

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(105)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Carlos Mario Rizo Arévalo		
FACULTAD	Ciencias agrarias y del ambiente		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería ambiental		
DIRECTOR	Juan David Herrera Galvis		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río Algodonal, Colombia		
TITULO EN INGLES	Multitemporal analysis of plant cover changes on hydrographic subzone Algodonal River, Colombia		
RESUMEN (70 palabras)			
Se procesaron imágenes sentinel 2 en el sistema de información geográfica ArcGis 10.2, para el cálculo de los índices de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río Algodonal, Colombia, para los años desde el 2017 al 2021; y así, poder determinar las coberturas vegetales presentes en esta subzona hidrográfica y analizar el comportamiento de estas a través del tiempo.			
RESUMEN EN INGLES			
Sentinel 2 images were processed in the ArcGis 10.2 geographic information system, to calculate the normalized difference vegetation indices of the Algodonal River hydrographic subzone, Colombia, for the years from 2017 to 2021; and thus, to be able to determine the vegetation covers present in this hydrographic subzone and analyze their behavior over time.			
PALABRAS CLAVES	Cobertura vegetal, Análisis multitemporal, sistema de información geográfica, índice de vegetación de diferencia normalizada		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Plant cover, Multitemporal analysis, Geographic information system, Normalized difference vegetation indices		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 106	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



**Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río
algodonales, Colombia**

Carlos Mario Rizo Arévalo

Facultad de Ciencias Agrarias y del ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander

Ocaña

Ingeniería Ambiental

Ing. Juan David Herrera Galvis

08 Marzo de 2022

Agradecimientos

A Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida. Además, por la manera en que, a diario, bendice mi vida; para Él, toda la gloria y toda la honra.

A mis padres, por acercarme a Dios, por ser los motores de mi vida, por su amor, esfuerzo y trabajo; con el cual me han brindado un completo bienestar y la mejor educación, llenándome de inmensa felicidad e inigualable orgullo, durante cada día de mi vida.

A mis hermanos, por brindarme su amor, su apoyo incondicional y por tantas enseñanzas a lo largo de mi vida.

A Carlos Arturo, por haber llegado a mi vida, llenándola de mucha felicidad y alegrías; por brindarme tantísimo amor y por motivarme a ser una mejor persona cada día.

A mi director proyecto, por haberme apoyado en todo el proceso de realización del proyecto, aportándome desde su experiencia.

Índice

Capítulo 1: Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del Río Algodonal	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general.....	13
1.3.2. Objetivos específicos.	14
1.4. Justificación	14
1.5. Delimitaciones	16
1.5.1. Delimitación operativa.	16
1.5.2. Delimitación conceptual.	16
1.5.3. Delimitación geográfica.....	16
1.5.4. Delimitación temporal.	17
Capítulo 2: Marco Referencial.....	18
2.1. Marco histórico.....	18
2.1.1. Historia de las dinámicas de las coberturas vegetales	18
2.1.2. Antecedentes internacionales	19
2.1.3. Antecedentes nacionales	21
2.1.4. Antecedentes regionales	23
2.2. Marco contextual	23
2.2.1. Descripción de la subzona hidrográfica del Río Algodonal	25
2.3. Marco conceptual.....	32
2.3.1. Cobertura vegetal.	32
2.3.2. Cambios de cobertura.	33

2.3.3. Análisis espacial.....	35
2.3.4. Teledetección.....	35
2.3.5. Imágenes sentinel.....	36
2.3.6. Servicios ecosistémicos.....	37
2.3.7. Zonificación hidrográfica de Colombia.....	39
2.3.8. Problema ambiental en el mundo.....	41
2.3.9. Desertificación.....	41
2.3.10. Acciones antropogénicas.....	41
2.4. Marco teórico.....	42
2.4.1. Metodología Corine Land Cover.....	42
2.4.2. Análisis multitemporal.....	44
2.4.3. ArcGis.....	46
2.4.4. Método de Substracción de Pixeles Oscuros (SPO).....	46
2.4.5. Mosaic To new raster.....	47
2.4.6. Análisis de Componentes Principales de Cobertura Vegetal.....	47
2.4.7. Índice de vegetación normalizada.....	48
2.4.8. Extract by mask.....	50
2.4.9. Reclassify.....	50
2.4.10. Majority Filter.....	50
2.4.11. Raster to polygon.....	50
2.4.12. Summarize.....	51
2.5. Marco legal.....	52
Capítulo 3. Metodología de la investigación.....	57
3.1. Tipo de investigación.....	57
3.2. Población.....	57

3.3. Muestra.....	58
3.4. Técnicas de recolección de la información	58
3.4.1. Revisión documental	58
3.5. Seguimiento metodológico.....	59
3.6. Procedimiento.....	60
3.6.1 Recopilación de información.....	60
3.6.2. Procesamiento de información.....	61
3.6.3. Análisis de resultados	63
Capítulo 4. Resultados.....	65
4.1. Recopilación de la información.....	65
4.1.1. Descarga de imágenes Sentinel 2	65
4.1.2. Descarga de mapa de zonificación hidrográfica de Colombia.....	67
4.2. Procesamiento de la información	68
4.2.1. Carga de archivos en software ArcGIS 10.2.....	68
4.2.2. Corrección atmosférica.....	69
4.2.3. Generación de mosaicos	69
4.2.4. Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	72
4.2.5. Delimitación de área de la subzona hidrográfica del Río Algodonal.....	73
4.2.6. Reclasificación del raster	74
4.2.7. Filtro Mayoritario	75
4.2.8. Conversión a polígono	76
4.2.9. Summarize	77
4.2.10. Generación de mapas de NDVI.....	78
4.3. Análisis de resultados	83
4.3.1. Revisión de las coberturas vegetales para cada uno de los años.....	83

4.3.2. Comparación de las coberturas encontradas para cada año de estudio	88
4.3.3. Análisis de las posibles causas por las cuales se presentaron los cambios en las coberturas vegetales	92
Capítulo 5. Conclusiones.....	94
5.1. Tipos de coberturas vegetales presentes en la subzona hidrográfica del Río Algodonal ...	94
5.2. Cambios presentados en las coberturas vegetales de la subzona hidrográfica del Río Algodonal desde el año 2017 hasta el año 2021	94
5.3. Posibles causas de los cambios presentados en la subzona hidrográfica del Río Algodonal desde el año 2017 hasta el año 2021	99
Capítulo 6. Recomendaciones	101
Referencias	103

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipos de servicios ecosistémicos.....	37
Tabla 2. Servicios ecosistémicos prestados por la subzona hidrográfica del río Algodonal.....	39
Tabla 3. Clasificación del NDVI	49
Tabla 4. Normatividad de la investigación.....	52
Tabla 5. Seguimiento metodológico	59
Tabla 6. Porcentaje de cobertura de cada clase del NDVI obtenido en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para cada año de estudio	84
Tabla 7. Porcentaje de cobertura de cada cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río algodonal en los años 2017 - 2021.....	86
Tabla 8. Cobertura de los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmaleza o enrastrajados en la subzona hidrográfica del Río Algodonal	87
Tabla 9. Cobertura de los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios	87
Tabla 10. Cobertura del bosque denso natural.....	87
Tabla 11. Cobertura de los suelos sin vegetación	88
Tabla 12. Cambios encontrados en los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enrastrajados o enmalezados.....	91
Tabla 13. Cambios encontrados en los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios	91
Tabla 14. Cambios encontrados en el bosque natural denso	91
Tabla 15. Cambios encontrados en la cobertura sin vegetación	91
Tabla 16. Tipos de coberturas vegetales presentes en la subzona hidrográfica del Río Algodonal	94

Lista de figuras

Figura 1. Localización cuenca río algodonal.....	24
Figura 2. Mapa de las subcuencas de la subzona hidrográfica del Río Algodonal.....	26
Figura 3. Mapa de pendientes de la subzona hidrográfica del Río Algodonal.....	28
Figura 4. Mapa de cobertura de la tierra en la subzona hidrográfica del Río Algodonal	30
Figura 5. Mapa de las áreas de importancia ambiental en la subzona hidrográfica del Río Algodonal.	31
Figura 6. Régimen de precipitaciones para la estación Gramalote, Norte de Santander	40
Figura 7. Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)	43
Figura 8. Banda 4 de imagen sentinel de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el 2017	66
Figura 9. Mapa de zonificación hidrográfica.....	67
Figura 10. Delimitación de la subzona hidrográfica del río Algodonal	68
Figura 11. Mosaico de bandas 4 de imágenes satelitales tomadas sobre la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2017.....	70
Figura 12. Mosaico de bandas 8 de imágenes satelitales tomadas sobre la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2017.....	71
Figura 13. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal para el año 2017.....	72
Figura 14. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal con valores de clasificación y colores ajustados para el año 2017	73
Figura 15. Reclasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río algodonal para el año 2017	74
Figura 16. Reclasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río algodonal con filtro mayoritario aplicado para el año 2017	75
Figura 17. Polígono de índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río algodonal para el año 2017	76
Figura 18. Resumen de valores de índice de vegetación de diferencia normalizada en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para el año 2017.....	77
Figura 19. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2017.....	78

Figura 20. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2018.....	79
Figura 21. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2019.....	80
Figura 22. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2020.....	81
Figura 23. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2021.....	82
Figura 24. Comportamiento del índice de vegetación de diferencia normalizada en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para los años 2017- 2021.....	85
Figura 25. Comportamiento de los tipos de coberturas encontradas en la subzona hidrográfica del Río Algodonal en los años 2017 -2021.....	89
Figura 26. Porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación en la subzona hidrográfica del Río Algodonal en los años 2017 – 2021.....	90
Figura 27. Extensión de los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021.....	95
Figura 28. Comportamiento de los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021.....	96
Figura 29. Extensión de los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021.....	97
Figura 30. Comportamiento de los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021.....	97
Figura 31. Extensión del bosque natural denso en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021.....	98
Figura 32. Comportamiento del bosque natural denso en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021.....	99

Capítulo 1: Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del Río Algodonal

1.1. Planteamiento del problema

Los cambios que se dan en las coberturas vegetales a lo largo del tiempo, mayormente generados por acciones antrópicas, generan cambios en todos los sistemas que interactúan con la cuenca; como lo mencionan Lesschen, Verburg, & Staal (2005) la sustitución de una cobertura por una de otro tipo se le conoce como cambio de cobertura también se utiliza su término para referirse a la variación en el ordenamiento del territorio, que trae consecuencias en la composición y estructura de los ecosistemas. En distintos países se ha señalado que los cambios de cobertura son una de las mayores razones por las cuales los ecosistemas están constantemente siendo afectados; por este motivo el estudio y análisis de los cambios de las coberturas vegetales es tan importante hoy el día, tomándolo como punto de partida en la toma de decisiones y manejo del territorio (Nájera et al. 2010)

La subzona hidrográfica del río algodonal, ubicada en el nororiente colombiano, pertenece a la zona hidrográfica del Catatumbo, que a su vez pertenece al área hidrográfica del Caribe (IDEAM, 2013). Más de la mitad de los bosques presentes en la cuenca del Río Catatumbo han sido deteriorados desde el punto de vista ambiental, teniendo aproximadamente solo el 40% de su cobertura original (Etter 1993). Según el POMCA (2015), la subzona hidrográfica del río algodonal, ubicada en los departamentos de Norte de Santander y Cesar, se encuentra bajo la jurisdicción de la corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) y la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR); para su

ordenación y manejo se formuló un plan en el año 2010, el cual, tuvo un ajuste y/o actualización para el año 2015. En el POMCA, de su fase diagnóstico y su análisis situacional, se ubicaron las zonas de la cuenca con problemas críticos de, entre otros, pérdida de cobertura vegetal en áreas y ecosistemas estratégicos; posterior a esto, se extrae de la matriz de problemas, propuesta en la fase diagnóstico, las variables que, según la valoración de las variables establecidas por la guía técnica del MADS, presentan la mayor valoración; una de estas fue la pérdida de cobertura natural en ecosistemas estratégicos: zonas de las reservas forestales protectoras, bosque seco tropical, bosque húmedo tropical y zonas de altas pendientes.

En general, toda la cuenca presenta conflicto medio por pérdida de coberturas. La deforestación, y la ampliación de la frontera agrícola en el último siglo ha generado una alta fragmentación y por tanto pérdida de biodiversidad que por consecuencia disminuye las funciones ecosistémicas de los ecosistemas naturales e intervenidos, de montaña y de los pocos valles con bosques, arbustales, herbazales y vegetación secundaria. Además, el resultado del indicador de índice de Estado actual de coberturas naturales (IEACN) muestra una categoría de estado actual de las coberturas naturales, en el cual se evidencia buen estado de conservación con el 48,63%, por otra parte, una pequeña porción de las coberturas naturales se encuentra medianamente transformada con mayor representatividad en las subcuencas Quebrada Trinidad, Río Catatumbo Bajo, Río Frío y Río Catatumbo Medio.

Además, en la microcuenca Río Oroque se están iniciando procesos de transformación, lo cual puede generar la pérdida de composición, estructura y función de los servicios ecosistémicos (SS EE), especialmente teniendo en cuenta que es una zona con bastantes áreas

protegidas y de conservación. En el POMCA, se relaciona una tabla que describe las Medidas de administración y usos recomendados de los Recursos naturales de prioridad identificados en la Cuenca del río Algodonal y se identificaron cuatro tipos de cobertura: bosque de galería y riparios, bosque denso, bosque seco tropical y páramo, de los cuales el bosque de galería y riparios es el que presenta mayor extensión y la cobertura de páramo es la que presenta menor extensión; además de cinco reservas forestales, siendo la de mayor extensión la Reserva Ley 2^a Serranía de los Motilones (POMCA, 2015). Estos tipos de cobertura fueron identificados para el año 2015, año de publicación del plan, posterior a este se desconocen los cambios que se han dado en las coberturas vegetales presentes en la subzona hidrográfica del río algodonal, lo cual es necesario conocer para saber el estado actual de la subzona y así proyectar si se alcanzarán las metas que se tienen trazadas en el POMCA.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los cambios de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río algodonal en el periodo de tiempo comprendido de 2017 a 2021?

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río algodonal, Colombia.

1.3.2. *Objetivos específicos.*

Identificar geográficamente la cobertura vegetal existente en la subzona hidrográfica del río algodonal, aplicando el índice de vegetación de diferencia normalizada sobre su área, para el periodo de tiempo comprendido entre los años 2017 y 2021.

Determinar los cambios en las coberturas vegetales en la subzona hidrográfica del río algodonal, a partir del empleo de análisis espacial con software SIG, comparando los índices de vegetación de diferencia normalizada presentes en cada año desde el 2017 hasta el 2021.

Analizar las posibles causas del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río algodonal y la incidencia de estos cambios en la sostenibilidad de la cuenca del río Catatumbo.

1.4. Justificación

Debido a los cambios crecientes en la cobertura vegetal y del uso de los suelos, han llevado a que tengan gran relevancia dentro de las investigaciones ambientales, lo anterior con el fin de valorar procesos provocados por actividades humanas como: la deforestación y la degradación ambiental (Osuna et al., 2015), y como estas dinámicas impactan en los esfuerzos enfocados hacia la planificación y el ordenamiento de las cuencas hidrográficas como unidades de territorio y sistemas ambientales.

Debido a que en la subzona hidrográfica del río algodónal son escasos los estudios que aborden como tema central las coberturas vegetales y el comportamiento de estas a través del tiempo, se hizo necesario plantear iniciativas de trabajos de investigación en esta temática, que permitan obtener resultados los cuales podrían ser insumo para la toma de decisiones en pro de la conservación de los ecosistemas estratégicos dentro de la cuenca, y más durante el siguiente decenio en donde los esfuerzos de los objetivos de desarrollo sostenible, principalmente del objetivo número 13, se están articulando fuertemente para incentivar la restauración de los ecosistemas, como estrategia para la lucha contra la degradación y la deforestación.

De acuerdo a lo anterior, este proyecto pretendía reconocer las dinámicas de las coberturas vegetales en la subzona hidrográfica y que esto, junto a los otros resultados sean de utilidad para futuros planes de manejo ambiental, planes de ordenamiento territorial, y en la planeación de estrategias de conservación dentro de la subzona hidrográfica del río algodónal y su aporte a la gestión y manejo de la cuenca del río Catatumbo, como parte del desarrollo sostenible territorial.

Por último, el trabajo me permitió desarrollar resultados de aprendizaje y competencias enfocadas a estudios de ordenamiento territorial para la conservación de sistemas ambientales y ecosistemas estratégicos, lo cual es consecuente con el perfil ocupacional del ingeniero ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.5.Delimitaciones

1.5.1. Delimitación operativa.

El alcance operativo del proyecto se enfoca en determinar multitemporalmente la cobertura vegetal presente en la subzona hidrográfica del río algodonal y hacer un análisis sobre los resultados. Para ello, se empleará información obtenida por medio de teledetección satelital y su posterior análisis en software de sistemas de información geográfica.

1.5.2. Delimitación conceptual.

Los conceptos para abordar son principalmente sobre coberturas vegetales, cambios en las coberturas vegetales, análisis espacial, teledetección, servicios ecosistémicos, ordenamiento territorial en cuencas hidrográficas.

1.5.3. Delimitación geográfica.

El área de influencia está limitada a la subzona hidrográfica de la cuenca del río algodonal, cuya zonificación está definida desde el año 2013, con la publicación del límite oficial de esta cuenca por parte del IDEAM, en el Sistema de Información Ambiental de Colombia.

1.5.4. Delimitación temporal.

El desarrollo del proyecto duró 4 meses contados a partir de la aprobación del anteproyecto respectivo.

Capítulo 2: Marco Referencial

2.1. Marco histórico

2.1.1. Historia de las dinámicas de las coberturas vegetales

Debido al avance tecnológico que ha tenido la humanidad desde la segunda mitad del siglo XX, se han creado máquinas y técnicas que han permitido conocer mejor la superficie del planeta y cada uno de sus componentes, gracias a esto, en las últimas décadas, mediante investigaciones, se ha podido evidenciar el deterioro ambiental que genera la intervención del hombre en los ecosistemas y sus acciones sobre él, dando lugar así a un creciente interés entre las distintas ramas de la ciencia. Se han realizado estudios que abordan temas específicos como las dinámicas de las coberturas vegetales o como los cambios en el uso de suelo, evaluando así sus tendencias espaciotemporales en procesos generados por acciones antrópicas (Osuna et al., 2015). La cobertura vegetal puede indicar el estado de un ecosistema, para conocer esta cobertura y así poder evaluar sus dinámicas, la teledetección (TLD) ha sido una herramienta determinante (Carlos Gonzaga Aguilar 2015). La TLD junto a los sistemas de información geográfica (SIG) han permitido la realización de investigaciones enfocadas en coberturas vegetales, los cambios que se dan estas; su análisis espacial y el estado de sus servicios ecosistémicos.

A continuación, en los antecedentes se mencionarán una serie de estos estudios, realizados en distintos ámbitos:

2.1.2. Antecedentes internacionales

Los estudios que se presentan a continuación muestran el análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en diferentes lugares de Latinoamérica:

En primer lugar Gonzaga (2015) realizó una investigación en la cual se deseaba estimar el tipo de vegetación en Loja, Ecuador; se evaluaron tres índices de vegetación: Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Índice de estrés hídrico (MSI) Y el índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI); usando imágenes Landsat 7 ETM+ y ASTER. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los tres índices.

Respecto al análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal en cuencas hidrográficas y los cambios a futuro, Rosero (2017) en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura Ecuador; aplicó técnicas de teledetección a imágenes de los años 1991, 2001 y 2017 con el fin de analizar los cambios en el uso de suelo y en la cobertura vegetal. Los resultados obtenidos muestran que para el periodo de tiempo entre los años 1991 y 2017 se perdieron 15 ha de cobertura vegetal cada año, también se proyectó que para el periodo de tiempo entre 2017 y 2031 se perderán 18 ha de cobertura vegetal cada año.

Ahora bien, teniendo en cuenta las tendencias en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California (2017). Mediante el uso de imágenes tipo MODIS, se analizó la variación del NDVI en la región meridional de la península de baja california para el periodo de tiempo entre los años 2001 y 2015. Los resultados arrojaron valores mayores a 0.5 en las porciones de mayor cobertura

vegetal, los máximos valores fueron encontrados en la Reserva de la biosfera Sierra La laguna. Salinas et al. (2017)

Otra investigación que se refiere a la evolución de la cobertura vegetal es la realizada por Campos et al (2018) en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes, donde utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000 – 2014. Sobre la cual concluye que debido al cambio climático y a actividades antropogénicas, el Parque Nacional Cerros de Amotape se encuentra bajo presión, causando un deterioro en su cobertura vegetal; Se analizó el progreso del deterioro ambiental a través del Índice de vegetación de diferencia normalizada para los años 2000 y 2014.

Continuando con la detección de cambios en las coberturas vegetales Becerril et al (2018) realizaron una indagación dentro del área natural protegida sierra fría (anpsf), Aguascalientes, México. Se usó el estimado de reflectancia de una serie histórica TM-5 para determinar la evolución de la cobertura vegetal. Se procesaron imágenes satelitales del periodo de tiempo entre los años 1990 y 2011. Los resultados expusieron pérdidas importantes de la cobertura vegetal para el periodo de tiempo que se estudió.

En el mismo sentido Jaramillo et al (2020) realizaron un análisis del cambio espacio-temporal en la cobertura vegetal del cerro de hojas Jaboncillo durante el periodo 2015-2020 (2020). Para determinar la pérdida de cobertura vegetal entre los años 2015 y 2020 del cerro de Jaboncillo se utilizaron imágenes landsat descargadas de la plataforma Earth Explorer, con una combinación de bandas 5,4, y3. Los resultados arrojaron una pérdida de cobertura vegetal en los años de estudio del 55.30%.

2.1.3. Antecedentes nacionales

Los estudios que se presentan a continuación muestran el análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en diferentes lugares de Colombia:

Leal et al (2015) presentan el Índice normalizado de la vegetación (NDVI) para la detección de cambio de coberturas vegetales entre 1999- 2010 en la cuenca del río Combeima (Ibagué–Tolima) (2015). Usando el NDVI como indicador de vigor vegetal y estimador de diferentes tipos de cobertura, en este trabajo se buscó detectar cambios de las coberturas vegetales en la cuenca del río combeima entre 1999 y 2010. El resultado mostró pérdidas menores de su cobertura vegetal tomando como referencia la desviación estándar entre 1999 y 2010, también se encontraron ganancias de cobertura vegetal en la parte alta de la cuenca.

Por su parte de la Cruz y Muñoz (2016) muestran los cambios que se han dado en una extensión de tierra destinada a procesos de reforestación realizados por la federación nacional de cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca. Se midió el impacto de las actividades de restauración y rehabilitación del programa de la federación nacional de cafeteros para evaluar los cambios en la cobertura a través del tiempo. La información satelital permitió analizar la velocidad de deforestación/reforestación, infiriendo sus posibles causas.

De igual forma Flórez et al (2017) Realizan un análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. Para este trabajo se usaron y se digitalizaron imágenes satelitales a fin de analizar multitemporalmente una zona en la que se realizan dos procesos

productivos principalmente: ganadería y minería. Se analizó la información con ArcGIS y los resultados arrojaron las variaciones en la cobertura, la influencia de los sistemas productivos y los procesos de recuperación que se han presentado.

En el mismo sentido Betancourt y Martínez (2017) llevan a cabo un Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del Rio Pauto, departamento del Casanare; en este trabajo mediante la realización de un mapa temático se pretende recolectar información actualizada con el fin de realizar estudios de índole medioambiental apoyadas en sistemas de información geográfica.

De igual forma Chaparro (2017) presenta un análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de paz de Ariporo, Casanare mediante el uso de sistemas de información geográfica; mediante modelamiento de datos, gráficas y mapas, se busca analizar y comparar el cambio en la cobertura vegetal entre los años 1986 y 2016 en Paz de Ariporo, Casanare; apoyados en sistemas de información geográfica.

Respecto a la cuantificación de la variación en las coberturas vegetales Romero (2018) realizó en el municipio de Calamar (Guaviare) un análisis multitemporal con el índice NDVI. En este trabajo se buscó identificar cambios en coberturas seleccionadas del municipio de Calamar, Guaviare. Se procesaron imágenes de los programas Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, en las que se aplicó el Índice de vegetación de diferencia normalizada.

2.1.4. Antecedentes regionales

En el caso de las investigaciones de orden regional Hernández y Salamanca (2020) realizaron un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca Sardinata, del departamento de norte de Santander – Colombia. Mediante un análisis multitemporal y el procesamiento y posterior modelación de datos hidrológicos se quiere comparar y determinar la evolución de la cobertura vegetal desde el año 2000 hasta el 2012 en el municipio de Sardinata, Norte de Santander. Con esto se busca conocer la influencia de los cambios en la cobertura vegetal sobre la generación de caudales pico en la cuenca.

2.2. Marco contextual

La presente investigación se realiza en la subzona hidrográfica del Río Algodonal, la cual está localizada al lado Oeste de la Serranía del Perijá, en jurisdicción de los departamentos de Norte de Santander y Cesar; pertenece a la cuenca hidrográfica Caribe. En la zona del Catatumbo, abarca un área total de 234.364,43 ha, representando, el 10 % del área del Departamento de Norte de Santander y el 0.55 % del Departamento del Cesar, el tamaño de su perímetro es de 341.24 km.

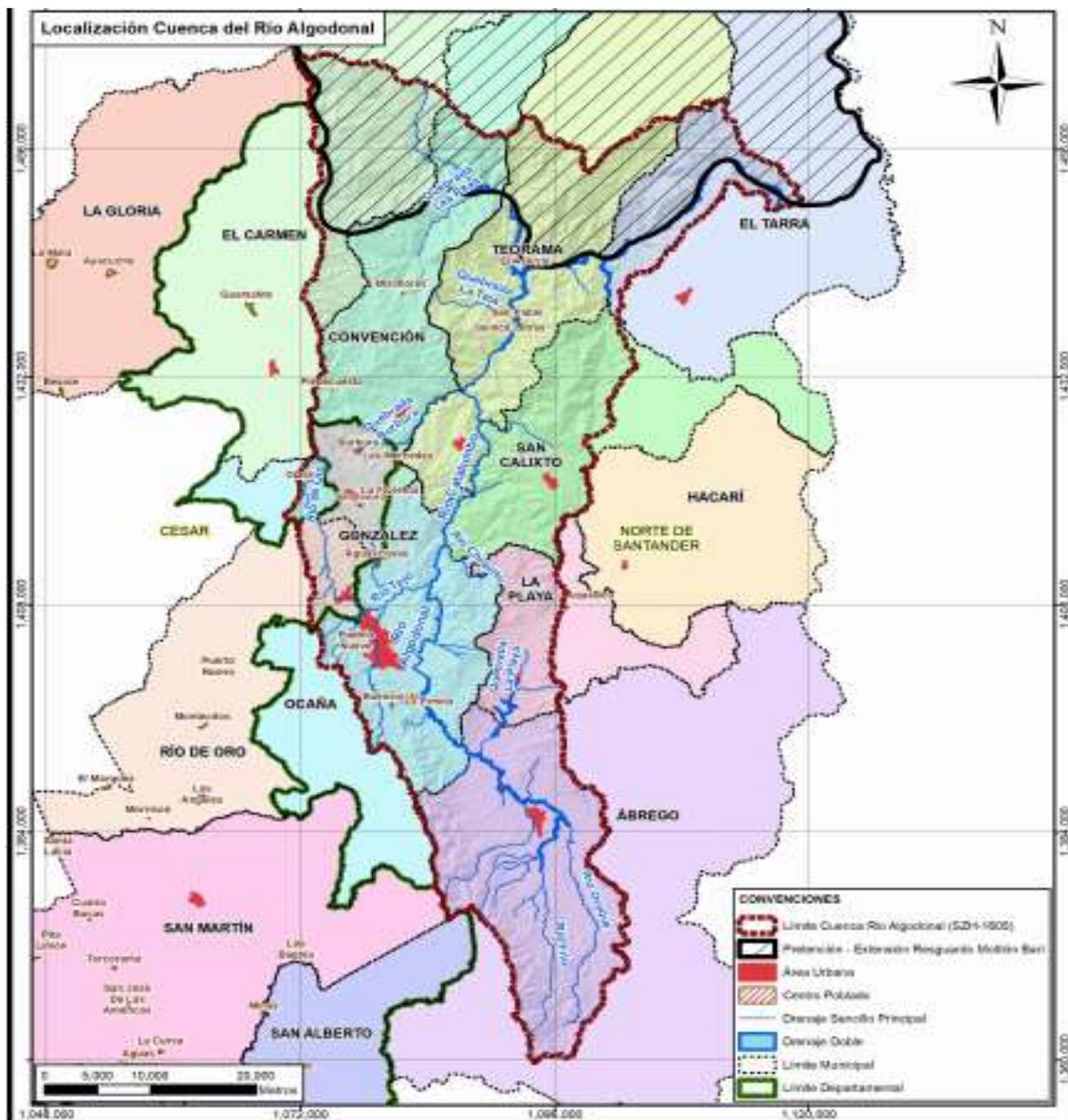
De acuerdo con el Ministerio del Interior (2015) se reconoce la presencia del pueblo Motilón Barí en la Cuenca del Río Algodonal, gracias a la Certificación 894, en jurisdicción de esta subzona hidrográfica se ubican los siguientes municipios: Ábrego, Convención, El Carmen, El Tarra, La Playa, Ocaña, San Calixto, Teorama, pertenecientes al Departamento de Norte de

Santander y González y Río de Oro al Departamento del Cesar (CORPONOR, 2018).

Como se muestra en la figura 1.

Figura 1.

Localización cuenca río algodonal



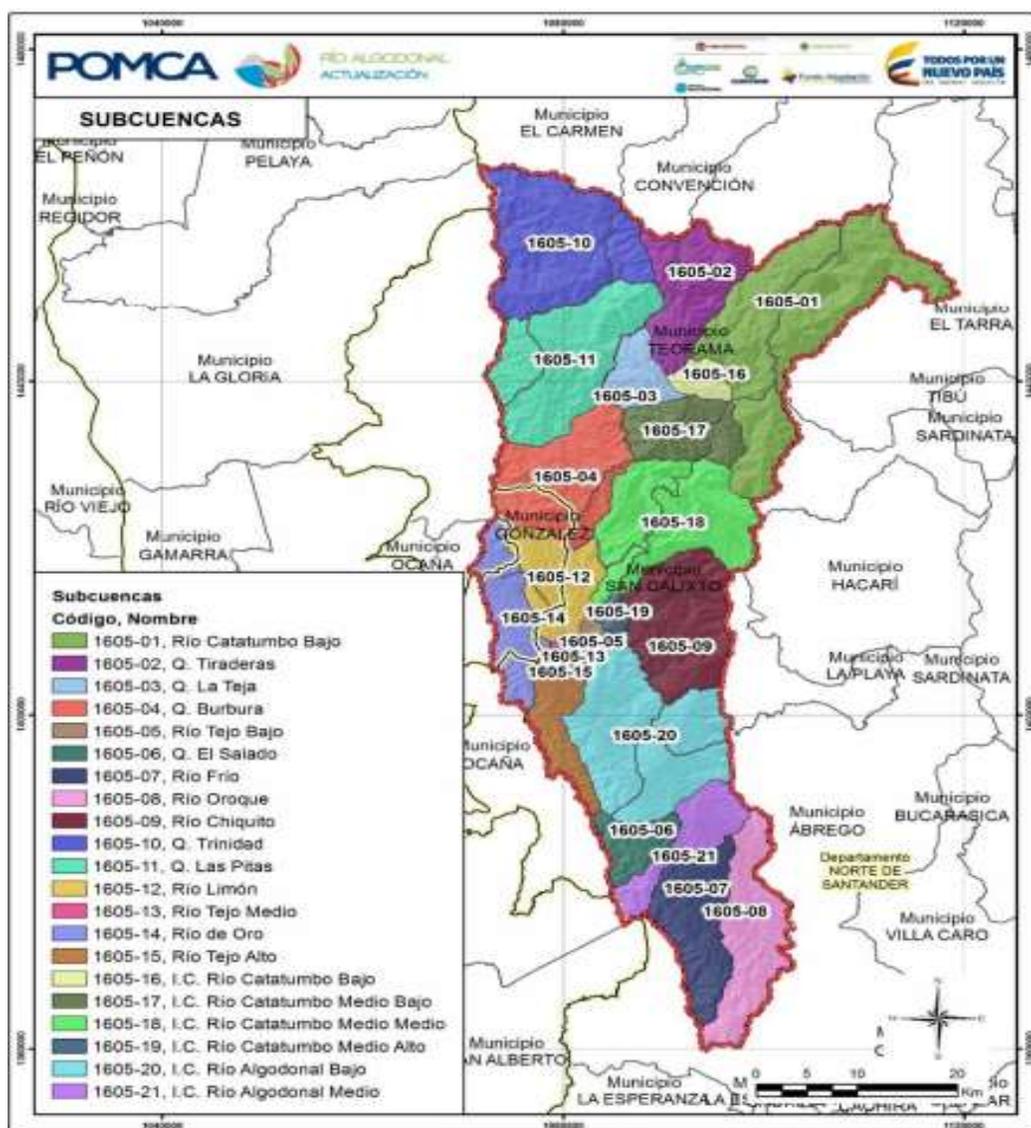
Nota: Ubicación de la cuenca del río algodonal. Fuente: POMCA Río Algodonal (2015)

2.2.1. Descripción de la subzona hidrográfica del Río Algodonal

2.2.1.1. Hidrografía. La hidrografía de la subzona hidrográfica del Río Algodonal está conformada por cuerpos lenticos y lóticos. Los sistemas lénticos son poco representativos; están conformados por lagunas, pantanos y embalses y suman un total de 22,79 Ha. Por otra parte, los principales cuerpos lóticos son: río Oroque, río Frío, río Algodonal, quebrada El Tabaco, quebrada El Molino, quebrada La Playa, quebrada El Salado, Quebrada Capitán Largo, quebrada Guayabal, quebrada Seca, quebrada Juan Sánchez, río Tejo, río de Oro, río Limón, río Catatumbo, río Chiquito, quebrada los Gómez, quebrada de Las Casas, quebrada Cucurina, quebrada Grande, quebrada Búrbura, quebrada La Teja, quebrada Matelilo, quebrada San Miguel, quebrada la Tiradera, quebrada La Pita, quebrada San Juan, quebrada La Trinidad, quebrada El Oso y quebrada Las Margaritas (CORPONOR, 2018). Ver la figura dos.

Figura 2.

Mapa de las subcuencas de la subzona hidrográfica del Río Algodonal



Nota. Subcuencas hidrográficas del río algodonal. Fuente: CORPONOR (2018) actualización del POMCA del río algodonal – Norte de Santander (1605) Documento POMCA

2.2.1.2. Morfometría. La subzona hidrográfica del Río Algodonal presenta un factor de forma de Horton es de 0,28, indicando que tiene baja tendencia a presentar crecientes debido a la longitud del cauce principal, la cual corresponde a 182,28 km. El índice de asimetría de la

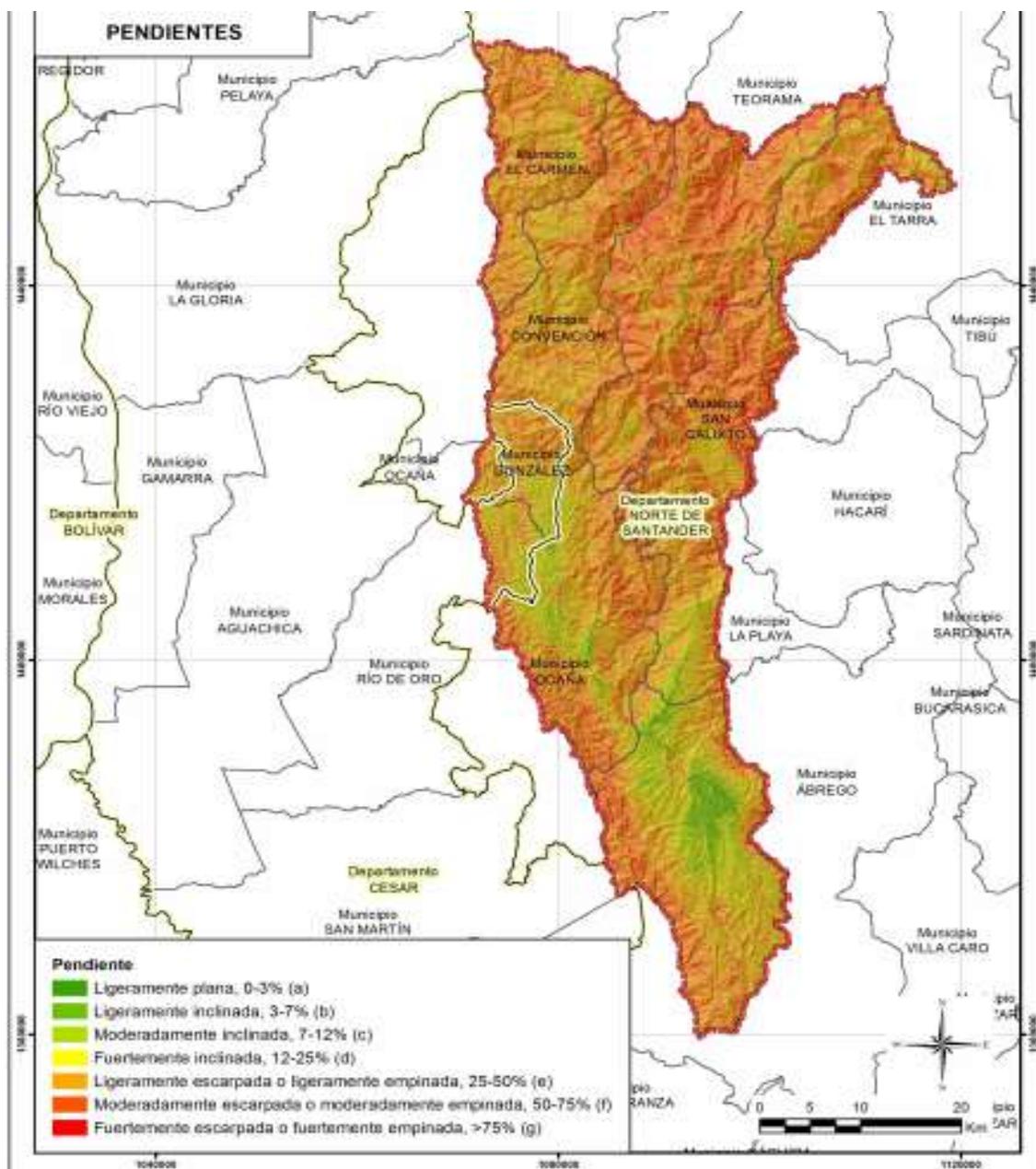
subzona hidrográfica nos muestra que el 68,06% del área se ubica hacia la parte izquierda de la subzona en el sentido que corre el río. También se identifica que la elevación media de la subzona hidrográfica va desde 213 m hasta los 3396,5 metros. Gracias al análisis de la curva hipsométrica, se concluye que la subzona hidrográfica se encuentra en su fase de madurez, pues aproximadamente el 60% del área se encuentra por encima de la elevación media.

(CORPONOR, 2018).

2.2.1.3. Pendientes. La subzona hidrográfica del Río Algodonal se caracteriza por ser montañosa, un 33.5 % de su área tiene inclinaciones que van desde moderadamente a fuertemente escarpado (50- >75%). Además, se destaca que en aproximadamente el 58.8% del área total de la subzona se tienen terrenos fuertemente inclinados a ligeramente escarpados con pendientes que varían de (12 – 50%). También se encuentran los terrenos ligeramente a moderadamente inclinado (3 – 12%) con un 7.2 % del área. Finalmente, tan sólo el 0.6% del área tiene una pendiente ligeramente plana (0-3%) (CORPONOR, 2018). Ver ilustración tres (3)

Figura 3.

Mapa de pendientes de la subzona hidrográfica del Río Algodonal



Fuente: CORPONOR (2018) actualización del POMCA del río algodonal

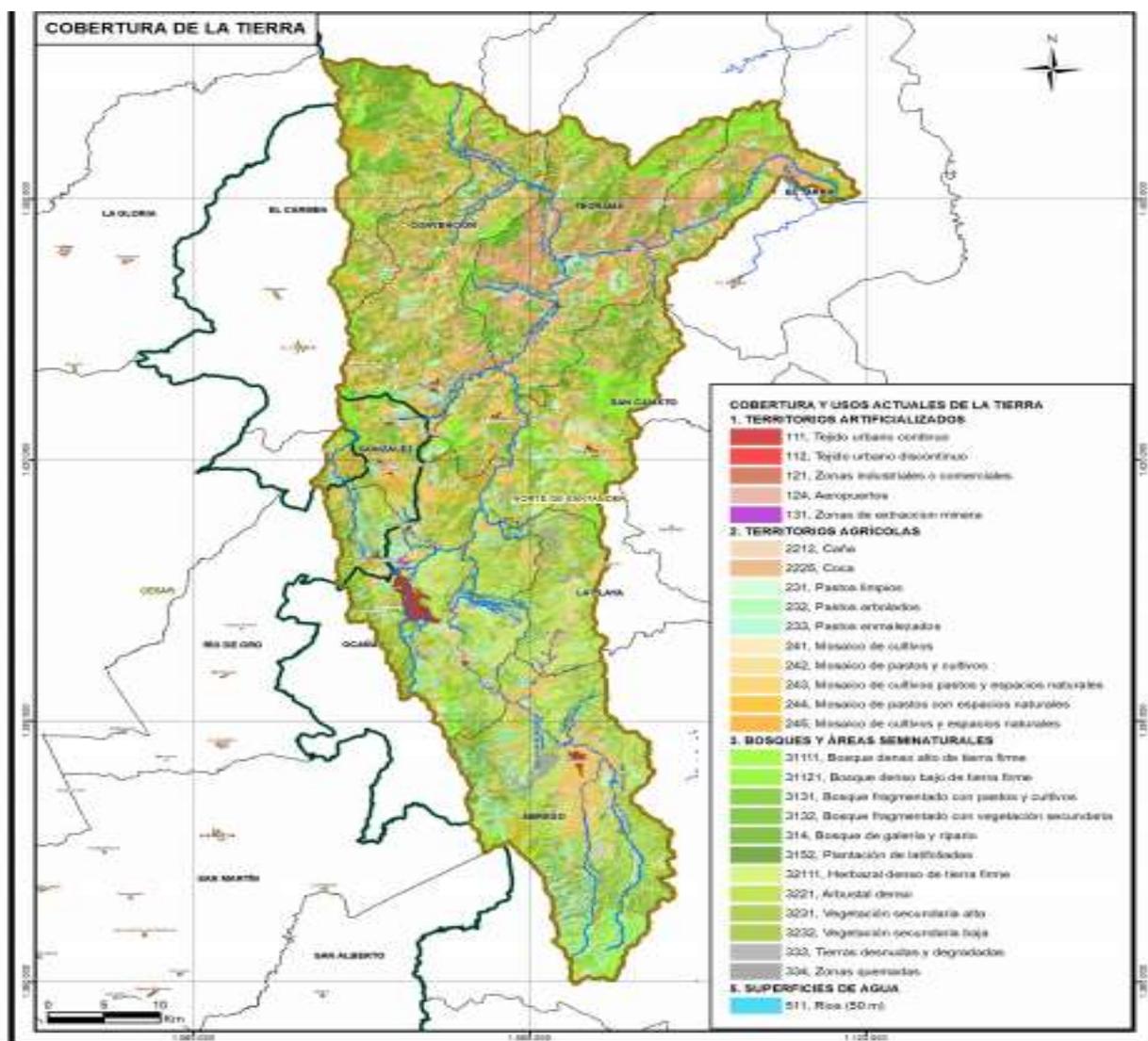
2.2.1.4. Geomorfología. La subzona hidrográfica del Río algodónal se encuentra ubicada morfológicamente en la geomorfo estructura perteneciente al sistema orogénico costero y sistema orogénico andino; se encuentra caracterizada por 4 regiones que representan los ambientes morfo genéticos, los cuales son: ambiente denudaciones, ambiente estructural, ambiente antropozoico y ambiente fluvial. La subzona hidrográfica del Río algodónal se caracteriza por tener un relieve abrupto, por lo cual su origen morfo genético se asocia con un ambiente estructura erosional donde se encuentran tipos de relieve tales como filas y vigas, crestones, espinazos y lomas. (CORPONOR, 2018).

2.2.1.5. Cobertura y uso de suelo. Para el año 2015 se identificaron 34 unidades de cobertura hasta el nivel 6 de la leyenda Corine Land Cover. Como resultado de los análisis, la subzona hidrográfica del Río Algodonal presentó para el año 2015 coberturas vegetales de tipo de boscoso arbustivo y herbáceo ocupando el 56% del área de la subzona hidrográfica. Un posterior análisis multitemporal entre los años 1991 y 2015 mostraron que la tasa de cambio para el periodo analizado fue homogénea en toda la cuenca y categorizada como baja en el 87% de la subzona, sin embargo, el índice de vegetación remanente mostró valores del 36% con clasificación de completamente transformada. El índice de fragmentación mostró que la cobertura vegetal de la subzona hidrográfica se encuentra fuertemente fragmentada con un valor del 51.96%. El índice de ambiente crítico permitió contemplar que el 19 de las 21 subcuencas reflejaron estado de peligro representando el 81% del área total. El índice de estado actual de las coberturas naturales mostró que se presenta un 54% del área como transformada, un 40% se presenta medianamente transformada y el 6% altamente transformada. (CORPONOR, 2018).

Ver figura cuatro (4)

Figura 4.

Mapa de cobertura de la tierra en la subzona hidrográfica del Río Algodonal



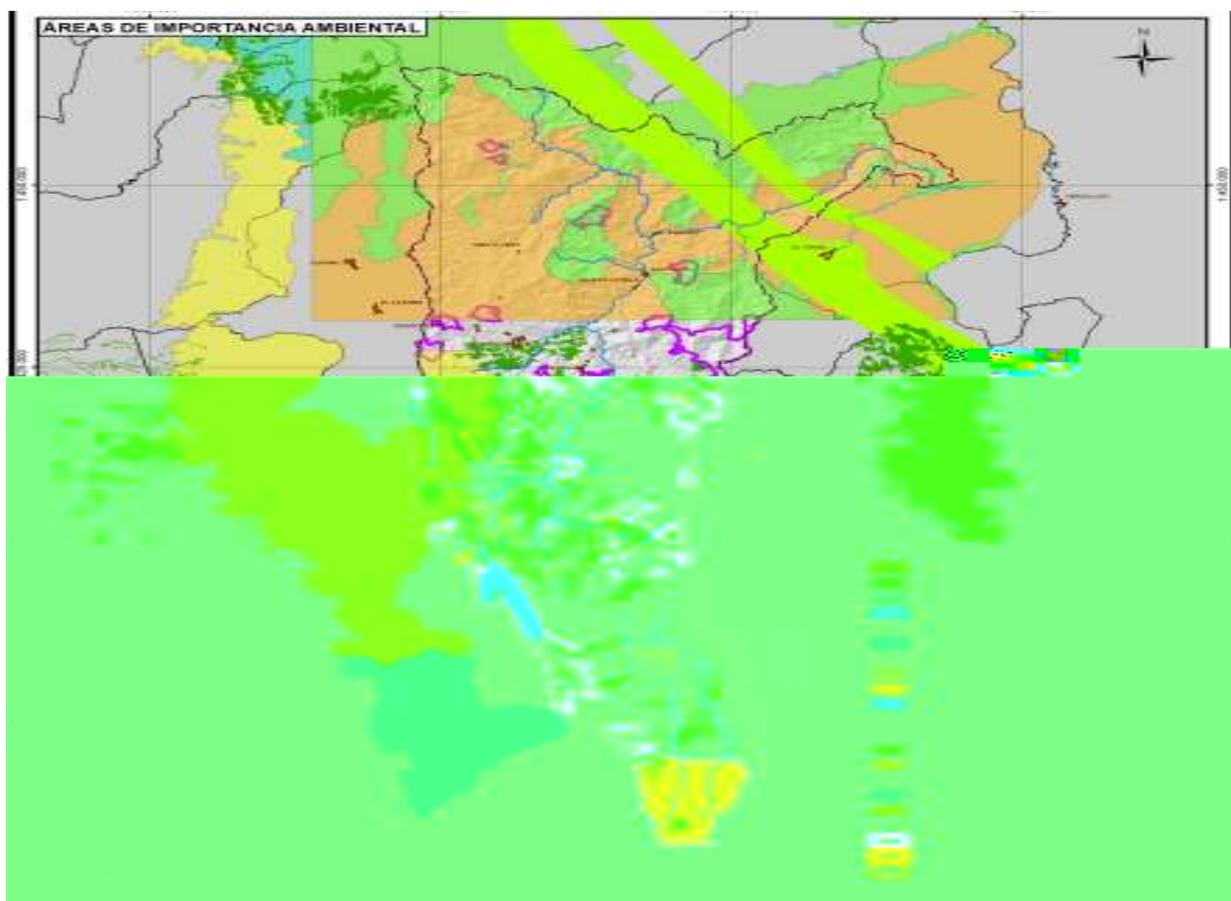
Fuente: CORPONOR (2018) actualización del POMCA del río algodonal – Norte de Santander (1605) Documento POMCA

2.2.1.6. Áreas protegidas y ecosistemas estratégicos. La subzona hidrográfica del Río algodonal cuenta con el área natural única los estoraques ubicados en el municipio de la playa, dentro del área se localizan dos ecosistemas de gran relevancia el bosque seco premontano y el bosque húmedo montano bajo. Además de esto se ubican 3 reservas forestales protectoras

nacionales. De la categoría área importante para la conservación de las aves se identificó la reserva natural de aves el hormiguero de Torcoroma con la intención de perpetuar el hábitat del hormiguero pico de hacha una especie catalogada como en peligro de extinción y redescubierta en el año 2006, después de 40 años de no tener datos de esta especie. También se identifica en el área de la subzona hidrográfica las zonas de la reserva de la ley segunda de 1959 serranías los motilones y río magdalena. Dentro de los sistemas estratégicos hace parte la delimitación del Páramo jurisdicciones/ Santurbán/ Berlín (CORPONOR, 2018). Ver figura cinco (5)

Figura 5.

Mapa de las áreas de importancia ambiental en la subzona hidrográfica del Río Algodonal.



Fuente: CORPONOR (2018) actualización del POMCA del río algodonal – Norte de Santander (1605) Documento POMCA

2.2.1.7. Coberturas vegetales. La subzona hidrográfica del río algodonal presenta los siguientes valores respecto a las coberturas vegetales: el Índice de Vegetación Remanente (IVR) muestra que el 36% de la cuenca se clasifica en completamente transformado y un 51% corresponde a coberturas muy transformadas con Sostenibilidad baja; el Índice de Fragmentación (IF) se categorizó en el 35,8% del área como fuerte, mientras que en el 63,5% fue moderado y tan solo la subcuenca Quebrada el Salado presentó fragmentación extrema; el Índice de Ambiente Crítico (IAC), refleja que 19 de las 21 subcuencas se encuentran en estado de peligro, representado en el 81% del área total; por último, el Índice Estado Actual de las Coberturas Naturales (IEACN) mostró que el 54% del área está transformada y un 40% se encuentran medianamente transformada y solo un 6% está altamente transformada, En general, se observa que el 94% de la subzona hidrográfica presenta conflicto medio y el 3% conflicto muy alto, pérdidas que pueden estar siendo causadas principalmente por el incremento de la frontera agropecuaria, la tala de bosques, la implementación de cultivos ilícitos y derrames de crudo por voladuras en oleoductos; principales problemáticas asociadas al componente biológico (CORPONOR, 2018).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Cobertura vegetal.

Los mantillos vegetales son importantes en la agricultura de conservación para proteger el suelo de los efectos de las gotas de lluvia, mantener el suelo a la sombra y mantener el contenido de humedad lo más alto posible.

De acuerdo con la FAO (s.f) La cobertura vegetal es de gran ayuda en la agricultura de conservación para proteger el suelo de los efectos de las gotas de lluvia, mantener el suelo a la sombra y mantener la humedad lo más alta posible. Dada su importancia para el reciclaje de nutrientes, tienen un efecto físico y posiblemente alergénico sobre las malezas, reducen la incidencia de enfermedades, reducen el uso de pesticidas y al mismo tiempo reducen los costos.

Debido a la variedad de especies que se encuentran en las coberturas vegetales, se van a encontrar distintos tipos de raíces que llegan a profundidades distintas lo que crea una homogeneidad en la presencia y concentración de los nutrientes en el suelo. La presencia de mantillo orgánico (vegetación muerta) en la agricultura de conservación evita la evaporación de la humedad del suelo y al mismo tiempo permite una mayor permeación del agua en el perfil del suelo. La velocidad a la que el agua de lluvia se filtra en el suelo depende de la cantidad de cobertura proporcionada. (FAO, s.f)

2.3.2. Cambios de cobertura.

Al analizar el desarrollo de las ocupaciones y el uso de la tierra en todas las regiones, es posible comprender cómo interactúan los diferentes factores socioeconómicos y biofísicos. (Pineda, Bosque, Gómez y Franco, 2011). Los estudios del uso de la tierra y el cambio de la vegetación son un estándar para rastrear los diversos procesos de cambio que existen en un área en particular. (Mas y Flamenco, 2011). Las actividades económicas llevadas a cabo por diferentes sociedades alrededor del mundo juegan un papel importante en la dinámica del uso de la tierra y la degradación ambiental.

Al cambiar la ubicación espacial y la composición del sistema original de una cobertura se afecta su funcionamiento y estabilidad (Fischer & Lindenmayer 2007). Se reconoce al cambio de cobertura y uso de suelo como unas de las acciones antrópicas que generan más afectaciones a los ecosistemas en todo el planeta (Vitousek et al., 1997); estas afectaciones generan una serie de consecuencias en las coberturas (Keith et al., 2013). Razón por la cual se evidencia una influencia directa del cambio de coberturas vegetales sobre los ecosistemas.

Las causas de estos cambios se dividen generalmente en dos grupos: a) causas directas y b) causas indirectas. Las causas directas son actividades y acciones que tienen un impacto inmediato en el uso de la tierra, como la tala y la construcción de carreteras. Las causas indirectas son los factores subyacentes que sustentan las causas directas, como los factores demográficos, económicos, técnicos, institucionales y culturales. (Geist y Lambin 2001; Verburg et al. 2004).

Actualmente, existen muchos métodos experimentales para descubrir, explicar y predecir el uso de la tierra y los cambios en el uso de la tierra, como el análisis de datos exploratorios, el análisis de regresión, las estadísticas bayesianas y el análisis de redes. Neuronas artificiales. (Lesschen et al. 2005). Para los procesos de deforestación, estas técnicas se utilizan a menudo para modelar y cuantificar la magnitud de la relación entre los impulsores y la pérdida de bosques.

2.3.3. Análisis espacial.

Según Gamir (1995) El análisis espacial se centra en estudiar los componentes de los espacios individuales, identificarlos y cómo se comportan en determinadas condiciones. Para ello, el análisis espacial emplea un conjunto de herramientas técnicas que, según lo anterior, solo pueden responder parcialmente a la dinámica espacial, pero no toda.

2.3.4. Teledetección

Mediante la implementación de sensores instalados en plataformas espaciales, se realiza la adquisición de datos provenientes de la superficie terrestre, esta técnica se llama teledetección; consiste en la interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, produciendo datos que posteriormente pueden ser procesados en softwares especializados para la obtención de información interpretable de la tierra (Instituto geográfico nacional de España, 2020)

Según Romero (2006), La teledetección necesita mejoras en la resolución espacial (tamaño de píxel), espectroscopia (número de sensores) y tormentas, por lo que tiene un gran potencial para mejorar el conocimiento natural incluso sin alcanzar todas las expectativas. Además, la interpretación de los resultados obtenidos requiere una ciencia más rigurosa para evitar sacar conclusiones concluyentes de los estudios ambientales realizados mediante técnicas de teledetección. Los modelos se desarrollan para interpretar los datos de teledetección con el fin de eliminar las consecuencias de las alteraciones en las condiciones de disparo, las distorsiones atmosféricas y la influencia de parámetros como la posición solar, la inclinación y la exposición deberían estar ahí, además de la altitud.

2.3.5. Imágenes sentinel

De acuerdo a la Agencia Europea Espacial (2015) El Sentinel es una nueva flota de satélites especialmente diseñada para proporcionar la gran cantidad de datos e imágenes que sustentan el programa Copernicus de la Comisión Europea. Este software, único en su clase está cambiando radicalmente la forma en que el medio ambiente comprende y gestiona los efectos del cambio climático para proteger vidas. El Sentinel 2 está equipado con una innovadora cámara multi-óptica de alta resolución, con 13 bandas espectrales que ofrecen una nueva perspectiva sobre la superficie y la vegetación de la Tierra.

La combinación de alta resolución y nuevas características espectrales, junto con un gran campo de visión de 290 km y un flybridge frecuente, proporcionan una vista sin precedentes de la Tierra. La misión se basa en constelaciones de dos satélites idénticos en la misma órbita separados 180 grados para una cobertura y carga de datos óptimas. Cada cinco días, el satélite cubre todas las superficies terrestres, grandes islas y aguas costeras.

La misión es principalmente proporcionar información útil sobre prácticas agroforestales y gestión de la seguridad alimentaria. Las imágenes de satélite se utilizan para determinar varios índices de vegetación, como el área de clorofila de las hojas y el contenido de agua.

Sentinel2 no solo puede monitorear el crecimiento de las plantas, sino también mapear las condiciones de la superficie y los cambios para observar los bosques tropicales. También advierte sobre los impactos a los cuerpos de agua.

Sentinel2A es el producto de la articulación entre la ESA, la Comisión Europea, la industria, los proveedores de servicios y los usuarios de datos. Elaborado por un grupo de 60 empresas liderado por Airbus Defence and Space, está respaldado por la agencia espacial francesa CNES para optimizar la calidad de imagen y el DLR del Centro Aeroespacial Alemán para mejorar la recuperación de datos a través de comunicaciones ópticas.

2.3.6. Servicios ecosistémicos.

Santia (2020) Menciona que Los servicios de los ecosistemas (SE) a veces se denominan servicios ambientales o de los ecosistemas. La definición más ampliamente aceptada de servicios de los ecosistemas, servicios de los ecosistemas o servicios ambientales propuesta por las Naciones Unidas en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio de 2005, en particular los beneficios que los ecosistemas brindan a los seres humanos, está incorporada en todos los aspectos. Los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro tipos como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Tipos de servicios ecosistémicos

Tipo de servicio	Definición
Servicio ecosistémico de soporte	Corresponde a los procesos ecológicos necesarios para la producción. Ciclo del agua Formación del suelo Producción primaria Fotosíntesis Hábitat de especies Conservación de la diversidad genética Ciclo de nutrientes

Continuación tabla 1...

Servicio ecosistémico de aprovisionamiento	Destaca porque está compuesto por productos extraídos del medio ambiente para su consumo o uso.
	<p>Alimento</p> <p>Agua (agricultura y consumo)</p> <p>Recursos energéticos (leña, turba, lignito...)</p> <p>Materias primas</p> <p>Minerales</p> <p>Recursos genéticos</p> <p>Recursos medicinales</p>
Servicio ecosistémico de regulación	Estos incluyen procesos ecológicos que nos benefician a través de sistemas de gestión y ayudan a mitigar algunos de nuestros impactos globales y regionales.
	<p>Regulación del clima</p> <p>Regulación en el ciclo del agua</p> <p>Mejora de la calidad del aire</p> <p>Control de la erosión</p> <p>Reducción de daños ante catástrofes naturales</p> <p>Control de enfermedades y plagas</p> <p>Mantenimiento de la fertilidad del suelo</p> <p>Regulación y saneamiento del agua.</p> <p>Polinización</p>
Servicio ecosistémico cultural	Son estos beneficios no físicos los que los humanos obtienen a través del ecosistema. Lo que nos hace es un concepto más abstracto.
	<p>Valor educativo</p> <p>Diversidad cultural</p> <p>Fuente de inspiración</p> <p>Espiritualidad y valores religiosos</p> <p>Valor estético</p> <p>Relaciones sociales</p> <p>Arraigo o pertenencia</p> <p>Patrimonio cultural</p> <p>Servicios recreativos y de ecoturismo</p> <p>Conocimiento científico</p>

Nota: Adaptado de Santías, I (2020) Servicios ecosistémicos: qué son, tipos y ejemplos.

Algunos de los servicios ecosistémicos prestados por la subzona hidrográfica del Río Algodonal se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.

Servicios ecosistémicos prestados por la subzona hidrográfica del río Algodonal

Tipo de servicio	Servicio prestado
Aprovisionamiento	Suelos de agricultura Suelos para ganadería Suelos para cultivos de pancoger Suministro de madera Suministro de leña
Regulación	Mantenimiento de la calidad del aire Regulación del clima Control de la erosión Purificación del agua
Soporte	Meteorización y formación de suelos Fotosíntesis Producción primaria de biomasa Renovación natural de la calidad del agua
Culturales	Valores espirituales Valores estéticos Recreación Educación

2.3.7. Zonificación hidrográfica de Colombia

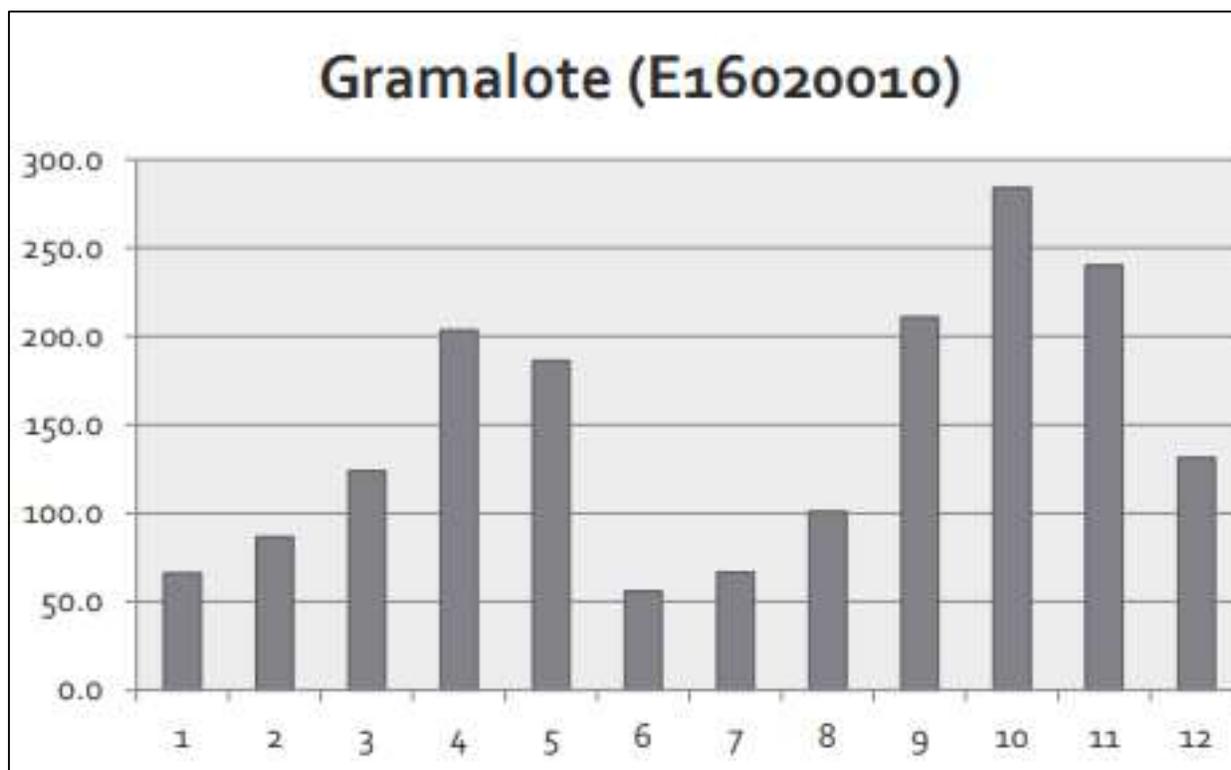
De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (2014), la zonificación hidrológica del país está dividida en cinco áreas hidrográficas, que a su vez están conformadas por zonas hidrográficas y estas últimas están conformadas por subzonas hidrográficas.

La zona que se estudiará es la subzona hidrográfica del Río Algodonal, la cual pertenece a la Zona hidrográfica denominada Río Catatumbo, que a su vez, pertenece al Área hidrográfica conocida como Caribe. (Ideam, 1978).

Las precipitaciones que se dan en esta zona fueron estudiadas y sintetizadas por el (Ideam, 2014) gracias a los datos suministrados por la estación meteorológica instalada en Gramalote, Norte de Santander, la cual mostró que los meses de mayores lluvias son abril y octubre; la información se sintetiza en la gráfica 6.

Figura 6.

Régimen de precipitaciones para la estación Gramalote, Norte de Santander



Fuente: Ideam, 2014.

2.3.8. Problema ambiental en el mundo

A medida que la humanidad se ha desarrollado, han aumentado los problemas ambientales de escala global, acelerándose en las últimas décadas. Esto se ha visto reflejado en la pérdida de biodiversidad, el calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono, la deforestación de bosques, la contaminación generada por el uso de agroquímicos, entre otros; quedando evidenciada una agudización progresiva de estos problemas, que difícilmente pueden ser revertidos (Meira, 2006).

2.3.9. Desertificación

Proceso por el cual se degrada el suelo, sucede cuando un problema ambiental genera afectaciones excesivas sobre el suelo, y por medio de la erosión, termina derivando en la desertificación. Cuando hay desertificación se pierde la productividad del suelo y la cobertura vegetal. Las causas de este fenómeno son las acciones antrópicas y determinadas condiciones ambientales como las sequías prolongadas e inundaciones (Ruíz y Flebes, 2004)

2.3.10. Acciones antropogénicas

Son las acciones desarrolladas por los seres humanos y que generan fuertes presiones sobre los ecosistemas. Entre ellas se encuentran la ganadería, la agricultura, la industria, la deforestación y el turismo, por decir algunas (AEMA, 2020)

2.4. Marco teórico

2.4.1. Metodología Corine Land Cover.

El método de uso del suelo CORINE se inició el 27 de junio de 1985 como parte del programa CORINE y se integró (Ajuste de la información ambiental), por decisión del Consejo de Ministros de la Unión Europea (UE), a cargo del para Europa. (AEMA) en el año 1995.

Desde el año 2004 se ha integrado el proceso de aplicación y validación del método CORINE Land Cover (CLC) en territorio colombiano para la recolección de mapas de uso del suelo e infraestructura de la Cuenca Magdalena - Cauca y de la capa nacional de coberturas de la tierra línea base período (2000-2002) y posteriormente de la capa nacional del período (2005 – 2009) escala 1:100.000. (IDEAM, 2005)

La metodología “CORINE Land Cover Colombia” es un sistema de clasificación en el que la categorización jerárquica se determina de acuerdo con las condiciones de la región del país en base a la información que pueden proporcionar las imágenes de satélite. La adaptación y validación de las metodologías CLC permite comparar estadísticas de uso del suelo, crear canales de comunicación entre las diversas instituciones que emplean el sistema y facilitar las condiciones adecuadas para la estandarización de la información.

Unido a lo anterior de acuerdo al IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA (2008) esta metodología presenta las siguientes ventajas:

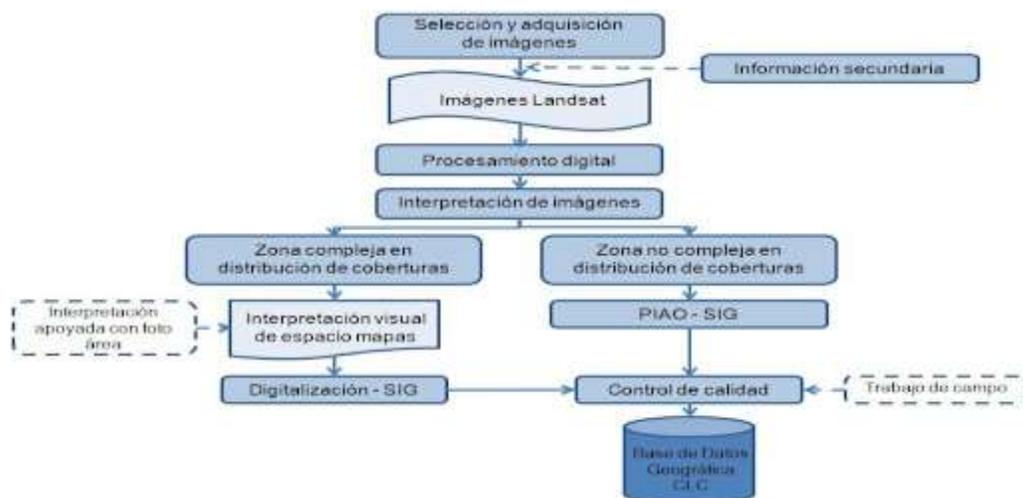
- Aprovechamiento de la mejor relación calidad-precio, puede obtener cobertura vegetal con relativa rapidez y facilidad.
- La aplicación permite comparar datos y tasas de uso del suelo y empleo entre países europeos y países de América del Sur que la han adoptado.
- Permite un análisis multitemporal relativamente simple y rápido de la ocupación territorial (en Europa, este análisis se realiza cada 5 años).

El diagrama metodológico de Corine Land Overlay incluye los siguientes pasos:

Recolección y preparación de información. Analizar e interpretar el alcance. Validación de campo, control de calidad, generación del tamaño de clases temáticas a escala 1:100.000. 1.

Figura 7.

Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)



Fuente: Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007)

2.4.2. Análisis multitemporal

Esto se hace comparando la cobertura vegetal interpretada en dos imágenes de satélite o mapas del mismo lugar en diferentes días, teniendo en cuenta la evolución del estado de la cobertura clasificada. El análisis de varias horas es mucho más eficiente que el análisis de una sola imagen porque los meses y los años tienen diferentes características climáticas. (Calvo y Ortiz, 2012).

El análisis multitemporal se realiza a través de los siguientes métodos:

2.4.2.1. Clasificación no supervisada. Según Alonso (2006), La clasificación no supervisada requiere que especifique el número de clases que se establecerán y el algoritmo matemático que se usará para la clasificación automática, pero no predetermina las clases. El más común es un algoritmo de agrupamiento que divide el espacio de transformación en una serie de regiones para minimizar la variación interna de los píxeles contenidos en cada región. Por lo tanto, cada región de este espacio de transformación define una clase espectral. Con la clasificación no supervisada, los datos se recuperan más rápido que la clasificación supervisada. Esta es una pregunta importante porque necesita evaluar cuál es mejor para usted, dependiendo de lo que esté haciendo.

En la clasificación no supervisada utilizando un algoritmo llamado Isodata, este algoritmo agrupa píxeles con la misma respuesta espectral que los identificados mediante una técnica iterativa de análisis de datos auto organizado. Este algoritmo está diseñado para trabajar con datos de 8 bits. La desventaja de este proceso es que algunas de las capas no son contiguas. Esto

significa que puede haber píxeles huérfanos. También depende de los datos. Por ejemplo, en el caso de una imagen con mucho ruido atmosférico, los datos cambiarán. Contrariamente a esto, también tiene ventajas, menos parámetros para configurar y menos conocimiento (análisis) de los datos. Un clúster, un proceso que ha encontrado con éxito el promedio de los valores de los datos. (Rosero, 2017)

2.4.2.2. Clasificación supervisada. La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad del área de entrenamiento. Estas son las regiones a las que se conocen de antemano las clases a las que pertenecen y se utilizan para generar las características simbólicas espectrales de cada clase. Estos se denominan capas de información. Deben ser lo más uniformes posible y áreas donde se pueda ver lo que está sucediendo el día en que se tomó la imagen. Por tanto, esta operación se realiza el mismo día que el satélite adquiere y adquiere la imagen. Otra posibilidad es utilizar fotografías aéreas y otra información.

Para obtener las características de reflexión de cada capa, debe echar un vistazo rápido a la imagen. La respuesta espectral de una capa será la respuesta espectral promedio de ese píxel (Alonso, 2006).

La clasificación supervisada, como su nombre lo indica, debe monitorearse en los datos y se realiza mediante muestreo de campo, lo que da como resultado una mayor calidad. La clasificación supervisada requiere la identificación de la muestra. Es decir, debe decidir físicamente qué píxel utilizar como referencia. Genere una clase de "grupo" y evalúe la firma para ver con qué precisión se tomó la muestra. Por lo tanto, no los confunda para evitar confusiones al ordenar. Además, puede utilizar reglas de evaluación categóricas que brinden

probabilidades estadísticas o un conjunto de límites basados en el valor de cada píxel. La desventaja de este proceso es que es un método de clasificación más sofisticado porque requiere un conocimiento previo de los datos, las clases recuperadas y el método de clasificación. En conclusión, depende de su conocimiento de los datos. Mayor conocimiento sobre la gestión de información espectral. También tiene la ventaja de que el usuario tiene control sobre los datos.

2.4.3. ArcGis.

Es el software líder a nivel mundial en cuanto sistemas de información geográfica se refiere, común entre profesionales y estudiantes, permite el manejo integral de información geográfica. Además, este software contiene una plataforma en la que se pueden compartir trabajos e investigaciones realizados por distintos usuarios. La versión usada para el desarrollo del siguiente proyecto es la 10.2 (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2014).

2.4.4. Método de Substracción de Píxeles Oscuros (SPO).

Este método es usado para eliminar los valores que las nubes agregan a la imagen, interfiriendo en la veracidad de los resultados. Este tipo de corrección atmosférica se basa en la reflectancia y que cuando sus valores son muy bajos, esto se puede considerar como umbral para identificar los que tienen concordancia con estos (GisGeek, 2014).

2.4.5. Mosaic To new raster

Según (ESRI, 2018); mosaic to new raster es una herramienta del software ArcGis 10.2. que permite la generación de un mosaico a partir de varios archivos raster, para el correcto funcionamiento de la herramienta es necesario que todos los archivos raster sean iguales en número de bandas y en la profundidad de bit.

2.4.6. Análisis de Componentes Principales de Cobertura Vegetal

El análisis de componentes principales es una técnica ampliamente utilizada que utiliza rangos de fechas para los siguientes propósitos: realizar valores iniciales de bandas, bandas no correlacionadas, compresión de datos, combinar bandas que tienen diferentes resoluciones espaciales. (Fusionar), fusiona bandas de varios cristales, especialmente pancromáticas (Rosero, 2017)

Los valores de píxeles en la banda original se convierten a valores que no son físicamente importantes para el suelo. El análisis estadístico que subyace a esta técnica tiene ciertas características, como eliminar la mayoría de las diferencias de baja frecuencia en las imágenes al realizar una calibración relativa automática entre las imágenes.

2.4.7. Índice de vegetación normalizada

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, es un índice de vegetación usado para conocer la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación midiendo la intensidad de radiación de bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. (MappinGIS, 2015).

Por medio de las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético se consigue conocer el NDVI, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

Donde:

NIR: Banda infrarrojo cercano

VIS: Banda visible-rojo

Las clases del NDVI, mediante procesos, se han relacionado con las coberturas presentes en la metodología corine land cover para Colombia (Romero, 2018).

El NDVI se clasifica en un rango entre -1 y 1 dependiendo del cociente resultante entre la radiación reflejada y la radiación entrante en cada banda espectral como se muestra a continuación:

Tabla 3.*Clasificación del NDVI*

clase	rango de cociente en cada banda espectral	color	grupo
1	(-1 y -0.1)		Vegetación nula
2	(-0.1 y -0.05)		Vegetación nula
3	(-0.05 y 0)		Vegetación débil y escasa
4	(0 y 0.04)		Vegetación débil y escasa
5	(0.04 y 0.14)		Vegetación débil y escasa
6	(0.14 y 0.24)		Vegetación débil y escasa
7	(0.24 y 0.34)		Vegetación densa y vigorosa
8	(0.34 y 0.44)		Vegetación densa y vigorosa
9	(0.44 y 0.54)		Vegetación densa y vigorosa
10	(0.54 y 0.64)		Vegetación densa y vigorosa
11	(0.64 y 0.74)		Vegetación densa y vigorosa
12	(0.74 y 1)		Vegetación densa y vigorosa

Fuente: Merg, 2011.

2.4.8. Extract by mask

Según (ESRI, 2014) esta herramienta perteneciente a ArcGis 10.2. Permite extraer las celdas que representan un área definida por una máscara; para en este caso, delimitar el índice de vegetación de diferencia normalizada al área perteneciente a la subzona hidrográfica del río algodonal.

2.4.9. Reclassify

Según (ESRI, 2014) esta herramienta que está disponible en ArcGis 10.2, cambia los valores de un raster permitiendo que a este se le puedan realizar procesos adicionales que no se le puede hacer a un raster de punto flotante.

2.4.10. Majority Filter

Según (ESRI, 2014), el filtro mayoritario permite una reorganización de las celdas de pixeles con el fin de sustituirlas por las que se encuentren a su alrededor en mayor medida.

2.4.11. Raster to polygon

Según (ESRI, 2014), esta herramienta permite la transformación de un archivo raster a un polígono compuesto por capas.

2.4.12. Summarize

Según (ESRI, 2014) es una función que permite agrupar los datos de una tabla de atributos dependiendo una característica en común entre los datos y así visualizarlos mejor a estos.

2.5. Marco legal

En la tabla 4 se hace un compendio de la normatividad sobre la cual se soporta la presente la investigación:

Tabla 4.

Normatividad de la investigación

Ley/ decreto/política	Objeto	Fuente
Constitución política de Colombia	<p>Art. 8. Los Estados y los pueblos tienen la obligación de proteger la riqueza natural y cultural de la nación.</p> <p>Art. 79. Todos disfrutan de un medio ambiente sano, diverso y respetuoso con el medio ambiente y tienen derecho a proteger áreas de especial importancia ecológica.</p> <p>Art. 80. El Estado elabora planes de manejo y uso de los recursos naturales para asegurar el desarrollo sostenible, conservación, restauración o reposición de los recursos naturales.</p> <p>Art. 334. La dirección general de la economía está a cargo de la nación. Intervenir en el desarrollo de los recursos naturales, racionalizar la economía y mejorar la calidad de vida de los habitantes.</p>	Congreso de Colombia (1991)
Ley 23 de 1973	Se refiere a los fundamentos de la prevención y control de la contaminación del aire, el agua y el suelo y facultó al presidente de esta república para que promulgue la Ley de Recursos Naturales.	Congreso de Colombia(1973)
Ley 79 de 1986	<p>Convocatoria de áreas forestales protegidas para conservar y preservar fuentes de agua: bosques y vegetación natural en fuentes de agua en un área mayor a 200 metros.</p> <p>Bosques circundantes y vegetación natural a más de 100 metros a ambos lados de ríos, arroyos y arroyos.</p>	Congreso de Colombia (1986)

Continuación tabla 4...

Ley 2 de 1959	Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables: establece como "Zonas Forestales Protectoras" y "Bosques de Interés General", las siguientes zonas de reserva forestal: Zona de reserva forestal del río Magdalena Zona de Reserva Forestal de la Serranía de los Motilones	Congreso de Colombia (1959)
Ley 99 de 1993	Ley General Ambiental de Colombia, 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.	Congreso de Colombia (1993)
Ley 299 de 1996	Por la cual se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones.	Congreso de Colombia (1996)
Ley 388 de 1997	Marca cuáles son los objetivos del Ordenamiento Territorial Municipal y Distrital y Planes de Ordenamiento Territorial.	Congreso de Colombia (1997)

Nota: Elaboración propia (2021)

Continuación tabla 4...

Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Presidencia de Colombia (1974)
Decreto 1971 de 1996	Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal	Presidencia de Colombia (1996)
Decreto 877 de 1976	Por el cual se señalan prioridades referentes a los diversos usos del recurso forestal, a su aprovechamiento y al otorgamiento de permisos y concesiones y se dictan otras disposiciones.	Presidencia de Colombia (1976)
Plan Estratégico Macrocuena Caribe (Zona Hidrográfica del Catatumbo)	Presenta un análisis de los cambios en la cobertura del suelo para la Macrocuena Caribe entre los años 2000-2002 y 2007-2009, determinados a partir de la metodología “Corine Land Cover” desarrollada para Colombia.	Min Ambiente (2010)
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH)	Considera el agua como un factor económico y social y, a través del orden y uso de los territorios, conserva y gestiona bien los ecosistemas con miras a regular el abastecimiento de agua, y el uso eficaz y eficiente de los recursos hídricos para asegurar la sostenibilidad. Desarrollar el bienestar e implementar un proceso de participación justo e inclusivo.	Min Ambiente (2011)
Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)	Promueve la gestión global de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (GIBSE), y proyecta cambios de escenarios para mejorar la resiliencia de los ecosistemas sociales a nivel social, nacional, regional, regional y transfronterizo. El objetivo es mantener y mejorar la acción coordinada del Estado, el sector productivo y la sociedad civil.	Min Ambiente (2015)

Continuación tabla 4...

Política Nacional de la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)	Su objetivo es contribuir a la conservación y el uso sostenible de esta parte importante de los ciclos del agua, el aire y los nutrientes, y es fundamental para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.	Min Ambiente (2018)
Plan de Ordenamiento de Recurso Hídrico (PORH)	Es una herramienta de planificación que permite a las autoridades ambientales intervenir en los cuerpos de agua para lograr y mantener las condiciones cualitativas y cuantitativas necesarias para asegurar el funcionamiento del ecosistema y sus objetivos. Propósito actual de uso.	Min Ambiente (2013)
Plan General de Ordenación Forestal (PGOF)	Tiene como objetivo capacitar a las personas interesadas en el uso de los recursos en las áreas forestales de producción para realizar sus actividades de manera planificada, con descripción de los aspectos biológicos,, sociales y económicos.	Min Ambiente (2013)
Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Rio Algodonal (2015)	Tiene como objetivo desarrollar proyectos de forma completa y organizada, de acuerdo con las condiciones y características del suelo de que se trate, asegurando la coherencia de las condiciones físicas de la ecología y del desarrollo económico y social.	CORPONOR (2013)
Plan Estratégico Ambiental Regional – PGAR/PLANEAR 2016-2035 CORPONOR (2016)	Es ecológicamente ordenado con un sector productivo participativo para desarrollar una economía sustentable sustentada en la conservación de los ecosistemas mediante la utilización y aprovechamiento de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, el objetivo es crear un territorio sustentable.	CORPONOR (2013)
Plan de acción Corponor 2020-2023 (2020)	Es una herramienta de planificación que refleja el compromiso corporativo de Corponor durante los próximos cuatro años y define el rumbo que debe seguir la empresa en materia ambiental. en el territorio del Departamento Norte de Santander.	CORPONOR (2020)

Nota: Elaboración propia (2021)

Capítulo 3. Metodología de la investigación

3.1. Tipo de investigación

Para la presente investigación se planteó utilizar dos modelos que se complementan entre sí, ellos son; modelo descriptivo modelo explicativo. Referenciando a Hernández, Fernández y Baptista (2014) La investigación descriptiva “busca identificar las características, características y perfiles de la persona, grupo, comunidad u otro fenómeno bajo análisis, es decir, se relacionan independientemente de las variables a las que se refieren información”, este modelo es útil para mostrar de manera precisa los fenómenos, sucesos o el contexto de una situación específica.

Por su parte la investigación, además de explicar conceptos y fenómenos, o de establecer relaciones entre conceptos, también detalla las razones por las cuales ocurre y las condiciones en que se da, o por qué dos o más variables están relacionadas, y tiene como objetivo brindar retroalimentación causal sobre eventos físicos o sociales. (Hernández, Fernández y Baptista 2014)

3.2. Población

Se toma como población a la totalidad de las coberturas de tierra presentes en el área perteneciente a la subzona hidrográfica del Río Algodonal

3.3. Muestra

La muestra que se tomó está representada por las coberturas vegetales presentes en la subzona hidrográfica del Río Algodonal, debido a su importancia en la investigación y que en ellas se centra la misma.

3.4. Técnicas de recolección de la información

3.4.1. *Revisión documental*

Teniendo definido el tipo de investigación, correspondiente al nivel descriptivo sobre la cual tiene pertenencia la revisión documental; Hernández (2014) define que:

Este estudio puntualiza sobre, contextos, fenómenos, sucesos y situaciones; esto es, pormenorizar sobre cómo se manifiestan. Los estudios descriptivos buscan identificar las características, perfiles y atributos de la persona, grupo, comunidad, proceso, objeto u otro fenómeno analizado. En definitiva, solo se pretende medir o recopilar información sobre los conceptos o variables a los que se refieren, ya sea de forma independiente o conjunta.

Por tanto, la técnica utilizada para esta encuesta es medir las variables y recabar información que ayude a solucionar los problemas encontrados. Se han seleccionado los siguientes:

- a. **Recopilación bibliográfica**, que es "Recopilar información tras hacer una revisión documental, recopilar información de distintos tipos de fuente que manejen como principal uno similar al de la investigación a realizar" (Carrasco, 2005). Esta técnica es

aplicada para la investigación y elaboración del marco teórico, conceptual y referencial o contextual. Fuentes primarias: libros, manuales, tesis y monografías. Y, Fuentes secundarias: artículos, informes y opiniones formales de expertos.

- b. **Observación Participante.** Como lo menciona Iñiguez (2008), este es uno de los métodos privilegiados de la investigación cualitativa. Básicamente, no es un método oculto y desestructurado, sino una observación contextual con la participación del propio investigador (p.12).

De manera similar, esta técnica puede describir eventos e interacciones observadas, así como experiencias, experiencias y sensaciones desde la posición del observador.

3.5. Seguimiento metodológico

Tabla 5.

Seguimiento metodológico

Objetivos específicos	Técnica	Instrumento
Identificar geográficamente la cobertura vegetal existente en la subzona hidrográfica del río algodonal en el periodo de tiempo comprendido entre los años 2017 a 2021.	Revisión documental	Ficha bibliográfica
Determinar los cambios en las coberturas vegetales en la subzona hidrográfica del río algodonal para el periodo de tiempo definido, a partir del empleo de análisis espacial con software SIG.	Análisis espacial	Software SIG
Analizar las posibles causas del cambio de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río algodonal y la incidencia de estos cambios en la sostenibilidad de la cuenca del río Catatumbo.	Mapa de Zonificación	Imágenes Santinel 2

Nota: Elaboración propia (2021)

3.6. Procedimiento

La información recolectada, se interpretó cualitativamente con el propósito de establecer los aspectos relevantes orientados a analizar las dinámicas de las coberturas vegetales en la subzona hidrográfica del río algodónal, Colombia.

A continuación se detalla el proceso, que se divide en tres etapas como lo son recopilación de la información, procesamiento de información y análisis de resultados; las cuales permitieron conocer el cambio en las coberturas vegetales de la subzona hidrográfica del río algodónal para cada año de estudio; el proceso es idéntico y debió ser repetido para cada uno de los años.

3.6.1 Recopilación de información

Descarga de imágenes Sentinel 2.: A través de la plataforma Earth Explorer del servicio geológico de estados unidos (USGS) se descargaron las imágenes pertenecientes a la misión Sentinel 2 y que permitieron el desarrollo de esta investigación. Conociendo la ubicación aproximada de la subzona hidrográfica del río algodónal (figura 1), se localizó en el geovisor de Earth Explorer, lo cual expuso las imágenes descargables que la misión Sentinel 2 ha ido capturando sobre la subzona hidrográfica del río Algodonal. Las imágenes fueron revisadas para determinar cuáles son las adecuadas, teniendo en cuenta la nubosidad sobre la zona y así poder tener una mejor visibilidad y, por consiguiente, resultados con veracidad. Posterior a la selección de imágenes se descargó un libro comprimido con las imágenes para que posteriormente fueran procesadas en ArcGIS.

Descarga de mapa de zonificación hidrográfica de Colombia. Como segunda parte de la fase de recopilación de información, planteada en el diseño metodológico de esta investigación, se descargó el shapefile del mapa con la zonificación hidrográfica de Colombia, necesario para delimitar la zona de estudio; este archivo fue descargado de la plataforma del Instituto geográfico Agustín Codazzi. Las bandas que se seleccionaron fueron la banda infrarrojo cercano y la banda visible rojo, necesarias para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada.

3.6.2. Procesamiento de información

Carga de archivos en software ArcGIS 10.2. Mediante la ventana Catalog de la interfaz del programa ArcGIS 10.2, se seleccionaron las bandas de las imágenes de la misión Sentinel 2 y el archivo shapefile de la zonificación hidrográfica de Colombia descargadas anteriormente y se cargaron en el software para su procesamiento y desarrollo de la investigación.

Corrección atmosférica. La corrección atmosférica es un procedimiento que tiene como objetivo corregir el efecto de dispersión de energía electromagnética en las partículas de agua suspendidas en la atmósfera, permitiendo de esta manera, restar de la imagen los valores que éstas agregan a los datos de la imagen. El procedimiento usado es el conocido como DOS -Dark Object Subtraction- o SPO –Método de Substracción de Píxeles oscuros, también conocido como el Método de Chávez

Generación de mosaicos Mediante la herramienta Mosaic to new raster se unieron las 4 bandas de cada una de las imágenes que conforman la imagen completa de la subzona

hidrográfica del Río Algodonal. Dando como resultado dos mosaicos, uno de las bandas infrarrojo cercano y un mosaico de las bandas visible rojo.

Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Después de haber realizado los mosaicos se ejecutó la herramienta Raster Calculator para el cálculo del NDVI, esta herramienta se encuentra en la sección de Map Algebra, perteneciente a spatial análisis tolos de arctollbox y permitió realizar una operación que involucra las bandas infrarrojo cercano y visible rojo que dio como resultado el archivo que muestra el NDVI de la zona.

Delimitación de área de la subzona hidrográfica del Río Algodonal. Una vez se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada, se delimitó, en este archivo, el área que representaba a la subzona hidrográfica del Río Algodonal, mediante la herramienta *Extract by mask*, de ArcGis 10.2. Siendo este resultado, la clave para el análisis de la cobertura vegetal de la subzona hidrográfica y la comparación de su estado en cada uno de los años de estudio.

Reclasificación del raster. Habiendo delimitado la subzona hidrográfica en el índice de vegetación de diferencia normalizada que se había generado, se reclasificaron los valores del raster, mediante la herramienta *Reclassify* de ArcGis 10.2; paso necesario para que estos valores pudieran ser procesados y pudieran dar paso al polígono que permitió la lectura de datos según su clasificación.

Filtro Mayoritario. La aplicación del filtro mayoritario, permitió agrupar píxeles de manera que estos generen una mejora en la visualización y diferenciación de las clases. El proceso fue realizado mediante la herramienta *Majority Filter*, disponible en ArcGis 10.2.

Conversión a polígono. Se convirtió a polígono el archivo ráster generado hasta este punto, con el fin de generar los datos sobre la cobertura de cada clase en la totalidad del polígono y así determinar su varianza en el tiempo. El proceso se realizó a través de la herramienta *Raster to Polygon* perteneciente a ArcGis 10.2.

Summarize. Este último procedimiento permitió agrupar los valores según su clase para poder hacer una correcta lectura de sus datos. Mediante la herramienta *Summarize*, ubicada como herramienta desplegable dentro de la tabla de atributos del polígono que representa el índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal.

Generación de mapas de NDVI. Mediante la herramienta *Layout View* de ArcGis 10.2, se cambió el tipo de la vista del documento que se está procesando, desplegándose funciones que permiten la creación de un mapa y el ajuste de sus especificaciones. Mediante la herramienta *Insertar*, se le añadió al mapa el título, la leyenda, la escala y la norte.

3.6.3. Análisis de resultados

Revisión de las coberturas vegetales para cada uno de los años. Mediante una revisión de la tabla de propiedades del archivo resultante de las anteriores fases del procedimiento, se determinó el estado de las coberturas vegetales, sus clases y los detalles sobre cada una de estas; para conocer el escenario encontrado en la subzona hidrográfica del Río Algodonal.

Comparación de las coberturas encontradas para cada año de estudio. Habiendo revisado cada una de las coberturas vegetales encontradas para cada año en la subzona hidrográfica del Río Algodonal, se procedió a compararlas y analizarlas en conjunto para determinar su comportamiento y su variabilidad a través del tiempo.

Planteamiento de posibles causas del comportamiento de las coberturas vegetales. Teniendo los anteriores resultados, como última fase de la investigación, se planteó cuáles fueron las posibles causas de los cambios encontrados en las coberturas vegetales de la subzona hidrográfica del Río Algodonal.

Capítulo 4. Resultados

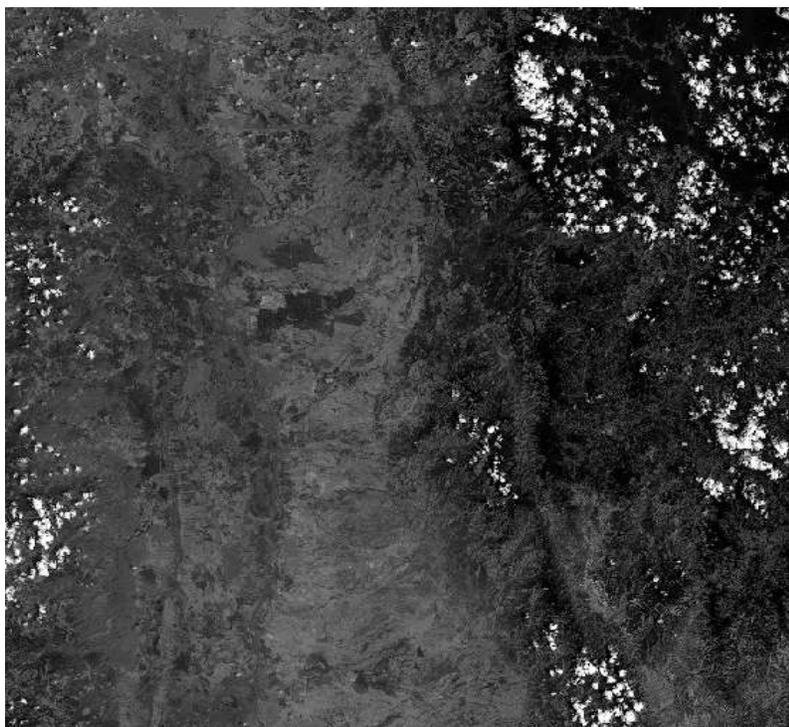
4.1. Recopilación de la información

4.1.1. Descarga de imágenes Sentinel 2

Mediante el uso de la plataforma Earth Explorer se descargaron las imágenes satelitales necesarias para el desarrollo del proyecto, al ser la zona de estudio extensa, se necesitaron cuatro imágenes satelitales que abarquen toda la subzona hidrográfica del Río Algodonal, ya que ninguna cumple con este objetivo por sí sola. La escogencia fue exhaustiva ya que la zona de la subzona hidrográfica del río algodonal presenta alta nubosidad, por lo cual son limitados los recursos en cuanto a imágenes satelitales sobre la zona con poca o nula nubosidad, por lo cual se hace necesario eliminar estas nubes mediante correcciones atmosféricas en software de sistemas de información geográfica.

Figura 8.

Banda 4 de imagen sentinel de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el 2017



Para el año 2017 se descargaron seis imágenes satelitales, cuatro que representan la imagen base y dos más que se usaron para correcciones atmosféricas. Las cuatro imágenes principales fueron tomadas el 1ro de septiembre del 2017; las dos restantes fueron tomadas el 15 de noviembre del 2017 y el 5 de diciembre del 2017.

Para el año 2018 se descargaron cuatro imágenes satelitales; una fue tomada el 8 de febrero del 2018 y las tres restantes fueron tomadas el 10 de marzo del 2018.

Para el año 2019 se descargaron cinco imágenes satelitales, cuatro que representan la imagen base y una más usada para correcciones atmosféricas. Las cuatro imágenes principales fueron tomadas el 22 de agosto del 2019, la restante fue tomada el 3 de julio de 2019.

Para el año 2020 se descargaron cinco imágenes satelitales, cuatro que representan la imagen base y una más usada para correcciones atmosféricas. Las cuatro imágenes principales fueron tomadas el 4 de marzo del 2020, la restante fue tomada el 8 de mayo del 2020.

Para el año 2021 se descargaron cuatro imágenes satelitales que fueron tomadas en distintas fechas; estas fueron tomadas en los días 13 de abril del 2021, 20 de abril del 2021, 23 de abril del 2021 y 25 de abril del 2021.

4.1.2. Descarga de mapa de zonificación hidrográfica de Colombia

Mediante la plataforma web del instituto geológico Agustín Codazzi se descargó el libro comprimido que contiene el archivo del mapa de zonificación hidrográfica de Colombia, del cual, posteriormente, se obtuvo la delimitación de la subzona hidrográfica del Río Algodonal

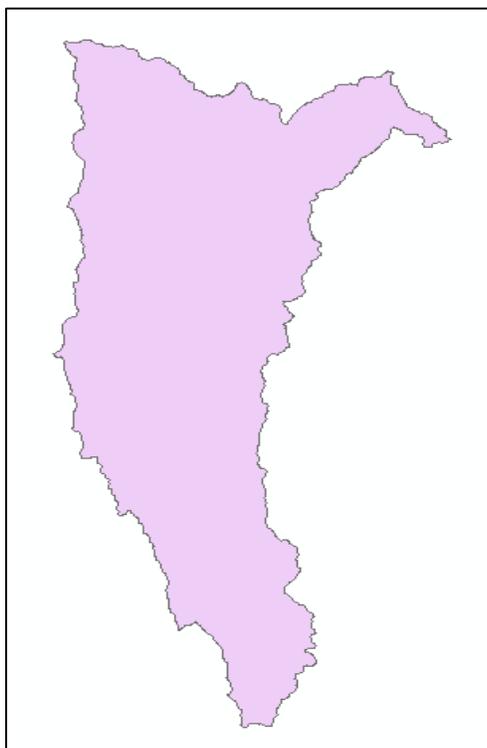
Figura 9.

Mapa de zonificación hidrográfica



Figura 10.

Delimitación de la subzona hidrográfica del río Algodonal

**4.2. Procesamiento de la información*****4.2.1. Carga de archivos en software ArcGIS 10.2***

Para el desarrollo del proyecto se trabajó únicamente con la banda 4(Rojo) y la banda 8 (Visible e infrarrojo cercano) de las imágenes satelitales tomadas por Sentinel 2, ya que son estas las necesarias para poder calcular el índice de vegetación de diferencia normalizada. Cargadas al software ArcGis 10.2 mediante su ventana Catálogo, cargando la carpeta que contiene los archivos para después seleccionar de estas las bandas que se usaron.

4.2.2. Corrección atmosférica

El primer proceso que se realizó a las imágenes fue una corrección atmosférica mediante el método de Chávez (1988) usando el software Qgis; con este proceso se elimina de las bandas la mayoría de las nubes que puedan generar una interferencia. Posteriormente se realizó otro ajuste atmosférico, en algunos casos usando las imágenes satelitales adicionales, que fueron descargadas para este fin. Empleando la ventana Análisis de imagen del programa Arcgis se eliminaron las nubes restantes, tratando siempre de que el porcentaje de nubosidad resultante se acercara a 0%.

4.2.3. Generación de mosaicos

Luego de haber realizado las correcciones atmosféricas, se unieron las cuatro imágenes de cada tipo de banda para generar una sola imagen de cada una de las bandas que por sí solo abarque toda el área de la subzona hidrográfica del Río Algodonal; para este proceso se utilizó la herramienta Mosaic to New Raster del software Arcgis 10.2, teniendo como resultado los siguientes mosaicos:

Figura 11.

Mosaico de bandas 4 de imágenes satelitales tomadas sobre la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2017

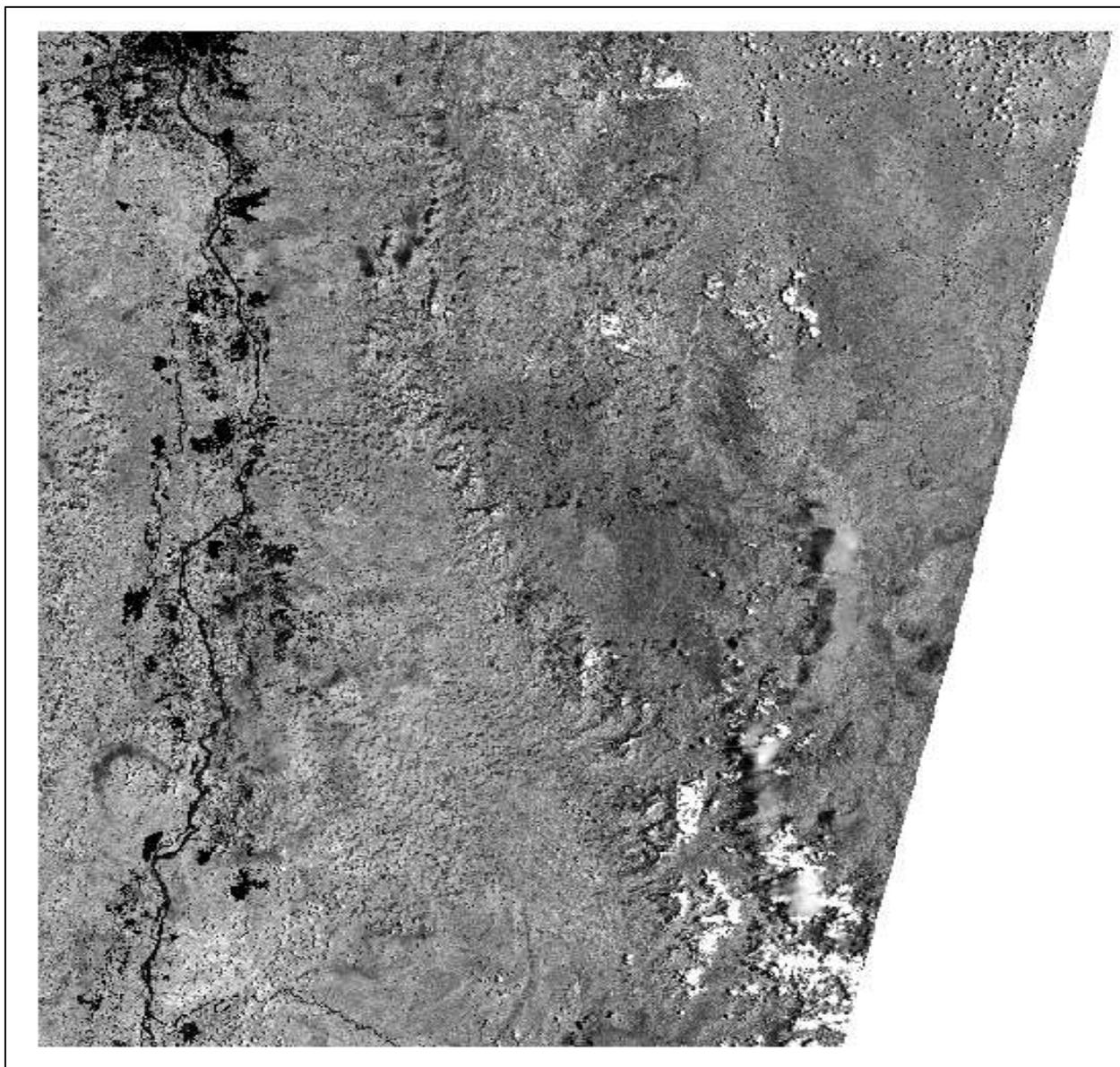


Figura 12.

Mosaico de bandas 8 de imágenes satelitales tomadas sobre la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2017

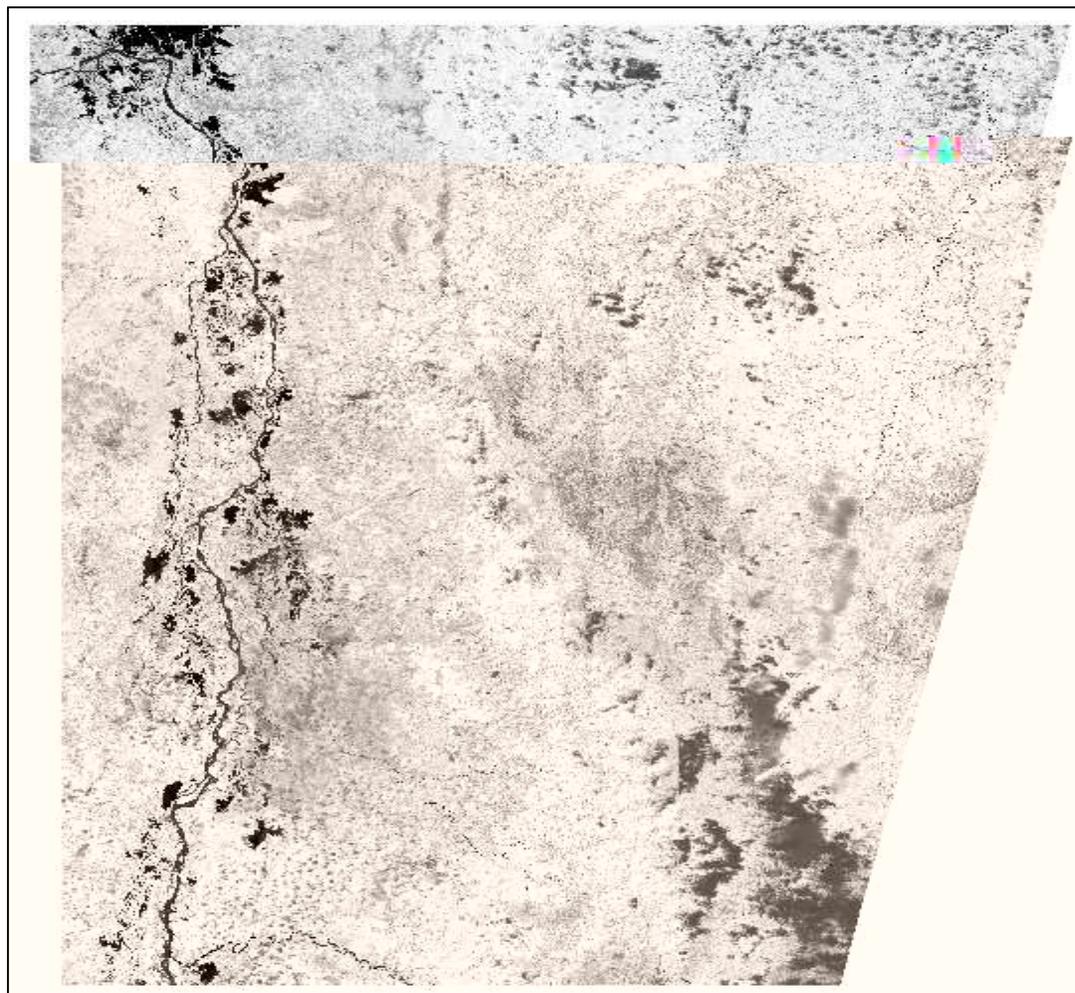


4.2.4. Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Después de haber generado los mosaicos de bandas 4 y 8, se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada, usando la herramienta Raster Calculator de la sección Map Algebra del catálogo de ArcTools Box del software Arcgis 10.2. Se introdujo la fórmula del NDVI en la calculadora, arrojando como resultado lo siguiente.

Figura 13.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal para el año 2017

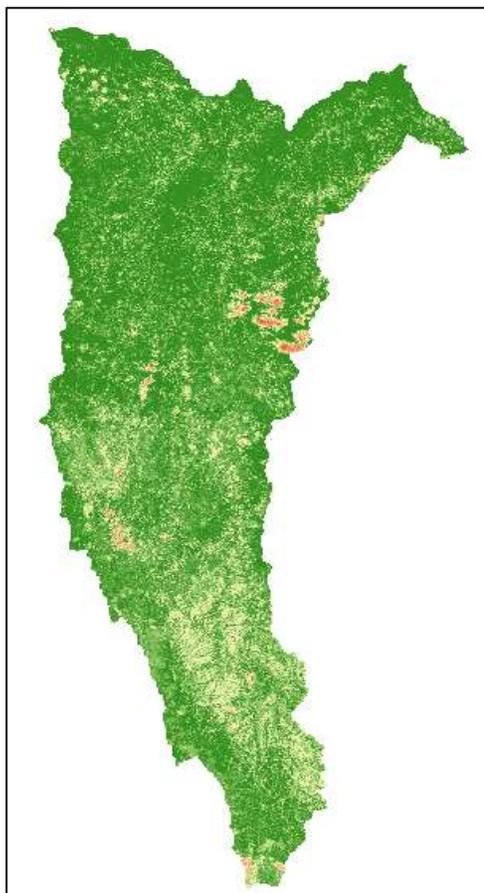


4.2.5. Delimitación de área de la subzona hidrográfica del Río Algodonal

El índice de vegetación de diferencia normalizada obtenido fue delimitado con el área que abarca la subzona hidrográfica del Río Algodonal, sustraída anteriormente del mapa de zonificación hidrográfica de Colombia descargada del IGAC (2013). A la extracción resultante del proceso conocido como Extract by mask del software Arcgis 10.2, se le ajustó la clasificación de sus valores teniendo cuenta la clasificación propuesta por Merg (2011) y también se le ajustó el color para permitir una mejor lectura de sus datos, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 14.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal con valores de clasificación y colores ajustados para el año 2017

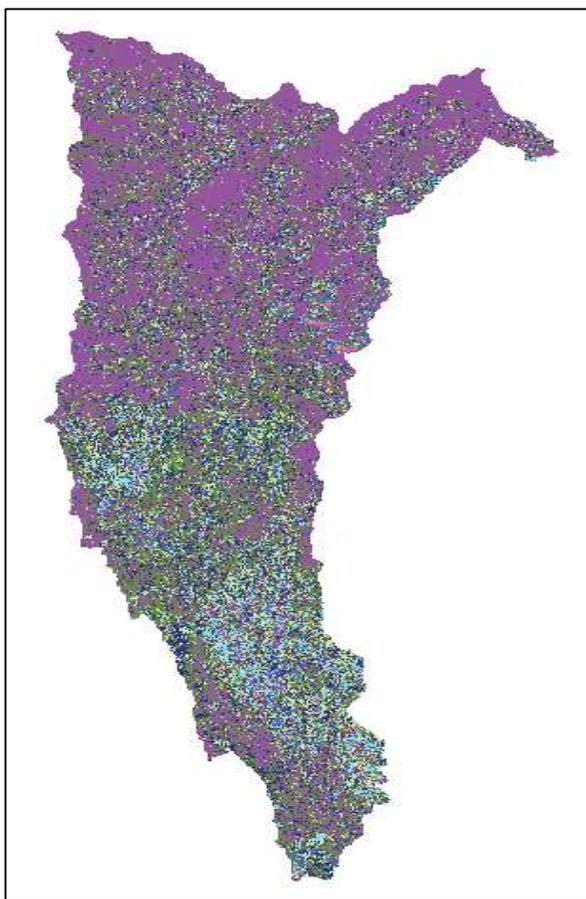


4.2.6. Reclasificación del raster

Tras haber obtenido el índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal, fue necesario realizar otros procedimientos que permitieron la lectura de sus datos. El primero de estos procedimientos fue reclasificar los valores mediante la herramienta Reclassify del catálogo de Arctools Box del software Arcgis 10.2, esto con el fin de cambiar los valores del raster para que puedan ser convertidos en polígonos, generando el siguiente resultado:

Figura 15.

Reclasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río algodonal para el año 2017

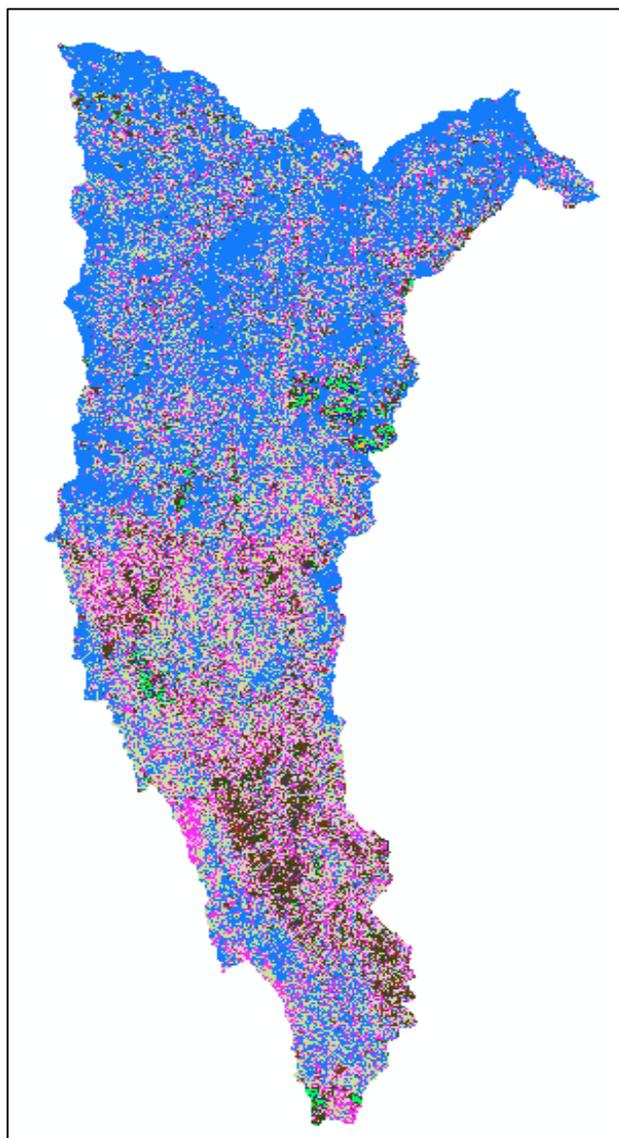


4.2.7. Filtro Mayoritario

Posterior a la reclasificación, el raster fue procesado por la herramienta Majority Filter del catálogo de arctools box de ArcGIS 10.2, con el fin de agrupar píxeles y mejorar los bordes de cada una de las clases que compone el raster, obtenido el siguiente resultado:

Figura 16.

Reclasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río algodónal con filtro mayoritario aplicado para el año 2017

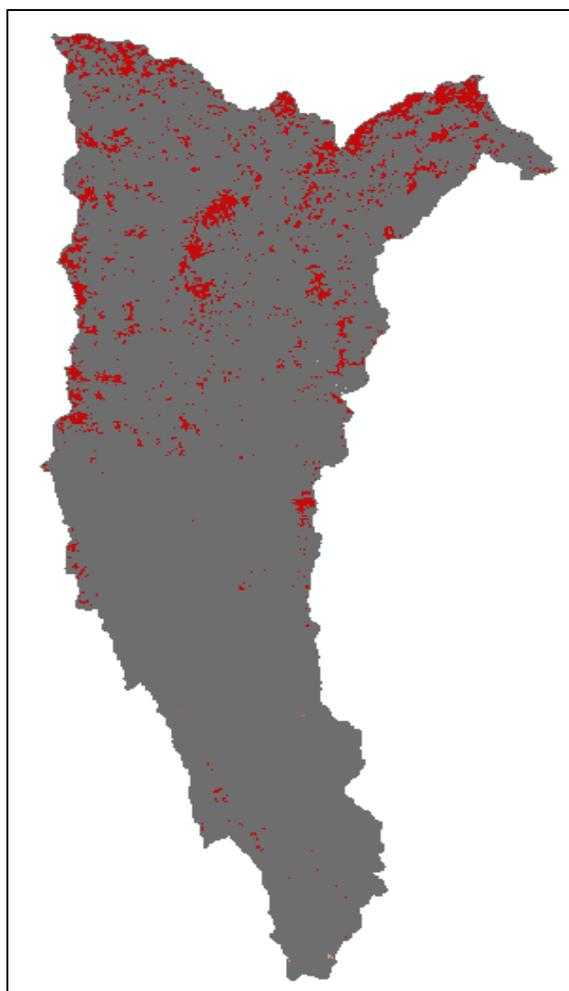


4.2.8. Conversión a polígono

Después de haber realizado todos los procesos anteriores, se logra obtener el ráster que puede ser convertido a polígono y el cual servirá para hacer la lectura de datos. Mediante la herramienta Raster to Polygon perteneciente al catálogo de Arctools Box del software Arcgis 10.2 se logra convertir el raster en polígono, para posteriormente ajustar la clasificación de sus valores y sus colores para poder realizar la lectura de datos, obteniendo el siguiente polígono:

Figura 17.

Polígono de índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del río algodonal para el año 2017

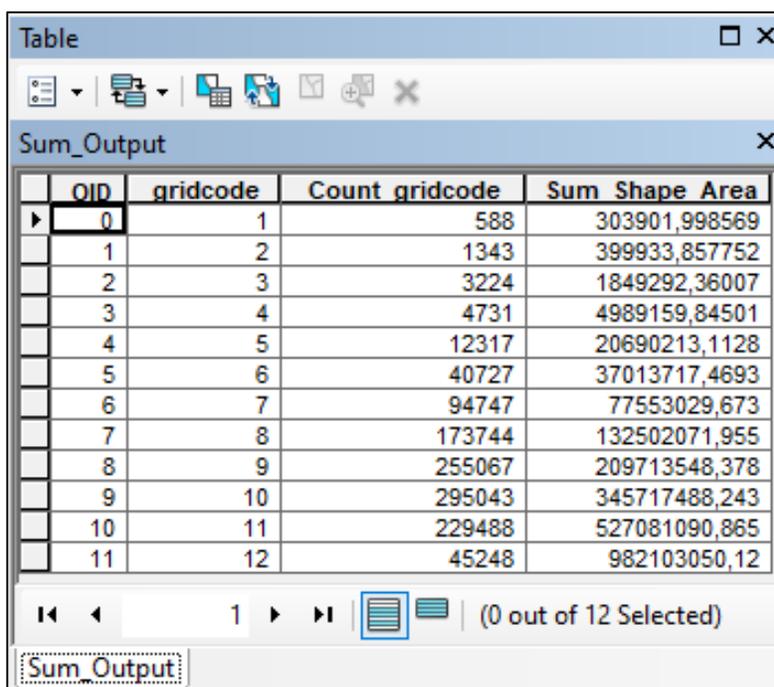


4.2.9. Summarize

Por último, es necesario realizar un procedimiento en la tabla de atributos del polígono para agrupar los datos de cada clase y así poder realizar su lectura y determinar el porcentaje de cada una de las clases en el polígono. La herramienta que permite realizar este procedimiento es Summarize de Arcgis 10.2, la herramienta se ejecutó y mostró los resultados en la tabla mostrada a continuación:

Figura 18.

Resumen de valores de índice de vegetación de diferencia normalizada en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para el año 2017



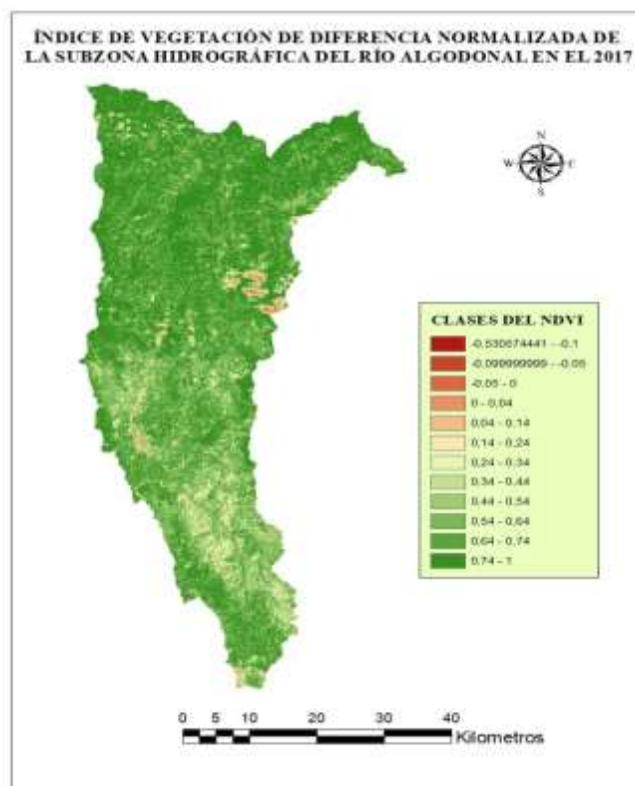
OID	gridcode	Count gridcode	Sum Shape Area
0	1	588	303901,998569
1	2	1343	399933,857752
2	3	3224	1849292,36007
3	4	4731	4989159,84501
4	5	12317	20690213,1128
5	6	40727	37013717,4693
6	7	94747	77553029,673
7	8	173744	132502071,955
8	9	255067	209713548,378
9	10	295043	345717488,243
10	11	229488	527081090,865
11	12	45248	982103050,12

4.2.10. Generación de mapas de NDVI

Para concluir el procesamiento en el software ArcGis 10.2, se generaron los mapas de índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal, siendo estos, uno de los principales productos de la presente investigación. También se empleará una clasificación propuesta por Romero (2018); la cual expone que valores del NDVI entre un rango de 0,25 y 0,499 representa pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados, valores del NDVI entre un rango de 0,5 y 0,749 representan arbustos, matorrales y bosque de galería y/o ripario, valores del NDVI entre un rango de 0,75 a 1 representan bosque natural denso; por último, los valores por debajo de 0,25 se desprecian, ya que no representan ningún tipo de vegetación. A continuación, se muestran los mapas de NDVI de la subzona hidrográfica del Río Algodonal para cada uno de los años de estudio.

Figura 19.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2017

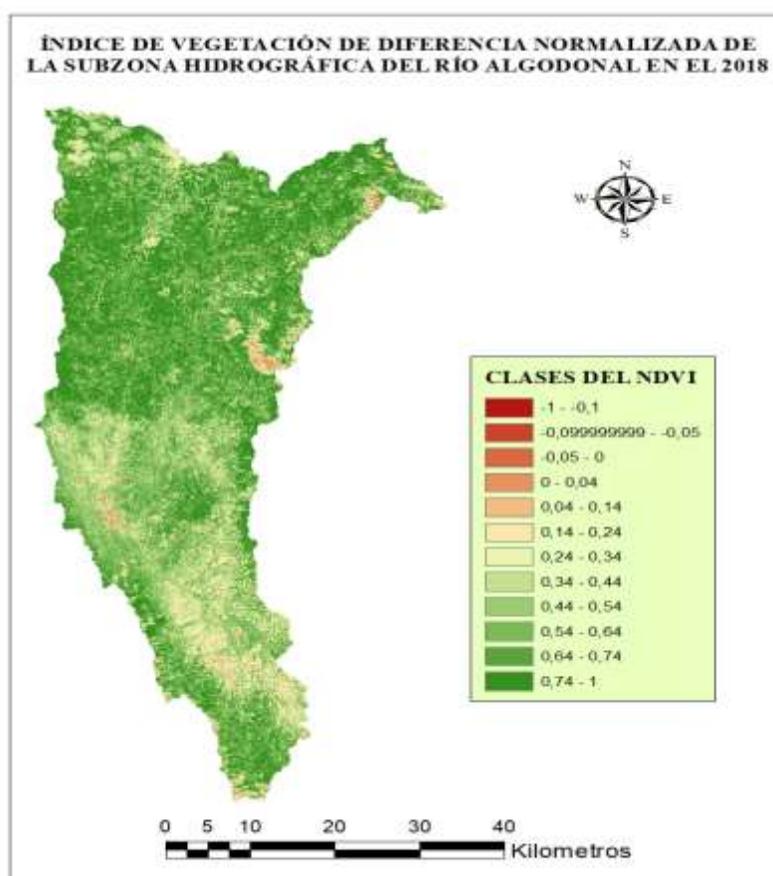


En el año 2017 se logra evidenciar que las zonas con mejores valores de NDVI que indican vegetación más sana (valores cercanos a 1), están ubicadas en la zona norte de la cuenca y en menor medida en la zona sur occidental de la misma, observándose una presencia muy alta de este tipo de vegetación.

Respecto a cada tipo de vegetación, se encontraron, 317.244.406 m² de pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados; 1.023.435.678 m² de arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios y 920.552.219 m² de bosque natural denso.

Figura 20.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2018

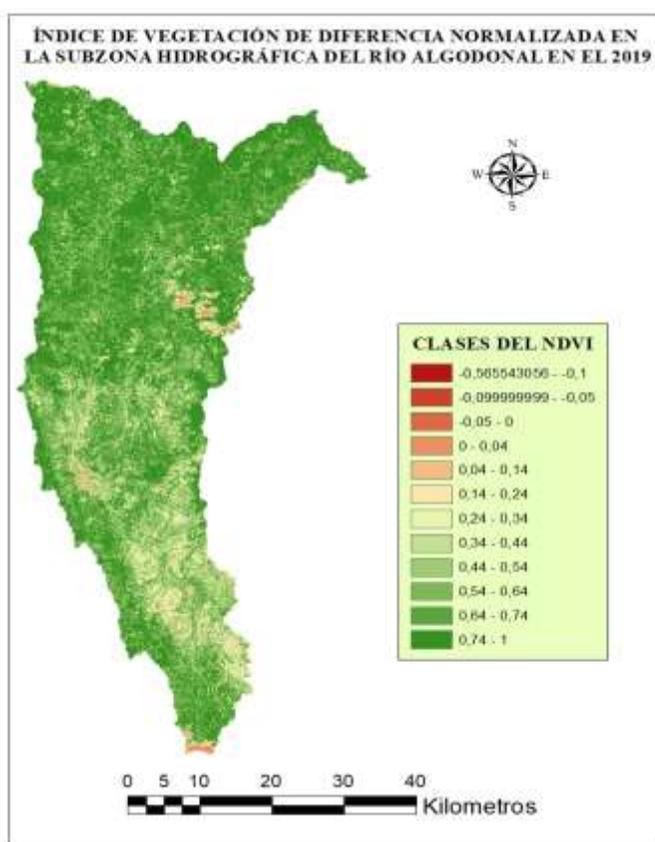


En el año 2018 se evidencia que las zonas con mejores valores de NDVI que indican vegetación más sana (valores cercanos a 1), están ubicadas en una zona del sur occidente, así como en gran medida en la parte norte de la cuenca. También se evidencia un desmejoramiento en la zona media y baja de la cuenca.

Respecto a cada tipo de vegetación, se encontraron, 376.260.622 m² de pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados; 1.189.465.058 m² de arbustos, matorrales y bosque de galería y/o ripario y 624.314.388 m² de bosque natural denso.

Figura 21.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2019

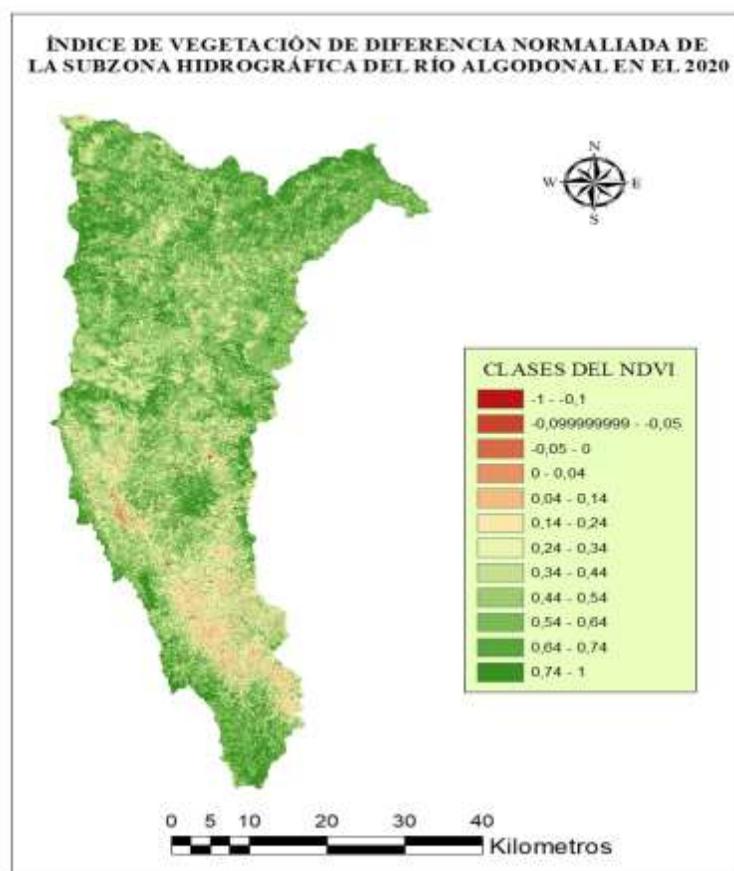


En el año 2019 se observa un aparente mejoramiento del NDVI de manera general en toda la cuenca, sobre todo en la parte sur de la cuenca, en la cual, se podía apreciar en el año inmediatamente anterior valores del NDVI no tan buenos. La parte norte de la cuenca sigue presentando valores del NDVI muy cercanos 1.

Respecto a cada tipo de vegetación se encontraron, 381.161.569 m² de pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados; 921.096.914 m² de arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios y 924.161.448 m² de bosque natural denso.

Figura 22.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2020

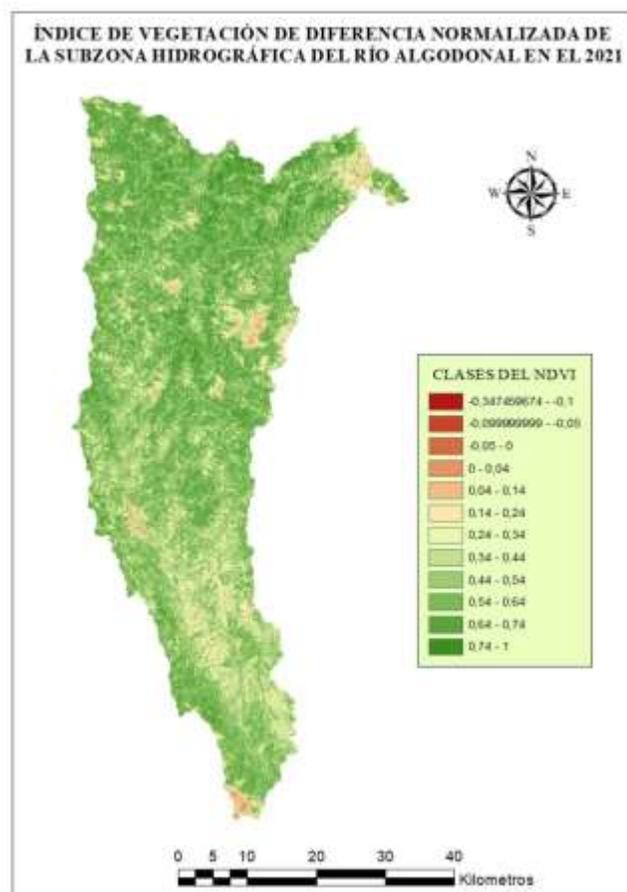


En el año 2020 se encuentra un escenario en el cual es evidente un desmejoramiento de los valores del NDVI de manera general en la cuenca, por primera vez se evidencian bajos niveles de NDVI en la zona norte de la cuenca, además de la parte sur de la misma. A simple vista se aprecia una disminución alta de los valores de NDVI cercanos a 1.

Respecto a cada tipo de vegetación se encontraron, 707.611.237 m² de pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados; 1.161.397.585 m² de arbustos, matorrales y bosque de galería y/o ripario y 215.917.658 m² de bosque natural denso.

Figura 23.

Índice de vegetación de diferencia normalizada de la subzona hidrográfica del Río Algodonal en el año 2021



En el año 2021 se evidencia que las zonas con mejores valores de NDVI que indican vegetación más sana (valores cercanos a 1), están ubicadas en una zona del sur occidente, así como en gran parte del norte de la cuenca.

Respecto a cada tipo de vegetación, se encontraron, 730478270 m² de pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados; 1436847600 m² de arbustos, matorrales y bosque de galería y/o ripario y 30525975 m² de bosque natural denso.

4.3. Análisis de resultados

4.3.1. Revisión de las coberturas vegetales para cada uno de los años

Al concluir el procesamiento en los softwares Qgis y Arcgis, se ha conseguido determinar el NDVI de la subzona hidrográfica del Río Algodonal, se ha logrado clasificar este mismo según la clasificación propuesta por Merg (2011), para posteriormente conocer la cobertura de cada clase respecto a la totalidad de la zona de estudio. Los datos recopilados se han sintetizado en una tabla para una mejor organización y una lectura fácil. La tabla es la siguiente:

Tabla 6.

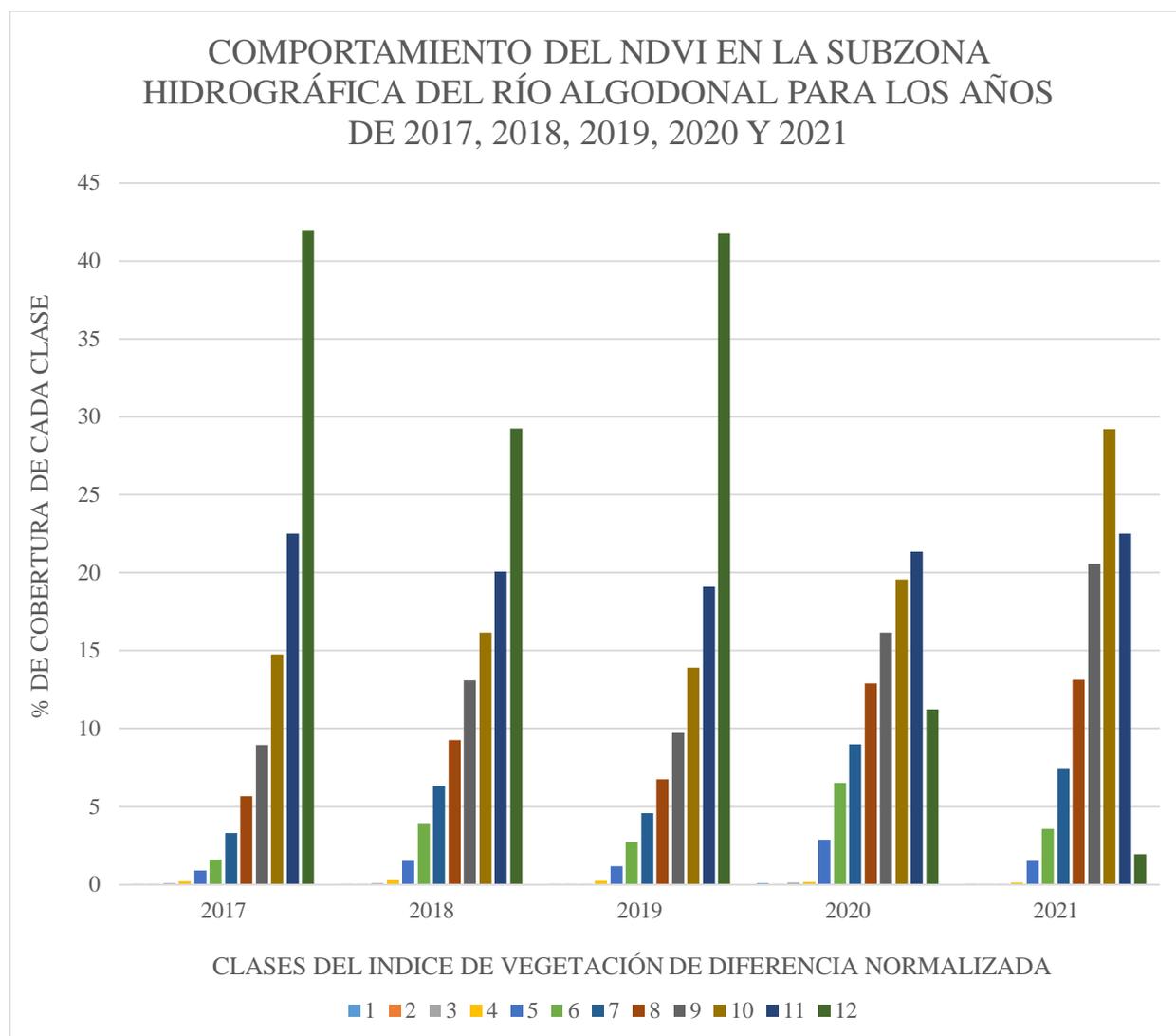
Porcentaje de cobertura de cada clase del NDVI obtenido en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para cada año de estudio

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021
CLASE (%)					
1	0,012	0,053	0,021	0,088	0,002
2	0,017	0,026	0,012	0,044	0,002
3	0,079	0,074	0,037	0,105	0,007
4	0,213	0,261	0,237	0,159	0,112
5	0,884	1,531	1,152	2,888	1,535
6	1,581	3,887	2,719	6,496	3,564
7	3,314	6,329	4,564	8,998	7,398
8	5,662	9,277	6,757	12,887	13,153
9	8,962	13,096	9,728	16,158	20,554
10	14,774	16,144	13,918	19,560	29,209
11	22,525	20,072	19,086	21,354	22,495
12	41,971	29,243	41,764	11,258	1,962

Nota: Elaboración propia (2021).

Figura 24.

Comportamiento del índice de vegetación de diferencia normalizada en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para los años 2017- 2021



Para mejorar la comprensión de la información mostrada por el índice de vegetación de diferencia normalizada y poder saber qué tipo de vegetación representa cada una de sus clases, se empleará una clasificación propuesta por Romero (2018); la cual expone que valores del NDVI entre un rango de 0,25 y 0,499 representan pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enastrojados, valores del NDVI entre un rango de 0,5 y 0,749 representan

arbustos, matorrales y bosque de galería y/o ripario, valores del NDVI entre un rango de 0,75 a 1 representan bosque natural denso; por último, los valores por debajo de 0,25 se desprecian, ya que no representan ningún tipo de vegetación. El porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación en cada año de estudio se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Porcentaje de cobertura de cada cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del río algodonal en los años 2017 - 2021

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021
TIPO DE VEGETACION (%)					
Pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados	13,5730	16,0801	16,3015	30,2411	31,2221
Arbustos, matorrales y bosque de galería y/o ripario	43,7868	50,8339	39,3934	49,6345	61,4140
Bosque natural denso	39,3850	26,6812	39,5245	9,2276	1,3047
Suelo sin vegetación	3,2552	6,4048	4,7806	10,8968	6,0592

Nota: Elaboración propia (2021).

La descripción de cada tipo de cobertura vegetal encontrada, pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados.

Tabla 8.

Cobertura de los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmaleza o enrastrados en la subzona hidrográfica del Río Algodonal

Año	Extensión (ha)	Porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017	31810.28	13,57
2018	37686.03	16.08
2019	38204.91	16.30
2020	70874.38	30.24
2021	73173.49	31.22

Arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios

Tabla 9.

Cobertura de los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios

Año	Extensión (ha)	Porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017	102628.18	43.79
2018	119127.44	50.83
2019	92316.15	39.39
2020	116315.06	49.63
2021	143923.19	61.41

Bosque denso natural

Tabla 10.

Cobertura del bosque denso natural

Año	Extensión (ha)	Porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017	92304.43	39.38
2018	62531.24	26.68
2019	92631.37	39.52
2020	21626.21	9.22
2021	3057.75	1.30

Suelo sin vegetación

Tabla 11.

Cobertura de los suelos sin vegetación

Año	Extensión (ha)	Porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017	7629.03	3.25
2018	15010.57	6.40
2019	11204.02	4.78
2020	25538.22	10.89
2021	14200.60	6.06

4.3.2. Comparación de las coberturas encontradas para cada año de estudio

A continuación, se muestran los gráficos que reflejan los datos presentes en cada una de las tablas y que permitirán de manera sencilla la visualización del comportamiento de cada una de las coberturas en cada uno de los años de estudio:

Figura 25.

Comportamiento de los tipos de coberturas encontradas en la subzona hidrográfica del Río Algodonal en los años 2017 -2021.

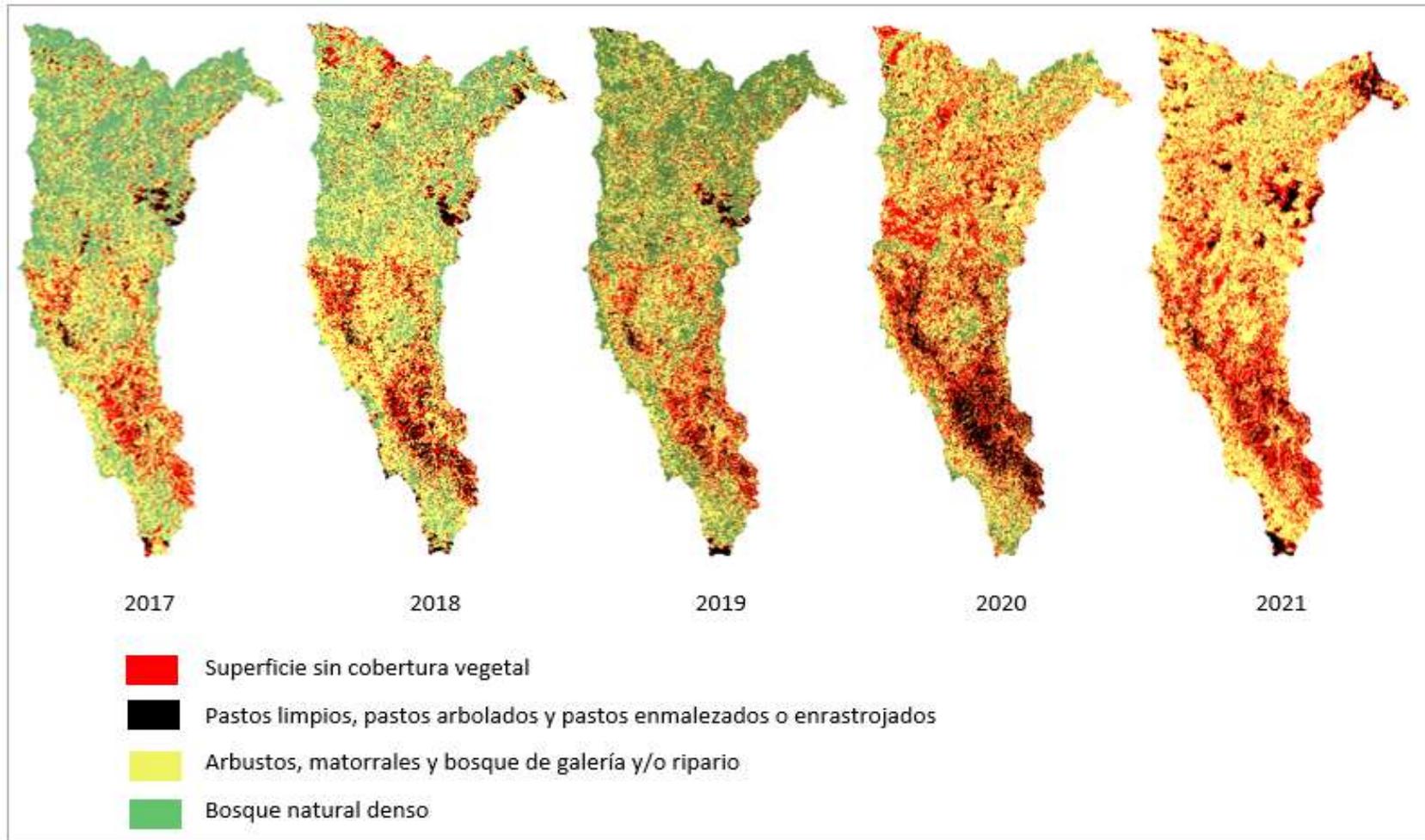
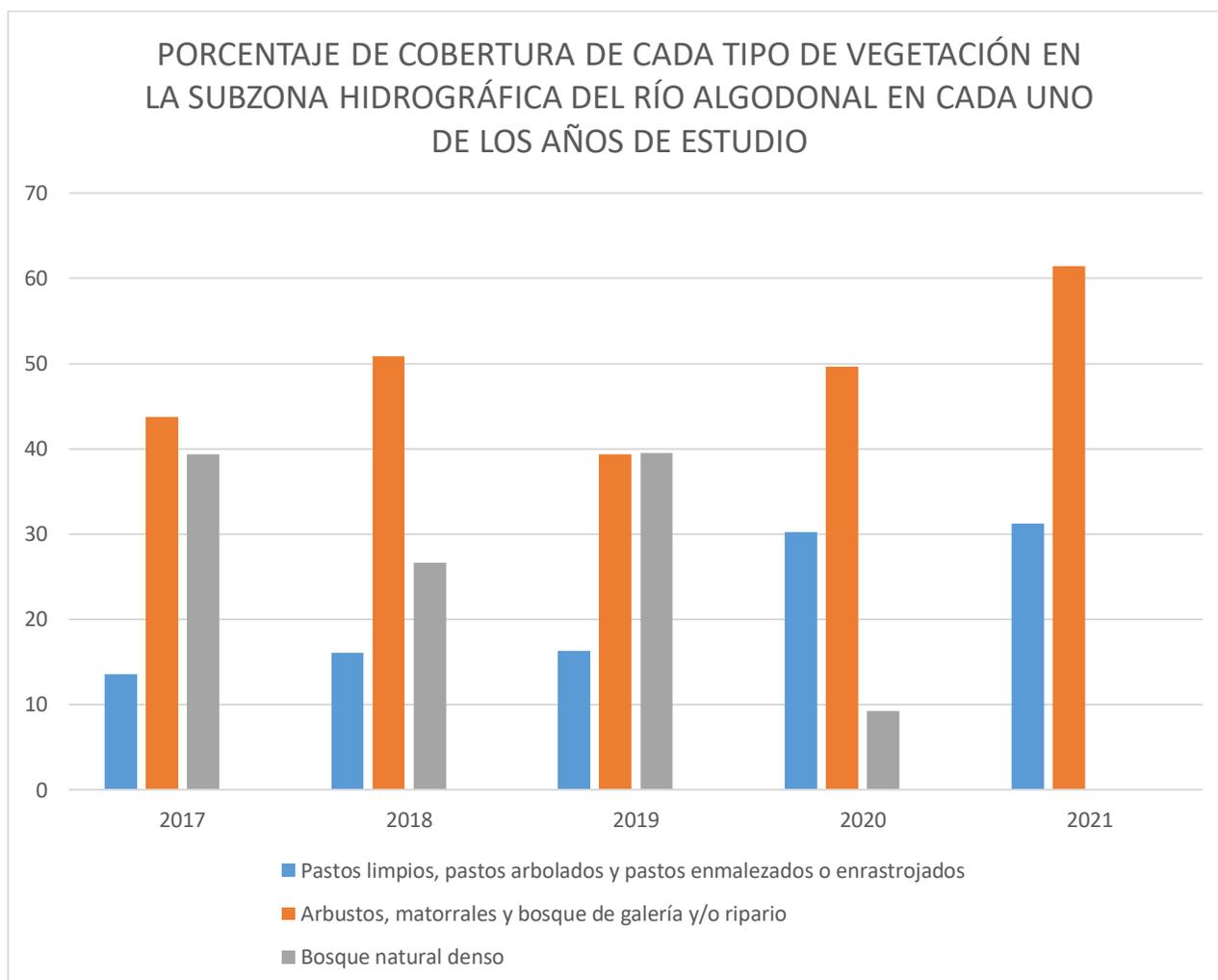


Figura 26.

Porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación en la subzona hidrográfica del Río Algodonal en los años 2017 – 2021



Cambios encontrados en cada cobertura vegetal encontrada en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para el periodo de tiempo comprendido entre el 2017 y 2021

Cambios encontrados en los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enrastrajados o enmalezados

Tabla 12.

Cambios encontrados en los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enrastrados o enmalezados

Años comparados	Cambio en la cobertura (ha)	Cambio en el porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017-2018	Ganó 5875.75	Aumentó 2.5
2018-2019	Ganó 518.88	Aumentó 0.22
2019-2020	Ganó 32669.47	Aumentó 13.94
2020-2021	Ganó 2299.11	Aumentó 0.98
2017-2021	Ganó 41363.21	Aumentó 17.65

Cambios encontrados en los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios

Tabla 13.

Cambios encontrados en los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios

Años comparados	Cambio en la cobertura (ha)	Cambio en el porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017-2018	Ganó 16499.26	Aumentó 7.04
2018-2019	Perdió 26811.29	Disminuyó 11.44
2019-2020	Ganó 23998.91	Aumentó 10.24
2020-2021	Ganó 27608.13	Aumentó 11.78
2017-2021	Ganó 41295.01	Aumentó 17.62

Cambios encontrados en el bosque natural denso

Tabla 14.

Cambios encontrados en el bosque natural denso

Años comparados	Cambio en la cobertura (ha)	Cambio en el porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017-2018	Perdió 29773.19	Disminuyó 12.7
2018-2019	Ganó 30100.13	Aumentó 12.84
2019-2020	Perdió 71005.16	Disminuyó 30.3
2020-2021	Perdió 18568.46	Disminuyó 7.92
2017-2021	Perdió 89246.68	Disminuyó 38.08

Cambios encontrados en la cobertura sin vegetación

Tabla 15.

Cambios encontrados en la cobertura sin vegetación

Años comparados	Cambio en la cobertura (ha)	Cambio en el porcentaje de cobertura en el área total (%)
2017-2018	Ganó 7381.54	Aumentó 3.15
2018-2019	Perdió 3806.55	Disminuyó 1.62
2019-2020	Aumentó 14334.2	Aumentó 6.11
2020-2021	Perdió 11337.62	Disminuyó 4.83
2017-2021	Ganó 6571.57	Aumentó 2.81

4.3.3. Análisis de las posibles causas por las cuales se presentaron los cambios en las coberturas vegetales

Se han planteado distintos fenómenos, los cuales pueden ser las causas de los cambios encontrados en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para los años de estudio. A continuación, se detallan las posibles causas:

Intensidad de lluvias. Se evidenció una influencia de la intensidad de lluvias sobre el índice de vegetación de diferencia normalizada, en las imágenes satelitales tomadas en una fecha antecedida de meses lluviosos presentaron mejores valores del NDVI; por el contrario, las imágenes satelitales tomadas en una fecha antecedida por meses de pocas lluvias, presentaron valores bajos del NDVI.

Degradación ambiental a escala global. Otro fenómeno que se encontró al comparar y analizar los resultados fue la degradación progresiva que sufre la subzona hidrográfica del Río Algodonal, en los primeros años de estudio (2017, 2018 y 2019) se encontró mejores valores que en los últimos años de estudio (2020 y 2021). Comparando los años 2018 y 2020 se encontró

que, aunque haber sido tomadas en épocas del año muy similares (alrededor de los comienzos de marzo), se encontraron mejores valores del NDVI en el 2018.

Acciones antropogénicas. Según Rodríguez (2016) en la subzona hidrográfica del Río Algodonal se desarrolla distintas actividades antropogénicas, entre ellas la extracción hidráulica, la tala de árboles, la agricultura, la ganadería, las cuales la tienen bajo presión, causando un deterioro en los componentes de esta subzona hidrográfica.

Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Tipos de coberturas vegetales presentes en la subzona hidrográfica del Río Algodonal

Tras el procesamiento de la información recopilada, se identificaron tres tipos de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del Río Algodonal. A continuación, se muestran las coberturas vegetales encontradas, ordenadas en orden descendente según su porcentaje de cobertura en el área de la subzona hidrográfica:

Tabla 16.

Tipos de coberturas vegetales presentes en la subzona hidrográfica del Río Algodonal

Tipo de cobertura vegetal	Porcentaje promedio de cobertura en la subzona hidrográfica
Arbustos, matorrales y bosque ripario y/o galería	49.01
Bosque denso natural	23.22
Pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados	21.48

Respecto a la cobertura de suelo, se encontró un porcentaje promedio de cobertura en la subzona hidrográfica del Río Algodonal fue 6,28%, lo que representa 14718.11 ha

5.2. Cambios presentados en las coberturas vegetales de la subzona hidrográfica del Río Algodonal desde el año 2017 hasta el año 2021

En conclusión, este tipo de cobertura vegetal, tuvo un aumento de cobertura en la subzona hidrográfica del Río Algodonal de 41363.21 ha, a través de los cinco años de estudio, ya que pasó de 31810.28 ha en 2017 a 73173.49 en el 2021, lo cual representa un incremento del

17,65% de porcentaje de cobertura. El comportamiento de la cobertura vegetal, mostró una tendencia al crecimiento. Las siguientes ilustraciones representan el comportamiento de este tipo de cobertura vegetal para los años de estudio

Figura 27.

Extensión de los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrajados en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021

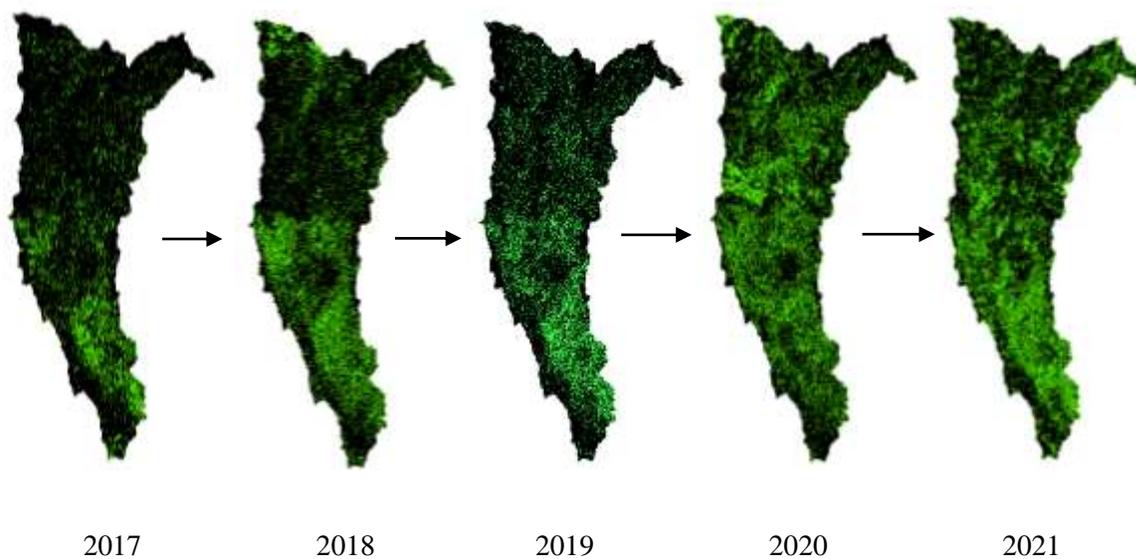


Figura 28.

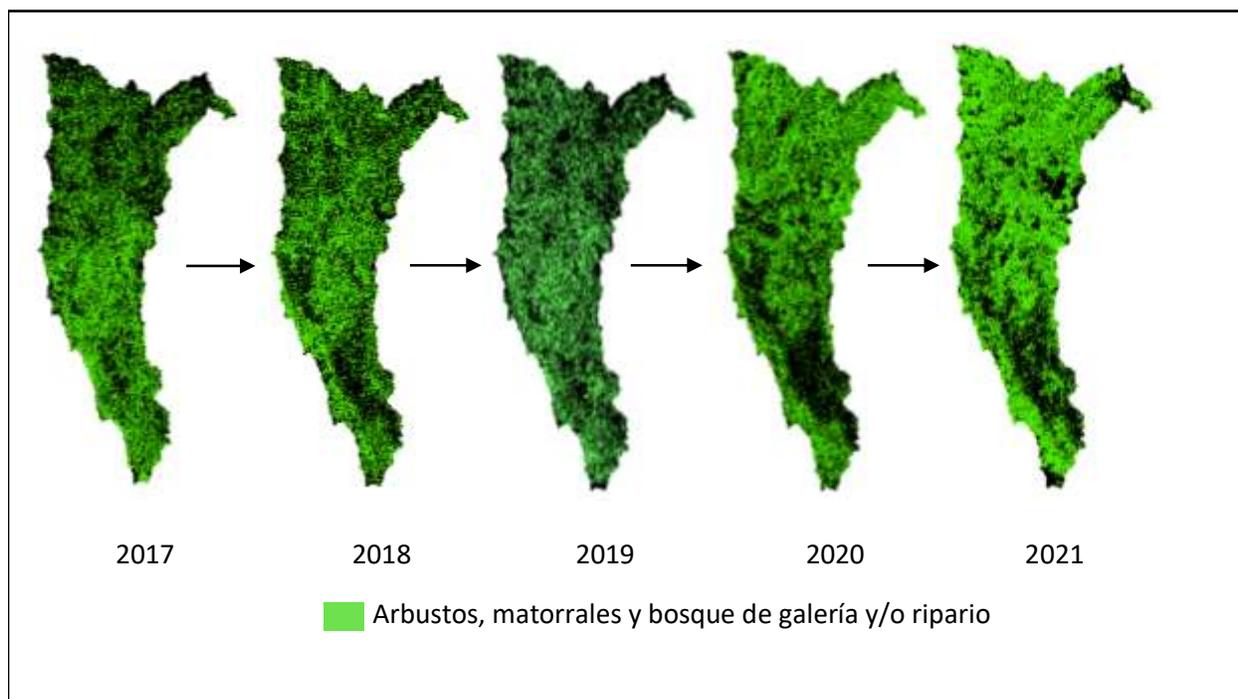
Comportamiento de los pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados o enrastrados en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021



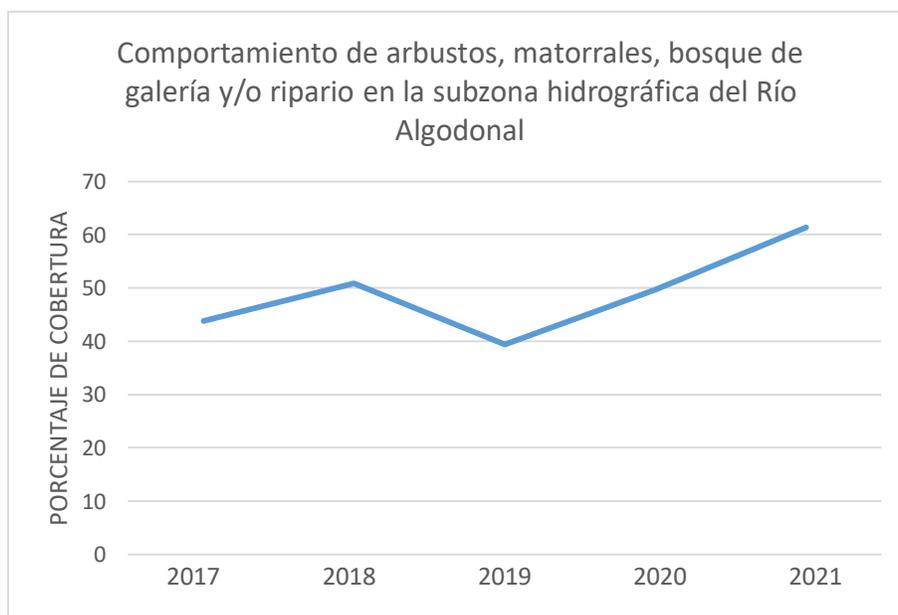
En conclusión, los arbustos, matorrales, bosque de galería y/o riparios este tipo de cobertura vegetal, tuvo un aumento de cobertura en la subzona hidrográfica del Río Algodonal de 41295.01 ha, a través de los años de estudio, ya que pasó de 102628.18 ha en 2017 a 143923.19 ha en 2021, lo que representa un incremento del 17,62% de porcentaje de cobertura. El comportamiento de la cobertura vegetal, mostró una tendencia al crecimiento. Las siguientes ilustraciones representan el comportamiento de este tipo de cobertura vegetal para los años de estudio.

Figura 29.

Extensión de los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021

**Figura 30.**

Comportamiento de los arbustos, matorrales y bosque de galería y/o riparios en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021



En conclusión, el bosque denso natural, tuvo una disminución de cobertura en la subzona hidrográfica del Río Algodonal de 89246.68 ha, ya que pasó de 92304.43 ha en 2017 a 3057.75 ha en 2021, lo que representa una reducción de 38,08% de porcentaje de cobertura. El comportamiento de la cobertura vegetal, mostró una tendencia al decrecimiento. Las siguientes ilustraciones representan el comportamiento de este tipo de cobertura vegetal para los años de estudio.

Figura 31.

Extensión del bosque natural denso en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021

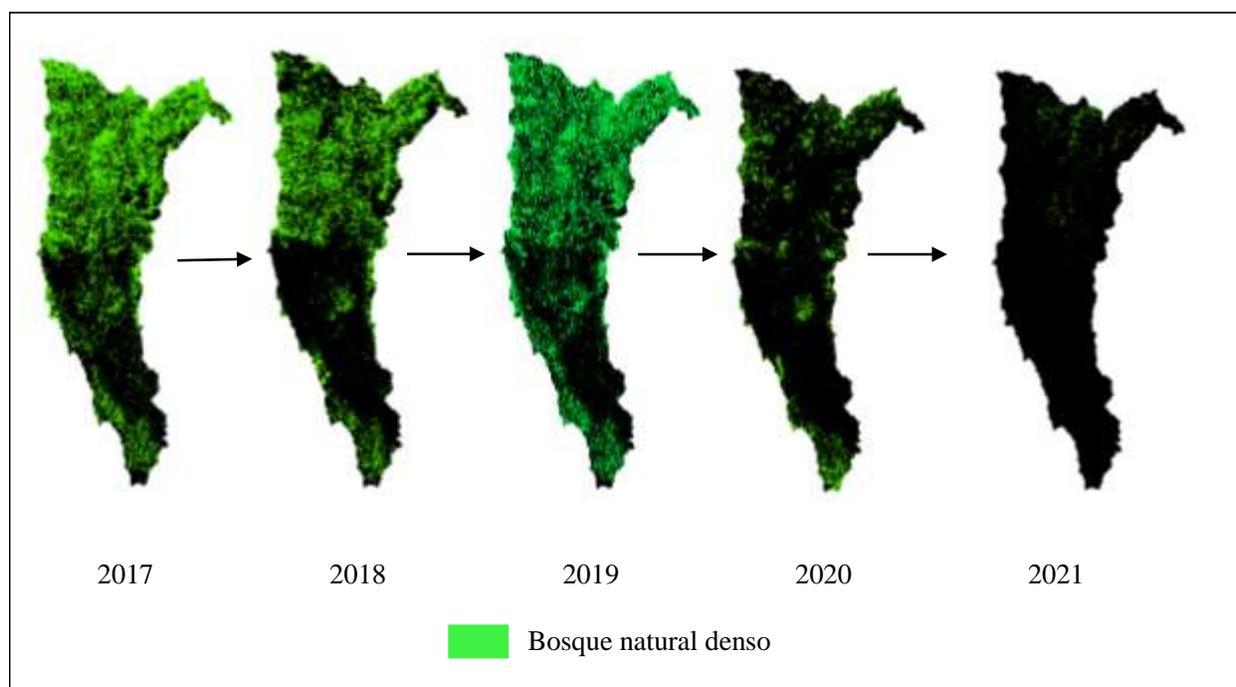
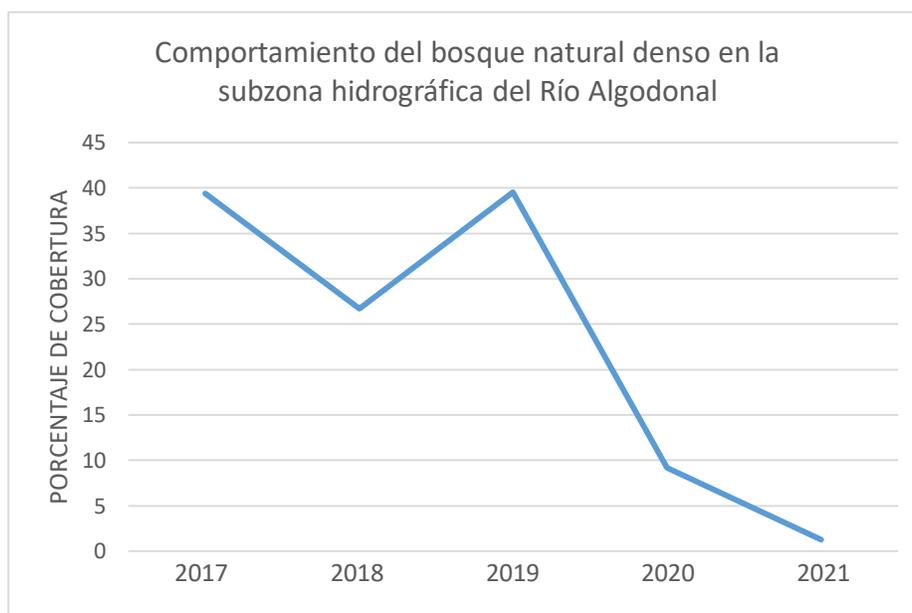


Figura 32.

Comportamiento del bosque natural denso en la subzona hidrográfica del río Algodonal del 2017 al 2021



5.3. Posibles causas de los cambios presentados en la subzona hidrográfica del Río Algodonal desde el año 2017 hasta el año 2021

Se determinó la intensidad de lluvias como una de las posibles causas de las variaciones en cada tipo de cobertura vegetal en la subzona hidrográfica del Río Algodonal para los años de estudio debido lo que los datos reflejaron, que los valores del NDVI, varían dependiendo de la intensidad de lluvias en la zona. Este análisis se basa también en lo que determinan diferentes autores, quienes aseguran que existe una relación indirecta entre la intensidad de lluvias y el índice de vegetación de diferencia normalizada (Hielkema et al., 1986), dicha relación ha sido estudiada extensamente (Nicholson y Farrar, 1994), tanto que, en lugares donde no hay registros meteorológicos utilizan el NDVI para determinar las precipitaciones (Kerr et al., 1989). Por tal motivo, sería idóneo al determinar el cambio de coberturas vegetales mediante la

implementación del NDVI, usar imágenes satelitales que hayan sido tomadas durante condiciones similares de precipitaciones.

Respecto a la degradación ambiental que se vive a escala global (Cartea, 2006) como una de las causas en las variaciones encontradas en cada tipo de cobertura vegetal; en la investigación, al comparar dos coberturas vegetales en condiciones similares de intensidades de lluvias (2018-2020), se encontró un deterioro en los valores encontrados en 2020, respecto a los valores encontrados en el 2018. De igual manera, el comportamiento en general del NDVI durante los cinco años de estudio mostró un deterioro en la cobertura vegetal, mostrando que las coberturas vegetales de la subzona hidrográfica se han deteriorado durante el transcurso de los años, mostrando una tendencia a seguir decreciendo si no se plantean estrategias que puedan frenar este deterioro.

Se determinaron las acciones antropogénicas como otra de las posibles causas de los cambios en cada uno de los tipos de cobertura vegetal encontrados en los años de estudio, como lo expuso Rodríguez (2006), en la subzona hidrográfica del Río Algodonal, los seres humanos desarrollan diferentes actividades que afectan a esta en gran medida. Actividades como la ganadería, la extracción hidráulica, los asentamientos humanos, la tala de árboles, la captación ilegal de agua, el vertimiento de residuos líquidos al cauce del Río Algodonal, entre otros; generan problemas en los elementos de la subzona hidrográfica del Río Algodonal, causando contaminación por agroquímicos, cambios en la cobertura del suelo, deterioro en las coberturas vegetales, desertificación, expansión de la frontera agrícola, modificación en las propiedades del Río Algodonal, deforestación, entre otras consecuencias.

Capítulo 6. Recomendaciones

De la experiencia del desarrollo del presente proyecto se pudo obtener aprendizajes y experiencias, a partir de las cuales se pretende plantear recomendaciones para futuros proyectos acorde al presente y que permitan un mejor abordaje del tema y de la investigación. Se recomienda, cuando se pretenda estimar y analizar índices de vegetación de diferencia normalizada, limitarse a una zona no tan extensa que permita un manejo eficiente de los datos y resultados obtenidos y generar, a partir de estos, planes que permitan un mejoramiento de este índice; en este caso al ser la primera investigación sobre el tema que desarrolló el autor, desprecio esta consideración, encontrándose con una zona muy extensa, la cual permite su estudio y análisis pero que al momento de plantear estrategias se sale de las manos debido a su extensión y a la complejidad para articular los distintos actores que se presenten; también es una ventaja calcular este índice en zonas no muy extensas, es que al momento de buscar la imágenes satelitales, será menos complicados encontrarlas y no verse afectado por la nubosidad que presenten, en el caso de esta investigación, al ser una zona tan extensa, fue necesario unir cuatro imágenes satelitales para tener la toma completa, lo que fue una ardua tarea debido a la alta nubosidad que se presenta en la zona.

Otra recomendación entorno a estimación y cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada es realizar la toma de datos en escenarios que permitan una comparación con mayor veracidad al no verse influida por distintos factores, por ejemplo, si se plantea realizar un análisis de NDVI en distintos años, se recomienda tomar las imágenes satelitales de los mismos días en cada uno de los años y así, encontrar vegetaciones que han sido sometidas a la misma intensidad de precipitaciones y no encontrarse con distintos escenarios, unas imágenes satelitales de una

temporada seca y unas imágenes satelitales de una época lluviosa, que dificultaría enormemente unos resultados con veracidad a partir de una comparación de la imágenes. Por último, se recomienda al trabajar con sistemas de información geográfica, ser extremadamente ordenado en el espacio de trabajo y en la ubicación de los productos generados por el procesamiento, debido a que se manejan una cantidad muy grande de archivos, y se puede llegar a confusiones en el desarrollo del trabajo, que atrasan las conclusiones del mismo.

Referencias

Agencia Europea Especial (17/06/2015) Sentinel 2. Disponible en:

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2

Alonso. (2006). Teledetección. Obtenido de

http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node74_mn.html

Calvo Obando, A., & Ortiz Malavassi, E. (2012). Fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica durante los periodos 1997-2000 y 2000-2005. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*.

Cartea, P. Á. M. (2006). Crisis ambiental y globalización: Una lectura para educadores ambientales en un mundo insostenible. *Trayectorias*, 8(20-21), 110-123.

CORPONOR (2018) actualización del POMCA del río algodonal – Norte de Santander (1605) Documento POMCA. Disponible en:

https://www.corpocesar.gov.co/files/Dcto%20General_Algodonal_CORPONOR_120419.pdf

De la Casa, A., & Ovando, G. (2006). Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(1), 67-85.

FAO (S,F) Cobertura orgánica del suelo. Disponible en: <http://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>

Geist, H. y Lambin, E (2001). What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on sub-national case study evidence. Louvain-la-Neuve, Belgium, LUCC International Project Office: 116.

Hernández Calderón, L. N., & Salamanca Carvajal, J. A. (2019). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca del Río Sardinata, del departamento de Norte de Santander-Colombia.

IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.

Lesschen, J.; Verburg, P. y Staal, S. (2005). Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems, LUCR Report Series 7, publicado por: The International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya y LUCR Focus 3 Office, Wageningen University, the Netherlands

López-Pérez, Adolfo, Martínez-Menes, Mano R., & Fernández-Reynoso, Demetrio S.. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(1), 121-137. Recuperado en 18 de noviembre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000100007&lng=es&tlng=es

Mas, J. y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5(1), 1-24. Disponible en: http://www.geotropico.org/NS_5_1_Mas-Flamenco.pdf

Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007)

- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Díez, M. F., Schmindt, F., ... & Selzer, F. (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Pilquen-Sección Agronomía*, (11), 5.
- Olivares, Barlin Orlando y López-Beltrán, Miguel Armando. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicada al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11 (2), 112-121. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>
- Pineda, N., Bosque, J., Gómez, M. y Franco, R. (2011). Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México en el período 1993-2000. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 9-34. Disponible en: file:///D:/Usuario/Downloads/Dialnet-AnalisisDeLosFactoresInductoresDeLosCambiosOcurrid-3722095_1.pdf
- Romero Aroca, E. M. (2018). Cuantificación de la variación en las coberturas vegetales en el municipio de Calamar (Guaviare) mediante el análisis multitemporal con el índice NDVI.
- Rosero, M. (2017) “Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura” “{Tesis de Maestría} Gestión Integral de cuencas hidrográficas. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7745/1/PG%20592%20TESIS.pdf>
- Rosero Mier, M. M. (2018). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura* [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>
- Torres, J. P. V. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la Reserva Forestal Protectora-Productora Casablanca” en Madrid Cundinamarca entre los años 1961

y 2015: Aportes para el Ordenamiento Territorial Municipal (Doctoral dissertation, Tesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas).

Verburg, H; Ritsema, V; Eck J; Nijs T y Dijst M (2004). «Determinants of land-use change patterns in the Netherlands» Environment and Planning B: Planning and Design. Vol. 31, p.p. 125-150.