *Censo Poblacional Colombia*. Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Dechoumla, M. (2010). *Ecosistemas* . National Geographic.
- Díaz, A. (2017). *Evaluación de Sistemas Agroforestales Mediante La Implementacion de Sistemas de Información Geografico* . Valledupar, Cesar: Universidad Nacional Abierta y a Distancia .
- Díaz, F., Schmitz, M., & Hernández, S. (2002). *Conexiones Espaciales*.
- Díaz, F., Schmitz, M., Aranzabal, I., Hernández, S., Bautista, C., & Agulera, P. (2006). *Conectividad Ecológica Horizontal y Vertical*. Proyectos de investigacion en parques nacionales.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. *The American Biology Teacher*, 125-129.
- EOS Data Analytics. (s.f.). *Índice De Agua De Diferencia Normalizada*. Obtenido de EOS Data Analytics INC.: <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>
- Espinosa, J. (2019). *Apoyo cartografico aplicado en la georreferenciacion y delimitacion de los ecosistemas de humedales, como insumo para las areas yu ecosistemas estrategicos en la fase de diagnostico del plande ordenacion y manejo ambiental (POMCA*. Bogota : Universidad distrital Francisco Jose de Caldas .
- FAO. (2005). *Guía practica para la sistematización de proyectos y programas de cooperacion técnica*. Oficina regional de la FAO para America Latina y el Caribe.

Fernández, L., & Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica*, 121-130.

Flores, R. (2012). *Investigación en Educación Ambiental*.

Fondo de Adaptación. (s.f.). *Macroproyecto Canal del Dique*. Obtenido de Fondo de Adaptación:
<https://www.fondoadaptacion.gov.co/index.php/macroproyectos/canal-del-dique.html>

Foros Sociedad Colombiana de Ingenieros. (2011). *Alternativas para el control sedimentológico del Canal del Dique y sus efectos sobre el balance ecológico de la Región*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

González, V., & Rivera, L. (2016). *Diseño de una herramineta SIG para la definición de áreas de conectividad ecológica con fines de conservación de Choloepues Hoffmani como estrategia de gestión territorial en 5 Municipios del Departamento de Cundinamarca*. Manizales : Universidad de Manizales .

Grupo Puerto de Cartagena. (2020). *El Dique, la otra arteria que dinamiza el puerto*.

Gurrutuxaga, M., & Lozano, P. (2008). *Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de fragmentación de hábitats*.

Hernández S., R., & Mendoza T., C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.

Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.

IDEAM. (s.f.). *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales*.

IGAC. (09 de Junio de 2022). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Obtenido de Sección Normativa Instituto Geográfico Agustín Codazzi:
<https://www.igac.gov.co/es/contenido/4-normatividad>

- López, H. (2019). *Evaluación ecológica rápida (EER) y propuesta preliminar de plan de manejo, finca san jose de la montaña, chocolata, rivas, nicaragua.*
- López, M. (12 de junio de 2017). *La Ciénaga Grande: ¿por qué la laguna costera más grande de Colombia está en peligro?* Obtenido de MONGABAY Periodismo Ambiental Independiente en Latinoamérica: <https://es.mongabay.com/2017/06/colombia-cienaga-grande-contaminacion/#:~:text=Las%20amenazas%20principales&text=La%20Ci%C3%A9naga%20Grande%2C%20al%20igual,de%20deforestaci%C3%B3n%20en%20la%20CGSM.>
- Matallanes, R. (2014). *Guía de orientación formativa y laboral en SIG ¿En qué especializarse y para qué?* Obtenido de Asociacion Geoinnova: <https://geoinnova.org/cursos/wp-content/uploads/2013/11/Gu%C3%ADa-laboral-y-formaci%C3%B3n-SIG.pdf>
- MINAMBIENTE. (09 de Junio de 2022). *Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.* Obtenido de Sección Normativa Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente: <https://www.minambiente.gov.co/normativa/>
- MinEducación. (s.f.). *Sistema de Informacion Geografico del sector educativo.* Ministerio de Educacion Nacional.
- Molles, M. (2006). *Ecología: Conceptos y Aplicaciones.* Madrid: McGraw Hills.
- NRCS. (1990). *Guía para la Evaluación de Suelos y Valoración de Sitios.* Washington: USDA.
- Quintero, G. (2008). Políticas públicas y el medio ambiente. *Tecnología en marcha*, 141-151.
- Salgado, J., & Londoño-Murcia, M. (2018). Análisis florístico y estructural de los manglares del Canal del Dique, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 77-98.
- Sánchez, M. (2018). *Identificación de áreas a reforestar mediante evaluacion multicriterio y sistemas de informacion geograficos (Caso Los Córdoba- Cordoba).* Manizales : Universidad de Manizales .

SINA. (2002). *Política Nacional de Educación Ambiental* .

Tamayo, D., & León, F. (2017). *Diseño y Elaboración de una Herramienta SIG Enfocada a la Sistematización de Experiencias en Educación y Gestión Ambiental a Nivel Distrital*. Bogotá, D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

UNICESAR. (2021). *Acuerdo N°003 del 08 de julio de 2021 “por medio del cual se adoptan las líneas de investigación de los programas de Pregrado de la Facultad de Ingeniería y Tecnológicas sede Valledupar, y se dictan otras disposiciones”* . Valledupar, Cesar: Universidad Popular del Cesar.

UNICESAR. (2023). *Lineamientos y Guía Orientadora para la Estructuración de Informes de Prácticas Académicas en el Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar.

Universidad Javeriana. (22 de junio de 2022). *24 propuestas de Gustavo Petro para el medioambiente en Colombia*. Obtenido de Pesquisa Javeriana: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/propuestas-de-gustavo-petro-medioambiente-colombia-justicia-ambiental/>

USGS. (September de 2020). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. Obtenido de United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-18-data-users-handbook>

USGS. (2023). *Earth Data*. Obtenido de United States Geologic Survey: Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/user-manual>

Wilches, A. (2018). *Comparacion de los parametros hidrológicos, económicos, sociales y ambientales de las cuencas del canal del panama y el canal del dique*.

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 583-594.