

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Factores de Deforestación y Degradación de los Bosques en el Parque Nacional Natural de la Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), Amazonas, Colombia

Ingrid Yohana Céspedes Torres y Katerine Andrea Céspedes Torres
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil, Universidad Antonio Nariño
Especialización de Sistemas de Información Geográfica.

Director: MSc. Vanessa Rodríguez Rueda

Diciembre, 2020

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Resumen

El presente trabajo de grado, trata sobre el análisis de los factores de deforestación y degradación de los bosques en los años 2016-2020, en el Parque Nacional Natural de la Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), Amazonas, Colombia. Para el desarrollo de la investigación, caracterizamos la zona de estudio y su cobertura vegetal, por medio de imágenes LANDSAT 8, que se descargaron del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), para cubrir la zona se requirieron 4 escenas por año.

Por medio del software QGIS, se realizó la corrección atmosférica de las imágenes logrando una mejora en la calidad visual de la imagen, eliminando los efectos de los aerosoles y la Radiancia intrínseca que adquiere algunas veces el sensor, luego mediante ERDAS IMAGE 2014 se realiza el mosaico de las 4 escenas para cada año propuesto, teniendo como resultado la unión de estas, y luego la delimitación de la zona hecho en el software ArcGIS.

Posterior a esto se realiza la clasificación supervisada, la cual se apoyó en el análisis de cobertura de la tierra 2018 hecho por el SINCHI para la región amazónica, y se establecen 7 coberturas según la metodología de la CORINE Land Cover (Territorios superficiales, Territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, Áreas húmedas, superficies de agua, Nubes y sombras).

Por último, se establecieron las áreas efectivas de cambio de cobertura vegetal y se determinó que los factores que generan el cambio de cobertura se deben en su mayoría a establecimiento de pastizales o áreas agrícolas, pero determinar, si en la zona hubo regeneración o deforestación no sería preciso debido al área extensa que ocupa la cobertura de nubes y sombras

Palabras clave: Cobertura vegetal, deforestación, factores, degradación, regeneración

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Abstract

The present work of degree, treats on the analysis of the factors of deforestation and degradation of the forests in the years 2016-2020, in the National Natural Park of the Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), Amazonas, Colombia. For the development of the research, we characterized the study area and its vegetation cover, by means of LANDSAT 8 images, which were downloaded from the United States Geological Survey (USGS) that to cover the area required 4 scenes per year.

By means of QGIS software, the atmospheric correction of the images was carried out, achieving an improvement in the visual quality of the image, eliminating the effects of aerosols and the intrinsic radiance that the sensor sometimes acquires, then through ERDAS IMAGE 2014 the mosaic of the 4 scenes for each proposed year is made, resulting in the union of these, and then the delimitation of the area made in the ArcGIS software.

After this, the supervised classification was carried out, which was based on the analysis of land cover 2018 made by SINCHI for the Amazon region, and 7 coverages were established according to the methodology of CORINE Land Cover (Surface territories, Agricultural territories, forests and semi-natural areas, Humid areas, water surfaces, Clouds and shadows).

Finally, the effective areas of change of vegetation cover were established and it was determined that the factors that generate the change of coverage are mostly due to the establishment of pastures or agricultural areas, but determine, if in the area there was regeneration or deforestation would not be accurate because of the extensive area that occupies the cloud cover and shadows

Keywords: Vegetation cover, deforestation, factors, degradation, regeneration

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Contenido

1.	Marco Teórico y Estado del Arte	11
1.1	Caracterizar la zona de estudio y la cobertura vegetal del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, a partir del procesamiento digital de imágenes LANDSAT 8	11
1.1.1	Resolución espacial.....	14
1.1.2	Resolución temporal.....	14
1.1.3	Resolución espectral	14
1.1.4	Resolución radiométrica	14
1.2	Establecer las áreas efectivas de cambio en cobertura Vegetal, clasificada digitalmente mediante el uso de herramientas SIG	16
1.3	Determinar los factores que generan el cambio de cobertura del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, con el fin de orientar la toma de decisión en proyectos de investigación y de manejo, de entidades públicas y privadas	20
1.3.1	Demográficos.....	21
1.3.2	Tecnológicos y económicos	21
1.3.3	Institucionales	21
1.3.4	Globalización	21
1.3.5	Cultural.....	21
2.	Metodología	24
2.1	Zona de estudio.....	24
2.1.1	Localización, extensión y división política.....	24
2.1.2	Sistema natural.....	26
2.1.3	Sistema cultural	31
2.1.4	Sistema político	32
2.1.5	Problemática	32
2.2	Proceso digital de imágenes.....	33
2.2.1	Selección y descarga de información	33
2.2.2	Pre-procesamiento de imágenes	34
2.2.3	Procesamiento de imágenes.....	36
2.3	Clasificación de la cobertura del suelo	38
2.3.1	Conversión de ráster a polígono	38
2.3.2	Limpieza de polígonos.....	39
2.3.3	Reclasificación manual.....	39

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

2.4	Análisis multitemporal	40
2.4.1	Matriz de doble entrada.....	40
3.	Resultados y discusión.....	40
3.1	Proceso digital de imágenes.....	40
3.1.1	Selección y descarga de información	40
3.1.2	Pre-Procesamiento de imágenes.....	41
3.1.3	Procesamiento de imágenes.....	42
3.2	Clasificación de la cobertura del suelo	44
3.2.1	Mapa de cobertura año 2016	44
3.2.2	Mapa de cobertura año 2019	46
3.2.3	Mapa de cobertura año 2020	48
3.3	Análisis multitemporal	52
3.3.1	Matriz de doble entrada.....	52
4.	Conclusiones.....	61
5.	Recomendaciones	62
6.	Referencias Bibliográficas	63

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla de Figuras

Figura 1. Servicios ecosistémicos	12
Figura 2. Ubicación Geográfica PNN Serranía de Chiribiquete.	25
Figura 3. Coberturas vegetales del PNNSCH.....	30
Figura 4. Esquema metodológico.....	33
Figura 5. Diagrama procedimental para el recorte del mosaico al área del PNN Serranía Chiribiquete, mediante el ModelBuilder.....	36
Figura 6. Diagrama procedimental para la clasificación supervisada, mediante el ModelBuilder	38
Figura 7. Diagrama procedimental para la conversión de raster a polígono, mediante el ModelBuilder	39
Figura 8. Diagrama procedimental para la limpieza de polígonos, mediante el ModelBuilder	39
Figura 9. (a) Escenas unidas en el mosaico y (b)Clip realizado a la zona de estudio... ..	42
Figura 10. Puntos de entrenamiento para el algoritmo.....	43
Figura 11. Mapa de coberturas año 2016	45
Figura 12. Mapa de coberturas año 2019	47
Figura 13. Mapa de coberturas año 2020	49
Figura 14. Variación del área total de las coberturas a través del tiempo	51
Figura 15. Mapa de cambio de coberturas años 2016-2019.....	53
Figura 16. Cambio de coberturas en el periodo 2016-2019	54
Figura 17. Mapa de cambios de coberturas año 2016-2020.....	55
Figura 18. Cambio de coberturas en el periodo 2016-2020	56
Figura 19. Mapa de cambios de coberturas años 2019-2020	58
Figura 20. Cambio de coberturas en el periodo 2019-2020	59

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Lista de Tablas

Tabla 1. Resolución de las bandas en los sensores OLI y TIRS	15
Tabla 2. Competencia departamental y municipal en hectáreas del PNN Serranía de Chiribiquete.....	24
Tabla 3. Componente hidrográfico del PNNSCH.....	27
Tabla 4. Geomorfología del PNNSCH.....	28
Tabla 5. Fuentes de insumo	34
Tabla 6. Coberturas de tierra.....	36
Tabla 7. Matriz de doble entrada.....	40
Tabla 8. Descripción de las imágenes satelitales	41
Tabla 9. Píxeles de muestreo utilizados por año	42
Tabla 10. Áreas de cobertura para imagen del año 2016 por municipio.....	46
Tabla 11. Áreas de cobertura para imagen del año 2019 por municipio.....	48
Tabla 12. Áreas de cobertura para imagen del año 2020 por municipio.....	50
Tabla 13. Áreas (ha) por cobertura para cada año analizado	50
Tabla 14. Matriz de doble entrada, análisis de cambio de cobertura años 2016-2019 .	52
Tabla 15. Matriz de doble entrada, análisis de cambio de cobertura años 2016-2020 .	54
Tabla 16. Matriz de doble entrada, análisis de cambio de cobertura años 2019-2020 .	57
Tabla 17. Análisis por área multitemporal.....	59

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Introducción

En los departamentos de Casanare y Guaviare, en la zona occidental del escudo Guyanés se encuentra ubicado el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), con una extensión de 4'268.095 ha, en las inmediaciones de los municipios de San José de Guaviare, Miraflores, Calamar San Vicente del Caguán, Solano y Cartagena del Chaira, se encuentra a una altura máxima de 817 m.s.n.m. El PNN Serranía de Chiribiquete incide en la protección de dos unidades biogeográficas: provincia de la Guyana y de la Amazonia.

En la parte cultural del PNNSCH, en los municipios aledaños a la zona actual protegida, se consolidan resguardos indígenas de gran variedad de etnias, por una parte, no contactados y otra en aislamiento voluntarios conservando su patrón nómada, es un lugar que sorprende también por las manifestaciones arqueológicas, debido a su tipología particular que definen una tradición pictográfica, por lo cual, tiene un valor muy importante en el país y Suramérica.

La selva amazónica en los últimos años se ve ante una amenaza latente La deforestación, por la cual, ha perdido más de un millón de kilómetros cuadrados de masa forestal, equivalente a la quinta parte de su extensión (Romero, 2019). En la selva amazónica de Colombia encontramos que el motor que impulsa esta deforestación se debe a cultivos ilícitos, ganadería ilegal, destrucción de ríos, tala de árboles, minería a cielo abierto entre otros.

La realización de este proyecto tiene como objetivo analizar esos factores que están incidiendo en el cambio de cobertura vegetal en el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, con el fin, de ser un soporte para la toma de decisiones en la formulación del plan de manejo, todo esto a través de procesamientos de imágenes LANDSAT 8, mediante herramientas SIG.

El análisis multitemporal con respecto al cambio de cobertura en el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, se apoya en el análisis de cobertura de la tierra realizado por el SINCHI en el 2018, y con un el procesamiento de las imágenes de la zona, se definen las categorías y el área de las coberturas presentes en los años (2016-2020).

Con los procesamientos hechos en los softwares QGIS, ERDAS y ArcGIS, para agrupar pixeles con los mismos valores, se obtienen varias unidades, con las cuales teniendo como base el reconocimiento de las coberturas se le asignan valores, según la metodología CORINE Land

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Cover adaptada para Colombia. Al obtenerse los mapas de coberturas del PNNSCH, se hace la evaluación de cambio para cada periodo propuesto.

Se obtiene, que la cobertura predominante en la zona de estudio es de Bosques y áreas seminaturales, aunque, los datos tienen variaciones, siendo una limitante para llegar a la conclusión de pérdida o regeneración de bosques, en los análisis de cada año las coberturas de nubes y sombras presentan un área representativa, pero como cobertura terrestre en segundo lugar siempre se mantuvieron las superficies de agua

Se concluye que el parque a través del tiempo ha mantenido su cobertura vegetal de Bosques, siendo notable su preservación y protección por parte de entes gubernamentales y de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Además, los procesos digitales de imagen, son una herramienta útil para el análisis e interpretación de coberturas a partir de las imágenes satelitales, debido a la calidad y mejora que se puede obtener con estos procesos, resaltando la corrección atmosférica y los filtros de paso alto y bajo.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Objetivos

General

Analizar los factores que inciden en el cambio de cobertura vegetal presentada en los años 2016-2020 en el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, que soporten la toma de decisiones en la formulación del plan de manejo, efectuado por los entes gubernamentales.

Específicos

Caracterizar la zona de estudio y la cobertura vegetal del Parque Nacional Natural Serranías de Chiribiquete, a partir del procesamiento digital de imágenes LANDSAT 8.

Establecer las áreas efectivas de cambio en la cobertura vegetal, clasificada digitalmente mediante el uso de herramientas SIG.

Determinar los factores que generan el cambio de cobertura del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, con el fin de orientar la toma de decisión en proyectos de investigación y de manejo, de entidades públicas y privadas.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

1. Marco Teórico y Estado del Arte

A continuación, en el marco teórico se hará una recopilación de antecedentes, consideraciones teóricas y resultados de investigaciones previas con las cuales se permite demostrar la importancia del presente estudio de análisis multitemporal, enfocado al cambio de cobertura y a la toma de decisiones por entidades públicas y privadas, que se manejen en el Parque Nacional Natural de la Serranías de Chiribiquete (PNNSCH), Amazonas, Colombia.

1.1 Caracterizar la zona de estudio y la cobertura vegetal del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, a partir del procesamiento digital de imágenes LANDSAT 8

Entendiendo como ecosistema al conjunto de poblaciones de plantas, animales y microorganismos, que se relacionan entre sí. Se hace indispensable su estudio debido a que durante los últimos años se han registrado grandes niveles de deterioro y cambio drásticos, radicando su importancia no solo en la cantidad de especies de animales y plantas que contiene, sino que se ve afectada la prestación de servicios ecosistémicos, los cuales son indispensables para la supervivencia de los seres humanos (Carpenter et al., 2009).

Aun así, dependiendo de los servicios ecosistémicos, los seres humanos han degradado aproximadamente el 60% o se les están dando un uso indebido (MA, 2005). Por lo que se hace necesaria la evaluación del estado actual de los servicios ecosistémicos la cual deriva al estudio de las coberturas vegetales, que junto al desarrollo de prácticas de manejo local y nacional se puedan disminuir los porcentajes de degradación de los servicios ecosistémicos (MA, 2005).

Los servicios ecosistémicos son los beneficios obtenidos por los seres vivos a partir de los recursos y procesos generados por los bosques y otras coberturas vegetales. En el 2005 las Naciones Unidas en su estudio de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2005), presenta una clasificación de los servicios ecosistémicos, los cuales son:

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 1.

Servicios ecosistémicos



Fuente: Adaptado de Millenium Ecosytem Assessment (2005)

Uno de los factores directos de la alteración de los servicios ecosistémicos es el cambio de cobertura y uso del suelo. Definiendo la cobertura del suelo como la descripción del material físico y biofísico en la superficie terrestre, diferenciado al uso del suelo, al entenderse como la asignación derivada de la actividad humana para producir, cambiarla o mantenerla (Biodiversidad Mexicana, 2020).

La cobertura terrestre cubre aproximadamente el 30% de la superficie mundial, lo que equivale a 13.200 millones de hectáreas, las cuales se dividen en biomas de tundra, bosque caducifolio y bosque mediterráneo, pradera, chaparral, desierto, taiga, estepa, selva tropical y sabanas (Marcano Martínez, 2020).

Específicamente para Colombia en el 2012, González, et al. definieron 19 coberturas terrestres, las cuales son: pastos, bosques naturales, vegetación secundaria, herbazales, áreas agrícolas heterogéneas, arbustales, cultivos anuales o transitorios, aguas continentales naturales, cultivos semipermanentes y permanentes, hidrofita continental, áreas urbanas, zonas

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

desnudas, bosques plantados, lagunas costeras y estuarios, aguas continentales artificiales, herbáceas y arbustivas costeras, áreas mayormente alteradas, afloramientos rocosos y glaciares y nieves.

De las coberturas mencionadas se relacionan nueve coberturas afectadas por las actividades antrópicas y diez de tipo natural. De modo que se destaca la presencia de bosques naturales, al estar un 53 % cubierto por esta cobertura; seguido de la cobertura de pastos introducidos con un 15% y pastizales naturales con 11%. Los glaciares y nieves, afloramientos rocosos y áreas mayormente alteradas, son las unidades de cobertura más pequeña del territorio colombiano (González, 2012).

En lo que refiere al Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia según Latorre, et al. (2017) la cobertura dominante son los bosques con aproximadamente 12 millones de ha (83%), seguido de herbazales con un millón de ha aproximadamente y los arbustales con 320 mil ha (2,2 %).

Hablando de manera puntual al PNN Serranía de Chiribiquete, según el análisis de cobertura de la tierra 2018 realizado por el SINCHI para la región Amazónica, las coberturas vegetales que se encuentran en el parque son: Aeropuertos, arbustal (abierto mesófilo y denso), bosque de galería y ripario, bosque denso alto (de tierra firme, inundable heterogéneo), bosque denso bajo (de tierra firme e inundable), herbazal abierto rocoso, herbazal denso (de tierra firme arbolado, con arbustos y no arbolado), herbazal denso inundable (arbolado y no arbolado), pastos limpios y enmalezados, tierras desnudas y degradadas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, palmares, ríos y zonas pantanosas (SINCHI, 2018).

La cobertura vegetal dominante en el PNN Serranía de Chiribiquete son los bosques densos altos de tierra firme e inundable heterogéneo con aproximadamente 9,2 millones de ha, la cual representa el 93% del total del parque (Parque Nacionales Naturales, 2018).

Para generar los anteriores resultados de análisis de cobertura terrestre, ha sido indispensable el uso de imágenes satelitales, disponibles de forma gratuita en la web. Entendiendo como imagen satelital al resultado de la captura de radiación emitida o reflejada por la cobertura terrestre, por medio de un sensor (bien sea activo o pasivo) dispuesto en un satélite artificial (Jara, 2012).

Así mismo, estas imágenes son utilizadas en diferentes ámbitos, tal como lo señala el Plan Nacional de Teledetección al poder ser implementadas en estudios de agricultura, atmosfera, clima, sismología, vulcanología, uso del suelo, riesgos naturales, hidrología, urbanismo, oceanografía, geología, arqueología y biodiversidad (Gobierno de España, 2014).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Por otro lado, la calidad de la imagen satelital dependerá de su resolución, de acuerdo a esto, las imágenes se caracterizan por las siguientes resoluciones:

1.1.1 Resolución espacial

La resolución espacial se refiere al tamaño del pixel, también se emplea para referir a la sección angular observada en un momento específico (IFOV) (SIGMUR, 2020).

1.1.2 Resolución temporal

La resolución temporal indica el tiempo en el cual el satélite pasa por el mismo punto sobre la Tierra, determinando así la periodicidad de adquisición de la imagen. Esta resolución es condicionada por el tipo de órbita, ángulo de barrido y velocidad de recorrido del satélite (SIGMUR, 2020).

1.1.3 Resolución espectral

La resolución espectral determina el número y anchura de las bandas que el sensor puede captar radiación electromagnética. Lo anterior va a depender de los objetivos que quiera cubrir el sensor, como por ejemplo el satélite SPOT 4, el cual su principal objetivo es el estudio de los recursos naturales por lo que incluye el infrarrojo de onda corta (Castro, 1999).

1.1.4 Resolución radiométrica

La resolución radiométrica se refiere a la sensibilidad que tiene el sensor, para detectar variaciones de radiancia, por lo que, a mayor precisión radiométrica, mayor va a ser el número de detalles captados por la imagen. Generalmente se expresa mediante el número de bits necesarios para almacenar cada pixel (Jara, 2012).

Uno de los principales satélites para la observación y seguimiento de los recursos terrestres es el sistema LANSAT, la cual corresponde a una serie de satélites que comenzó en 1972, operado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). El último satélite lanzado a funcionamiento es el LANDSAT-8, el cual fue lanzado al espacio, el 11 de febrero de 2013 con el fin de proporcionar imágenes puntuales infrarrojas de alta calidad de toda la cobertura terrestre (USGS, 2019).

Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* son los sensores que componen el satélite Landsat 8. El sensor OLI presenta dos nuevas bandas espectrales: la banda 1 – azul visible, diseñado con el fin investigativo en recursos hídricos y zonas costeras, al tener mejor sensibilidad a la clorofila y otros materiales suspendidos

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

en las aguas costeras (Roy et al., 2014); y la banda 9 que es un nuevo canal infrarrojo para la detección de nubes cirrus. Mientras tanto el sensor TIRS incluye una banda de más de infrarrojo térmico (Ariza, 2013).

Los detalles de las resoluciones, de las bandas de los sensores OLI y TIRS se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Resolución de las bandas en los sensores OLI y TIRS

Sensor	Banda	R. Espectral (μm)	R. Espacial (m)	R. Temporal (días)	R. Radiométrica (bits)	Area de cobertura (km^2)
Operational Land Imager (OLI)	1 – Aerosol costero	0,43 - 0,45				
	2 – Azul	0,45 - 0,51				
	3 – Verde	0,53 - 0,59				
	4 – Rojo	0,64 - 0,67	30			
	5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 - 0,88				
	6 – SWIR 1	1,57 - 1,65		16	12	180 x 185
	7 – SWIR 2	2,11 - 2,29				
	8 – Pancromático	0,50 - 0,68	15			
	9 – Cirrus	1,36 - 1,38	30			
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	10 – Infrarrojo térmico 1	10,60 - 11,19	100			
	11 – Infrarrojo térmico 2	11,50 - 12,51				

Adaptado de USGS (2019)

Como referencia se tiene el uso de las imágenes de este satélite, en el monitoreo de las coberturas de la tierra en los parques naturales, en donde generaron para los periodo 2014-2015 y 2016-2017 la caracterización de la cobertura para determinar indicadores de estado – presión en los Parques Nacional Naturales Continentales de Colombia (Latorre et al., 2017; Latorre & Corredor, 2017).

El uso de las imágenes satelitales Landsat 8 se proyecta para diferentes estudios: para el desarrollo de tecnologías que estimen el consumo de agua de cultivos, descarga de agua subterránea, rendimiento de agua perenne, cambio del uso y disponibilidad de agua, presiones a los recursos de agua dulce, estimación del rendimiento de cultivos, detección de enfermedades

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

de platas e infestación de malezas, monitoreo del estado y cambio de la cobertura del suelo y determinar el flujo y temperaturas del hielo bajo contraste de glaciares y capas de hielo (Roy et al., 2014).

1.2 Establecer las áreas efectivas de cambio en cobertura Vegetal, clasificada digitalmente mediante el uso de herramientas SIG

El cambio de cobertura está ligado a ciertos comportamientos de la humanidad como lo son: la deforestación, los incendios forestales, degradación en el recurso hídrico y del suelo, uso de combustibles fósiles, entre otro. Hay que tener en cuenta que cada región produce sus cambios en ocasiones irreversibles, y tienen repercusión a nivel mundial. (European Space Agency, 2020)

Tenemos la superficie de cobertura boscosa la cual ocupa en el mundo 4.060 millones de hectáreas distribuidas en zonas tropicales, boreales, templadas y subtropicales, presentando un problema de deforestación que es entendido como el cambio de cobertura boscosa por otro tipo de cobertura, así mismo, cuando se da la reducción permanente desde un 10 por ciento de la cubierta del dosel, generada por actividades de agricultura, pastizal, embalses y áreas urbanas.(FAO, 2020)

La superficie de cobertura boscosa pérdida es de 420 millones de hectáreas como consecuencia de la deforestación con una tasa anual de 10 millones de ha para el periodo 2015-2020 (FAO, 2020). En informes de la FAO se registra que África registra la mayor pérdida neta de área forestal en el periodo 2010-2020, con un área efectiva de cambio de cobertura de 3.94 millones de hectáreas por año (FAO, 2020).

Seguido de América Latina la cual su área de perdida fue de 2.6 millones de hectáreas por año, pese a esto en esta zona se están implementando medidas e iniciativas notables en el uso y conservación sostenible de los bosques en varios países, se pueden destacar labores en Colombia, el Amazonas, Guatemala y Bolivia. (Noticias ONU, 2020).

Específicamente el territorio colombiano según la capa de cobertura terrestre para el periodo 2010-2012 se tiene una extensión aproximada de 59 millones de hectáreas de cobertura boscosa, ocupando el tercer lugar de los países de Suramérica en el ranking de superficie boscosa (IDEAM, 2012).

En el informe de monitoreo de deforestación 2019 del IDEAM (2020), se señala que en el periodo 2018-2019, la deforestación fue de 158.894 hectáreas, presentándose una reducción en la tasa deforestación del 28% frente al monitoreo del 2017 (219.973 hectáreas). Dentro de las

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

causas principales, se encuentra la praderización, cultivos ilícitos, ganadería extensiva, minería ilegal, desarrollo de infraestructura de transporte no planificada, ampliación de la frontera agrícola y tala ilegal de varias hectáreas.

Ahora bien, particularmente la región amazónica contiene la mayor porción de hectáreas de bosques del país: 39,7 millones de hectáreas (SINCHI, 2018). Sin embargo, en el año 2019 se presentó la deforestación de 98.256 hectáreas, principalmente en el Sur del Meta, Guaviare y Caquetá. Según lo anterior, con los datos obtenidos de la capa de cobertura se puede deducir, la reducción de dos millones de hectáreas desde el año 2002, teniendo como referente para este año 41,7 millones de hectáreas (SINCHI, 2002).

En lo que concierne a las áreas protegidas, el mundo presentan una extensión aproximada de 726 millones de hectáreas de bosque (FAO, 2020). En Colombia se registran para el 2017 en Parques Nacionales Naturales, 12 millones de hectáreas de bosque (Parque Nacionales Naturales, 2018).

Hablando de deforestación en estas áreas, en Colombia se habla de un aumento de la tasa de deforestación del 177% (33.000 hectáreas), entre los periodos de 2013-2015 al 2016-2018; haciendo referencia a que varios factores motivaron esta tasa de deforestación, pero se resalta el posconflicto, debido a la salida de los grupos armados que controlaban el acceso a esta zona; aunque cabe resaltar que este motor no garantizaba la seguridad de la biodiversidad (Clerici et al., 2020).

Los efectos producidos por la deforestación, abarca diferentes componentes, donde cabe mencionar la pérdida de hábitats naturales y recursos con información genética valiosa, pérdida y desplazamiento de fauna generada por la fragmentación de los bosques y cambio de corredores ecológicos naturales, alteración en la cadena alimenticia, alteraciones climáticas, erosión del suelo y pérdida de servicios eco-sistémicos (Vázquez, 2013; Sollund, Maldonado, & Rico, 2019).

Las herramientas SIG, entran a jugar un papel importante debido a que pueden utilizar información de varias fuentes y nos dan una visión, que facilita el análisis simultaneo de un mismo problema, la principal característica de un SIG es que trabaja con datos referenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas, teniendo como producto mapas útiles para la toma de decisiones. (Esquivel, 2016)

En Morelos, México Calderón, et al., (2020) utilizaron herramientas SIG, en la generación de mapas para analizar los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo en el periodo 2000-2009, con el fin de identificar las zonas con mayor impacto, luego de realizar todo el procesamiento digital, los autores obtuvieron disminución en las coberturas vegetales en la selva

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

baja caducifolia, con una tasa promedio anual de 1 841.8 ha; el bosque degradado, con 557.58; los bosques de encino, con 300.70 ha; y el área sin vegetación aparente, con 137 ha (Calderón, Díaz, & Díaz, 2020)

Los usos del suelo con mayor registro son la agricultura temporal, con una tasa promedio anual de 714.41 ha; la agricultura de riego, con 658.88; el pastizal natural, con 647.91; el matorral rosetófilo, con 512.49; y el suelo urbano, con 189.29 ha. La conclusión de este estudio es que la integración de herramientas SIG, permite estimar la magnitud de los impactos y además precisa el crecimiento o disminución cobertura vegetal como resultado de actividades antrópicas (Calderón, Díaz, & Díaz, 2020).

Por medio de las herramientas SIG, también podemos hacer análisis multitemporales los cuales tienen como objetivo analizar la transformación que se presenta en la cobertura durante un periodo de tiempo determinado, teniendo como referencia imágenes satelitales de distintas fechas, los análisis permiten determinar la dinámica de pérdidas de bosques a causa de procesos de deforestación y el aumento de otras coberturas a causa de la intervención humana (Guerrero & Moreno, 2015), permitiendo obtener deducciones relacionadas a el cambio que experimenta una región. (Mehl & Peinado, 2020).

En el proyecto de investigación (Salcedo, 2014) evaluó la problemática en Duran un cantón de la provincia de Guayas en el Ecuador, ubicado en frente a Guayaquil (capital Provincial), la cual se debe a la necesidad de la población de menores recursos económicos para acceder a suelo urbano provocando un crecimiento distinto a la ciudad formal, conflictos de planificación territorial y calidad de vida.

La metodología que empleó fue: en primera instancia solicitó y recopiló información al Ministerio Coordinador de Desarrollo Social (MCDS) de las imágenes satelitales del cantón de Durán de los años que tengan disponibles, con la finalidad de entender la problemática de los asentamientos informales se tabularon las fichas de Registro de Inspección de los Asentamientos Humanos Informales o Invasiones para conocer la realidad de las condiciones de vida de la población del cantón de Durán.

Con las imágenes satelitales, obtenidas por el Ministerio Coordinador de Desarrollo Social, se procedió a digitalizar todos los asentamientos informales (viviendas) y se estableció una categorización del uso del suelo, Para poder obtener una mayor fiabilidad de la interpretación de las imágenes satelitales, se realizaron dos salidas de campo, con el fin de comprobar la información realizada en gabinete y tomar fotografías de las viviendas existentes en estos asentamientos informales.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Se comparó la evolución de los asentamientos humanos irregulares del 2003, 2010 y 2013, por medio de la categorización del uso del suelo. Realizando el análisis multitemporal y para finalizar, se hizo una categorización del uso del suelo con el objetivo de plantear lineamientos básicos para una propuesta de uso del suelo tomando en cuenta a los asentamientos informales y variables externas como inundaciones, movimientos en masa, etc.

Lo que encontró fue que los asentamientos del Cantón Duran llevan más de 10 años consolidándose, con una expansión de suelo urbano evidente, al año 2003 el área de suelo urbano era de 85068 metros cuadrados. Para el año del 2010, esta cifra se incrementó, y llegó a ser de 473129 metros cuadrados. Y finalmente para el 2013, el área de suelo urbano es de 548290 metros cuadrados. Esto quiere decir, que el incremento de suelo urbano del 2003 al 2013 ha sido de 463221 metros cuadrados (Salcedo, 2014).

También estimo por cómo se ha dado el incremento de asentamientos informales, que el suelo urbano siga expandiéndose en estas áreas de asentamientos informales, esto debido a que existe espacio de suelo urbanizable y la demanda de acceso a suelo urbano siempre estará presente. El incremento de suelo urbano obviamente ha generado pérdida de cobertura vegetal de tipo herbácea, arbórea y arbustiva; y ha provocado que la ciudad de Durán haya crecido de manera desordenada y no planificada (Salcedo, 2014).

Un artículo publicado por la revista Colombiana de Geografía (Cuadernos de Geografía) (2018), tuvo como objetivo caracterizar los cambios de cobertura en el margen de la vía La Tagua-Puerto Leguízamo, en Putumayo (Colombia), y su incidencia en el calentamiento global. Se analizaron las variables climáticas (precipitación y temperatura) y se midió la deforestación y las emisiones de CO₂, debido al cambio de los bosques a pastos en el periodo 2002-2016.

Para la deforestación se utilizaron imágenes georreferenciadas de Coberturas de la amazonia colombiana de los años 2002-2016, brindada por el SIAT-AC y el instituto SINCHI. Y se observó con el análisis multitemporal que en los catorce años la cobertura boscosa disminuyó 10.386 ha, específicamente una deforestación aproximada por año fue de 742 ha, teniéndose en la actualidad pastos limpios en estas zonas (Guerrero & Moreno, 2015).

Por otro lado, para el cálculo de las emisiones de CO₂ a raíz de la deforestación, se utilizaron las ecuaciones de Yepes (2011), y se concluyó que cerca de 342.240,04 ton de CO₂ se emiten por año, todo esto debido al cambio de cobertura boscosa natural a pastizales y además por la quema de madera extraída del bosque, puesto que no se pueden comercializar por su alto costo y la población debe recurrir a esta actividad (Tiria, Castillo, & Castillo, 2018).

Guerrero & Moreno (2015) utilizaron el análisis multitemporal en el Municipio de Puerto Rico ubicado al sur del departamento del Meta, el cual presenta una problemática ambiental y

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

social muy importante en el país, debido a la degradación forestal y praderización, conflicto armado, cultivos ilícitos, desplazamientos, pobreza e informalidad en la tenencia de las tierras. Su área está dividida en tres grandes zonas de ordenamiento: la del Parque Nacional La Macarena, Área de Producción Ariari-Guayabero y el Área de Recuperación Para La Producción Norte.

Guerrero & Moreno (2015) evaluó la dinámica de transformación ocurrida en un periodo de tiempo de 23 años, teniendo como referencia 4 imágenes satelitales LANDSAT de distintas fechas (1991, 1997, 2003 y 2014). La metodología empleada por los Guerrero y Moreno (2015), consistió en el procesamiento digital de imágenes con ayuda de software especializados, clasificación digital multiespectral para la distinción de las coberturas, detección de cambios con el objetivo de determinar los rasgos de un territorio que se han modificado, crear el modelo futuro para el año 2020 de la cobertura del suelo utilizando la cadena de Markov, y por último la descripción y cuantificación, para ser sintetizados y contrastados con otras fuentes de información.

Como resultados de Guerrero & Moreno (2015) en el parque nacional de la Macarena (PNN) y Área de Recuperación para la Producción Norte (RPN), fue que presentaron mayor pérdida de bosques y áreas seminaturales, debido, principalmente a cultivos ilícitos y ampliación de la frontera agrícola.

Además, la dinámica de cambios del periodo de 1991-1997, explica con una alta correspondencia el cambio en las coberturas boscosas del año 2014, por lo tanto, se espera que para el año 2020, los bosques disminuyan su extensión en 5,35% (Guerrero & Moreno, 2015).

1.3 Determinar los factores que generan el cambio de cobertura del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, con el fin de orientar la toma de decisión en proyectos de investigación y de manejo, de entidades públicas y privadas

Anteriormente se han presentado desastres naturales, como incendios, huracanes, terremotos entre otros, que han causado cambios de cobertura, sin embargo, a nivel mundial en mayor medida se deben a cinco factores: Demográficos, tecnológicos y económicos, institucionales, de globalización y culturales. Donde los procesos demográficos inciden en mayor medida en la transformación de cobertura vegetal. (Lambin, Geist, & Lepers, 2003).

Es importante tener una visión más clara de cada uno de los factores, ya que es punto clave en el análisis de este proyecto de investigación, por lo tanto, se hará una explicación general de cada uno de ellos:

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

1.3.1 Demográficos

Los incrementos y disminuciones de la población, tienen un impacto importante en el uso del suelo, la dinámica de los hogares, empleos, migración, urbanización entre otros. Pero se podría decir que el que genera mayor impacto es la migración, puesto que, influye rápidamente en los usos del suelo, las políticas gubernamentales, economía entre otros (Rodríguez, 2012).

1.3.2 Tecnológicos y económicos

Está dirigido a la economía que manejan las políticas agrarias, influyendo directamente en precios, impuestos y subsidios a todo lo que se produce del uso del suelo, sin embargo, la desigualdad que se maneja en la distribución de la riqueza, determina quien puede desarrollar, utilizar y beneficiarse de nuevas tecnologías, aumentando su producción y beneficios obtenidos de la tierra (Rodríguez, 2012).

Las políticas económicas y tecnológicas que implementan los estados impulsan a las actividades de agricultura intensiva y extensiva, las cuales se desarrollan en los mejores terrenos que tenga la zona y son las que están destinadas a la exportación, desplazando a los pequeños productores, debido a la baja tecnología que maneja, obtienen pocos incentivos económicos y son destinados para el abastecimiento nacional (Rodríguez, 2012).

1.3.3 Institucionales

Las instituciones tienen una influencia fuerte en el cambio del uso del suelo, puesto que son las que toman la decisión sobre la administración y gestión del territorio. Los problemas de deforestación y degradación del suelo se deben a políticas sin criterios y carentes de adecuada implementación (Rodríguez, 2012).

1.3.4 Globalización

Juega un papel importante en la ampliación o disminución de las actividades que conducen a los cambios del uso de la tierra, ya que tiene influencia sobre las políticas económicas, definiendo las condiciones de oferta y demanda de bienes y servicios, controlando la explotación irracional de recursos naturales (Rodríguez, 2012).

También pueden contribuir a mejorar condiciones ambientales a través del desarrollo de tecnologías limpias, interviniendo en instituciones educativas, con el fin de sensibilizar a la población. (Rodríguez, 2012)

1.3.5 Cultural

Este factor tiene una gran influencia, muchas veces imperceptible, ya que la población sigue sus raíces y creencias culturales teniendo en cuenta las memorias colectivas, actitudes, valores, percepciones colectivas e individuales. Motivo que impulsa a la toma de decisión de una población en el uso del suelo, generando consecuencias desde el punto de vista ambiental

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

adversas, por ejemplo: cambio climático, degradación del suelo, calentamiento global, erosión entre otros problemas (Rodríguez, 2012).

En los países tropicales y subtropicales se utilizan los inventarios 1980, 1990 y 2000 realizados por la FAO, El inventario de 1990 introdujo, en materia de modificaciones de la cubierta forestal, enfoques interesantes, pero no determinó la función de los distintos factores de deforestación El inventario de 1980 trató sobre todo el factor de la agricultura itinerante, y el de 2000 los principales factores. como lo son: agricultura de subsistencia, agricultura permanente, ganadería extensiva ("ranching"), explotación para obtener leña, explotación para obtener madera para construcción e infraestructura (carreteras, poblados, minas, etc) (FAO, 2003).

A través de los años se han determinado factores que influyen en cada región (Mosquera, 2014) describió los motores de deforestación y la implicación sobre los ecosistemas, especies y diversidad genética en la región noroccidental colombiana (departamento del Chocó).

Teniendo como resultado que los principales motores de deforestación en el orden que da el autor son la minería, el aprovechamiento forestal por tala selectiva, la ganadería, los cultivos ilícitos y la agricultura, esto fundamentado en la creciente demanda por recursos debido al incremento poblacional regional y la implementación nacional de un modelo extractivista, que genera gran deterioro de los ecosistemas, especies y diversidad genética nativa. (Mosquera, 2014, pág. 99)

Otra muestra en el sector del Chocó, exactamente en Manabí (Colombia-Ecuador) (Echeverry & Harper, 2020), analizaron los cambios en la cobertura de bosque (deforestación) y definieron métricas de fragmentación en el área de estudio por medio de imágenes Landsat TM y ETM. Con el fin de obtener una aproximación válida del estado del ecosistema. También se obtuvieron los datos necesarios que permitieron definir indicadores de estado para el sistema de monitoreo socio-ambiental del corredor.

La metodología empleada fue la siguiente: se seleccionó la ventana Tatamá–Paraguas como área piloto y la ventana San Juan definida como ventana prioritaria para complementar acciones tendientes a consolidar una estrategia de conservación a nivel de micro corredores de conservación y enmarcadas en el concepto de mosaicos de conservación.

Las dos áreas seleccionadas conforman el corredor Citará-Caramanta Tatamá-Paraguas. Luego se hizo el procesamiento de las imágenes Landsat (TM 4 y 5 para fecha cercana a 1990 y ETM para fecha cercana al 2000); bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 para generar los mapas temáticos, a partir de esto, se hizo el cálculo de métricas de fragmentación utilizando el 'software' Erdas Imagine 9.1.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Se calcularon los indicadores de fragmentación de los ecosistemas los cuales ofrecen una visión de la composición y configuración de los ecosistemas a través de medidas de área, borde o forma de los fragmentos. Se calculó también el número de fragmentos y la distancia entre parches de bosque y conectividad.

Como resultado del procesamiento se generó una nueva cobertura para el corredor con las siguientes clases: 1=bosque, 2=no bosque, 4=agua, 5=nube/sombra, 6=hielo/nieve, 7=manglares. La selección de las ventanas permitió obtener datos a escala regional y local que ayudan a determinar el estado de conservación del CCCM tanto a escala nacional como regional.

En el año 1990 Echeverry & Harper (2020) determinó que la cobertura del bosque en el CCCM representaba el 52% del área total del corredor (98.938 km²); para el año 2000, tal cobertura había disminuido en 2,5%, con una deforestación promedio anual de 250,5 km². En ese momento, la cobertura era de 96.432 km² (50,7% del área total del corredor). En la ventana Tatamá-Paraguas, en el periodo de estudio, aumentó el número de parches de bosque, pero disminuyó el tamaño medio de los mismos y aumentó la distancia entre parches

Por otro lado, Eraso (2011) en su tesis analizó el cambio de cobertura y uso del suelo (LUCC siglas en inglés) correspondiente a los procesos de deforestación en dos regiones de Colombia: los Andes y la Guyana, entre los años 1985-2000. Para predecir y evaluar los procesos de transformación asociados a variables explicativas en estas zonas, se utilizó modelos LUCC, y fue analizado los patrones de deforestación con métricas del paisaje y sistemas de información geográfica.

Se tuvo en cuenta para las variables explicativas datos biofísicos y socioeconómicos, y para la información de cobertura del suelo se basó en la interpretación de imágenes satelitales. En la región de los Andes se aplicaron modelos de cambio de la tierra y deforestación en bosques montanos y en bosques de piedemonte utilizando modelos lineales generalizados (GLM) y enfoques espacialmente explícitos (LCM), sujetas a variables explicativas relacionadas con procesos de cambio (Eraso, 2011, pág. 19)

En la región Guyana, se evaluaron los patrones de deforestación en los modelos de ocupación típicos de la región, contrastando tasas de cambio, efectividad de figuras de conservación y patrones del paisaje. (Eraso, 2011, págs. 52-60). Por último, se hizo un modelamiento del potencial de cambio en ambas regiones, enfocando las zonas de mayor riesgo de deforestación y la importancia que tiene frente a la conservación de la biodiversidad.

Se determinó que la tasa anual de deforestación en los Andes fue de 1,41% y en la de Guyana 0,25%, aunque el factor más evidente en Guyana fue la pérdida de bosque debido a la transición de colono a establecimientos permanentes.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Las probabilidades de Markov en las cuales se basa el Modelo espacial LCM tienen mejor respuesta que los modelos lineales. El factor que más incidió en el cambio de uso del suelo y deforestación fue la distancia que hay entre las carreteras, pero también incide al proceso de cambio la actividad económica, distancia a pastos, pendiente y precipitación, todo esto tiene mayor o menor relevancia debido al bosque y región (Eraso, 2011)

2. Metodología

2.1 Zona de estudio

2.1.1 Localización, extensión y división política

En la parte occidental del Escudo Guayanés se encuentra localizado el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), ubicado en los departamentos del Guaviare y Caquetá con una extensión de 4'268.095 ha, en las inmediaciones de los municipios de San José de Guaviare, Miraflores, Calamar San Vicente del Caguán, Solano y Cartagena del Chaira, comprendiendo 72 veredas y se encuentra a una altura máxima de 817 m.s.n.m (en la Tabla 2 se encuentra detallada la extensión por municipios). En sus proximidades se encuentran las cabeceras municipales de Calamar, El Retorno, La Macarena y Miraflores; los caseríos de La Playa, Puerto Cachicamo y Camelia y el corregimiento Pacoa (MinAmbiente, 2018).

Tabla 2.

Competencia departamental y municipal en hectáreas del PNN Serranía de Chiribiquete.

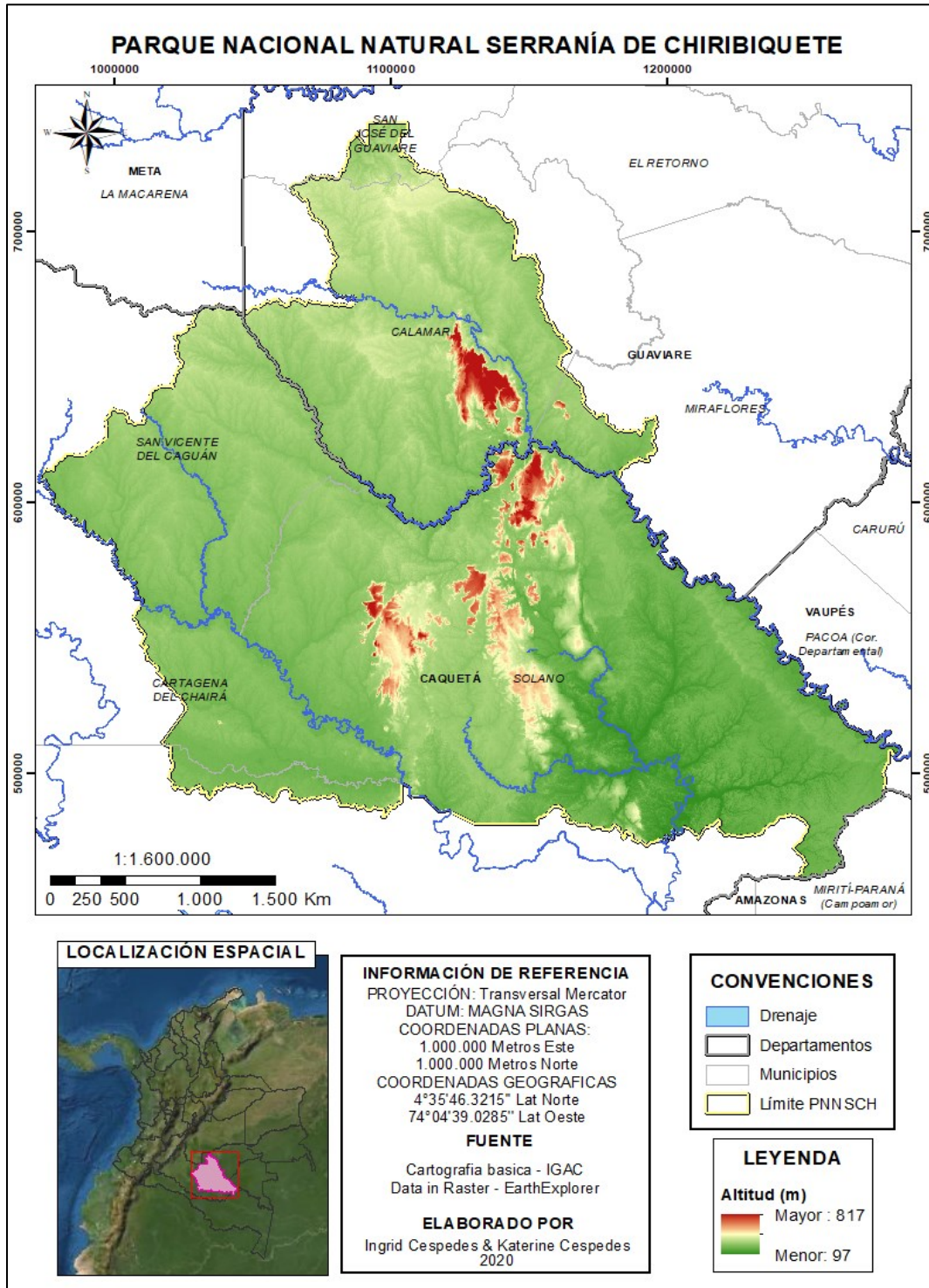
Departamento	Municipio	No. Veredas	Área (ha)
Caquetá	Cartagena del Chaira	1	303.981
	San Vicente del Caguán	4	688.717
	Solano	61	2.212.822
	Calamar	4	933.022
Guaviare	Miraflores	1	81.048
	San José del Guaviare	1	48.504
Total		72	4.268.095

Fuente: adaptado de MinAmbiente (2018).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 2.

Ubicación Geográfica PNN Serranía de Chiribiquete.



Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

2.1.2 Sistema natural

El PNN Serranía de Chiribiquete incide en la protección de dos unidades biogeográficas: provincia de la Guyana y de la Amazonia. En la zona de protección se encuentran 5 distritos biogeográficos predominando los distritos VII-5a Yari-Mirití y VII-4a Vaupés y en menor extensión los distritos VIII-2 Caguán, VII-5b Yari-Mirití El Refugio y VII-5b Yari-Mirití El Refugio (Hernández, 1992; MinAmbiente, 2018). Los biomas inmersos dentro de estos distritos son: Bosques Tropicales de la Amazonia y Orinoquia, Heliobiomas de la Amazonia, Litobiomas y Orobiomas Amazónicos (Hernández, 1992).

Para el año 2012 (Naranjo, 2017) se distinguen 66 ecosistemas que se hacen presentes en el área del PNN Serranía de Chiribiquete, de los cuales 30 son acuáticos y 36 terrestres, encontrándose coberturas de arbustales (abiertos y densos), herbazales (abiertos y densos, arbolados y no arbolados), bosques densos (altos y bajos, de tierra firme e inundables), lagunas, lagos y ciénagas naturales, palmares, zonas pantanosas y ríos de aguas negra.

2.1.2.1 Componente geológico.

La geología del área del PNN Serranía de Chiribiquete se da inicio hace aproximadamente 2000 millones de años en el periodo Precámbrico, tiempo en el cual se hace referencia a la formación de las primeras rocas en el Escudo de la Guyana (Vargas C., 1999).

La composición estratigráfica de la zona es dada por rocas de la Serranía, que incluye el basamento Precámbrico del Complejo Migmatítico del Mitú, rocas de La Formación Piraparaná, y rocas suprayacentes del Paleozoico de la Formación Araracuara, así mismo, se encuentran rocas sedimentarias del Neógeno en la planicie Amazónica, denominadas como el terciario de la Amazonia (Vargas C., 1999).

2.1.2.1.1 Complejo Migmatítico del Mitú (PEcm).

Compuesto de rocas cristalinas ígneas y dos tipos de rocas metamórficas: granito y gneises, los cuales son granitos de cuarzo feldespático, compuestos de biotita color caro y oscuro (granito) y anfibolitas (gneises) (Vargas C., 1999).

2.1.2.1.2 Formación Piraparaná (PEpi).

En la zona sur del PNN se encuentra esta formación, la cual está compuesta por lavas riodacíticas, suprayacidas por rocas piroclásticas, conglomerados polimícticos y areniscas arcósicas (Vargas C., 1999).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

2.1.2.1.3 Formación Araracuara (Pza).

Compuesto de areniscas cuarzosas, limolitas marrones, cuarzo arenitas verdes, cuarzoarenitas finas que incluyen lutitas, conglomerad, cuarzoarenitas, cuarcitas, arcillolitas y limolitas grisáceas, marrón y rojo claro.

Referente al tectonismo de la zona del PNN, se presentan fallas o lineamientos, estratificación y diaclasas en el zona de la Formación Araracuara (Vargas C., 1999).

2.1.2.2 Componente climático.

En el área del PNN Serranía de Chiribiquete no se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas del IDEAM, sin embargo, para la región Amazónica se registra que la región presenta un régimen de lluvias unimodal, con precipitaciones medias anuales de 3.307 mm, con datos máximos de hasta 5.415 mm para los meses de marzo a noviembre (MinAmbiente, 2018), la humedad relativa es de 86-89%, temperatura media de 30°C y evapotranspiración anual entre 1.113-1.370 mm (Naranjo, 2017).

Según los anteriores datos climatológicos la zona presenta dos zonas de vida, referente a la clasificación de Holdridge: Bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T).

2.1.2.3 Componente hidrológico.

El parque está ubicado en la macrocuenca del Amazonas, en las áreas hidrográficas del Orinoco y Amazonas, que detalladamente pertenece a cuatro zonas hidrográficas y ocho subzonas hidrográficas: Alto Guaviare, Río Itilla, Alto Río Apaporis, Río Ajaju, Río Tunia, Alto Yará, Río Camuya y Medio Yari. Según lo anterior el PNN Serranía de Chiribiquete es bañada por ríos de aguas blancas que provienen de la cordillera de los Andes y ríos de agua negras provenientes de afluentes principales en el río Guayabero y del río Apaporis (MinAmbiente, 2018).

Tabla 3.

Componente hidrográfico del PNNSCH.

Area Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Subzona Hidrográfica	Área (Ha)
Orinoco	Guaviare	Alto Guaviare	52.878
		Río Itilla	90.695
	Apaporis	Alto Río Apaporis	300.344
		Río Ajaju	782.658
		Río Tunia	438.717
		Alto Yará	200.533
Amazonas	Yará	Bajo Yará	81.142
		Río Camuya	189.842
		Medio Yari	535.824
		Río Curare	552.695
		Río Mesay	734.976
		Río Luisa	307.448

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Total	4.268.095
-------	-----------

Fuente: adaptado de MinAmbiente (2018).

2.1.2.4 Componente edáfico.

Según el estudio de Montoya-Rojas (2002) y el estudio de suelos del IGAC (2000) los suelos de esta zona presentan de un pobre drenaje a buen drenaje, con fertilidad baja a muy baja, profundidad efectiva superficial, con variabilidad de texturas de gruesas y muy finas, extremadamente ácidos, con altas saturaciones de aluminio.

2.1.2.5 Componente geomorfológico.

El PNN Serranía de Chiribiquete presenta gran variabilidad de paisajes, presentándose lomeríos, lomerío erosional y lomeríos estructurales; macizos y macizos tectónicos; y valles y valles aluviales. Los relieves asociados a estos paisajes son depresión, escarpes y afloramientos rocosos, glacís, lomas, lomas y colinas, lomas y mesas, mesas, mesas y cuevas, mesetas, ondulaciones (superficies ligeramente planas y planos inclinados), ondulaciones (superficies planas y planos inclinados), plano de inundación, terraza media, terrazas, vallecitos, valles estrechos con influencia coluvioaluvial (IGAC ,2000).

Tabla 4.

Geomorfología del PNNSCH.

Paisaje	Relieve	Área (Ha)
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	2167,8
	Depresión	3980,0
Lomerío	Lomas y colinas	1773639,6
	Lomas y mesas	194101,0
	Mesas	367457,6
	Vallecitos	59169,4
Lomerío erosional	Valles estrechos con influencia coluvioaluvial	62212,9
	Lomas	350389,2
Lomerío estructural	Ondulaciones (superficies ligeramente planas y planos inclinados)	52032,9
	Ondulaciones (superficies planas y planos inclinados)	234554,1
	Escarpes y afloramientos rocosos	34077,7
Macizo	Glacís	1841,2
	Lomas	65700,4
	Mesas y cuevas	161690,7
Macizo tectónico	Mesas	239966,3
	Mesetas	418120,3
Valle	Plano de inundación	52336,0
	Terrazas	43895,2
Valle aluvial	Plano de inundación	142734,5
	Terraza media	1183,8
Total		4261250,7

Fuente: adaptado de IGAC (2000).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

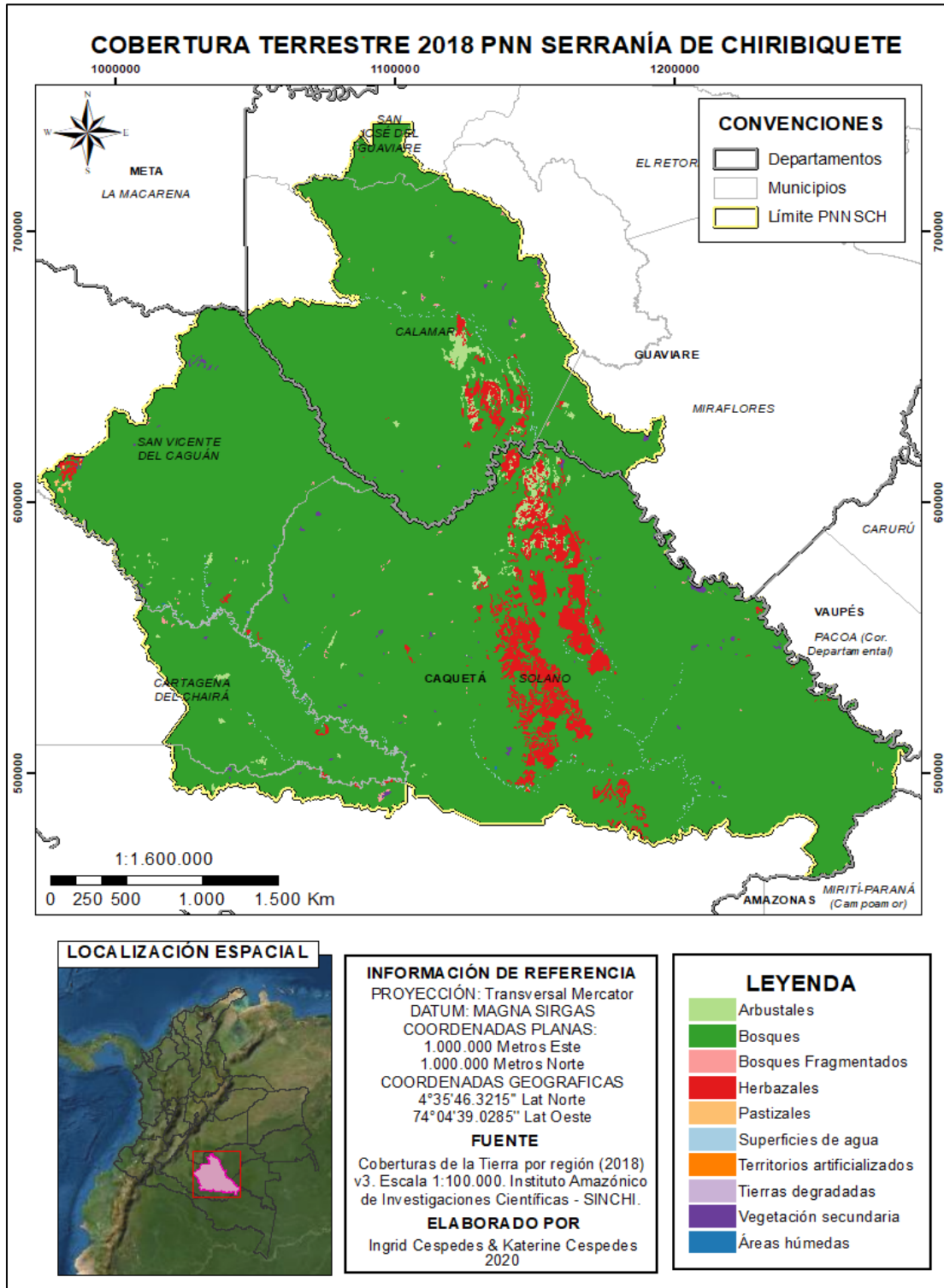
2.1.2.6 Componente biótico.

En el PNN de la Serranía de Chiribiquete según el análisis de cobertura de la tierra 2010-2012 se encuentra las coberturas vegetales: arbustal (abierto mesófilo y denso), bosque de galería y ripario, bosque denso alto (de tierra firme, inundable heterogéneo), bosque denso bajo (de tierra firme e inundable), herbazal abierto rocoso, herbazal denso (de tierra firme arbolado, con arbustos y no arbolado), herbazal denso inundable (arbolado y no arbolado), pastos limpios, tierras desnudas y degradadas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, palmar, ríos y zonas pantanosas; por otro lado se presentan 3 helipuertos.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNN SCH

Figura 3.

Coberturas vegetales del PNN SCH.



Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

2.1.2.6.1 Fauna.

Según estudios científicos, para el 2018 se registraron 4.854 ejemplares, para 1.676 especies, de los cuales 28 especies son reportadas por la UICN con algún grado de amenaza, y por otro lado 32 especies pueden ser registradas como especies nuevas para la ciencia. Dentro de las especies de fauna, se presentan 5 especies endémicas.

De las especies amenazadas se encuentra una especie en peligro crítico (CR) (*Tapirus terrestres*), en Peligro (EN), se registran *Pteronura brasiliensis*, *Priodontes maximus*, *Atractus punctiventris*, y 3 especies de peces; en categoría Vulnerable (VU) se encuentra: *Ateles belzebuth*, *Myrmecophaga tridactyla*, *Lagothrix lagothricha*, *Lontra longicaudis*, 5 especies de aves y 2 especies de peces; y 8 especies Casi amenazadas (NT): 1 de peces y 7 de aves (Minambiente,2020).

2.1.2.6.2 Flora.

Para el año 1998, Cortes-B, *et.al* en su estudio de flora registran 587 especies representadas en 350 género y 119 familias, la familia con mayor número de especies fue Rubiaceae representada por 16 géneros; aunque no se presenten estudios que hallan abarcado toda la zona que cubre el parque según Minambiente (2020) actualmente se registran 2138 especies, las cuales corresponden al 7,6% del total reportado para Colombia y al 66,5% de la región Amazónica. La familia que presenta mayor abundancia de especies Fabaceae con 184 especies, seguida de Rubiaceae con 167. Dentro de las especies florísticas se encuentran 67 especies endémicas de Colombia, 16 especies son exclusivas del PNN.

Por otro lado, la UICN reporta 14 especies categorizadas en algún grado de amenaza, y paralelamente se han encontrado en las expediciones científicas aproximadamente 10 especies nuevas para la ciencia.

2.1.3 Sistema cultural

Se encuentra habitado por comunidades indígenas que denominan el Parque la “Maloka del Padre Jaguar”, puesto que, en su cosmología, este es el lugar donde se dio origen a la vida. Estas comunidades por una parte no contactados y otra en aislamiento voluntario conservan un patrón nómada y no han tenido contacto con la llamada civilización, los cuales se convierten en los guardianes de esta reserva, un ejemplo de estos grupos son los Karijona, que se creían extintos para la época, pero se ha tenido avistamiento de su existencia. (Ávila, 2019).

En los municipios aledaños a la zona actual protegida, se consolidan 21 resguardos indígenas de una gran variedad de etnias. Por ejemplo, La población indígena aledaña al área de ampliación del PNNSCH se concentra en el resguardo Llanos del Yarí-Yaguara II, de las etnias Pijao, Tucano y Piratapuyo, actualmente en proceso de retorno al territorio y restitución de

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

sus derechos territoriales. En Calamar, se encuentra la población del Resguardo Indígena El Illa, perteneciente a las etnias Cubeo, Karapana, Desano y otras provenientes del Vaupés. (Alianza para la Conservación de la Biodiversidad, el Territorio y la Cultura, 2018)

Los denominados “pueblos indígenas aislados” (PIA), se refiere específicamente a grupos indígenas con ausencia de relaciones permanentes con las sociedades nacionales o con poca frecuencia de interacción, sea con no indios o sea con otros pueblos indígenas. (Huertas, 2002)

Se tiene indicios de la posible existencia de 18 pueblos indígenas aislados (PIAs) localizados en la Amazonia colombiana, e incluidos en figuras jurídicas como áreas protegidas, resguardos indígenas o en la reserva forestal de la Amazonia. (Franco, 2011)

2.1.4 Sistema político

Se hace referencia a la presencia de grupos armados en la zona, los cuales se identifican como, del Frente Carolina Ramírez de las FARC; esta situación fue un factor limitante para el desarrollo de expediciones científicas en la zona debido a que su presencia impedía hasta el paso de guardaparques (Semana, 2018).

2.1.5 Problemática

La problemática más recurrente que encontramos en este parque es la cadena productiva ilegal, teniendo en cuenta la tala de Bosques, Minería a cielo abierto y ganadería ilegal, destrucción de ríos. Además, las acciones de Grupos criminales y su apropiación de los territorios que lleva consigo la siembra de coca, marihuana y amapola, son lugares que por presentar un bosque denso sirve para esconder laboratorios de drogas y su tránsito por las fronteras y así llegar a su punto para ser exportadas. (Ávila, 2019)

Declarada la Serranía de Chiribiquete como parque natural (Reserva Natural) en el año 1989, desde los años 70 y 80, los grupos al margen de la ley principalmente la ex guerrilla de las fuerzas armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), lo han hecho un lugar propicio para su tránsito (El Espectador , 2017).

Pero esto no es lo único las zonas del parque también fueron utilizadas por el “cartel de Medellín” para sus actividades que las podían desarrollar sin ningún problema, puesto que era y un lugar inexplorado por el estado y al mismo tiempo habitado por la misma población colombiana, motivo por el cual lo denominaron “Tranquilandia” (Davila, M, 2017).

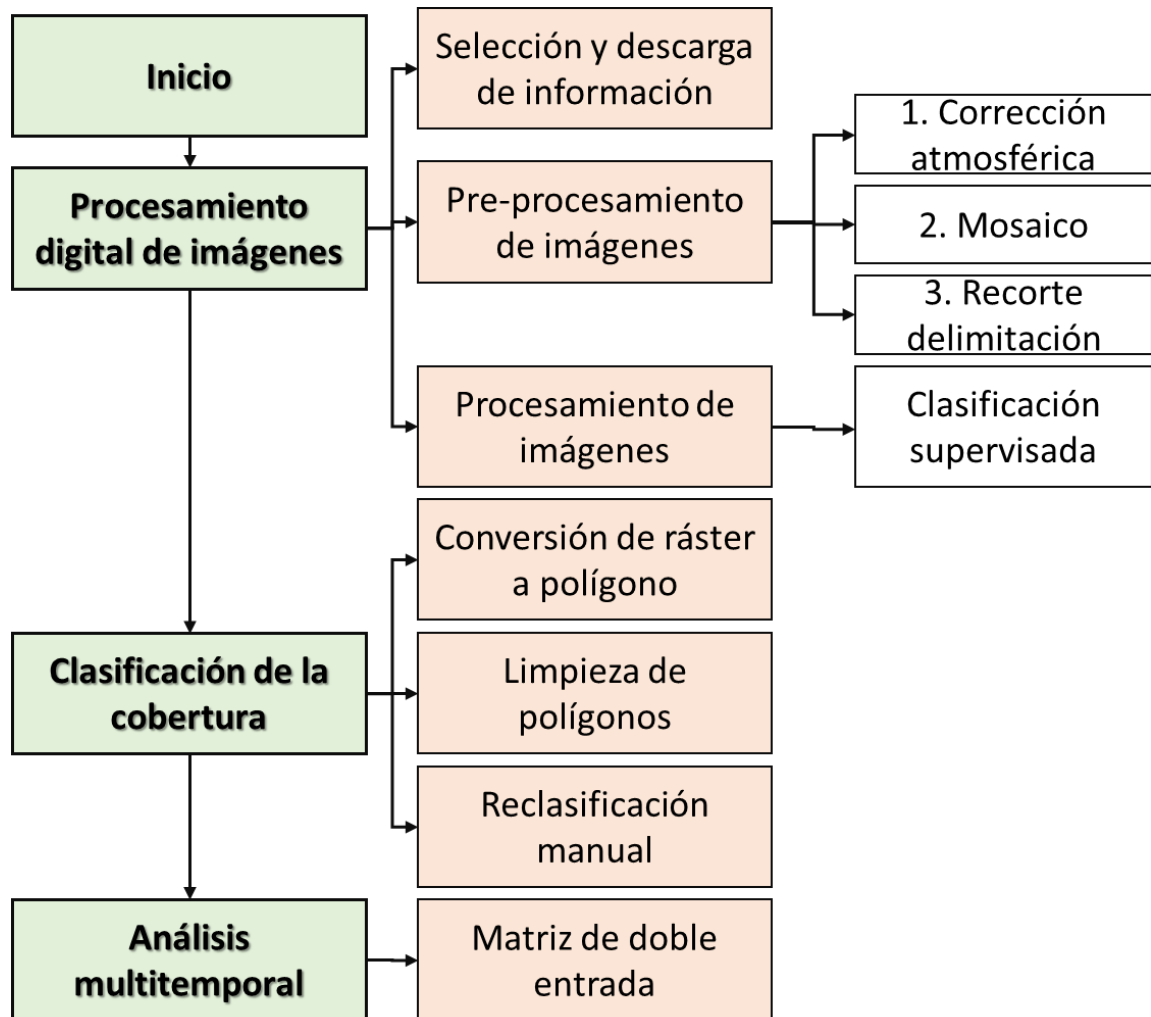
Otro problema que se presenta es el afán de convertir la reserva en un destino turísticos, el hecho de imaginarse los turistas contaminados ríos, haciendo fogatas, cazando, raptando animales característicos de la zona y grafitando las pinturas indígenas hace que esto no sea un plan viable para la reserva, sumado a esto exponer un lugar sin tener la capacidad de y los recursos para protegerlo, puede afectarlo de forma irremediable (Davila, M, 2017).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

A continuación se describen los procesos empleados con sus procedimientos, para la obtención e identificación de factores que inciden en el cambio de cobertura vegetal presentada en los años 2016-2020 en el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete (Figura 4).

Figura 4.

Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración propia

2.2 Proceso digital de imágenes

2.2.1 Selección y descarga de información

Las fuentes de información, de las cuales se obtuvo las imágenes satelitales y soporte de las coberturas vegetales, se describen en la Tabla 5.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla 5.

Fuentes de insumo

Tipo	Fuente	Escala o Resolución
Imágenes satelitales	USGS	30 metros
Mapa de Coberturas de la Tierra – Amazonia Colombiana	SINCHI (2018)	1:100.000

Fuente: Elaboración propia

En el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), se realizó la búsqueda y descarga de las imágenes correspondientes a las escenas 6-59, 6-60, 7-59 y 7-60, las cuales permitieron abarcar en su totalidad la extensión del PNN Serranía de Chiribiquete.

Los criterios de selección de las imágenes incluyen en primera medida, que el porcentaje de la nubosidad fuera menor del 20%, así mismo, se seleccionaron las que correspondían a los primeros dos meses del año, debido a que en estos meses se presenta la temporada seca del área de estudio (Naranjo, 2017), lo cual nos permitía una baja nubosidad y la respuesta espectral de la vegetación similar para cada año.

2.2.2 Pre-procesamiento de imágenes

Para el pre-procesamiento de las imágenes se adaptó la metodología determinada por Galindo, et al. IDEAM (2014), en el Protocolo Para El Procesamiento Digital De Imágenes Para La Cuantificación De Deforestación En Colombia A Nivel Nacional, a continuación se describen la secuencia metodológica empleada y software utilizado:

2.2.2.1 Corrección atmosférica.

La corrección atmosférica tiene como fin la mejora de la calidad visual de la imagen, mediante la eliminación de los efectos de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y por ende se ve reflejado en la imagen (Aguilar Arias et al., 2015).

Este procedimiento se realizó mediante el software libre QGIS, mediante el plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), este complemento permite mediante la función de preprocesamiento, la conversión de los niveles digitales (ND) de la imagen Landsat a la medida física de Top Of Atmosphere reflectance (TOA), y la corrección atmosférica mediante el método Dark Object Subtraction 1 (DOS1) (Congedo, 2016).

El método DOS es una técnica basada en imágenes para cancelar el efecto bruma causado por la dispersión aditiva de los datos de detección remota. El efecto bruma este dado por (Congedo ,2016):

$$L_p = L_{min} - L_{DO1\%}$$

Donde:

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

L_{min} : radiancia que corresponde a un valor digital para el cual la suma de todos los píxeles con valores digitales menores o iguales a este valor es igual al 0,01% de todos los píxeles de la imagen considerada.

$L_{DO1\%}$: radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0,01.

Específicamente, para las imágenes del satélite Landsat está dada por (Congedo, 2016):

$$L_{min} = M_L * DN_{min} + A_L$$

Donde:

M_L : Factor multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda).

A_L : Factor aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda)

Adjunto a la corrección atmosférica, la interfaz SCP realiza la fusión de la información de las bandas multiespectrales (bandas de la 2 a la 7), con la resolución espacial de la banda pancromática, mediante el proceso de Pan-sharpening.

2.2.2.2 Mosaico.

Como se mencionó anteriormente al utilizar cuatro escenas por año, se hace necesario realizar una imagen compuesta que permita integrar estas escenas, por lo que fue necesario ejecutar un mosaico. Dicho mosaico, se realizó a las imágenes resultantes de la corrección atmosférica a través de la interfaz MosaicPro del software ERDAS IMAGE 2014.

2.2.2.3 Recorte delimitación.

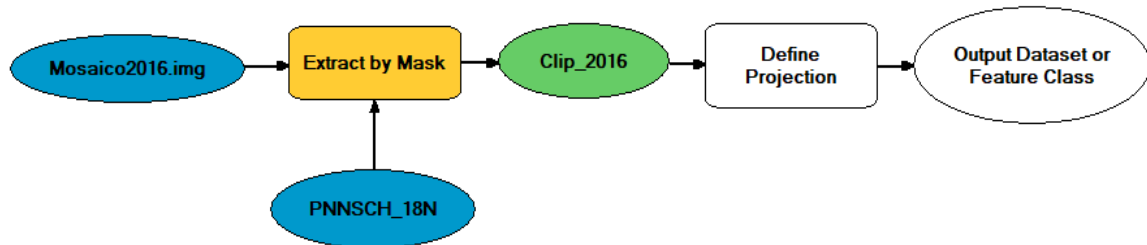
La imagen compuesta se recortó usando el límite del PNN, obtenido a partir de la información cartográfica (shp) de Limite Parques Nacionales de la institución Parques Nacionales Naturales de Colombia.

El recorte fue realizado mediante el software ArcGIS, por medio de la función de ArcToolBox, Spatial Analysis Tools, Extraction y Extract By Mask; seguido a esto se definen las coordenadas de salida de la imagen (WGS 1984 UTM Zone 18N). El anterior proceso se representa en la Figura 5.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 5.

Diagrama procedimental para el recorte del mosaico al área del PNN Serranía Chiribiquete, mediante el ModelBuilder



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Procesamiento de imágenes

2.2.3.1 Clasificación Supervisada.

La clasificación supervisada parte del conocimiento de la zona de estudio, en el caso particular de este estudio, dicho conocimiento fue obtenido a partir del mapa de coberturas vegetales del SINCHI (2018). En la Tabla 6 se describe las categorías clase uno y las subcategorías que acoge esta clasificación de cobertura, específicamente las presentes en la zona de estudio.

Tabla 6.

Coberturas de tierra

Nivel			
1	2	3	4
1. Territorios artificializados	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.4 Aeropuertos	1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios 2.3.3. Pastos enmalezados	
2. Territorios agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos 2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
3. Bosques y áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso	3.1.1.1. Bosque denso alto

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Nivel			
1	2	3	4
			3.1.1.2. Bosque denso bajo
			3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos
		3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria
		3.1.4. Bosque de galería y ripario	
		3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso
			3.2.1.2. Herbazal abierto
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso
			3.2.2.2. Arbustal abierto
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas pantanosas	
		5.1.1. Ríos (50m)	
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	
6. Nubes			
7. Sombras			

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Leyenda Corine LandCover

Visualizando las áreas identificadas en el mapa de coberturas del SINCHI, se definieron las áreas de entrenamiento o pilotos, definiendo las categorías de nivel uno; la función de estas áreas, es entrenar el algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

cada banda, para cada zona de entrenamiento conllevando a la evaluación de cada ND de la imagen, compararlo y asignarlo a su respectiva clase.

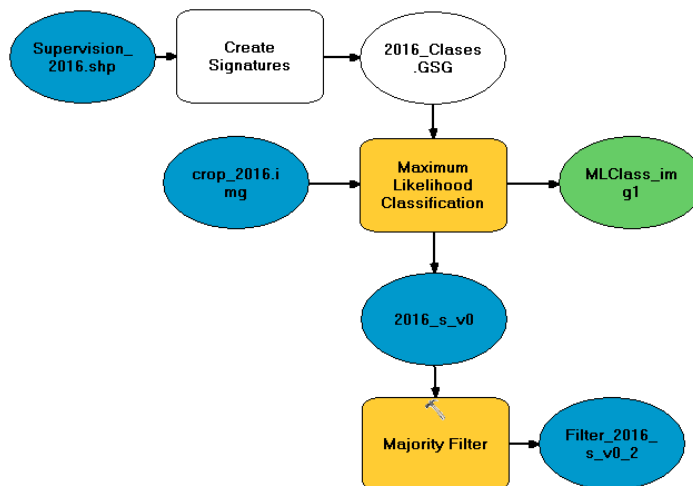
El proceso de clasificación supervisada se realizó a las imágenes recortadas, mediante el software ArcGIS, por medio de la función Maximum Likelihood Classification. Para esto se definieron anteriormente, siete categorías de coberturas, obteniendo puntos de entrenamiento a lo largo de toda la imagen.

Con el fin de disminuir el efecto de sal y pimienta obtenido por la clasificación, se corrió la herramienta Majority Filter y seguido a esto el filtro Smoothing 5x5. Este filtro de convolución de paso bajo realiza el filtrado a los valores de pixel de la imagen, en la cual suaviza los datos, reduciendo la variación local y quitando el ruido (ERDAS, 2020)

En la Figura 6 se presenta el diagrama del ModelBuilder generada para la clasificación.

Figura 6.

Diagrama procedimental para la clasificación supervisada, mediante el ModelBuilder



Fuente: Elaboración propia

2.3 Clasificación de la cobertura del suelo

2.3.1 Conversión de ráster a polígono

Las clases espectrales determinadas en el paso anterior, fueron convertidos a polígonos, con el fin de ser editados y de conocer el área; mediante la función de *ArcToolbox*, *Conversion Tools*, *From Raster* y *Raster to Polygon*. En la Figura 7 se presenta el diagrama del ModelBuilder generado para el proceso anteriormente descrito.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 7.

Diagrama procedimental para la conversión de raster a polígono, mediante el ModelBuilder



Fuente: Elaboración propia

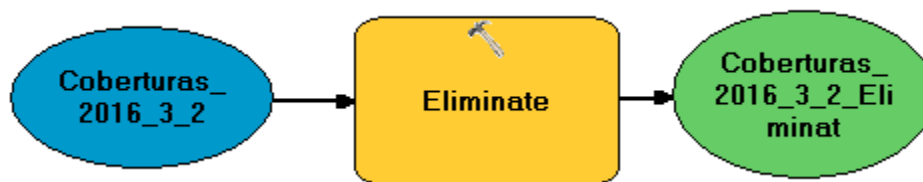
2.3.2 Limpieza de polígonos

Se realizó una limpieza a los micropolígonos generados en el procedimiento anterior, eliminando los polígonos menores a 5 hectáreas, mediante la herramienta de generalización Eliminate de ArcGIS; dicha herramienta fusiona los polígonos escogidos, a las coberturas adyacentes que tengan mayor área o con el borde compartido más largo.

Cabe aclarar que estos polígonos son eliminados debido a que la unidad mínima cartografiada de las imágenes Landsat 8 es de 5 hectáreas. Dicha unidad permite que, en la representación gráfica las coberturas puedan ser diferenciadas y percibidas por la visual humana.

Figura 8.

Diagrama procedimental para la limpieza de polígonos, mediante el ModelBuilder



Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Reclasificación manual

Con las categorías asignadas a cada polígono, se realizó una clasificación manual, agrupando aquellos polígonos vecinos que presentaban la misma cobertura, y se volvió a definir la cobertura asignada.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

2.4 Análisis multitemporal

2.4.1 Matriz de doble entrada

A las imágenes previamente clasificadas se realizó una comparación de áreas por cobertura, teniendo como requisito la misma leyenda temática para cada imagen. A partir de esto, se generó una matriz de doble entrada, tal como lo recomienda el SINCHI (2019) en su metodología estadística de monitoreo de la cobertura en la amazonia colombiana, ya que en dicha matriz de permite ver el cambio multitemporal de las coberturas, en la cual en las filas se indica el área de las coberturas del año anterior y en las columnas el área del año de monitoreo obtenido. La Tabla 7 se muestra el diseño de la matriz.

Tabla 7.

Matriz de doble entrada

		1	2	3	4	5	6	7	Σ
Cobertura 2016 (Ha)	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	Σ								

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

Los resultados se presentan de acuerdo a los objetivos planteados: Caracterizar la zona de estudio y la cobertura vegetal, establecer las áreas efectivas de cambio en cobertura vegetal y determinar los factores que generan el cambio de cobertura del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete.

3.1 Proceso digital de imágenes

3.1.1 Selección y descarga de información

Según los criterios de selección de las imágenes, resulta la descarga de las imágenes de los años 2016, 2019 y 2020; las cuales presentaron los menores porcentajes de nubosidad, así mismo, al tener las escenas en temporadas similares, se permitió una respuesta espectral semejante para cada una. En la Tabla 8, se presenta las imágenes utilizadas y la información de estas.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla 8.

Descripción de las imágenes satelitales

Año	Path/Row	Nombre	Fecha
2016	6-59	LC08_L1TP_006059_20160125_20170330_01_T1	25/01/2016
	6-60	LC08_L1TP_006060_20160109_20170405_01_T1	09/01/2016
	7-59	LC08_L1TP_007059_20160201_20180130_01_T1	01/02/2016
	7-60	LC08_L1TP_007060_20160201_20180130_01_T1	01/02/2016
2019	6-59	LC08_L1TP_006059_20190202_20190206_01_T1	02/02/2019
	6-60	LC08_L1TP_006060_20190202_20190206_01_T1	02/02/2019
	7-59	LC08_L1TP_007059_20190225_20190309_01_T1	25/02/2019
	7-60	LC08_L1TP_007060_20190225_20190309_01_T1	25/02/2019
2020	6-59	LC08_L1TP_006059_20200104_20200113_01_T1	04/01/2020
	6-60	LC08_L1TP_006060_20200104_20200113_01_T1	04/01/2020
	7-59	LC08_L1TP_007059_20200127_20200210_01_T1	27/01/2020
	7-60	LC08_L1TP_007060_20200127_20200210_01_T1	27/01/2020

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Pre-Procesamiento de imágenes

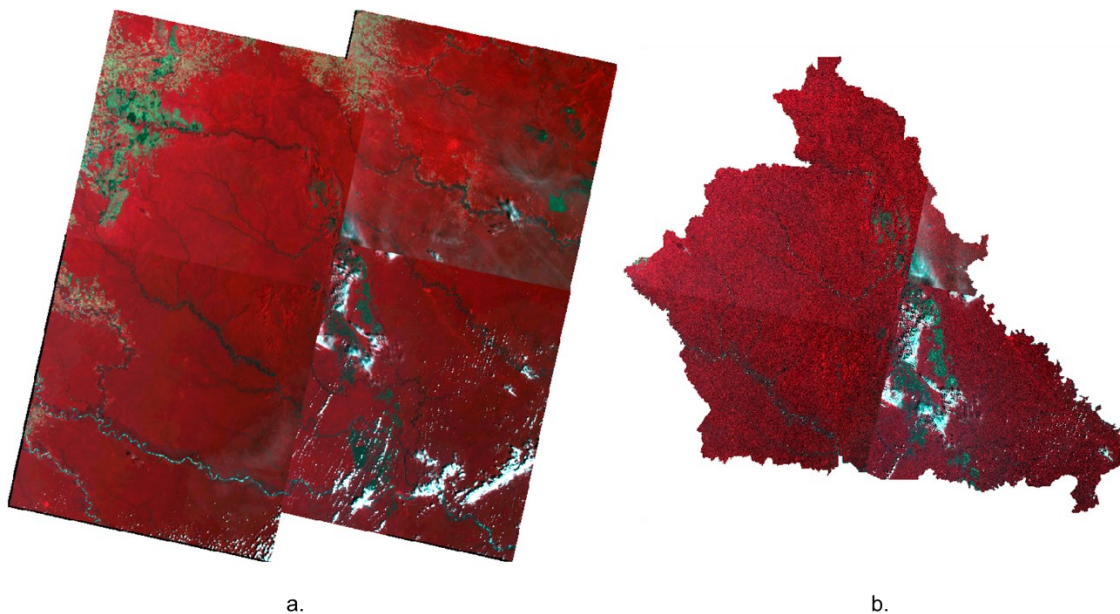
El pre-procesamiento de las imágenes consistió en generar la corrección atmosférica, seguido del mosaico de las cuatro escenas y por último un recorte del mosaico al área geográfica del Parque Nacional Natural, lo cual generó la reducción de la reflectancia de las escenas, permitiendo un mayor contraste, visibilidad y facilidad de trabajo de las imágenes.

En la Figura 9 se muestra una composición en falso color de las escenas Landsat 8: 6-59, 6-60, 7-59, 7-60 para el año 2016, con el resultado del mosaico y el recorte a la delimitación de la zona de estudio.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 9.

(a) Escenas unidas en el mosaico y (b) Clip realizado a la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Procesamiento de imágenes

3.1.3.1 Clasificación Supervisada.

Para la clasificación supervisada se situaron diferentes pixeles de muestro, distribuidos en toda el área de estudio; por la cual se generó un archivo de salida formato .gsg, el cual contiene la respuesta espectral de las clases en la Tabla 9 se indica el número de puntos piloto por cobertura, los cuales permitieron el entrenamiento del algoritmo de clasificación. Así mismo en la Figura 10 se puede observar su distribución y diferenciados en su leyenda por cobertura.

Tabla 9.

Pixeles de muestreo utilizados por año

Cobertura terrestre	Cantidad de puntos piloto		
	2016	2019	2020
1. Territorios artificializados	83	83	100
2. Territorios agrícolas	477	477	221
3. Bosques y áreas seminaturales	963	963	346
4. Áreas húmedas	380	380	457
5. Superficies de agua	336	386	246
6. Nubes	90	98	31
7. Sombras	69	115	43

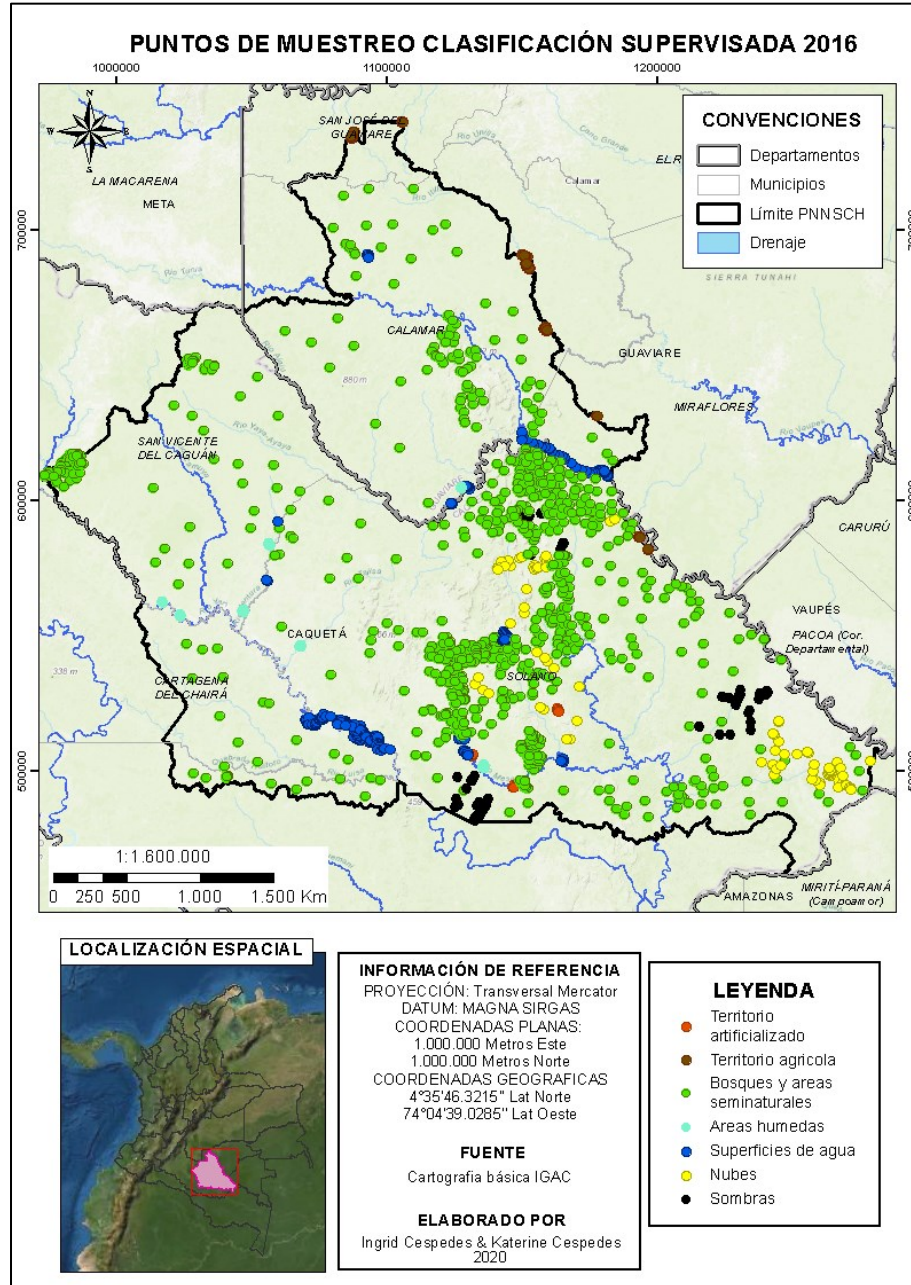
FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Cobertura terrestre	Cantidad de puntos piloto		
	2016	2019	2020
TOTAL	2398	2502	1444

Fuente: Elaboración propia

Figura 10.

Puntos de entrenamiento para el algoritmo



Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

3.2 Clasificación de la cobertura del suelo

A partir de los puntos pilotos se realizó la clasificación supervisada de las coberturas, lo que paralelamente permitió obtener los mapas de cobertura vegetal. A continuación, se presentan los mapas de cobertura obtenidos para los años 2016, 2019 y 2020.

Las coberturas analizadas fueron: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas, superficies de agua, nubes y sombras.

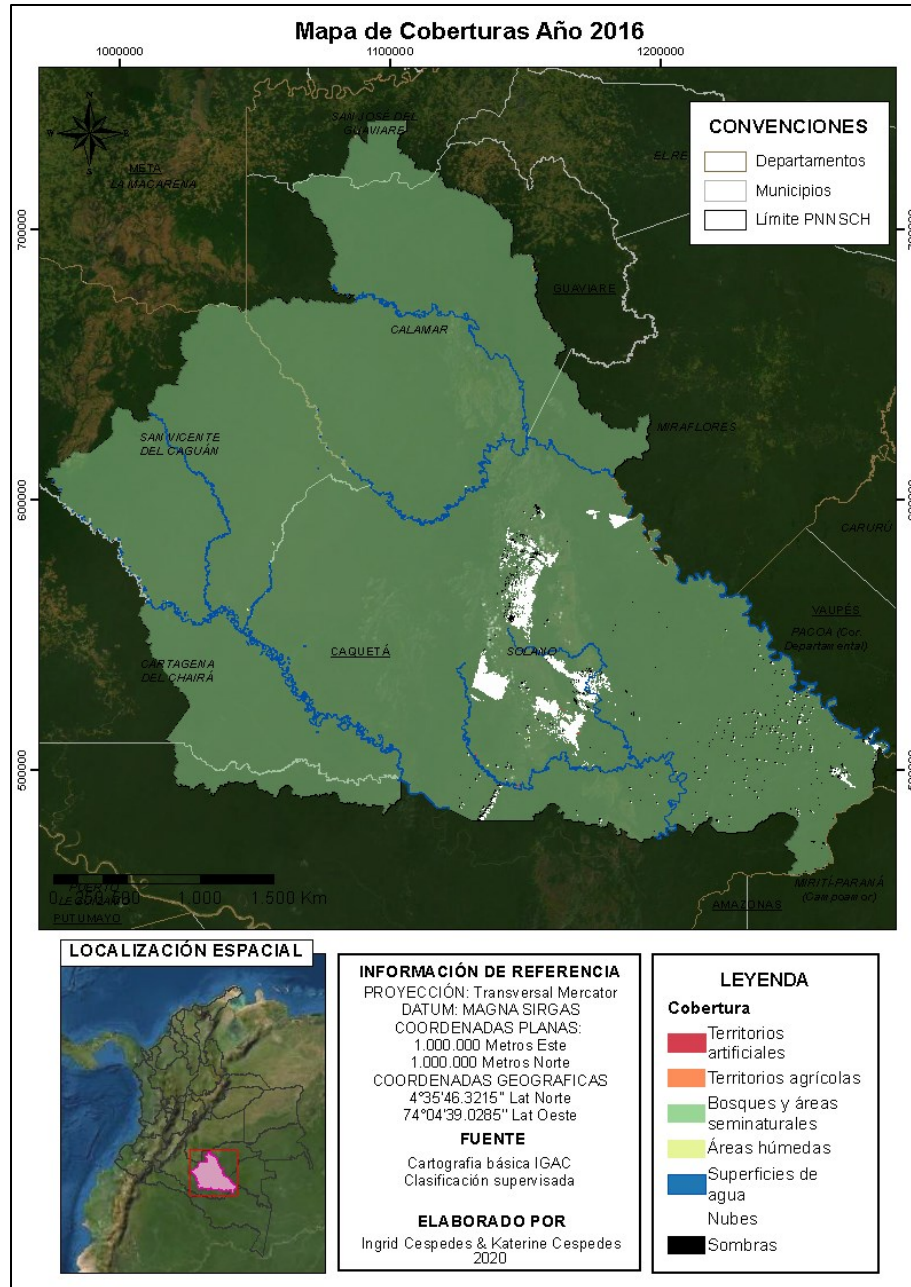
3.2.1 *Mapa de cobertura año 2016*

Como se observa en Figura 11 la cobertura predominante de suelo es de bosque, expresado así mismo en la gran extensión que presenta (4.165.568,321 ha), por otra parte, la cobertura de nubes y sombras se concentran hacia el sector sur oriental. La cobertura artificial está establecida por tres helipuertos, de los cuales dos están ubicados en la parte sur del municipio de Solano, asociados al río Mesay; y el otro se encuentra en la parte central del mismo municipio entre los ríos Mesay y Cuñare. Por su parte los territorios agrícolas, están ubicados en los extremos del límite del parque, con una extensión de 283 ha, siendo mayor su extensión en el municipio de Calamar (113,77 ha). Las áreas estimadas para el año 2016 se presentan en la Tabla 10.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 11.

Mapa de coberturas año 2016



Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla 10.

Áreas de cobertura para imagen del año 2016 por municipio

Coberturas	Año 2016						TOTAL	%
	Cartagen a del Chaira	San Vicente del Caguán	Área (ha) Municipio					
			Solano	Calamar	Miraflore s	San José del Guaviare		
1. Territorios artificializados	-	-	26,9	-	-	-	26,95	0,001
2. Territorios agrícolas	-	-	96,1	113,7	6,74	66,34	283,00	0,01
3. Bosques y áreas seminaturales	301.104,6	686.267	2.120.320,3	928.990,3	80.449,7	48.436,2	4.165.568,3	97,6
4. Áreas húmedas	-	150,8	191,5	40,59	-	-	382,93	0,01
5. Superficies de agua	2.793,8	2.107,8	11.661,9	3944,3	1213	-	21.720,96	0,51
6. Nubes	-	-	68.440,4	-	-	-	68.440,49	1,60
7. Sombras	-	-	11.672,3	-	-	-	11.672,35	0,27
TOTAL	303.898,4	688.525,7	2.212.409,7	933.089,1	81.669,5	48.502,6	4.268.095	100

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Mapa de cobertura año 2019

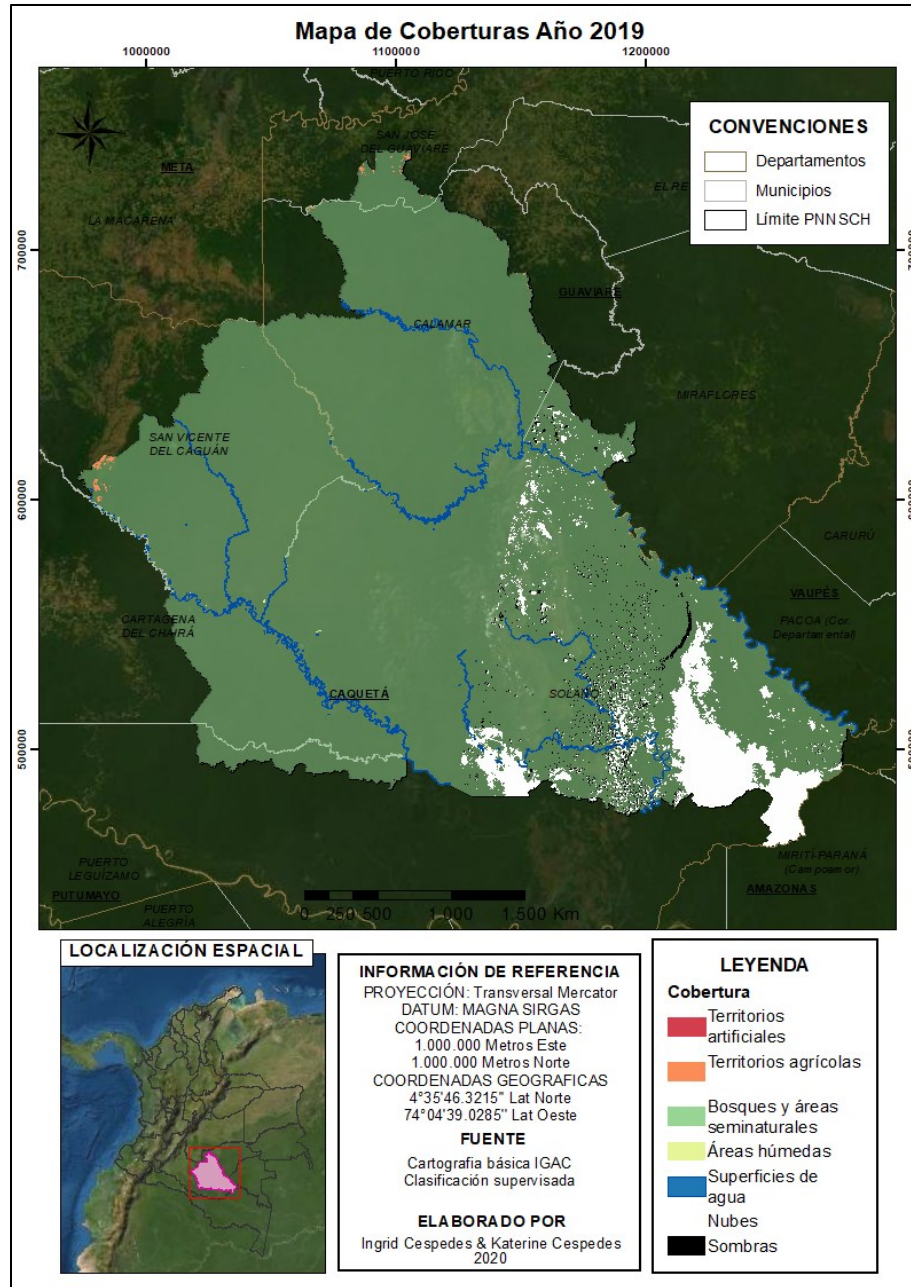
Como se puede evidenciar en la Tabla 11 y Figura 12, se presenta un aumento en la identificación de territorio agrícola presentado principalmente en los municipios de San Vicente del Caguán y San José del Guaviare. También se presenta una disminución de bosques y áreas seminaturales pero es justificado por el aumento de la cobertura de nubes y sombras, lo que no confirma deforestación en la zona de estudio.

La cobertura predominante, al igual que el año 2016 es de bosques, pero se puede observar una disminución para todos los municipios. La cobertura de nubes y sombras se concentra en la parte sur oriental del Parque Natural Nacional, y por su parte, la cobertura de territorio artificializado presenta una disminución, debido a que se presentó provisionalmente cubierta vegetal, lo que supone un uso escaso de los helipuertos.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNN SCH

Figura 12.

Mapa de coberturas año 2019



Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla 11.

Áreas de cobertura para imagen del año 2019 por municipio

Año 2019	Área (ha)						TOTAL	%
	Municipio							
Coberturas	Cartagena del Chaira	San Vicente del Caguán	Solano	Calamar	Miraflores	San José del Guaviare		
1. Territorios artificializados	-	-	23,9	-	-	-	23,86	0,001
2. Territorios agrícolas	-	2.962,3	132,5	526,8	32,5	1.525,6	5.179,69	0,1
3. Bosques y áreas seminaturales	301.151	683.364,7	1.907.725,9	927.490,7	73.698,6	46.967,1	3.940.398,1	92,3
4. Áreas húmedas	-	126,4	214,6	20,8	-	-	361,9	0,01
5. Superficies de agua	2.747,4	1.982,1	11.369,4	4.631,8	1.139,9	-	21.870,7	0,51
6. Nubes	-	-	265.078,5	163,1	5.124,8	9,9	270.376,3	6,33
7. Sombras	-	14,2	27.992,9	203,8	1.673,6	-	29.884,5	0,70
TOTAL	303898,5	688449,8	2212537,7	933037,1	81669,5	48502,6	4.268.095	100

Fuente: Elaboración propia

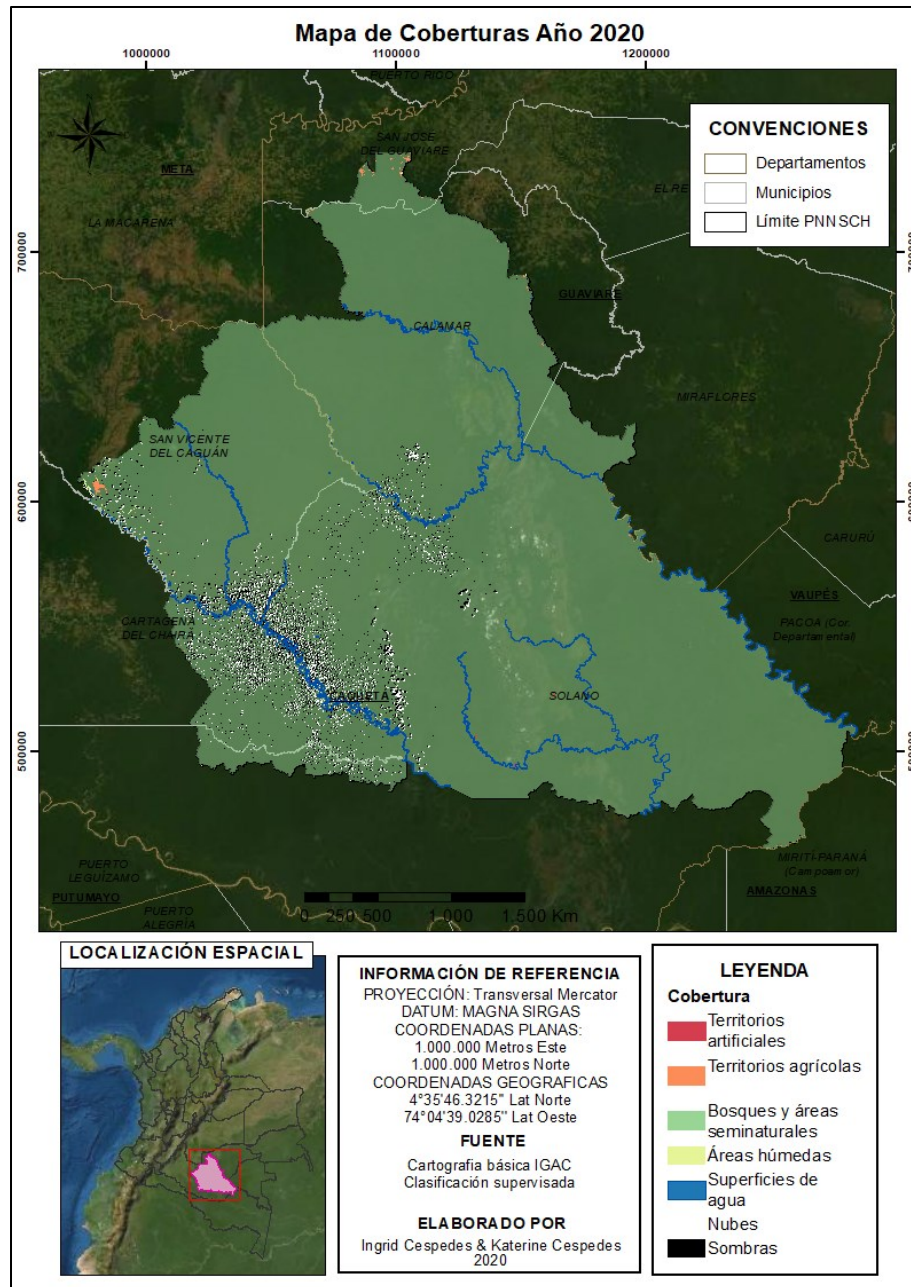
3.2.3 Mapa de cobertura año 2020

Para el año 2020, según la Figura 13 la cobertura de nubes y sombras se concentra en la parte sur-occidental de la zona de estudio. Así mismo como se puede observar en la Tabla 12, a comparación del año 2019 hay una disminución de los territorios agrícolas. Se precisa que la cobertura terrestre predominante, sigue siendo de bosques y áreas seminaturales, seguido de superficies de agua. Las áreas estimadas para este año por municipio se presenta en la Tabla 12.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNN SCH

Figura 13.

Mapa de coberturas año 2020



Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla 12.

Áreas de cobertura para imagen del año 2020 por municipio

Año 2020	Área (ha)						TOTAL	%
	Municipio							
Coberturas	Cartagen a del Chaira	San Vicente del Caguán	Solano	Calamar	Miraflores	San José del Guaviare		
1. Territorios artificializados	-	-	19,1	-	-	-	19,1	0
2. Territorios agrícolas	-	1.855,5	103,6	496,9	-	1.445,4	3.901,5	0,1
3. Bosques y áreas seminaturales	254.130,8	658.914,5	2.135.966	922.515,5	80.456,8	46.982,7	4.098.966,3	96,1
4. Áreas húmedas	11	1.276,1	57,4	39,4	0,1	77,3	1.461,2	0,03
5. Superficies de agua	2.748,6	1.889,8	11.560,3	3.916,1	1.213	-	21.327,7	0,5
6. Nubes	24.724,8	11.305,1	31.929,6	3.005,3	-	-	70.964,8	1,7
7. Sombras	22.224,6	13.218	32.948,2	3.063,7	-	-	71.454,6	1,7
TOTAL	303.839,7	688.459,1	2.212.584,1	933.037	81.669,9	48.505,4	4.268.095	100

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13 se sintetiza el área total, expresada en hectáreas, con su respectivo porcentaje por cobertura y año. Lo que confirma que la cobertura predominante en la zona de estudio es de Bosques y áreas seminaturales, sin embargo, con los datos presentados las fluctuaciones de área son irregulares lo que no permite llegar a una conclusión perdida o regeneración de los bosques; por su parte las nubes de igual manera presentaron una basta área ocupando el segundo lugar para cada año, sin embargo, en cobertura terrestre se presentó en segundo lugar las superficies de agua. En la Figura 14 se muestran de manera gráfica estos resultados.

Se hace preciso mencionar que, en el análisis de las coberturas clasificadas, se pudo observar que gran cantidad de zonas cubiertas de nubes fueron identificadas por el programa como áreas húmedas, así mismo los herbazales ubicados dentro de la cobertura de bosques fueron caracterizados como territorios artificializados, por lo que fue necesaria la reclasificación manual de los polígonos.

Tabla 13.

Áreas (ha) por cobertura para cada año analizado

Cobertura	2016		2019		2020	
	Área	%	Área	%	Área	%

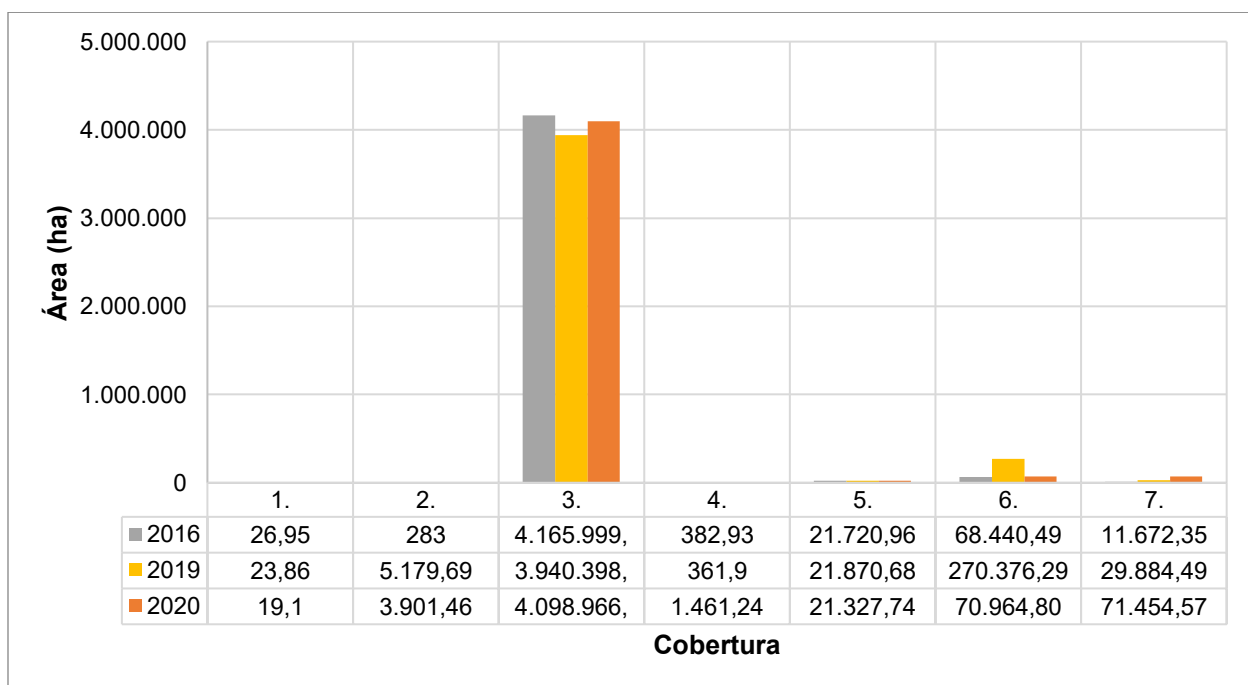
FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

1. Territorios artificializados	26,95	0,001	23,86	0,001	19,10	0,001
2. Territorios agrícolas	283	0,01	5.179,7	0,1	3.901,5	0,09
3. Bosques y áreas seminaturales	4.165.999,2	97,60	3.940.398,1	92,3	4.098.966,3	96
4. Áreas húmedas	382,9	0,01	362	0,01	1.461,2	0,03
5. Superficies de agua	21.724	0,51	21.870,7	0,5	21.327,7	0,50
6. Nubes	68.440,8	1,60	270.376,3	6,3	70.964,8	1,66
7. Sombras	11.672,4	0,27	29.884,5	0,7	71.454,6	1,67
TOTAL	4.268.095	100	4.268.095	100	4.268.095	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 14.

Variación del área total de las coberturas a través del tiempo



1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas, 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

3.3 Análisis multitemporal

3.3.1 Matriz de doble entrada

Concluida la clasificación supervisada, se traslaparon las diferentes categorías de cobertura por cada año y se determinaron los cambios producidos en estos periodos. Mediante la matriz de doble entrada, se permitió ver el cambio multitemporal de las coberturas. Estas matrices pueden ser observadas en la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16.

Del procedimiento anteriormente descrito, se pudo analizar que para el periodo 2016-2019 el cambio sobresaliente de cobertura presentado fue de bosques a nubes, lo que incidió en la pérdida de información de las coberturas terrestres (ver Figura 15 y Figura 16). Por su parte el mayor cambio de cobertura terrestre evidenciado fue de 4.960,05 hectáreas de bosque y áreas seminaturales a territorios agrícolas, lo que permite evidenciar avances de procesos de deforestación por causas antrópicas.

Tabla 14.

Matriz de doble entrada, análisis de cambio de cobertura años 2016-2019

		Cobertura 2019 (Ha)							Σ
		1	2	3	4	5	6	7	
Cobertura 2016 (Ha)	1	5	0	7	0	0	15	0	27
	2	0	181,3	101,7	0	0	0	0	283
	3	18,9	4.960,1	3.867.163,2	254,9	1.860,1	262.758,1	28.547,7	4.165.562,9
	4	0	0	190,2	168,5	24,2	0	0	382,9
	5	0	46,8	834,7	6,2	20.048,3	668,9	121,3	21.726,4
	6	0	0	62.561,5	0	7,8	4.767,3	1.103,9	68.440,5
	7	0	0,04	9.387,5	0	6,3	2.166,9	111,6	11.672,4
	Σ	23,9	5.188,2	3.940.245,8	429,6	21.946,8	270.376,3	29.884,5	4.268.095

1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas,

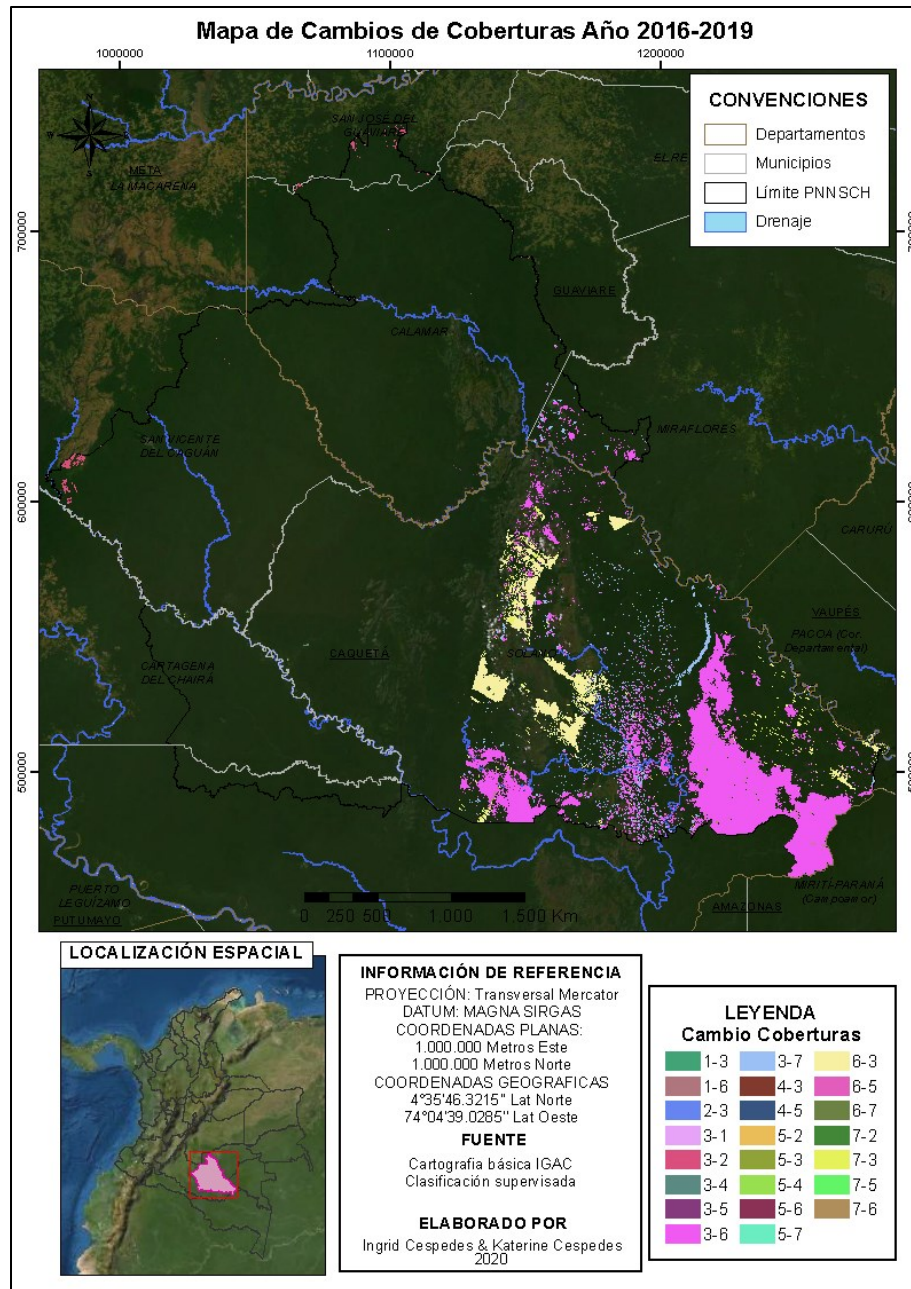
5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 15.

Mapa de cambio de coberturas años 2016-2019



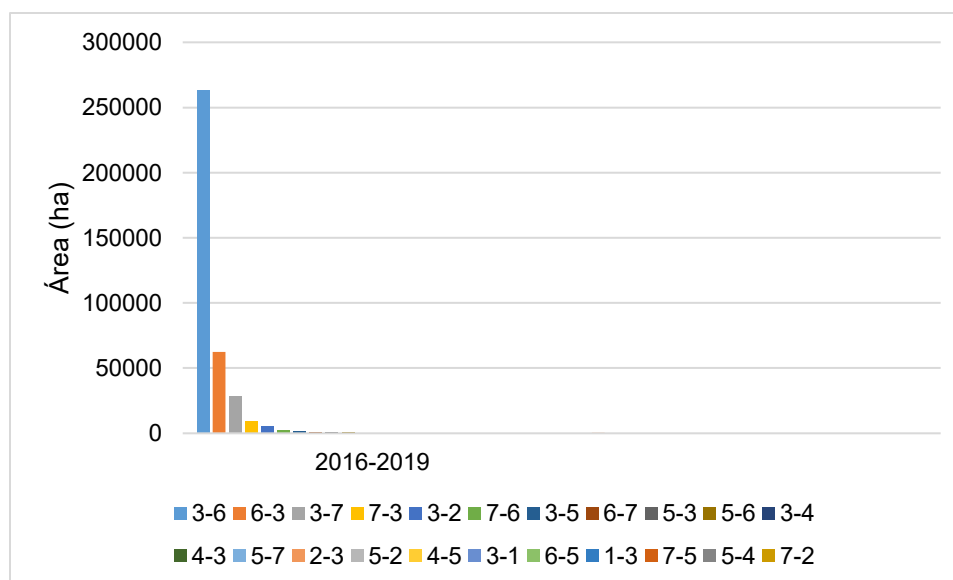
1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas, 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 16.

Cambio de coberturas en el periodo 2016-2019



1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas, 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

Para el periodo 2016-2020 el cambio principal de cobertura presentado que se puede observar en la Figura 17 y Figura 18 es de bosques a sombras, seguido del cambio de bosques a nubes; esto al igual que el anterior periodo incidió en la pérdida de información de las coberturas terrestres. Por su parte el mayor cambio de cobertura terrestre evidenciado fue de 3810,31 hectáreas de bosque y áreas seminaturales a territorios agrícolas, lo que permite evidenciar avances de procesos de deforestación por causas antrópicas.

Tabla 15.

Matriz de doble entrada, análisis de cambio de cobertura años 2016-2020

Cobertura 2016 (Ha)	Cobertura 2020 (Ha)							Σ
	1	2	3	4	5	6	7	
1	14,43	0	12,52	0	0	0	0	26,95
2	0	156,99	125,89	0,12	0	0	0	283,00
3	4,67	3.810,31	4.018.217,98	1.436,33	81,05	70.888,51	71.126,24	4.165.565,09
4	0	0	351,56	0	0	15,01	16,36	382,93
5	0	0	0	19,10	21.327,74	65,45	311,90	21.724,18
6	0	0	68.440,49	0	0	0	0	68.440,49
7	0	0	11.672,35	0	0	0	0	11.672,35
Σ	19,10	3.967,30	4.098.820,79	1.455,55	21.408,79	70.968,97	71.454,50	4.268.095

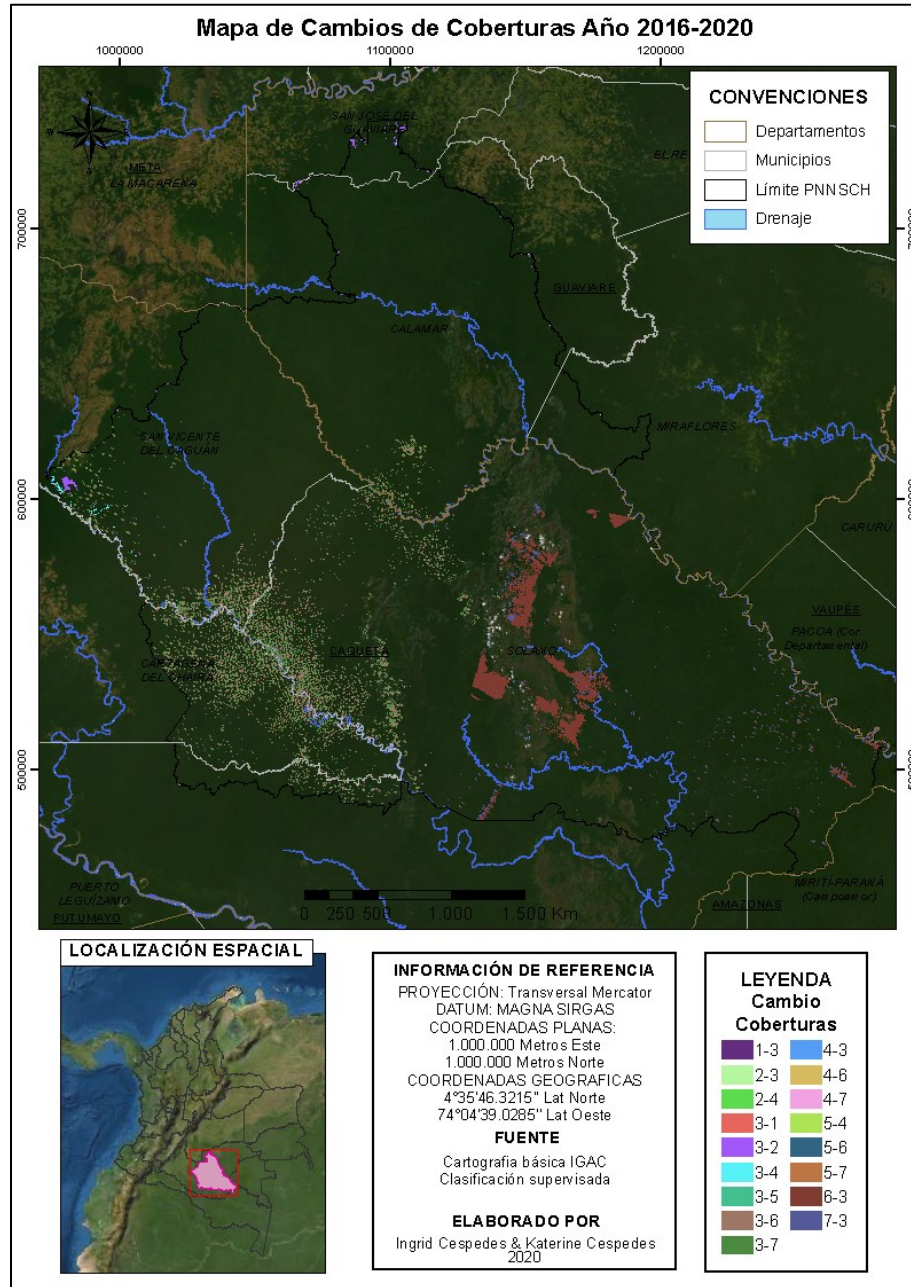
1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas, 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Fuente: Elaboración propia

Figura 17.

Mapa de cambios de coberturas año 2016-2020



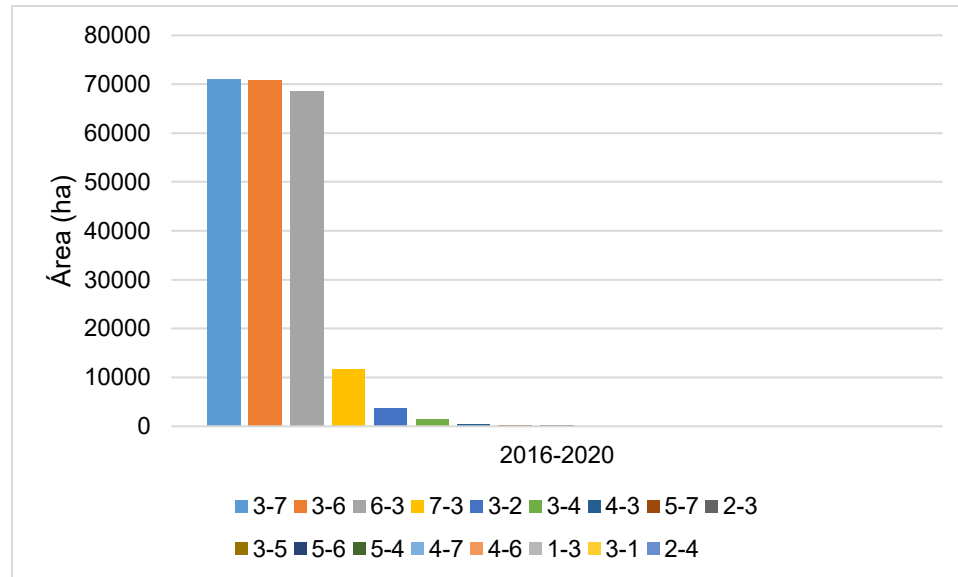
1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas, 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 18.

Cambio de coberturas en el periodo 2016-2020



1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas,
5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

Según la matriz de doble entrada para el periodo 2019-2020 que se puede observar en Tabla 16, el cambio principal de cobertura presentado es de nubes a bosque, seguido del cambio de bosques a sombras; esto al igual que los anteriores periodos incidió en la pérdida de información de las coberturas terrestres. Por su parte el mayor cambio de cobertura terrestre evidenciado fue de 2219,46 hectáreas de territorios agrícolas a bosque y áreas seminaturales, lo que permite concluir una regeneración de las áreas intervenidas antrópicas (ver Figura 19 y Figura 20).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tabla 16.

Matriz de doble entrada, análisis de cambio de cobertura años 2019-2020

		Cobertura 2020 (Ha)							Σ
		1	2	3	4	5	6	7	
Cobertura 2019 (Ha)	1	5,97	0	17,90	0	0	0	0	23,86
	2	0	2.513,57	2.219,46	1,13	46,80	156,19	243,69	5.180,85
	3	0,51	1.437,05	3.795.148,77	1.442,01	482,49	70.737,45	71.146	3.940.393,77
	4	0	0	292,71	0	0,46	25,58	43,14	361,90
	5	0	0	1.825,57	11,02	20.024,91	2,82	9,59	21.873,91
	6	12,63	9,79	269.684,66	0,27	668,94	0	0	270.376,29
	7	0	0	29.731,98	1,12	106,31	37,78	7,29	29.884,48
	Σ	19,10	3.960,41	4.098.921,06	1.455,55	21.329,91	70.959,82	71.449,71	4.268.095

1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas,

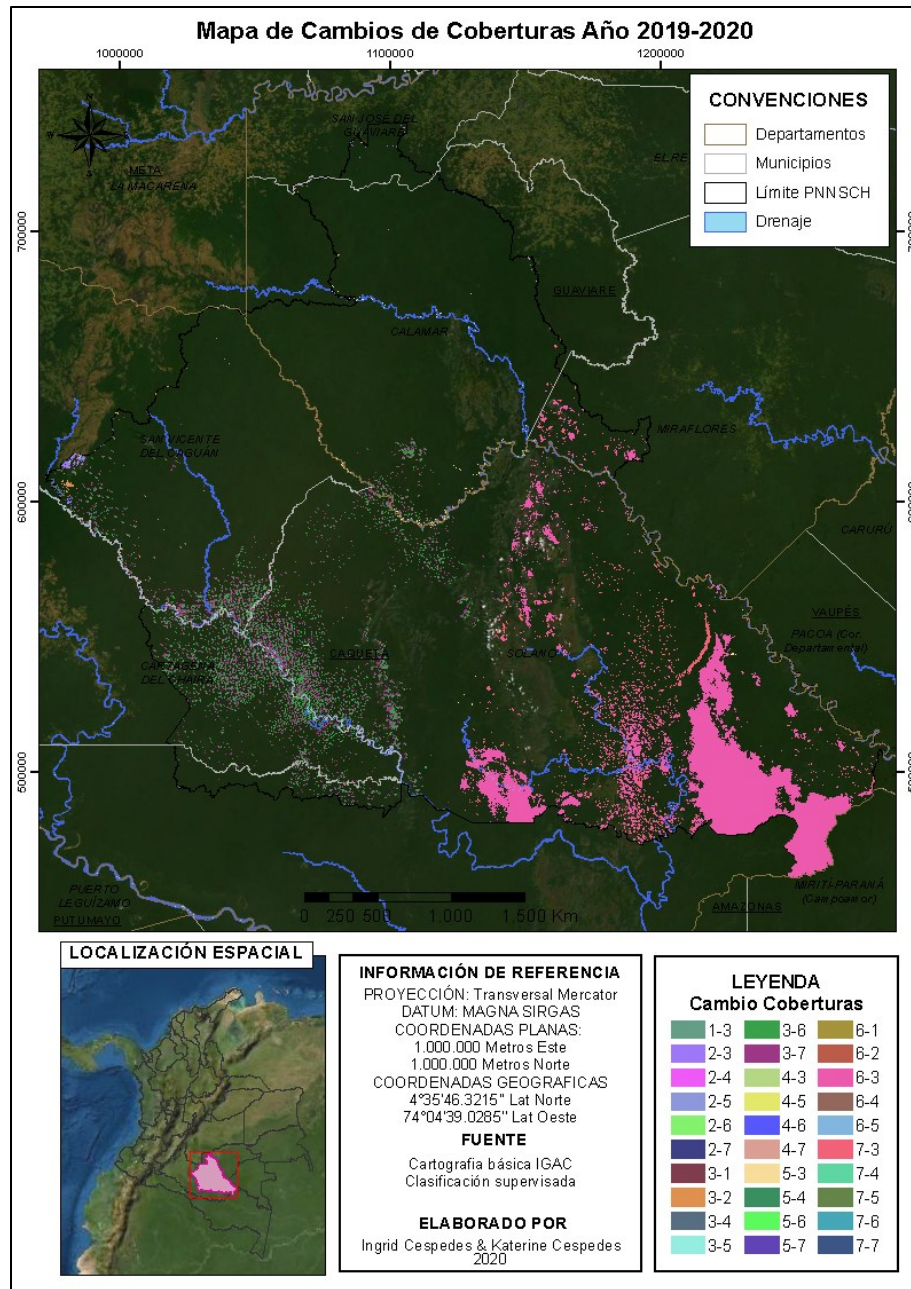
5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 19.

Mapa de cambios de coberturas años 2019-2020



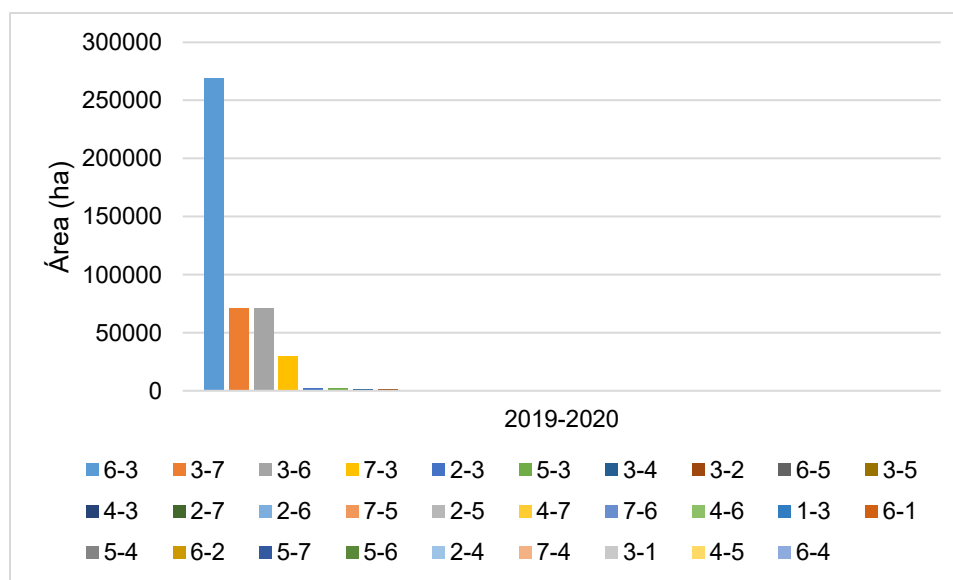
1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas,
 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Figura 20.

Cambio de coberturas en el periodo 2019-2020



1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas, 5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17 se presenta un consolidado de las matrices de doble entrada para los tres periodos analizados: 2016-2019, 2016-2020 y 2019-2020; incluyendo las áreas que no presentaron cambios, los cuales no fueron presentados en Figura 16, Figura 18 y Figura 20. Para los dos primeros periodos de tiempo los mayores cambios de cobertura fueron dados por la presencia de nubes y su respectiva sombra, lo que permite concluir que dichas coberturas inciden en la pérdida de captura de información de la cobertura terrestre. Por su parte los cambios de cobertura boscosa y áreas seminaturales a lo largo de los tres periodos, no permiten evidenciar procesos de deforestación e incidencia antrópica, debido a las fluctuaciones de datos de su cobertura, sin embargo, teniendo como referente la cobertura de territorios agrícolas para el año 2016, presento un gran aumento en sus extensiones. Paralelo a esto, los datos de áreas húmedas presentaron gran aumento, teniendo como referente el año 2016.

Tabla 17.

Análisis por área multitemporal

Tipo de cambio	2016-2019		2016-2020		2019-2020	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1-2	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
1-3	6,95	0,00%	12,52	0,00%	17,90	0,00%
1-4	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tipo de cambio	2016-2019		2016-2020		2019-2020	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1-5	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
1-6	14,99	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
1-7	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
2-1	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
2-3	101,72	0,00%	125,89	0,00%	2219,46	0,05%
2-4	0,00	0,00%	0,12	0,00%	1,13	0,00%
2-5	0,00	0,00%	0,00	0,00%	46,80	0,00%
2-6	0,00	0,00%	0,00	0,00%	156,19	0,00%
2-7	0,00	0,00%	0,00	0,00%	243,69	0,01%
3-1	18,85	0,00%	4,67	0,00%	0,51	0,00%
3-2	4960,05	0,12%	3810,31	0,09%	1437,05	0,03%
3-4	254,91	0,01%	1436,33	0,03%	1442,01	0,03%
3-5	1860,12	0,04%	81,05	0,00%	482,49	0,01%
3-6	262758,13	6,16%	70888,51	1,66%	70737,45	1,66%
3-7	28547,69	0,67%	71126,24	1,67%	71146,00	1,67%
4-1	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
4-2	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
4-3	190,20	0,00%	351,56	0,01%	292,71	0,01%
4-5	24,22	0,00%	0,00	0,00%	0,46	0,00%
4-6	0,00	0,00%	15,01	0,00%	25,58	0,00%
4-7	0,00	0,00%	16,36	0,00%	43,14	0,00%
5-1	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
5-2	46,80	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
5-3	834,74	0,02%	0,00	0,00%	1825,57	0,04%
5-4	6,22	0,00%	19,10	0,00%	11,02	0,00%
5-6	668,94	0,02%	65,45	0,00%	2,82	0,00%
5-7	121,32	0,00%	311,90	0,01%	9,59	0,00%
6-1	0,00	0,00%	0,00	0,00%	12,63	0,00%
6-2	0,00	0,00%	0,00	0,00%	9,79	0,00%
6-3	62561,48	1,47%	68440,49	1,60%	269684,66	6,32%
6-4	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,27	0,00%
6-5	7,79	0,00%	0,00	0,00%	668,94	0,02%
6-7	1103,92	0,03%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
7-1	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
7-2	0,04	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
7-3	9387,53	0,22%	11672,35	0,27%	29731,98	0,70%
7-4	0,00	0,00%	0,00	0,00%	1,12	0,00%
7-5	6,30	0,00%	0,00	0,00%	106,31	0,00%
7-6	2166,92	0,05%	0,00	0,00%	37,78	0,00%
No cambio	3892445,19	91,20%	4039717,14	94,65%	3817699,94	89,45%

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Tipo de cambio	2016-2019		2016-2020		2019-2020	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
TOTAL	4268095	100%	4268095	100%	4268095	100%

1: Territorios artificializados, 2: Territorios agrícolas, 3: Bosques y áreas seminaturales, 4: Áreas húmedas,

5: Superficies de agua, 6: Nubes, 7: Sombras

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Para cubrir la zona fueron necesarias 4 imágenes satelitales LANDSAT 8 por año, esto debido a la extensión del parque de 4.268.095 ha, las cuales se descargaron en el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), y con ellas se caracterizó la cobertura vegetal del Parque Nacional Natural Serranías de Chiribiquete

Las áreas efectivas de cambio se obtuvieron a partir del procesamiento digital de imágenes, para el caso del desarrollo de este proyecto se obtuvieron por medio de los Software QGIS, ERDAS y ArcGIS

Los procesos digitales de imagen, son una herramienta útil para el análisis e interpretación de coberturas a partir de las imágenes satelitales, debido a la calidad y mejora que se puede obtener con estos procesos, resaltando la corrección atmosférica y los filtros de paso alto y bajo.

Durante el proceso de clasificación supervisada ejecutado por medio de la herramienta Maximum Likelihood Classification de ArcGIS, se pudo distinguir gran cantidad de polígonos con identificación correcta de cobertura, sin embargo, se hizo necesario la reclasificación manual de coberturas debido a que la respuesta espectral de algunas coberturas era similar.

Según la clasificación de la cobertura del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, la cobertura que presenta mayor extensión es la de bosques y áreas seminaturales la cual presenta 4'165.568 ha para el año 2016, 3'940.3989 ha para el año 2019 y 4'098.966 ha para el 2020; lo que no permite evidenciar pérdida de esta cobertura por los cambios irregulares, sin una tendencia. Seguido a esto, se presenta gran extensión de coberturas de nubes y sombras, lo cual tiene como consecuencia la pérdida de información de las coberturas terrestres. Con respecto a las coberturas terrestres, se tiene que las superficies de agua, presentan gran extensión en comparación con las coberturas generadas por actividades antrópicas.

Referente a las áreas efectivas de cambio de la cobertura terrestre, estas fueron determinadas por el crecimiento de los territorios agrícolas en el periodo 2016-2019, sin embargo, no se puede determinar la incidencia de esta cobertura, debido a que, para el periodo 2019-2020 se presentó una reducción de esta cobertura.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

El factor de cambio de cobertura del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, fueron las actividades agrícolas, que se hacen evidentes en los límites del parque, la zona central de este tiende a la conservación de bosque.

Las coberturas analizadas e interpretadas a partir de la clasificación supervisada de las imágenes Landsat, dio como resultado que la cobertura terrestre que presento mayor pérdida de área fueron las superficies de agua, seguido de bosques y áreas seminaturales. Cabe destacar que la presencia de nubes y sombras altero la identificación de coberturas terrestre, lo que incidió en los datos obtenidos.

5. Recomendaciones

Se recomienda un análisis más detallado, mediante la clasificación de las coberturas de mayor nivel de la leyenda Corine Land Cover, para determinar los cambios sucesionales de la cobertura boscosa; así mismo, se hace necesario el uso de sensores remotos de mayor resolución espacial.

Tratándose de un parque declarado patrimonio mixto de la humanidad, es importante trabajar en su preservación de las áreas de Bosque y áreas seminaturales, puesto que son las áreas más afectadas por actividades antrópicas.

Socializar con los entes gubernamentales, comunidades y ciudadanía en general, enfocando la importancia de protección de las coberturas sensibles. Además, proponer visitas a las zonas de interés que han tenido un cambio desfavorable, y evaluar las actividades que están generando este daño, y así, generar acciones de preservación.

Se evidencio que las actividades antrópicas, se presentan en los límites del parque, por lo que se recomienda tener manejo en estas zonas mediante actividades de reforestación mediante la implementación de vegetación nativa, protegiendo las áreas de bosque con el fin de evitar la disminución de su área, puesto que es la principal cobertura para la conservación y preservación de la fauna y flora.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

6. Referencias Bibliográficas

- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Biodiversidad Mexicana. (2020, February 18). *Monitoreo de la cobertura de suelo*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo>
- Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., Defries, R. S., Díaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A. K., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H. M., Perrings, C., Reid, W. V., Sarukhan, J., Scholes, R. J., & Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(5), 1305–13012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106>
- Castro, R. (1999). *Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible*. [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/proyecto/gcp/rla/126/jpn/GUIA DEL USUARIO.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/proyecto/gcp/rla/126/jpn/GUIA%20DEL%20USUARIO.pdf)
- Clerici, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J. P., Forero-Medina, G., Ochoa, J., Pedraza, C., Schneider, L., Lora, C., Gómez, C., Linares, M., Hirashiki, C., & Biggs, D. (2020). Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports*, *10*(1), 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>
- Cortes-B, R., Franco-R, P., & Rangel-C, O. (1998). La flora vascular de la Sierra de Chiribiquete, Colombia. *Caldasia*, *20*(2), 103–141.
- ERDAS. (2020). *Función de convolución—Ayuda | ArcGIS for Desktop*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/convolution-function.htm>
- FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Principales resultados. In *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020* (p. 16). <https://doi.org/10.4060/ca8753es>
- Galindo, G., Espejo, O. J., Rubiano, J. C., Vergara, L. K., & Cabrera, E. (2014). PROTOCOLO DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA V.2. In *IDEAM*. <https://doi.org/10.4324/9781315780245>
- Gobierno de España. (2014). *Plan Nacional de Teledetección*. <https://pnt.ign.es/aplicaciones>
- González, M., García, H., Corzo, G., & Madriñán, S. (2012). ECOSISTEMAS TERRESTRES DE COLOMBIA Y EL MUNDO. *Biodiversidad y Desarrollo*, 69–113.
- Hernández, J., Ortiz, R., Walschburger, T., & Hurtado, A. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. In *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I*. (pp. 105–152).

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

- IDEAM. (2012). *Cobertura de la Tierra 100K Periodo 2010-2012*.
<http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- IDEAM. (2020). *Resultados de monitoreo deforestación 2019* (p. 16).
[presentacionbalancedeforestacion2019](#)
- IGAC. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras de los departamentos de Caqueta y Guaviare*.
- Jara, P. S. (2012). *LA TELEDETECCIÓN ENFOCADA A LA OBTENCIÓN DE MAPAS DIGITALES*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/779/1/ti839.pdf>
- Latorre, J. P., & Corredor, L. P. (2017). *Monitoreo Satelital de las Coberturas de la Tierra y Caracterización de Indicadores de Estado- Presión en los Parques Nacionales Naturales Continentales de Colombia (Periodo 2014-2015)*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Latorre, J. P., Gualdrón, L., & Corredor, L. P. (2017). *Monitoreo Satelital de las Coberturas de la Tierra y Caracterización de Indicadores de Estado- Presión en los Parques Nacionales Naturales Continentales de Colombia (Periodo 2016-2017)*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- MA. (2005). *ecosystems and human well-being: current state and trends. Millenium Ecosystem Assessment*.
- Marcano Martínez, J. E. (2020). *Biomás del Mundo*.
<https://jmarcano.com/ecologia/biomás/biomás-mundo/>
- MinAmbiente. (2018). *Propuesta de ampliación del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete*. 58. <https://fcds.org.co/site/wp-content/uploads/2018/07/DOCUMENTO-SINTESIS-CHIRIBIQUETE-VFinal.pdf>
- Montoya-Rojas, G. A. (2002). “ *Elaboration and Implementation of a Management Plan for Chiribiquete National Park* ” *LEVANTAMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS CARACTERIZACION Y CLASIFICACION DE SUELOS* 13. 1–15.
- Naranjo, L. G. (2017). Paisajes y Ecosistemas del Parque Natural Serranía de Chiribiquete. *Revista Colombia Amazónica*, 10, 47–58.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., ... Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Semana. (2018). *El tesoro de la Amazonía que los guardaparques no pueden cuidar*.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

- <https://www.semana.com/nacion/multimedia/chiribiquete-el-tesoro-de-la-amazonia-que-los-guardaparques-no-pueden-cuidar/654010>
- SIGMUR. (n.d.). *Páginas de SIG y Teledetección*. Retrieved July 27, 2020, from <https://www.um.es/geograf/sigmur/>
- SINCHI. (2002). *Portal de Datos Abiertos del SIAT-AC*. <https://datos.siatac.co/pages/ordenamiento-ambiental>
- SINCHI. (2018). *Cobertura de la tierra 2018*. <https://siatac.co:446/?toolsInIt=TOC>
- Sollund, R., Maldonado, A. M., & Rico, C. B. (2019). El acuerdo entre Noruega y Colombia para proteger los bosques tropicales y reducir el calentamiento global: ¿éxito o fracaso? *Revista Crítica Penal y Poder*, 16, 75–98.
- USGS. (2019). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook* (5th ed.). https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf
- Vargas C., G. (1999). *Indicadores Geológicos Y Geomorfológicos Asociados a Pinturas Rupestres Del Parque Nacional Natural Serranía De Chiribiquete*. October, 21. https://www.researchgate.net/publication/328266396_INDICADORES_GEOLOGICOS_Y_GEOMORFOLOGICOS_ASOCIADOS_A_PINTURAS_RUPESTRES_DEL_PARQUE_NACIONAL_NATURAL_SERRANIA_DE_CHIRIBIQUETE_GEOLOGIC_AND_GEOMORPHOLOGIC_SIGNER_RELATED_TO_RUPESTRIAN_PAINTING_FROM_PARQ
- Vázquez, F. (2013). Ciudades intermedias y sustentabilidad urbana en Paraguay. In *El desafío del desarrollo sustentable en América Latina*. http://www.cadep.org.py/2013/11/las-ciudades-intermedias-estudio-de-caso-sobre-tematica-de-desarrollo-sustentable/%0Ahttps://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=302fab42-4aec-6654-871c-bce1579b44fe&groupId=252038
- Calderón, J. E., Díaz, J. A., & Díaz, M. d. (2020). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 30-47.
- Echeverry, & Harper. (2020). *Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador)*. Obtenido de Recursos Naturales y Ambiente/no.58: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6337/Fragmentaci%c3%b3n%20y%20deforestaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

- El Espectador . (16 de 12 de 2017). *Chiribiquete, en la paz como en la guerra* . Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/chiribiquete-en-la-paz-como-en-la-guerra/>
- Eraso. (10 de 2011). *Deforestacion y cambio ne la cobertura del suelo en colombia: Dinamica espacial, Factores de cambio y modelamiento*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/3610/56723fae8cf999c22a0347fd2952ca435a4e.pdf>
- Escandón Calderón, J. O. (2018). *Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México*. Obtenido de Revista Mexicana De Ciencias Forestales, 9(46): <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>
- Esquivel, V. M. (2016). *Importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Conservación*. Obtenido de <http://gulfpprogram.ucsd.edu/blog/coastal-and-marine/importancia-de-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig-en-la-conservacion/>
- European Space Agency. (2020). *eduspace*. Obtenido de http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/index.html
- FAO. (2003). *LOS FACTORES DE LA DEFORESTACIÓN Y DE LA DEGRADACIÓN DE LOS BOSQUES*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/xii/ms12a-s.htm>
- Guerrero, & Moreno. (2015). *ESTUDIO MULTITEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y LA COBERTURA FORESTAL EN EL MUNICIPIO DE PUERTO RICO (META) Y SU PROYECCIÓN PARA EL AÑO 2020*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2561/1/GuerreroMachadoDanielFernando2015.pdf>
- Lambin, Geist, & Lepers. (2003). Dinámica del uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo en las regiones tropicales. *Revisión anual de Medio Ambiente y Recursos*, 205-241.
- Mehl, H., & Peinado, O. (29 de 7 de 2020). *Fundamentos del procesamiento digital de imágenes*. Obtenido de <https://docplayer.es/7230746-Fundamentos-del-procesamiento-digital-de-imagenes.html>
- Minambiente. (14 de 07 de 2020). *Parque Nacionales Naturales de Colombia* . Obtenido de Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-chiribiquete/>
- Mosquera. (2014). Drivers of the deforestation of the tropical wet forest of the northwestern Colombian. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo 2014*, 96-104.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

- Noticias ONU. (22 de 05 de 2020). *América Latina y el Caribe precisan salvaguardar con urgencia la biodiversidad de sus bosques.* Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2020/05/1474922>
- Parque Nacionales Naturales. (06 de 2018). *Parque Nacional Natural Sierra de la Macarena Plan de Manejo 2018 – 2023.* Obtenido de <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PM-Macarena-JULIO-27-de-2018.pdf>
- Rodriguez, J. (02 de 2012). *Dinamica de cambios de la cobertura vegetal (1975-2005).* Obtenido de <https://es.slideshare.net/jrcjra/dinamicadecambiosencoberturavegetal-1975-2005jrrr>
- Salcedo. (2014). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO DE ASENTAMIENTOS INFORMALES EN EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN DURÁN, PROVINCIA DEL GUAYAS. PERIODO 2003 - 2013*”. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7106>
- SALCEDO. (2014). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO DE ASENTAMIENTOS INFORMALES EN EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN DURÁN, PROVINCIA DEL GUAYAS. PERIODO 2003 - 2013*”. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7106>
- Tiria, F. L., Castillo, J. S., & Castillo, C. A. (2018). Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguizamo, Putumayo (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2): 286-300, 286-300.
- WWF. (2018). *Glosario ambiental: ¿Deforestación o degradación? ¿Reforestación o restauración? Resolvamos dudas.* Obtenido de <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=323725>
- Yepes Q., A. P. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Bogotá.* Obtenido de IDEAM: http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimación+nacional+y+subnacional_1
- Congedo Luca (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Arango Gutiérrez, M., Branch Bedoya, J., & Botero Fernández, V. (2005). Clasificación No Supervisada De Coberturas Vegetales Sobre Imágenes Digitales De Sensores Remotos: “Landsat-Etm+.” *Revista . Fac.Nal.Agr*, 58(1), 2611–2634.

FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL PNNSCH

Lencinas, J. D., & Siebert, A. (2009). *Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala Forest survey based on satellite imagery: spatial resolution and scale*. *Revista de Ciencias Forestales*, 17(2), 101–105.

SINCHI. (2019). *Metodología Estadísticas Monitoreo Cobertura*.