



TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y SU EFECTO EN LOS CAUDALES MÁXIMOS PARA LA CUENCA DEL RÍO GUAGUÍ EN EL MUNICIPIO DE BARBACOAS, NARIÑO.

ESTEFANÍA BASTIDAS GONZÁLEZ

LEIDY TATIANA NARANJO MORENO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÍCOS

BOGOTÁ D.C

2020

TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y SU EFECTO EN LOS CAUDALES MÁXIMOS PARA LA CUENCA DEL RÍO GUAGUÍ EN EL MUNICIPIO DE BARBACOAS, NARIÑO.

ESTEFANÍA BASTIDAS GONZÁLEZ

LEIDY TATIANA NARANJO MORENO

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Recursos Hídricos.

Docente

ANDRES CAMILO SALAZAR SÁNCHEZ
M.Sc. INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas.

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Dedicatoria

Inicialmente a Dios quien es el guía de mi camino y decisiones.

A mis padres Luis Antonio Bastidas y Martha González pues gracias a su apoyo cuento con una carrera y sigo escalando en mi vida profesional, demostrando mi fortaleza, mi sabiduría y mis intenciones de superarme cada día.

A mi compañera de tesis, quien es mi gran amiga, quien me encamino a profundizar en el área de recursos hídricos, siendo una persona importante para cumplir nuevas metas.

Estefanía Bastidas González

*Agradezco principalmente a Dios, quien renueva mis fuerzas
y mis intenciones diarias de aprender cada día*

*Agradezco a mis padres Natalia Moreno y Enrique Naranjo, quienes son participes
de cada logro y caída, apoyándome en cada decisión y cada aprendizaje que
decido tomar*

*A mi compañera de trabajo de grado, por permitirme aprender de ella y
acompañarme en mi formación personal y profesional.*

Tatiana Naranjo Moreno

Agradecimientos

A nuestros padres, pues nos ofrecieron la oportunidad de tener una educación superior, por enseñarnos a valorar cada esfuerzo y sacrificio para obtener un título, por sus enseñanzas y conocimientos, los cuales están cargados de amor y bendiciones.

Agradecemos a nuestros amigos quienes, con su consistencia, buen humor, nos apoyaron para lograr cumplir un sueño y una meta que nos une, por la paciencia y por ilustrarnos a lo largo de la especialización.

A nuestras familias, quienes colaboraron en brindarnos opiniones y palabras de aliento cuando más las necesitábamos, por confiar y demostrar con sonrisas que podíamos ser más de lo que soñábamos y pensábamos, por insistir en que podíamos, y brindarnos aquel apoyo y fortaleza para ser cada día mejores.

Gracias a Todos...

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción	9
2. Generalidades	10
2.1. Línea de Investigación	10
2.2. Planteamiento del Problema	10
2.2.1. Antecedentes del problema	11
2.2.2. Pregunta de investigación	12
2.2.3. Variables del problema	12
2.3. Justificación	13
3. Objetivos	15
3.1. Objetivo general	15
3.2. Objetivos específicos	15
4. Marcos de referencia	16
4.1. Marco conceptual.	16
4.2. Marco teórico.	19
4.2.1. Lluvia escorrentía.	19
4.2.2. Análisis multitemporal.	20
4.2.3. Cobertura Vegetal.	21
4.2.4. Usos del suelo.	21
4.2.5. Minería ilegal.	22
4.2.6. Softwares complementarios.	23
4.3. Marco jurídico	24
4.4. Marco geográfico	26
4.5. Marco demográfico	27
4.6. Estado del arte.	28
5. Metodología	31
5.1. Fases del trabajo de grado	31
5.1.1. Recolección de información pluviométrica.	32
5.1.2. Obtención de Modelo de elevación Digital (DEM)	32
5.1.3. Delimitación de la cuenca en estudio.	34
5.1.4. Caracterización morfométrica de la cuenca.	35
5.1.5. Análisis de datos.	36
5.1.6. Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia.	36

5.1.7. Número de curva (CN)	39	
5.1.8. Obtención de Caudales – Modelación HMS.	40	
5.2. Instrumentos o herramientas utilizadas	42	
5.3. Población y muestra	43	
5.4. Alcances y limitaciones	43	
6. Entrega y análisis de resultados e impactos		45
6.1. Delimitación de la cuenca.	45	
6.2. Parámetros morfométricos de la cuenca.	45	
6.2.1. Parámetros físicos.	45	
6.2.2. Parámetros de forma.	46	
6.2.2.4. Coeficiente de Compacidad.	48	
6.2.2.5. Índice de forma.	49	
6.3. Tiempos de concentración.	49	
6.4. Análisis de datos.	50	
6.5. Datos de precipitación máxima multianual.	51	
6.6. Obtención de curvas idf.	52	
6.7. Obtención del hietograma	54	
6.8. Obtención de número de curva	55	
6.9. Obtención caudales máximos – modelación hms	57	
6.9.1. Proyección de cambio de cobertura.	60	
6.9.2. Predicción de caudales máximos de la cuenca.	61	
7. Conclusiones y recomendaciones		62
8. BIBLIOGRAFÍA		64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo hidrológico.....	18
Figura 2. Fases de los datos para esquematizar un modelo Hec HMS.	24
Figura 3. Municipio de Barbacoas.....	27
Figura 4. Fases del trabajo de grado.....	31
Figura 5. Localización de estación Barbacoas.....	32
Figura 6. Polígono de interés y Modelos de elevación digital disponibles.....	33
Figura 7. Modelo de elevación Digital seleccionado.	33
Figura 8. Localización proyecto – región 3.....	36
Figura 9. Shape de coberturas del SIAC.....	40
Figura 10. Delimitación de la cuenca del río Guagui a partir de modelo DEM45	
Figura 11. Orden de drenaje Cuenca Río Guagui.....	46
Figura 12. Localización Estación Barbacoas.	51
Figura 13. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia estación Barbacoas.	53
Figura 14. Hietograma para periodo de retorno de 5 años.....	54
Figura 15. Hietograma para periodo de retorno de 100 años.....	54
Figura 16. Cambio de cobertura 2000-2002 a 2010.2012	56
Figura 17. Mapas de coberturas 2000-2002 y 2010-2012.	57
Figura 18. Proyección del cambio de cobertura Cuenca Río Guagui.	60
Figura 19. Proyección de caudales Río Guagui.	61

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 2-1. Producción aurífera en Colombia por departamentos año 2017.	13
Tabla 4-1. Coberturas de la Tierra en Colombia.....	16
Tabla 4-2. Decretos, leyes y resoluciones en Colombia relacionadas con el objeto de estudio.	25
Tabla 5-1. Salidas gráficas para delimitación de la cuenca.....	34
Tabla 5-2. Parámetros de regionalización Región pacífico,	37
Tabla 6-1. Características morfométricas de la cuenca Río Guagui.	45
Tabla 7. Datos longitudes tramos contribuyentes.	47
Tabla 8. Densidad de drenaje (Dd)	48
Tabla 6-4. Tipo de canal según índice de sinuosidad.	48
Tabla 6-5. Clasificación según coeficiente de compacidad.....	49
Tabla 11. Rangos aproximados del Factor de Forma	49
Tabla 6-7. Tiempo de concentración por diferentes metodologías.	50
Tabla 6-8. Información principal estación Barbacoas.	51
Tabla 6-9. Datos de precipitación máxima en 24 horas.	52
Tabla 6-10. Datos de intensidad Estación Barbacoas.....	53
Tabla 6-11. Número de curva cuenca de Río Guagui periodo 2000-2002.	55
Tabla 6-12. Número de curva cuenca de Río Guagui periodo 2010-2012.	55
Tabla 6-13. Cálculo Caudal Máximo CN 2000-2002 – Modelación HMS.	58
Tabla 6-14. Cálculo Caudal Máximo CN 2010-2012 – Modelación HMS	59

1. INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal cumple un papel importante para los ecosistema hídricos, puesto que, regulan la escorrentía de las cuencas y por consiguiente los caudales de las corrientes que la componen, a su vez, las capas de vegetación protegen los suelos ante los procesos de erosión generados por los eventos de precipitación, contribuye a la conservación de la humedad en el suelo y por ende a los nutrientes del mismo, preservando el crecimiento de material vegetal para la regulación del ciclo hidrológico.

En los últimos años el crecimiento de las actividades económicas, especialmente en la minería ha generado un impacto significativo en las cuencas del país, principalmente en aquellos departamentos con grandes riquezas minerales, aumentando la tasa de deforestación en los sectores directamente intervenidos.

En Colombia el departamento de Nariño se encuentra entre los cuatro departamentos con mayor tasa de producción aurífera, siendo Barbacoas uno de los principales municipios que encabezan el reporte del departamento dada su riqueza mineral. Sin embargo, el municipio también se destaca por los procesos de extracción minera ilegal y por la amenaza de tala forestal, que ha traído como consecuencia pérdida en la fertilidad y productividad en los suelos, generación de gran cantidad de sedimentos, contaminación en las fuentes de agua y una pérdida de la capacidad de los ecosistemas para regular el ciclo hidrológico, lo que a su vez genera avenidas torrenciales en épocas de lluvia y una disminución drástica de caudales en épocas secas. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016).

Con lo anterior, en el presente estudio se busca identificar la variación en la cobertura vegetal del Río Guaguí, en el municipio de Barbacoas, Nariño, a través de un análisis multitemporal, con el fin de conocer su efecto en los caudales máximos de la cuenca. De este modo se busca proyectar a partir de los datos evaluados una tendencia en los caudales pico, para así, suministrar información relevante al municipio, que permita establecer medidas que controlen los procesos de erosión y deforestación que afectan directamente a la comunidad.

2. GENERALIDADES

2.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Considerando las líneas de investigación de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Católica de Colombia, el proyecto a desarrollar se enfoca en la **GESTIÓN Y TECNOLOGÍA PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LAS COMUNIDADES**, teniendo como enfoque principal el saneamiento de comunidades.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las alteraciones del ciclo hidrológico están directamente relacionadas con la cobertura vegetal presente en las cuencas, dado que, la presencia de vegetación permite interceptar parte de la precipitación total, de manera que la escorrentía efectiva que cae sobre el suelo resulta ser menor. A su vez, la capa vegetal garantiza la retención de agua, favoreciendo la infiltración, regulando el nivel freático y en algunos casos permitiendo la recarga de acuíferos. Las coberturas juegan un papel importante debido que reducen las pérdidas por escorrentía directa y además retrasan la evacuación instantánea de las lluvias, por lo tanto, una cuenca con baja cubierta de vegetación implica caudales picos más marcados que en cuencas cuya cubierta de vegetación sea media o alta.

La presencia de vegetación protege las cuencas reduciendo los procesos erosivos en el suelo, pues disipa la energía con que caen las gotas de lluvia, lo contrario ocurre cuando no hay presencia de recubrimiento vegetal y las gotas de lluvia impactan directamente sobre el suelo. Esta última condición es recurrente en zonas donde se presentan actividades económicas tales como deforestación, minería, ganadería extensiva, evidenciando que, las diferentes intervenciones antrópicas producen además efectos negativos sobre la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. (Villegas, 2004)

Las principales actividades económicas de Colombia son la industria petrolera, la minería, el turismo y la agricultura, entre otras, con lo anterior se resalta que, uno de los principales motores económicos del país es la minería ya que tiene una enorme riqueza, no solo en oro, carbón o esmeraldas, sino también, en cobre, níquel, mineral de hierro, etc. Por su parte, Colombia resulta ser un país de gran atractivo para los inversionistas mineros debido a la alta información de cartografía geológica del subsuelo que posee el país, teniendo en cuenta, que aproximadamente un 70% del territorio cuenca con dicha información. (Vega, 2017)

Los departamentos más atractivos para la inversión minera en el país son: Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Cundinamarca,

Antioquia, Boyacá, Santander y Norte de Santander, los cuales contienen importantes yacimientos de cobre, oro y carbón. En el departamento de Nariño uno de los municipios en donde se presenta minería es Barbacoas, destacándose por la actividad económica aurífera, de acuerdo a esto, los afluentes que hacen parte del municipio se han visto afectados principalmente por erosión, degradación y en algunos casos la desertificación de los suelos, asociados a la deforestación, a la minería ilegal y a las inadecuadas prácticas que se ejecutan para los procesos de extracción, lo que trae consigo la pérdida de fertilidad y productividad de los suelos, generando de esta manera poca capacidad de infiltración y almacenamiento de agua y a su vez, la generación de grandes cantidades de sedimentos que van a los cauces de agua. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016)

Es por ello que el presente proyecto busca desarrollar el estudio sobre la cuenca del Río Guaguí, en el municipio de Barbacoas, Nariño, verificando los cambios en la cobertura vegetal a consecuencia, en gran parte, por actividades de minería ilegal, y su afectación en la generación de caudales máximos, adicionalmente, se busca aportar datos importantes futuros del comportamiento del recurso hídrico en la zona, para que de esta manera se tomen medidas de las consecuencias que abarca continuar con los procesos inadecuados que actualmente afronta el municipio.

2.2.1. Antecedentes del problema

En Colombia se han desarrollado diversos estudios con el fin de analizar la importancia de la cobertura vegetal en las cuencas del país, dado a que estas protegen, controlan y regulan el recurso hídrico, es por ello que a lo largo del tiempo se han realizado diferentes estudios con el fin de determinar el cambio en las cuencas debido a las actividades mineras, agropecuarias, explotación forestal, entre otras, y de esta manera conocer la afectación directa sobre el caudal y las medidas a adoptar para control y mitigación de la pérdida de bosques, humedales, etc.

Colombia se considera un país privilegiado gracias a la formación geológica del territorio, en el cinturón de la cordillera de Los Andes, lo que permite variados ambientes geológicos. De este modo se presenta una tendencia altamente favorable para prospectos y depósitos metálicos especialmente de oro y cobre. De este modo, para el año 2017 Colombia ocupa el 5to lugar como productor de oro a nivel de Latinoamérica, con una producción de 42.7 Toneladas. Por otra parte, Colombia ocupa el 18vo puesto como productor de oro del mundo. Por su parte, la Agencia Nacional de Minería reporta que, en el departamento de Nariño, para el año 2017, la producción es de alrededor de 85.787 Oz Troy, lo que equivale a 2.66 Toneladas. (Mineria, 2018)

De acuerdo con la revisión bibliográfica, no se encontraron documentos respecto a

estudios relacionados con la deforestación presentada en el municipio y sus efectos del comportamiento hidrológico de la cuenca. Sin embargo, se encontró que parte de la producción minera en Nariño, proviene del municipio de Barbacoas, en donde las problemáticas ambientales se han visto identificadas por el crecimiento en los sectores agropecuario y minero, desarrollados de manera inadecuada, este tipo de actividades económicas han afectado en gran medida la disponibilidad del recurso debido a la contaminación generada por la minería ilegal y el derrame de hidrocarburos. El concejo municipal de Barbacoas identificó una degradación significativa en los bosques debido al aprovechamiento ilegal de madera, lo cual altera el sistema forestal y por consiguiente afecta la cobertura vegetal en el municipio, dado a esto y a las actividades mineras ilegales los problemas de erosión y degradación han aumentado a tal punto que los cauces de agua se han visto afectados directamente por la gran cantidad de sedimentos, produciendo un desbalance, debido a la pérdida de la capacidad de los ecosistemas para la regulación del ciclo hidrológico, generando a su vez avenidas torrenciales en época de lluvias, y la disminución drástica de caudales en épocas secas. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016).

Otros estudios relacionados con el objeto del proyecto se han desarrollado en la cuenca del río Sardinata en el departamento de Norte de Santander, (Hernandez & Salamanca, 2019), y en la cuenca de la Quebrada Granadillo ubicada en el departamento de Cundinamarca, (Bernal & Prado, 2015). Dichos estudios han realizado un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico, estos han sido claves para el análisis de problemáticas respecto a deforestación, cultivos ilícitos, erosión y sequias en dos zonas importantes del país.

2.2.2. Pregunta de investigación

¿Cuál es la influencia del cambio de la cobertura vegetal en la cuenca del Río Guaguí y la generación de caudales máximos en la misma?

2.2.3. Variables del problema

Algunas de las unidades a estudiar que fueron identificadas en el presente proyecto corresponden a variables inciertas como lo es el cambio climático (precipitación, humedad, radiación solar, temperatura etc), el cual afecta directamente la cobertura vegetal, y por ende la variación en los caudales de escorrentía de la cuenca.

A partir del cambio en las variables identificadas se determina que estas surgen debido a la intervención del hombre, por cuanto, a nivel económico, ciertas zonas se vuelven más atractiva dadas las oportunidades laborales y la tasa de producción que se puedan dar en estas (minería, ganadería, agricultura, entre otras).

Para el objeto de estudio una de las principales actividades económicas del municipio de Barbacoas, Nariño corresponde a la minería aurífera, en donde algunos grupos aprovechan de manera inadecuada ese tipo de recursos, fomentando procesos ilegales, con implicaciones ambientales negativas, ya que en general en el municipio hay una débil implementación de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Por otra parte, la tala indiscriminada de bosques ha generado un alto impacto en la cuenca del Río Guaguí, ya que, de acuerdo con el Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC), las áreas de bosques de la cuenca de estudio se han reducido de manera significativa debido al aprovechamiento ilegal de madera, que se ha convertido en una práctica frecuente en el municipio, causando así, más efectos negativos frente a los ya existentes.

Según el Plan de Desarrollo del Municipio de Barbacoa, el cambio climático ha generado fuertes impactos debido a fenómenos del Niño y de la Niña en donde se evidencian cambios exagerados en la temperatura, causando la pérdida en el patrimonio ecológico y en las cosechas, este factor modifica de manera sustancial la cobertura vegetal existente en el sector. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016)

Por su parte, los planes de gestión para la reforestación de las zonas afectadas por minería ilegal pueden contribuir a la recuperación de las áreas más afectadas por dicha actividad, pues el municipio debe hacer la inversión territorial con el fin atender problemática sobre el uso de suelo, previniendo de esta manera el deterioro de la cuenca del Río Guaguí.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Colombia ocupa el quinto lugar como productor de oro en Latinoamérica, y el 18avo a nivel mundial, generando aproximadamente 42.7 toneladas de oro, la mayor parte de producción de oro proviene de depósitos encontrados desde el siglo XIX, dichos depósitos están distribuidos en 13 departamentos los cuales son potenciales para la explotación minera aurífera (Minería, 2018), tal y como se muestra en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Producción aurífera en Colombia por departamentos año 2017.

DEPARTAMENTO	ORO (Oz Troy)
ANTIOQUIA	634.655
BOLIVAR	137.437
CALDAS	77.803
CAUCA	78.557

DEPARTAMENTO	ORO (Oz Troy)
CHOCÓ	293.949
CÓRDOBA	21.957
HUILA	5.605
NARIÑO	85.787
PUTUMAYO	1.188
RISARALDA	6.592
SANTANDER	2.494
TOLIMA	26.05
VALLE DEL CAUCA	832
TOTAL	1'372.907
TOTAL	42.7 Ton

Fuente: Agencia Nacional de Minería.

Se aprecia en la tabla anterior, que Nariño es uno de los principales departamentos productores de oro, ocupando el cuarto a nivel nacional. En este departamento se destaca el municipio de Barbacoas ya que caracteriza por ser una zona de actividad minera con un gran potencial, pues los recursos presentan condiciones geológicas ideales para la exploración y producción de minerales.

Para la explotación de los recursos auríferos existen 189 títulos mineros vigentes para el departamento de Nariño (Agencia Nacional de Minería, 2017), sin embargo, en el Municipio de Barbacoas existe un alto porcentaje de minas que no cuentan con la licencia ambiental ni los correspondientes títulos. Estas actividades generan impactos negativos, ya que se aplican tecnologías no apropiadas, generando deterioro en el medio ambiente y alteraciones en la cobertura vegetal, de este modo los caudales han variado generando fuertes sequías y a su vez crecientes súbitas dependiendo de la temporada del año, esto producto de la alteración de la cobertura vegetal frente al ciclo hidrológico.

Con lo anterior, en el presente documento se pretende determinar la influencia del cambio de cobertura en la generación de caudales máximos en la cuenca del Río Guaguí, esto con el fin de proyectar condiciones hidrológicas a futuro y aportar así información que sustente medidas de corrección y gestión del riesgo del municipio.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Identificar la variación en la cobertura vegetal a través de un análisis multitemporal y su efecto en los caudales máximos para la cuenca del Río Guaguí, en el municipio de Barbacoas, Nariño

3.2. Objetivos específicos

- Determinar el cambio en la cobertura de la cuenca del Río Guaguí, a través del análisis de la información cartográfica disponible y/o del procesamiento de imágenes satelitales.
- Realizar la caracterización morfométrica para la cuenca en estudio, identificando parámetros que permitan inferir su respuesta ante eventos de precipitación.
- Calcular los caudales máximos de la cuenca del Río Guaguí, para diferentes periodos de retorno, a través de un modelo lluvia escorrentía.
- Analizar el cambio en los caudales obtenidos a través de la modelación a causa del cambio en la cobertura vegetal de la cuenca.
- Evaluar el cambio en la cobertura de la cuenca, con el fin de establecer una proyección del caudal máximo a diferentes periodos de retorno

4. MARCOS DE REFERENCIA

4.1. MARCO CONCEPTUAL.

Una cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, que a su vez es drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple. De este modo las cuencas están delimitadas en función de los puntos topográficos más altos, y dentro de estos se encuentran los cauces y las laderas que se conforman por vegetación, superficie y suelo.

Con el paso de los años, es evidente que, el comportamiento hidrológico en las cuencas se ha visto afectado, no solo por las condiciones del cambio climático, sino además por alteraciones en las coberturas vegetales. Dichas coberturas pueden ser definidas como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, en este también se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos, cuerpos de agua y otras superficies como afloramientos rocosos.

De acuerdo con lo anterior, es importante anotar que existe una diferencia entre la cobertura y el uso del suelo. Si bien la primera corresponde a la cobertura biofísica que se aprecia en la superficie de la tierra, el uso de suelo implica la utilidad que le da el ser humano a dicha cobertura, ya sea por sus actividades humanas o económicas. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2012)

Según el mapa de coberturas y usos de las tierras y los mares en Colombia del IGAC (2012) el área continental del país se encuentra en su gran mayoría cubierta por bosques, en un 53% del área total, seguido por los territorios ganaderos y agrícola con un 31% y un 5% correspondientemente. En la siguiente tabla se presentan las coberturas de la tierra en Colombia. (Agricultura, 2018).

Tabla 4-1. Coberturas de la Tierra en Colombia

CATEGORIA	AREA CONTINENTAL (Ha)	% AREA CONTINENTAL
Zonas Urbanas y suburbanas	416.847	0,37 %
Territorios agrícolas	5'315.705	4,66 %
Territorios ganaderos	34'898.456	30,57%
Bosques	60'703.476	53,17 %
Bosques y áreas semi-naturales	5'064.191	4,44 %
Areas Húmedas	1'376.513	1,21 %
Superficie de agua	1'820.574	1,59 %

CATEGORIA	AREA CONTINENTAL (Ha)	% AREA CONTINENTAL
Otras coberturas (afloramientos rocosos, glaciares y otros)	1'135.045	0,99 %
Nubes	3'443.993	3,02 %
TOTAL	114'174.800	100%

Fuente: propia.

A pesar de que la mayor parte del área continental está cubierta por bosques, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) publicó que para el año 2017 se produjo un aumento del 23% de superficie deforestada a nivel nacional respecto a la publicada para el año 2016. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018).

Cabe aclarar que, la deforestación implica una pérdida permanente de la cubierta de bosque e implica la transformación en otro uso de tierra. La deforestación es atribuida a diferentes actividades, con fines económicos en su mayoría, entre estas se encuentra las intensas actividades agropecuarias, la explotación de madera, instalación de cultivos o incluso para actividades de narcotráfico y minería, entre otras. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2003)

El presente estudio realiza su enfoque en los cambios de cobertura generados por actividades mineras, teniendo en cuenta que esta es una de las principales actividades económicas en el Municipio de Barbacoas - Nariño.

En este orden, la minería se define como una actividad que busca descubrir y explotar yacimientos minerales, a su vez se relaciona con trabajos subterráneos que tiene como objetivo el tratamiento de una roca asociada. Este tipo de actividades se desarrollan a cielo abierto, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. Bajo esta serie de actividades se busca la obtención selectiva de materiales y otros minerales provenientes de la corteza terrestre. (Ministerio de Minas y Energía, 2003)

Si bien la minería puede ser vista como una actividad económica, esta se ha convertido en un agravante en la deforestación para el municipio de Barbacoas debido a actividades de minería ilegal, la cual se define como la actividad que se realiza en espacios prohibidos como las riberas de los ríos, lagunas, cabeceras de cuenca y las zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas. Este tipo de actividad es informal y se compone de aquellos que no han iniciado un proceso de formalización según lo establecido por el estado, es decir, que no se encuentra inscrito en el Registro Minero Nacional. (Ministerio de Minas y Energía, 2003)

Con lo anterior, se presenta una afectación importante en el ciclo hidrológico, el cual consiste en una sucesión periódica que atraviesa el agua tanto en la atmosfera como en la superficie terrestre. Así este ciclo inicia en la evaporación de los cauces, los cuales posteriormente se condensan, formando así las nubes que posteriormente se precipitan y regresan a los cuerpos de agua. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) Los conceptos anteriores se describen a continuación:

Figura 1. Ciclo hidrológico



- Evaporación: Se define como el proceso físico en el cual el agua se transforma de estado líquido a estado gaseoso es generada por factores como la radiación solar, la presión de vapor y la presión atmosférica. Este proceso se presenta en superficies de agua como ríos, lagos, mares, entre otros. (Gutiérrez, 2016).
- Condensación: En este proceso se genera un cambio en el estado físico de una sustancia pasando de estado gaseoso a estado líquido. Este proceso se genera cuando el vapor de agua en el aire aumenta formando las nubes. (Hernandez & Salamanca, 2019).
- Precipitación: Se llaman precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida, esta se genera gracias a un cambio de temperatura o de presión. En el ciclo hidrológico este proceso es el único proceso que ofrece entradas al sistema. (Bernal & Prado, 2015).
- Infiltración: Se presenta cuando el flujo de agua procedente de la atmosfera penetra hacia el interior de la tierra a través del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)

- **Escorrentía:** Se define como la cantidad de agua producto de la precipitación que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando esto sucede los cauces de agua se surten incrementando así su nivel. (Gaspari, Senisterra, & Marlats , 2006)

Los métodos para estimar la escorrentía a partir de la precipitación tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca todas aquellas pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la intercepción y el almacenamiento superficial. Estas pérdidas varían directamente con la cobertura de la cuenca. De manera que, en el presente estudio se evaluará dicha escorrentía en función de los cambios que ha sufrido a cobertura de la cuenca del Río Guaguí.

Se concluye que, en general el efecto de la deforestación se refleja en una reducción de los caudales medios y un aumento en los caudales extremos con los consecuentes efectos en inundaciones y sequías más fuertes y frecuentes. (Poveda & Mesa, 1995)

Así, las inundaciones se presentan bajo precipitaciones intensas que hacen que los ríos o lagos aumenten su nivel de manera tal que superan su sección hidráulica y se desbordan. Por lo contrario, las sequias se presentan bajo ausencia de lluvia durante tiempos prolongados. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)

Estimar la variación en la escorrentía de la cuenca permite predecir, a partir de los datos estudiados, la tendencia en el comportamiento de los caudales pico para así suministrar información relevante para el municipio y sus medidas de mitigación tempranas.

4.2. MARCO TEÓRICO.

4.2.1. Lluvia escorrentía.

Para modelar el flujo en una cuenca uno de los datos más relevantes que se necesita conocer es el caudal que discurre por la misma. Dicho caudal depende directamente de la precipitación que se da en la cuenca. En general, es más sencillo disponer de registros de lluvia para una zona, que de aforos de caudales para cada una de las cuencas que la componen. Obtener los datos de precipitación de una zona es tarea fácil debido a que la red pluviométrica de Colombia es amplia, se resalta que es más común y fiable contar con datos de precipitaciones que de caudales, es por ello por lo que se utilizan modelos de transformación lluvia-escorrentía pues permiten estimar el caudal generado a partir de los datos de precipitación.

Para calcular esta transformación existen modelos hidrológicos que aproximan el

hidrograma de una cuenca a partir de la precipitación en la zona y los datos físicos de la cuenca: geometría (pendiente), tipo de suelo (infiltración), usos del suelo, para ello se necesita definir la precipitación de la zona y esto abarca dos aspectos: la altura total de la precipitación medida en milímetros (mm) y la forma en la que esta se distribuye a lo largo del tiempo. Estos dos aspectos quedan definidos mediante un hietograma, con esto debe emplear la información proporcionada por las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para diferentes periodos de retorno.

A partir de los datos anteriores, y como se ha comentado anteriormente, para estimar la transformación lluvia-escorrentía existen diferentes modelos hidrológicos que aproximan el hidrograma de caudales de una cuenca a partir de la precipitación en la zona y de datos físicos de la misma. Uno de estos modelos es el HEC-HMS programa de uso libre desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del USACE. Se trata de un modelo hidrológico que calcula el hidrograma de una cuenca a partir de datos físicos y de precipitación de esta. (Armas, 2008).

4.2.2. Análisis multitemporal.

Diferentes estudios se han desarrollado a lo largo del tiempo con el fin de analizar por medio de información cartografía, mapas geológicos, imágenes satelitales y fotografías aéreas de distintos periodos de tiempo, el cambio en la cobertura vegetal en las cuencas hidrográficas del país, a través de un análisis multitemporal el cual permite identificar la variación en la vegetación a consecuencia de procesos asociados por minería, ganadería extensiva, deforestación, reforestación, entre otras.

El análisis multitemporal que se realizó para la cuenca del Río Sardinata en Santander, permitió conocer el cambio en las coberturas vegetales de la cuenca entre los años 2000 y 2011, realizando un procesamiento de datos para así determinar la influencia en la generación de los caudales picos de la cuenca, dicho análisis fue realizado mediante información cartográfica existente la cual permitió establecer que el principal efecto asociado a los cambios es debido a la deforestación y al incremento de cultivos ilícitos. (Hernandez & Salamanca, 2019).

Por otra parte, el análisis multitemporal realizado al Río Granadillo en el municipio de Cundinamarca se realizó por medio de la interpretación de fotografías aéreas, planchas cartográficas y mapas de suelos, de esta manera definieron el cambio en las coberturas vegetales de la cuenca para los años 1993 y 2009 debido a los procesos de reforestación y la proximidad al embalse de Sisga, generando de esta manera cambios positivos por el incremento de bosques. (Bernal & Prado, 2015).

Existen diferentes estudios que demuestran que el análisis multitemporal permite conocer de manera eficiente el cambio en las coberturas vegetales a lo largo del tiempo en las cuencas, y determinar los efectos que han trascendido de acuerdo a

los usos del suelo que se dan en estas, para el objeto de este proyecto este análisis juega un papel importante, dado a que se conocerá de manera específica las afectaciones en el caudal de acuerdo a los procesos socio económicos que se han desarrollado en la cuenca del Río Guaguí generando así cambios significativos en las coberturas de la misma.

4.2.3. Cobertura Vegetal.

Se le llama cobertura vegetal a la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, se tienen diferentes tipos, las coberturas vegetales naturales (bosques naturales) y las inducidas que son resultado de la acción antrópica (cultivos). Las coberturas de la tierra proporcionan información importante para los procesos nacionales tales como mapas de ecosistemas, ordenación de cuencas y del territorio, a su vez permite hacer seguimiento a los problemas asociados con la deforestación de los bosques y los inventarios forestales. (IDEAM, 2010)

Un estudio realizado para el Humedal Tibabuyes determina la importancia de la definición de diversas unidades de paisaje en el humedal, permitiendo identificar las diferencias existentes entre cada uno de ellos, partiendo del principio que hay una estrecha relación entre los suelos, la cobertura vegetal y las condiciones hidrológica (Gutiérrez, 2016).

Las coberturas vegetales cumplen un papel importante para la preservación de las cuencas hidrográficas en el país, dado a que previene la erosión, preservación de los ecosistemas y en el recurso hídrico, sin embargo, las actividades humanas han intervenido de manera inadecuada causando de esta manera consecuencias drásticas en la vegetación y a su vez alteraciones en el ciclo hidrológico, es por ello que para mantener la preservación de los sistemas de agua los bosques juegan un papel crucial pues con esto se garantiza que los suelos mantengan un equilibrio, reduciendo las consecuencias de caudales altos en épocas de lluvia y caudales bajos en épocas de sequía.

4.2.4. Usos del suelo.

En Colombia hay una gran diversidad de suelos de los cuales se destacan suelos incipientes, poco evolucionados y suelos muy evolucionados los cuales son llamativos para actividades agrícolas principalmente. En Colombia los suelos más degradados por erosión, sellamiento de suelos, contaminación y pérdida de materia orgánica, la salinización, la compactación y la desertificación afectan principalmente a las regiones del Caribe, Andina, Orinoquia y parte de la región amazónica. (SIAC, 2012)

Entre las causas de la degradación y la gestión insostenible de los suelos en el país se tienen: la creciente demanda de bienes y servicios de los suelos, el desconocimiento de las funciones e importancia del suelo y de alternativas para su

recuperación, restauración y rehabilitación, procesos de planeación y de ordenamiento del territorio que no tienen en cuenta las características de los suelos, debilidad en los procesos de seguimiento a la calidad de los suelos, desarticulación institucional y carencia de normas e instrumentos para la gestión sostenible del suelo. (SIAC, 2012)

En las llanuras del Caribe, en las cordilleras, en las altiplanicies y en los valles interandinos los suelos han estado sometidos secularmente a intensas actividades agropecuarias, presentan degradación y contaminación y actualmente aquellos de menor pendiente, están siendo cubiertos y sellados por la expansión de pueblos y ciudades sin criterios de sostenibilidad. (SIAC, 2012)

En el litoral del Pacífico y en el Amazonas, las selvas húmedas tropicales se encuentran afectadas por procesos de deforestación que avanzan con rapidez, generando focos de degradación del suelo. De otro lado, en la Orinoquia Colombiana, donde predominan las praderas, los suelos fueron inicialmente utilizados para actividades ganaderas extensivas y en la actualidad el uso del suelo se orienta al desarrollo de actividades agrícolas. (SIAC, 2012)

Conocer de antemano el uso de suelo, permite definir la afectación que existe en la zona de estudio, y de esta manera mirar los impactos directos en las cuencas a causa de dichos aprovechamientos del suelo, para el municipio de Barbacoas Nariño se encuentra el Río Guaguí, la cual ha sido un fuerte foco de amenaza por ser un territorio mineralmente llamativo y a su vez por los bosques que lo componen se ha visto afectado por la tala indiscriminada.

4.2.5. Minería ilegal.

La minería ilegal en Colombia se caracteriza por desarrollarse en lugares remotos donde la presencia del estado no es muy evidente, lo que dificulta la vigilancia y control de esta práctica, la ilegalidad en que se desenvuelve este tipo de actividad no solo está afectando el medio ambiente y la economía del país, sino que también se ha convertido en una problemática de salud pública.

Las actividades de minería impactan directamente en el medio ambiente, pues los procesos con que la practican, no cumplen con la normatividad y las herramientas adecuadas generando una afectación directa al suelo por la deforestación y los peligros geotécnicos; a la atmosfera por medio de gases y la onda aérea por las explosiones; y a uno de los recursos más relevantes para la permanencia de un ecosistema, el agua se ve afectada por la alteración de la dinámica fluvial, pérdida de masas fluviales, de glaciales y contaminación por metales. (Espitia Duarte & Caicedo Gutierrez, 2018)

El municipio de Barbacoas la problemática frente a los procesos de extracción minera aurífera ilegal es una situación que está presente hace muchos años, que

a su vez se ha encargado de deteriorar los suelos y los recursos hídricos de la zona.

4.2.6. Softwares complementarios.

4.2.6.1. ArcGIS.

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. (ArcGIS)

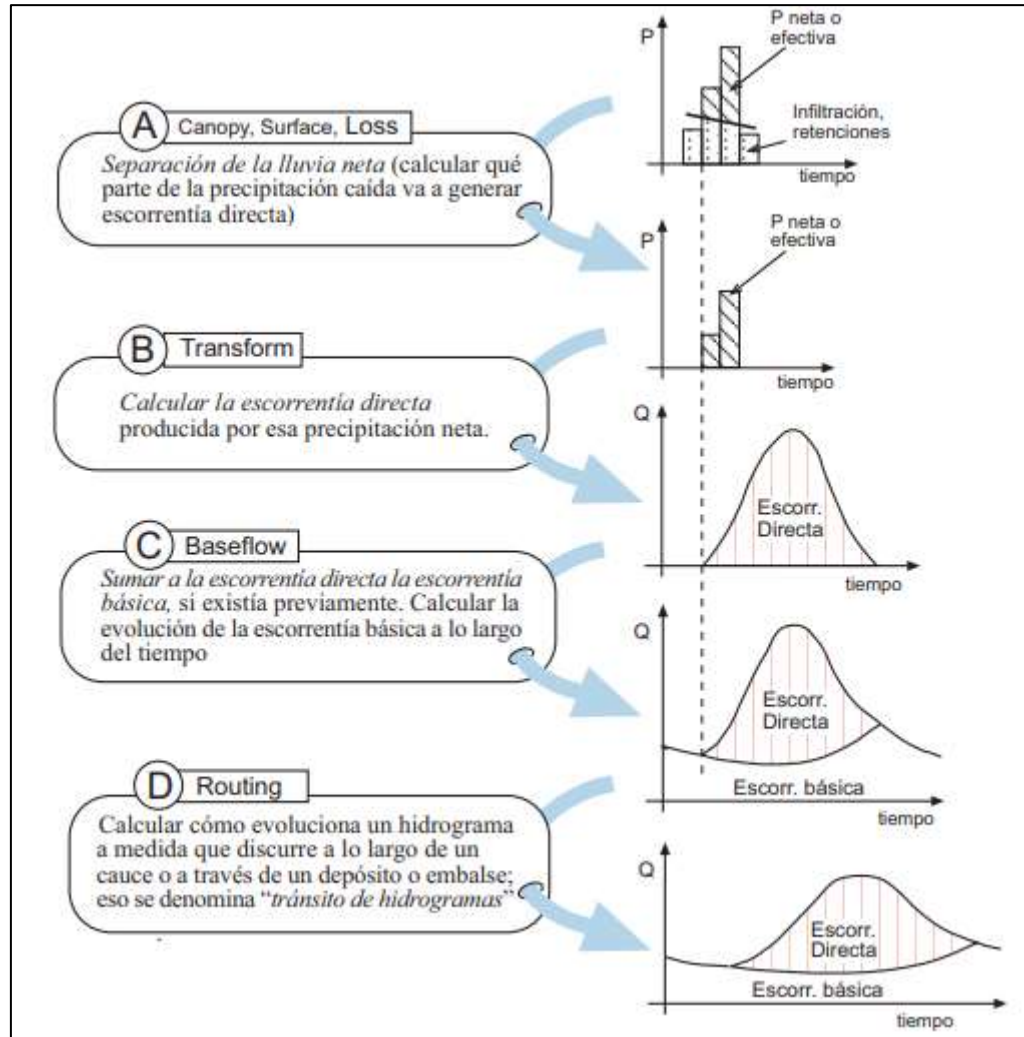
El uso de este software cumple un papel fundamental para el proyecto, dado a que esta herramienta nos facilitara el trazado de la cuenca del Río Guaguí, a partir de la información cartográfica de la zona. ArcGIS se caracteriza por ser una plataforma que permite realizar un trabajo profesional dado a sus varias aplicaciones e implementación en procesos investigativos y administrativos permitiendo trabajar con mapas, imprimir capas, implementar el geoprocetamiento para automatizar el trabajo y el análisis, documentar información geográfica, entre otros.

4.2.6.2. Hec HMS.

HMS es un programa que calcula el hidrograma producido por una cuenca si le facilitamos datos de precipitaciones, a su vez, el programa realiza cálculos para cada cuenca que se quiera analizar, teniendo en cuenta que hay que definir el modelo de la cuenca y sus componentes (subcuencas, embalses, uniones, bifurcaciones, etc.), adicionalmente se debe tener en cuenta los datos meteorológicos como la precipitación, evapotranspiración de cada una de las subcuencas que componen el modelo.

HMS tiene cuatro fases para esquematizar y obtener el resultado del cálculo del caudal mediante hidrogramas generados, las fases que lo componen se resumen a continuación:

Figura 2. Fases de los datos para esquematizar un modelo Hec HMS.



Fuente: HEC-HMS. Manual elemental.

La implementación de esta herramienta cumplirá un papel fundamental, dado a que nos facilitará el cálculo de modelos lluvia escorrentía, de acuerdo con la información hidrológica disponible (estaciones pluviométricas y pluviográficas) de la zona de la cuenca del Río Guaguí.

4.3. MARCO JURÍDICO

A nivel nacional y regional se aplican diferentes leyes, las cuales son relevantes para el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, esto con el fin de fomentar el desarrollo y conservación de los ecosistemas hídricos del país, para ello existen instrumentos jurídicos los cuales se relacionan a continuación en la tabla 2:

Tabla 4-2. Decretos, leyes y resoluciones en Colombia relacionadas con el objeto de estudio.

NORMA	ENTIDAD QUE LO EXPIDE	CONTENIDO
Artículos 58, 79, 80, 95, 268, 313, 317, 334 y 339	Constitución Política de la República de Colombia	Estos reglamentan la protección de los recursos naturales como los derechos adquiridos para el bien público y social, previniendo y controlando el deterioro ambiental garantizando un desarrollo sostenible, su conservación y restauración.
Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974	Presidencia de la República	Decreta el uso adecuado de los recursos naturales renovables teniendo en cuenta los aspectos del uso de agua, suelo, flora y fauna, y a su vez reglamenta como se debe ser el manejo y el ordenamiento de las cuencas.
Decreto 2 del 16 de diciembre de 1959	Congreso de República de Colombia	Define las zonas de protección forestal y a su vez los bosques con gran riqueza natural, mediante un ordenamiento ambiental.
Decreto 2278 del 1 de septiembre de 1953	Ministerio de Agricultura	Este establece las zonas de interés y las zonas de protección, teniendo en cuenta como factor relevante todas aquellas que están situadas en las cabeceras de cuencas de ríos, arroyos y quebradas.
Decreto 1541 del 28 de julio de 1978	Ministerio de Agricultura	Reglamenta lo referente al recurso del agua en los aspectos que comprenden las ocupaciones del cauce, su conservación y regulación.
Decreto 1996 del 15 de octubre de 1999. Artículos 109 y 110 de la ley 99 de 1993	Ministerio del Medio Ambiente – conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Reglamenta la importancia de las reservas naturales para la sociedad.
Decreto 1323 del 19 de abril de 2007	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Este decreta un sistema de información del recurso hídrico, conocido por sus siglas SIRH.
Decreto 3600 del 20 de septiembre de 2007. Reglamenta las Leyes 1993 y 388 de 1997	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Decreta el ordenamiento del suelo del área rural, las actualizaciones urbanísticas de parcelas, el desarrollo de edificaciones es los suelos de la zona para la adaptación de disposiciones.
Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreta los instrumentos para el ordenamiento y la planificación

	conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	de las cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta también los acuíferos para adoptar diferentes disposiciones.
Decreto 0303 del 6 de febrero de 2012. Artículo 64 de la Ley 2811 de 1974	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Decreta qué relación existe entre los usuarios y el recurso hídrico.
Ley 388 del 18 de julio de 1997	Congreso de la República de Colombia.	Establece cuales deben ser las normas para tener en cuenta en el POT, con el fin de contribuir a la preservación, protección y conservación de los recursos naturales, previniendo los efectos de riesgo y amenaza por eventos naturales.
Resolución 0509 del 21 de mayo de 2013	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Este presenta los lineamientos para la conformación de cuencas, junto con las fases de ordenación y otras disposiciones.
Resolución 1907 del 27 de diciembre de 2013	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conocido actualmente como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Se encuentra el plan de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas mediante una guía técnica la cual presenta la formulación de los planes.
Resolución 104 del 7 de julio de 2003	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM	Presenta los parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.

Fuente: Propia.

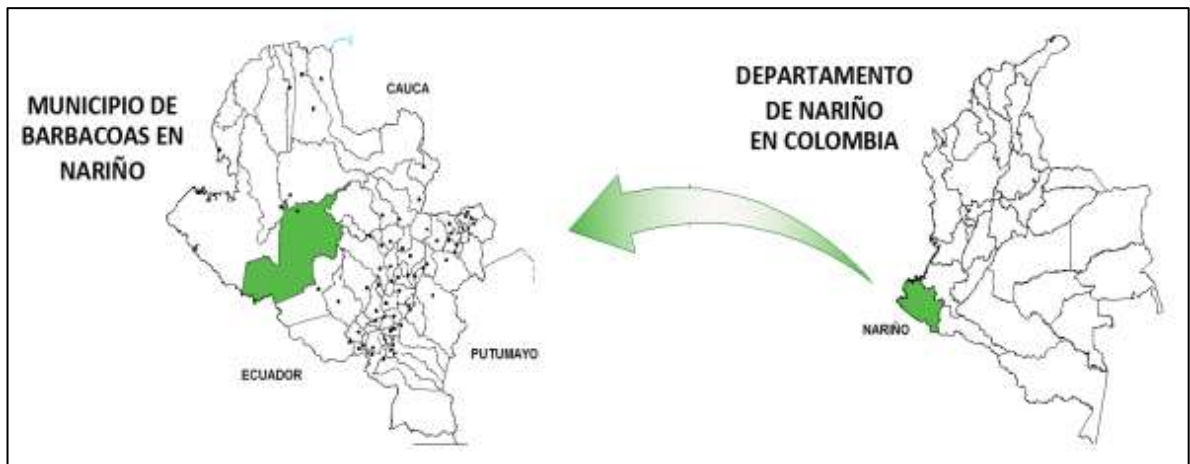
4.4. MARCO GEOGRÁFICO

El municipio de Barbacoas se encuentra localizado al centro del departamento de Nariño al noroeste de la ciudad de San Juan de Pasto y haciendo parte de la región pacífica en zona de pie de monte y litoral.

Latitud: 1° 40' 27" N (Límite con los municipios de Maguá y Los Andes) 1° 05' 16" N (Río San Juan en límites con el Ecuador).

Longitud: 77° 47' 34" W (Límite con los municipios de Maguá y Los Andes) 78° 29' 28" W (Ríos Mira –San Juan en límites con el Ecuador).

Figura 3. Municipio de Barbacoas.



Fuente: Plan de Desarrollo Municipio de Barbacoas, Nariño 2016-2019.

Limita por el norte con Magüí Payán, por el este con Magüí, Cumbitara, Los Andes, La Llanada, Samaniego y Ricaurte; por el sur con Ricaurte y por el oeste con Tumaco y Roberto Payan. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016)

Extensión total: 2.324 km²

Extensión área urbana: 4 km²

Área rural: 2.320 km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 36 msnm

Temperatura media: 26° C

4.5. MARCO DEMOGRÁFICO

El municipio de Barbacoas, Nariño, tiene una población aproximada de 56.195 habitantes (28.530 hombres – 27.665 mujeres). (DANE, 2018). El 43,06% se encuentran en la cabecera del municipio y el 56,94% en el área rural, en todo el municipio cohabitan comunidades indígenas Awá, población afrodescendiente y mestizos campesinos (UMAIC, 2018).

La distribución según grupos etarios deja en evidencia que el municipio de Barbacoas cuenta con 1.46%, es decir, 823 habitantes correspondiente a la población mayor de 80 años, 3.468 adultos mayores (mayores de 60) lo que equivale al 6,17% de la población total, para la población adulta (25 a 59 años) se tiene 20.664 habitantes a lo que equivale al 36.77% de toda la población, referente a la población joven (15 - 24 años) el municipio cuenta con 11.171 jóvenes

correspondiente al 19.87% y 20.400 corresponde a niños y niñas adolescentes menores de 15 años equivalente al 36.30%. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016).

Barbacoas, presenta diferentes actividades económicas, las más importantes de esta subregión están basadas en la minería y en el sector agropecuario, destacándose el cultivo de arroz, cacao, plátano y frutales. También cabe resaltar la explotación de ganado bovino y especies menores. (Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño, 2016). Aunque el municipio ha basado su crecimiento en el desarrollo minero y agropecuario de forma inadecuada, y sumándose la explotación forestal de acuerdo a la tala indiscriminada de árboles, generando transformaciones significativas en los ecosistemas y cuerpos de agua, aumentando de esta manera el conflicto entre comunidades y disminuyendo las ventajas de un crecimiento a nivel de infraestructura, Barbacoas sigue siendo un punto fuerte de atracción para inversionistas debido a su riqueza aurífera.

4.6. ESTADO DEL ARTE.

Muchos estudios se han realizado para conocer el cambio en las coberturas vegetales, con el fin de estimar su influencia en los diferentes procesos que se ven en una cuenca hidrográfica, de esta manera se relacionan documentos que tienen como fin identificar mediante un análisis multitemporal la variación en las coberturas vegetales y la influencia en los caudales, a continuación, se presentan algunos de los estudios relacionados con el tema objeto de análisis:

Estudios internacionales.

El estudio presentado por Rosa Amelia Martínez García desarrollado en el año 2002, consistió en realizar un Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Biológica de Yuscarán, El Paraíso, Honduras, dicho estudio tuvo como objetivo abordar la problemática del cambio de uso de tierra debido a la deforestación y su impacto en el ámbito ambiental, para lo cual se evaluó una serie de fotografías aéreas desde el año 1975 hasta el 1995, a través de programa ERDAS, bajo lo cual se concluyó que el bosque latifoliado presentaba una tasa de deforestación del 1.8% anual, de este modo se aumenta la vulnerabilidad de las especies a la extinción. (García, 2002).

En el artículo presentado por el Journal of the Selva Andina Research Society, publicado en el año 2017, se desarrolla un Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la subcuenca del río Coroico - provincia Caranavi en Bolivia para los años 1989 – 2014, en este estudio se implementó la metodología de teledetección espacial y sistemas de información geográfica, para cuantificar las áreas de deforestación mediante el software ArcGIS Y ERDAS, a partir de este análisis se observó una disminución progresiva de las áreas boscosas, que de acuerdo con los resultados

se atribuye a inadecuadas técnicas de agricultura, concluyendo a partir de una tendencia lineal las áreas deforestadas seguirán aumentando en los próximos años. (Condori , Loza , Mamani Pati , & Solíz Valdivia , 2017).

El estudio realizado por el ingeniero Manuel Mesías Rosero Mier en el año 2017, consistió en realizar un Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura, para el presente objeto de estudio se realizó un análisis multitemporal a través de imágenes satelitales Landsat para los años 1991 y 2017, además estableció que el cambio del uso del suelo se debió a actividades como la agricultura y la ganadería, a su vez estimo una tasa de deforestación en un 0,12% para el periodo de análisis, en cuanto a los cuerpos de agua no se evidenciaron cambios importantes dado a que el procesamiento de datos fue tan solo de 3 ha, de modo que los cuerpos de agua inferiores fueron discriminados. (Rosero, 2017).

Estudios nacionales.

El estudio realizado por Luisa Nathalie Hernandez Calderon y Julián Alexander Salamanca en el año 2019, consistió en realizar un Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca sardinata, del departamento de norte de Santander – Colombia, en dicho estudio se evidencio deforestación en la cuenca del Río Sardinata, el cual se encuentra constantemente en alerta temprana por eventos de inundación, para este proyecto se analizó el cambio de cobertura del año 2000 al año 2012, y a partir de una modelación hidrológica con el software SWAT, y con este se estableció la influencia de los caudales pico en la cuenca de estudio teniendo un aumento en la generación de escorrentía superficial del 5,77%, obteniendo como análisis final una predicción del comportamiento del rio a futuro. (Hernandez & Salamanca, 2019).

El trabajo de grado realizado por Nelcy Maryuri Garzón Gutiérrez en el año 2016, radicó en hacer un Estudio multitemporal para identificar los cambios en la cobertura vegetal del humedal de Tibabuyes, a través de un estudio multitemporal de seis (6) décadas mediante la interpretación de imágenes se cuantificó e identificó los cambios de la cobertura vegetal del humedal, evidenciando el espejo de agua permanente observado en el inicio del periodo prácticamente desapareció sin embargo, hacia el año 2007 gracias a los procesos de restauración se recupera un área poco significativa del espejo de agua, a partir de esto se han ocasionado cambios casi irreversibles en algunos sectores del ecosistema, es por ello, que, se recomiendan realizar prácticas de conservación y planes de manejo basados en las características locales y a las unidades de cobertura vegetal. (Gutiérrez, 2016).

El estudio de grado elaborado por Sandra Marcela Bernal Nieto y Camilo Augusto

Prado Uscategui en el año 2015, realizó el Análisis de la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales de la cuenca de la quebrada granadillo en los años 1993 y 2009 a partir de aerofotografías y cartografía del instituto geográfico Agustín Codazzi, este estudio consistió en analizar el cambio de cobertura vegetal en la cuenca con el fin de determinar mediante una modelación hidrológica mediante el software Hec-HMS, los caudales máximos generados a partir del cambio en dichas coberturas, el estudio se evidenció que el numero de curva encontrado paso de 60.6 para el año 1993 a 53.28 para el 2009, esto a causa de procesos de reforestación que se desarrollaron en la cuenca. (Bernal & Prado, 2015).

Estudios regionales.

A nivel departamental se llevó a cabo un estudio Análisis del cambio de cobertura vegetal en el corredor volcánico Chiles-Cerro Negro- Cerro Granizo en el departamento de Nariño, el cual fue analizado entre los años 1987 hasta el 2011 por Nelson Ricardo Eraso Tapia en el año 2012, el estudio consistió en identificar las causas y factores que inciden en el cambio de las coberturas del suelo, mediante un análisis cartográfico, entrevistas a la comunidad y una verificación en campo, teniendo como resultado una perdida en la cobertura de Bosque Natural denso se encuentra asociado a la deforestación, crecimiento poblacional y ampliación de la frontera agrícola; de seguir ocurriendo el deterioro en el ecosistema se proyecta que el bosque natural denso desaparecerá por completo en un periodo no mayor a los 25 años. (Eraso, 2012).

Otro documento relacionado al objeto de estudio se lleva a cabo en la Microcuenca Las Minas ubicada en el corregimiento de La Laguna en el Municipio de Pasto, realizado por Diego Muñoz, Mike Rodríguez y Mario Romero. Dicho análisis se desarrollo para los años 1989 hasta el 2008, implementando procesos cartográficos como fotointerpretación y análisis de imágenes satelitales a través de ArcView, en ese estudio se encontró una perdida en la cobertura de bosques secundarios y una deforestación estimada de 3.08% Ha al año, por otra parte, se evidenció un aumento considerable de áreas de pasto para el año 2008. (Muñoz, Rodriguez, & Romero, 2008).

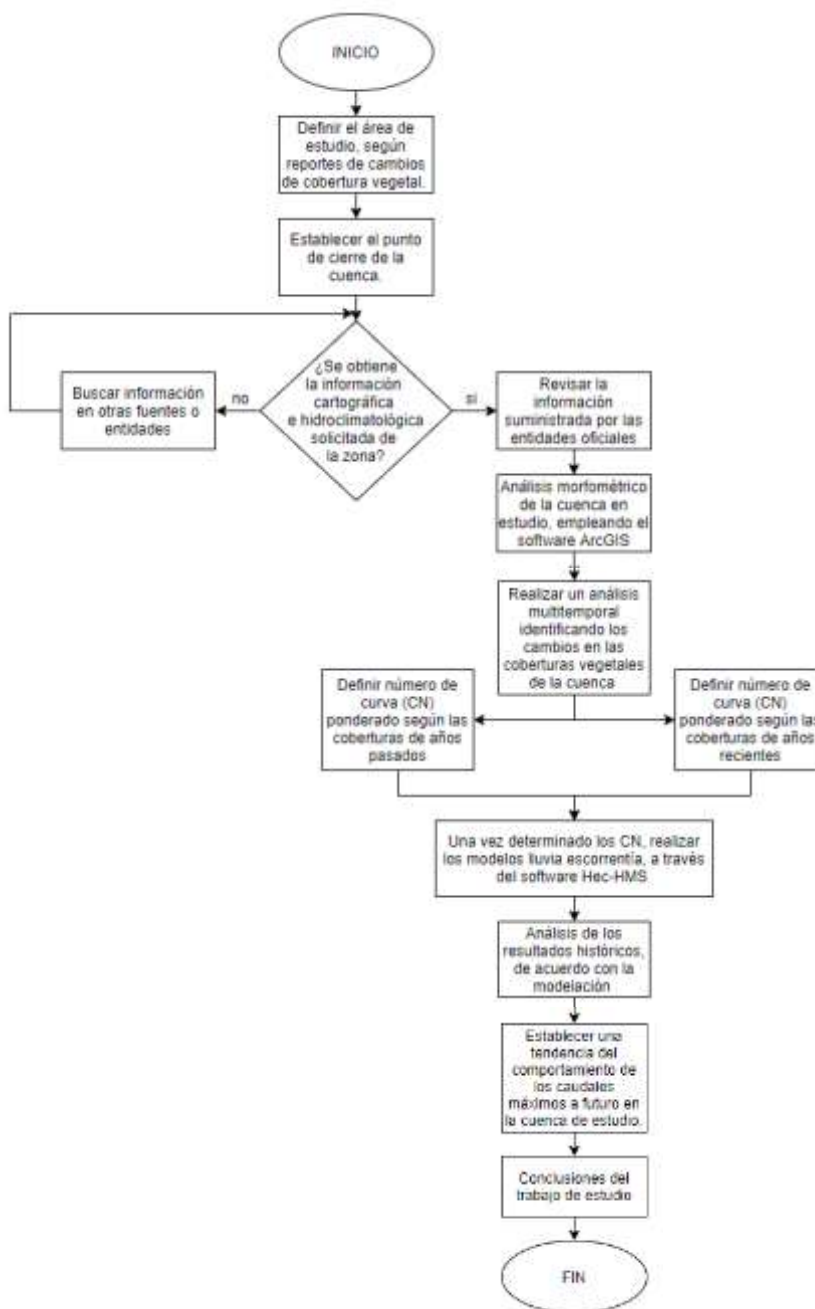
Estudios a nivel local.

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas para el Municipio de Barbacoas, Nariño, no se encuentran estudios o investigaciones relacionadas con el objeto del proyecto. Sin embargo, en la base del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), se observar que la zona de estudio y las aledañas presentan alertas tempranas por deforestación en sus bosques, en niveles medios y altos. De igual manera, el plan de desarrollo del municipio confirma en su estudio ambiental que los datos respecto al impacto de perdida de cobertura y afectación en los caudales de las fuentes hídricas se han alterado a lo largo del tiempo.

5. METODOLOGÍA

5.1. FASES DEL TRABAJO DE GRADO

Figura 4. Fases del trabajo de grado.



Fuente: propia.

5.1.1. Recolección de información pluviométrica.

Inicialmente se identificó la información hidroclimatológica existente en inmediaciones al punto de cierre de la Quebrada Guagui, encontrando la estación climática ordinaria Barbacoas (Figura 5), la cual se encuentra activa desde el año 1972 y ofrece una cantidad de datos de aproximadamente 44 años, lo cual resulta propicio para el presente análisis.

Figura 5. Localización de estación Barbacoas.

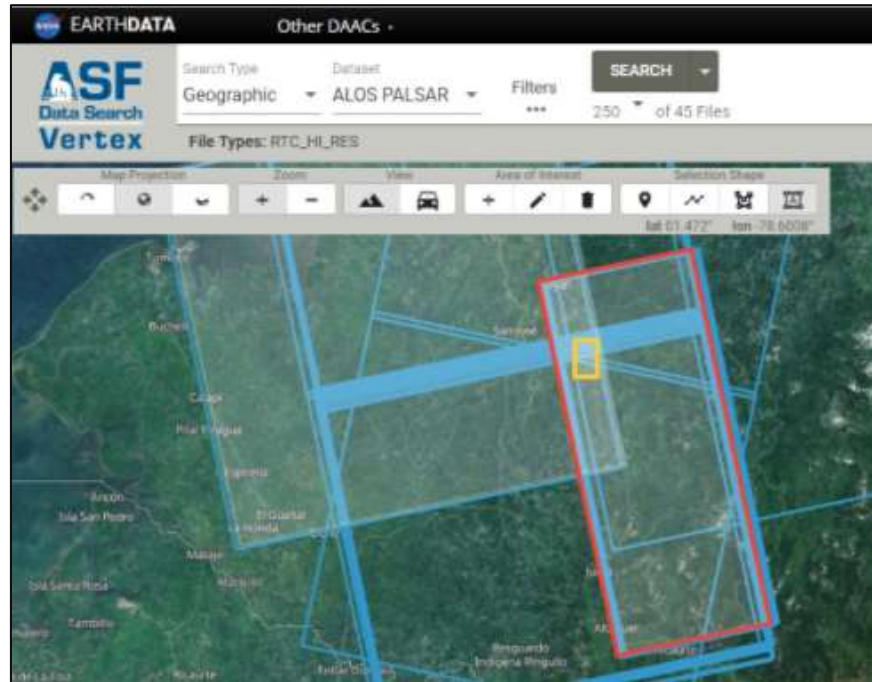


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

5.1.2. Obtención de Modelo de elevación Digital (DEM)

El modelo de elevación digital fue extraído a partir Alaska Satellite Facility. A través de esta plataforma se establece el área de interés por medio de un polígono (Figura 6) y se realiza una búsqueda de tipo geográfico utilizando el satélite ALOS PALSAR. Como filtro adicional para obtener imágenes DEM se debe establecer el formato Hi-Res Terrain.

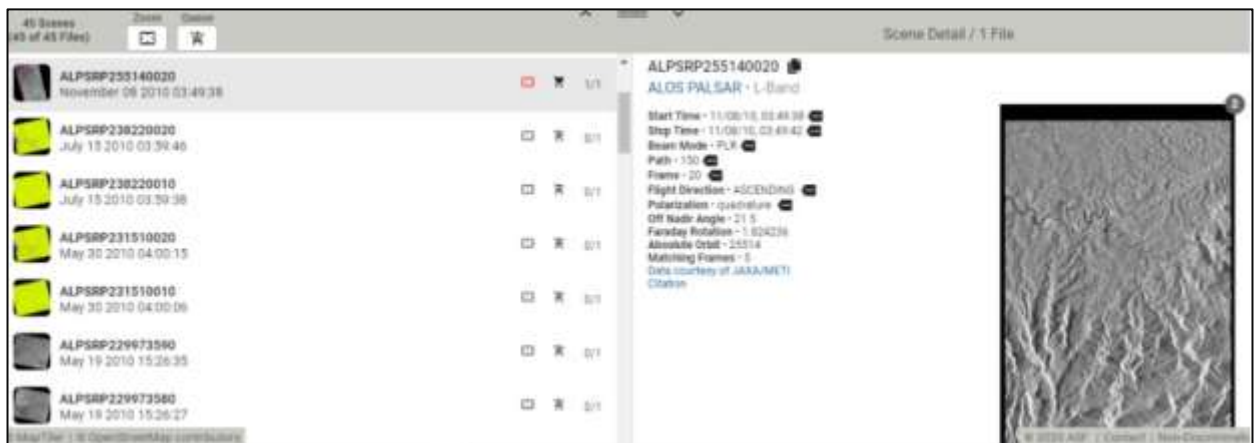
Figura 6. Polígono de interés y Modelos de elevación digital disponibles.



Fuente: Alaska Satellite Facility

Bajo los resultados obtenidos se seleccionó la imagen con mejor ajuste en cuanto a tamaño y localización, el cual se identifica como el recuadro rojo de la Figura 6, el cual corresponde al DEM de la Figura 7.

Figura 7. Modelo de elevación Digital seleccionado.




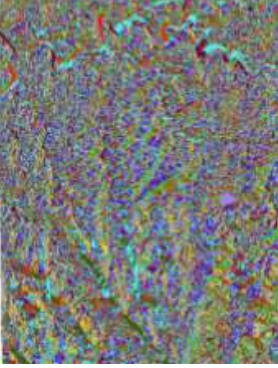


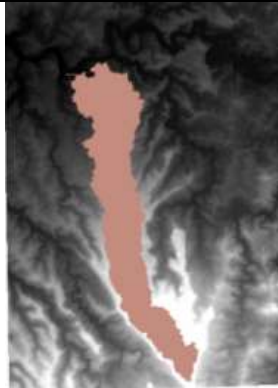
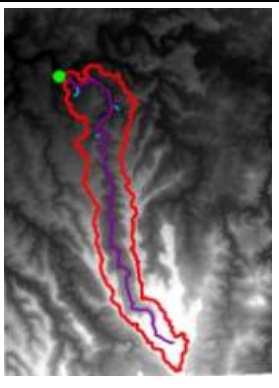
Fuente: Alaska Satellite Facility

Seleccionando el modelo de elevación se procede al software ArcGis para realizar la importación correspondiente.

5.1.3. Delimitación de la cuenca en estudio.

Para el proceso de delimitación de la cuenca se importó el Modelo de Elevación Digital descargado previamente, seguidamente se utilizó la herramienta *Fill* con el fin de corregir vacíos o picos erróneos del ráster, y así trabajar bajo este último. Posteriormente se utilizó la herramienta *Flow direction* a través del cual se genera una salida que registra la dirección del flujo hacia afuera de cada celda en el raster. Utilizando este último, se utilizó la herramienta *Flow accumulation* a través de la cual se calcula el flujo acumulado en cada celda. Con este producto se generaron las corrientes principales a través de la herramienta *Raster calculator*. Por último, se traza la cuenca en estudio estableciendo un punto de cierre aplicando la herramienta *Watershed*. Las salidas graficas del proceso descrito anteriormente se presentan en la

Tabla 5-1. Salidas graficas para delimitación de la cuenca.

Fill	Flow dirrection	Flow accumulation
		
Raster calculator	Watershed	Cuenca
		

Fuente: Fuente propia

5.1.4. Caracterización morfométrica de la cuenca.

Una vez trazada la cuenca se establecieron los parámetros físicos de la misma, tales como área, perímetro, longitud del cauce principal y pendiente media del cauce.

Por otra parte, se calculan los parámetros de forma los cuales se encargan de determinar mediante características geológicas y fisiográficas la geometría que presenta la cuenca, estos son:

- Drenaje de la cuenca, estableciendo la densidad de las corrientes

Ecuación 1. Densidad de drenaje.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje

L: Longitud de las corrientes (km)

A: Área de la cuenca (km²)

- Orden de Corrientes mediante la metodología Strahel.
- Índice de sinuosidad

Ecuación 2. Sinuosidad del cauce.

$$S = \frac{l_c}{l_R}$$

Donde:

S: Sinuosidad

Lc: Longitud curva.

Lr: Longitud recta

- Factor de forma

Ecuación 3. Factor de forma.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Kf: Factor de forma.

A: Área de la cuenca.

L: Longitud cauce principal.

- Índice de Compacidad.

Ecuación 4. Índice de compacidad.

$$K_c = \frac{P}{2\pi \left(\frac{A}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca.

A: Área de la cuenca.

5.1.5. Análisis de datos.

Los datos de lluvias para el análisis de la quebrada Guagui fueron obtenidos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por medio del Observatorio de Aguas Superficiales, el cual ofrece una base de datos abierta para descarga gratuita.

Para esto se identificó una estación climática ordinaria Barbacoas con código 52065020. Dicha estación se ubica en cercanías al casco urbanos de la cual se encuentra instalada desde el año 1972 y actualmente sigue operando.

5.1.6. Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia.

Para generar las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia se aplicó el método de regionalización de Vargas y Diaz Granados, quien dividió el país en 5 regiones (. Figura 8), permitiendo así analizar condiciones climatológicas similares en cada región.

Figura 8. Localización proyecto – región 3.



Fuente: Manual de Drenaje Vial de Carreteras.

De acuerdo con la localización del proyecto se adoptaron los parámetros de la región Pacífico (R3) presentados en la Tabla 5-2. De esta manera el valor de M fue establecido como el promedio de los valores de precipitación máxima anual en 24 horas.

Tabla 5-2. Parámetros de regionalización Región pacífico,

PARAMETROS DE REGIONALIZACIÓN	
a	2.31
b	0.19
c	0.58
d	-0.2
e	0.12
f	0.4

Fuente: Manual de Drenaje Vial de Carreteras.

De acuerdo con lo anterior se utilizó la siguiente ecuación para determinar las intensidades a diferentes periodos de retorno:

Ecuación 5. Intensidad de precipitación

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación, milímetros por hora (mm/hr)

Tr: Periodo de retorno (años)

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual

Tc: Duración de la lluvia, minutos (min)

a, b, c, d, e, f: Parámetros de ajusta de la regresión Tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración se aplicaron diferentes metodologías con el fin de establecer un valor representativo de la cuenca en estudio, el cual depende directamente de sus características morfométricas.

- Ecuación de Kirpich (horas)

$$T_c = 0.06628 * ((L_1 / (S_1^{0.5}))^{0.77})$$

- Ecuación de Témez (horas)

$$T_c = 0.30 * ((L_1 / (S_3^{0.25}))^{0.76})$$

- Ecuación de Williams (horas)

$$T_c = 0.683 * ((L_1 * (A^{0.40})) / (D * (S_3^{0.25})))$$

- Ecuación de Johstone y Cross (horas)

$$T_c = 2.6 * ((L_1 / (S_2^{0.5}))^{0.5})$$

- Ecuación de Giandotti (horas)

$$T_c = (4 * (A^{0.5}) + 1.50 * L_1) / (25.3 * ((L_1 * S_1)^{0.5}))$$

- Ecuación de SCS - Ranser (horas)

$$T_c = 0.947 * (((L_1^3) / H)^{0.385})$$

- Ecuación de Ventura - Heras (horas)

$$T_c = 0.30 * ((L_1 / (S_3^{0.25}))^{0.75})$$

- Ecuación de V.T. Chow (horas)

$$T_c = 0.273 * ((L_1/(S_1^{0.5}))^{0.64})$$

- Ecuación del cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (horas)

$$T_c = 0.28 * ((L_1/(S_1^{0.25}))^{0.76})$$

- Ecuación del Manual Drenaje España (horas)

$$T_c = 0.3 * ((L_1/J^{0.25})^{0.76})$$

Donde:

L_1 = Longitud de del cauce principal (Km)

L_2 = Longitud de del cauce principal (m)

S_1 = Pendiente total del cauce principal (m/m)

S_2 = Pendiente total del cauce principal (m/Km)

S_3 = Pendiente total del cauce principal (%)

A = Área de la cuenca (Km²)

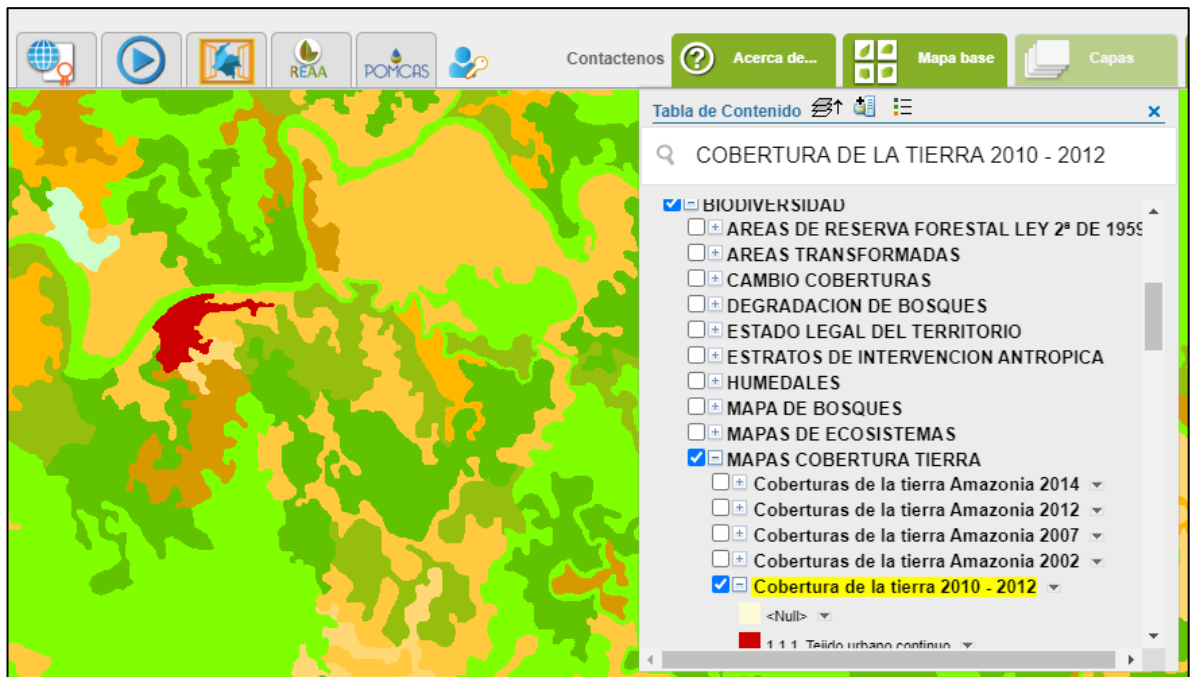
D = Diámetro de una cuenca circular con área "A" (Km)

H = Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal.

5.1.7. Número de curva (CN)

Para determinar el número de curva se obtuvo las coberturas de tierra utilizando los archivos tipo shape que ofrece el Sistema de información Ambiental de Colombia. De este modo se establecieron dos periodos de tiempo según la información disponible: la más antiguas siendo Coberturas de tierra del año 2000-2002 y la más reciente, cobertura de tierra 2010-2012.

Figura 9. Shape de coberturas del SIAC





Fuente: Fuente Sistema de información Ambiental de Colombia.

5.1.8. Obtención de Caudales – Modelación HMS.

Una vez determinados los valores de intensidad dados por los datos de precipitación de la estación Barbacoas y números de curva para los años 2000-2002 y 2010-2012, se establecieron dos periodos de retorno T5 y T100 con el fin de efectuar la modelación para un año cuya incidencia de ocurrencia sea más probable, y por otro lado una ocurrencia poco probable, de esta manera se quiso representar los cambios que se evidencian en la cuenca del Río Guagui.

Una vez definidos los datos a suministrar al programa, se crea el Basin Model y para ello se importa la cuenca identificada en ArcGIS, y con ello las características de esta, se ingresaron los valores de los hietogramas obtenidos, los modelos meteorológicos y por último se crearon las especificaciones del control para con ello obtener los datos de los caudales máximos, tal como se aprecia en la Tabla 6-10.

Tabla 6-10. Proceso obtención caudales Hec HMS.

1. Basin - Model	<p>Modelo Cuenca</p> 	2. Times Series Data	<p>Time Series</p> <p>Name: TS</p> <p>Description:</p> <p>Data Source: Manual Entry</p> <p>Units: International Metric</p> <p>Time Interval: 15 Minutes</p> <p>Latitude Degrees:</p> <p>Latitude Minutes:</p> <p>Latitude Seconds:</p> <p>Longitude Degrees:</p>	3. Meteorology	<p>Meteorology Model</p> <p>Components: Compute Results</p> <p>Meteorology Model Basins Options</p> <p>Met Name: T_3AÑOS</p> <p>Description:</p> <p>Precipitation: Specified Hydrograph</p> <p>Evapotranspiration: None</p> <p>Snowmelt: None</p> <p>Unit System: Metric</p>															
	<p>Subbasin</p> <p>Basin Name: CUENCA_TESIS</p> <p>Element Name: 1</p> <p>Description:</p> <p>Transfer Loss: 0</p> <p>Time (min): 14,24</p> <p>Convey Method: None</p> <p>Surface Method: None</p> <p>Loss Method: SCS Curve Number</p> <p>Transformation Method: Specified Hydrograph</p>		<p>Time Window</p> <p>Name: TS</p> <p>Start Date (ddMMYYYY): 01Jan2000</p> <p>Start Time (HHmm): 00:00</p> <p>End Date (ddMMYYYY): 01Jan2000</p> <p>Total Time (Hours): 1:00</p>		<p>Basin</p> <p>Meteorology Model Basins Options</p> <p>Met Name: T_100AÑOS</p> <table border="1"> <tr> <td>Basin Mode</td> <td>Include Subbasins</td> </tr> <tr> <td>CUENCA_TESIS</td> <td>Yes</td> </tr> </table>	Basin Mode	Include Subbasins	CUENCA_TESIS	Yes											
	Basin Mode		Include Subbasins																	
	CUENCA_TESIS		Yes																	
<p>Loss</p> <p>Components: Compute Results</p> <p>Subbasin: LKX Transform Options</p> <p>Basin Name: CUENCA_TESIS</p> <p>Element Name: 1</p> <p>Initial Abstraction (mm): 2</p> <p>Y-intercept: 0</p> <p>Impervious (%): 0,34</p>	<p>Table</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Time (ddMMYYYY, HHmm)</th> <th>Precipitation (MM)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01Jan2000, 00:00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 00:15</td><td>1,89</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 00:30</td><td>4,40</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 00:45</td><td>1,89</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 01:00</td><td>1,54</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 00:15</td><td>1,63</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 00:30</td><td>4,00</td></tr> <tr><td>01Jan2000, 00:45</td><td>1,39</td></tr> </tbody> </table>	Time (ddMMYYYY, HHmm)	Precipitation (MM)	01Jan2000, 00:00	0,00	01Jan2000, 00:15	1,89	01Jan2000, 00:30	4,40	01Jan2000, 00:45	1,89	01Jan2000, 01:00	1,54	01Jan2000, 00:15	1,63	01Jan2000, 00:30	4,00	01Jan2000, 00:45	1,39	<p>Options</p> <p>Components: Compute Results</p> <p>Meteorology Model Basins Options</p> <p>Met Name: T_3AÑOS</p> <p>Replace Missing: Yes</p> <p>Total Overlap: No</p>
Time (ddMMYYYY, HHmm)	Precipitation (MM)																			
01Jan2000, 00:00	0,00																			
01Jan2000, 00:15	1,89																			
01Jan2000, 00:30	4,40																			
01Jan2000, 00:45	1,89																			
01Jan2000, 01:00	1,54																			
01Jan2000, 00:15	1,63																			
01Jan2000, 00:30	4,00																			
01Jan2000, 00:45	1,39																			
<p>Transform</p> <p>Subbasin Loss Transform Options</p> <p>Basin Name: CUENCA_TESIS</p> <p>Element Name: 1</p> <p>Graph Type: Standard</p> <p>Lag Time (min): 004,2</p>	<p>Graph</p> 	<p>4. Control Speci</p> <p>Control Specifications</p> <p>Name: Control 1</p> <p>Description:</p> <p>Start Date (ddMMYYYY): 01Jan2000</p> <p>Start Time (HHmm): 00:00</p> <p>End Date (ddMMYYYY): 01Jan2000</p> <p>End Time (HHmm): 01:00</p> <p>Time Interval: 1 Minute</p>																		

5.2. INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para el estudio se implementarán softwares que nos facilitarán el análisis multitemporal y el cálculo de los modelos lluvia escorrentía, los cuales son la base del desarrollo del proyecto.

ArcGIS

Esta herramienta se implementará inicialmente para realizar el trazado de la cuenca hidrográfica del Río Guaguí, a partir, de las planchas cartográficas suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Así mismo, el programa facilita el cálculo de las características morfométricas de la cuenca, tales como, área, perímetro, pendiente, longitud del cauce principal, y demás índices que permitan establecer la respuesta de la cuenca ante diferentes eventos de precipitación.

Por otra parte, esta herramienta permitirá desarrollar el análisis multitemporal de dos maneras de acuerdo con la información disponible, inicialmente se plantea realizar el análisis con las planchas de cobertura del suelo para diferentes periodos de tiempo. En caso de no disponer de información cartográfica detallada, se procederá a desarrollar un análisis multitemporal a partir de imágenes satelitales y/o fotografías aéreas. Efectuando este proceso se le asignará una cobertura a cada color de pixel, obteniendo así un coeficiente de escorrentía ponderado para la cuenca del Río Guaguí.

Hec-HMS

El software Hec-HMS permite elaborar modelos lluvia escorrentía, para el presente proyecto esta herramienta cumple un papel importante para el cálculo de caudales máximos de las cuencas. Para ello el programa requiere los siguientes parámetros de entrada:

- Área de la cuenca de estudio (obtenida mediante ArcGIS).
- El coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca del Río Guaguí.
- Hidrograma unitario que representa el evento de lluvia máximo de la cuenca, este hidrograma se calculara a partir de la información hidroclimatológica de las estaciones disponibles en la zona de estudio proporcionado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Mediante esta herramienta se realizará la proyección de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, considerando los años adoptados en el análisis multitemporal.

5.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La zona de estudio cuenta con una población de aproximadamente 56.195 de acuerdo con los datos proyectados por el DANE. El Municipio de Barbacoas se caracteriza por contar con diferentes actividades económicas, tales como, la minería, sector agropecuario y ganadero.

La selección de la zona de estudio se realizó con base en el tamaño de la cuenca del Río Guaguí, de acuerdo con la revisión inicial, el tamaño de la cuenca no supera los 100 Km², este parámetro permite garantizar un estudio mas detallado y certero, teniendo en cuenta que la información cartográfica e hidroclimatológica puede ser obtenida de manera completa. Adicionalmente se resalta que, el mayor porcentaje del área corresponde al sector rural, y es allí donde se evidencian los cambios asociados a la deforestación causados por las actividades socioeconómicas ya mencionadas.

Otro parámetro de selección fue la cercanía del Río Guaguí al municipio de Barbacoas, dado que los cambios en las coberturas han ocasionado eventos de erosión y transporte de sedimentos, lo que ocasiona inundaciones en épocas de lluvia y sequías en épocas secas, afectando directamente a la población aledaña al cauce.

5.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Dentro de los alcances establecidos para el proyecto, se busca obtener la relación entre el cambio de cobertura y los efectos en la generación de caudales máximos en la cuenca, a partir de dicho análisis, se entregaran los mapas de cobertura correspondiente a los periodos del análisis multitemporal, adicionalmente la modelación hidrológica del Río Guaguí, de igual manera se busca establecer una tendencia en el comportamiento de los caudales para años futuros, con el fin de que se pueda generar medidas de control ante los efectos negativos presentes en la zona a causa de las actividades económicas desarrolladas por el municipio.

Las limitaciones que se encontraron en el proyecto fueron respecto a la falta de estaciones hidroclimatológicas para el llenado de datos faltantes de la estación Barbacoas, de manera que la metodología implementada no se soporta por medio de estaciones cercanas. En todo caso los datos faltantes no superan un 7% del registro de datos total.

Por otra parte, de acuerdo con la situación actual (COVID-19) no fue factible realizar visitas de campo para el reconocimiento del estado actual de la cuenca del río Guaguí, lo cual hubiese permitido validar sus coberturas recientes y dar un análisis cualitativo y cuantitativo de acuerdo con la degradación de la misma según las actividades económicas de la zona de estudio.

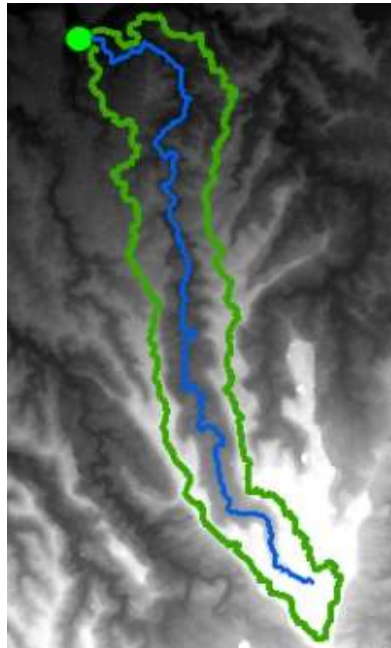
Finalmente, en cuanto a los mapas de cobertura se tiene que en Colombia hasta el año 2012 presenta información respecto al uso del suelo, generando incertidumbre de las condiciones recientes de los caudales máximos de la cuenca hidrográfica que es objeto de estudio.

6. ENTREGA Y ANALISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS

6.1. DELIMITACION DE LA CUENCA.

Como se indicó anteriormente la delimitación de la cuenca se realizó a partir del modelo de elevación digital, utilizando el software ArcGis, obteniendo el producto que se presenta en la Figura 10.

Figura 10. Delimitación de la cuenca del río Guagui a partir de modelo DEM



Fuente: Fuente propia.

6.2. PARAMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA.

6.2.1. Parámetros físicos.

A partir de la delimitación realizada a través de ArcGIS, se determinaron los principales parámetros de la cuenca tales como área, perímetro, pendiente, entre otros.

Tabla 6-1. Características morfométricas de la cuenca Río Guagui.

CUENCA DEL RÍO GUAGUI	
Área (Km ²)	52.58
Cota mayor (m.s.n.m)	600
Cota menor (m.s.n.m)	40
Desniveles de cotas (m)	560
Pendiente media (%)	1.7%

CUENCA DEL RÍO GUAGUI	
Perímetro (km)	62.38
Longitud Cauce principal (m)	3340
Sinuosidad (m/m)	1.72

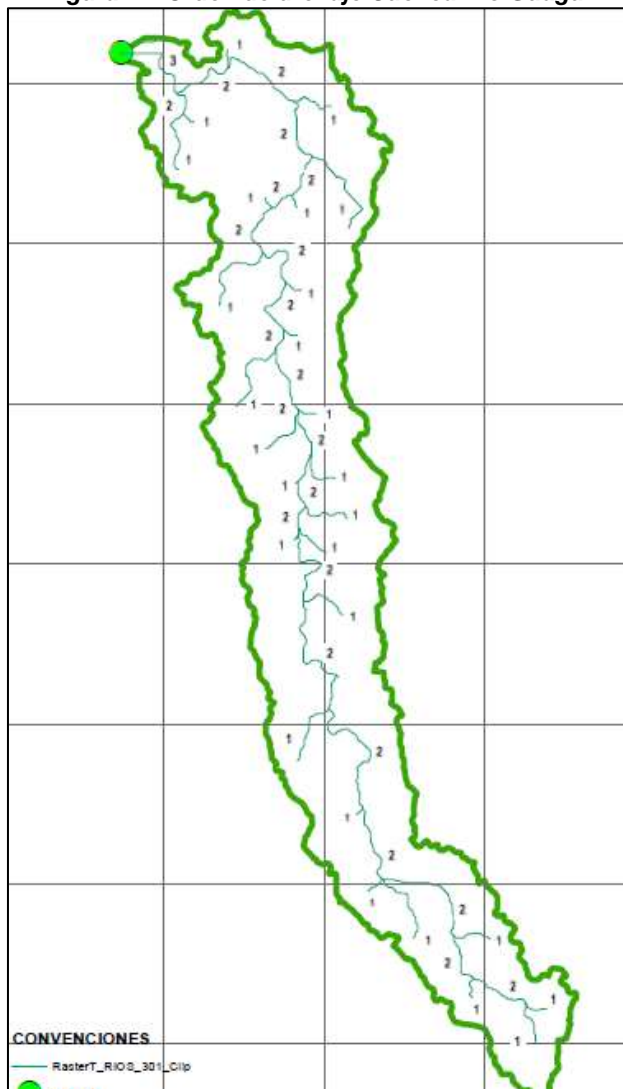
Fuente: Fuente propia.

6.2.2. Parámetros de forma.

6.2.2.1. Orden de corriente.

Para conocer el número de orden de la cuenca del Río Guagui se implementó la metodología Strahel identificando los cauces de primer orden desde su origen que llegan a interceptar el cauce principal dando como resultado un orden de drenaje 3.

Figura 11. Orden de drenaje Cuenca Río Guagui.



Fuente: Fuente propia.

6.2.2.2. Densidad de drenaje.

Para el cálculo de la densidad del drenaje de la cuenca se calcularon las longitudes de los cauces contribuyentes, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 2. Datos longitudes tramos contribuyentes.

TRAMO	LONGITUD (Km)
A	0.32
B	0.87
C	0.52
D	0.26
E	1.31
F	0.26
G	0.24
H	2.04
I	0.38
J	1.72
K	0.31
L	1.67
M	0.38
N	1.04
Ñ	0.82
O	0.06
P	1.03
Q	0.13
R	0.69
S	0.97
T	1.32
U	0.16
V	0.36
W	1.52
X	0.78
Y	0.44
Z	0.48
AB	0.85

Fuente: Fuente propia.

Tabla 3. Densidad de drenaje (Dd)

DENSIDAD DE DRENAJE	SISTEMA DE DRENAJE
< 1.5	Baja
1.5 - 3.0	Media
> 3.0	Alta

Fuente: Proyecto Cuenca Caño Venado y Caño el Pescado.

Con los datos anteriores se calcula la densidad de drenaje de la Cuenca del Río Guagui es de 0,39 arrojando como resultado un sistema de drenaje bajo.

6.2.2.3. Índice de sinuosidad.

Para establecer el área de la cuenca se identificaron las corrientes que aportan al Río Guagui, tomando como punto de cierre el casco urbano del municipio de Barbacoas. Como se presenta en la Tabla 6-1, la pendiente del cauce es del 1.7%. Dada esta baja pendiente, es de esperarse la formación de meandros y curvas pronunciadas a lo largo del río Guagui. Así mismo, el índice de sinuosidad del Río Guagui es de 1.72, lo cual lo clasifica como un tipo de canal irregular de acuerdo con la Tabla 6-4. Dado lo anterior, es posible inferir que, en este cauce predominan procesos de sedimentación, donde el agua fluye más lentamente al interior de la curva, debido a la reducción de la velocidad deposita sedimentos.

Tabla 6-4. Tipo de canal según índice de sinuosidad.

INDICE DE SINUOSIDAD	
Tipo de canal	Índice de Sinuosidad
Canal rectilíneo	1-1.2
Canal transicional	1.2-1.5
Canal regular	1.5-1.7
Canal irregular	1.7-2.1
Canal sinuoso	>2.1

6.2.2.4. Coeficiente de Compacidad.

En cuanto al coeficiente de compacidad se obtuvo un valor de 2.28, lo cual apunta a una cuenca rectangular, en este orden, cuanto más se aleja de la unidad es de esperar una tendencia a concentrar menores volúmenes de agua producto de escorrentía.

Tabla 6-5. Clasificación según coeficiente de compacidad.

kc	Clasificación
1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval- oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular

6.2.2.5. Índice de forma.

En el análisis realizado se determina el comportamiento de la cuenca frente a los eventos de crecidas, con lo anterior se tiene que el índice de forma del río Guagui es de 4.71, según la clasificación de esta es rodeando el desagüe.

Tabla 6. Rangos aproximados del Factor de Forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

6.3. TIEMPOS DE CONCENTRACION.

Como se mencionó anteriormente, se aplicaron 10 metodologías para estimar el tiempo de concentración adoptando como valor resultante el promedio de estas ecuaciones. Para esto se aplicó la ecuación de Kirpich, temez, Wiilliam Johstone y Cross, Giandotti, SCS Ranser, Ventura Heras V.T Chow Ecuación del cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y la del Manual de Drenaje de España.

Los valores obtenidos para cada método se presentan en la Tabla 6-7.

Tabla 6-7. Tiempo de concentración por diferentes metodologías.

Método	Valor
Ecuación de Kirpich (horas)	4.76
Ecuación de Témez (horas)	9.37
Ecuación de Williams (horas)	15.47
Ecuación de Johstone y Cross (horas)	7.42
Ecuación de Giandotti (horas)	4.17
Ecuación de SCS - Ranser (horas)	4.76
Ecuación de Ventura - Heras (horas)	4.58
Ecuación de V.T. Chow (horas)	9.52
Ecuación del cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (horas)	8.75
Ecuación del Manual Drenaje España (horas)	9.37
Tiempo de concentración promedio (Horas)	7.82

Como se aprecia en la tabla anterior, el tiempo de concentración adoptado para el Rio Guagui es de 7.82 horas que corresponde a 469 minutos, tiempo en el cual se espera que la gota más lejana en la cuenca llegue al punto de cierre de la misma.

6.4. ANALISIS DE DATOS.

Para el análisis de datos de lluvias se identificó la estación climatológica ordinaria Barbacoas, la cual se localiza en inmediaciones al casco urbano el municipio, tal como se aprecia en la Figura 12. Así mismo, esta estación ofrece una amplia serie de datos, ya que registra datos desde el año 1972. A continuación, se presenta la información principal de la estación climatológica en estudio.

Figura 12. Localización Estación Barbacoas.



Fuente: Fuente IDEAM.

Tabla 6-8. Información principal estación Barbacoas.

INFORMACIÓN ESTACIÓN BARBACOAS	
Código	52065020
Nombre	Barbacoas
Categoría	Climática Ordinaria
Estado	Activa
Departamento	Nariño
Municipio	Barbacoas
Altitud (m.s.n.m)	32
Fecha de instalación	15/09/1972

6.5. DATOS DE PRECIPITACION MAXIMA MULTIANUAL.

Para el análisis de lluvia de la cuenca del Rio Guagui se analizó la serie de datos comprendida desde el año 1990 hasta el año 2019. De este modo, la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual para la estación Barbacoas se presenta en la Tabla 6-9.

Tabla 6-9. Datos de precipitación máxima en 24 horas.

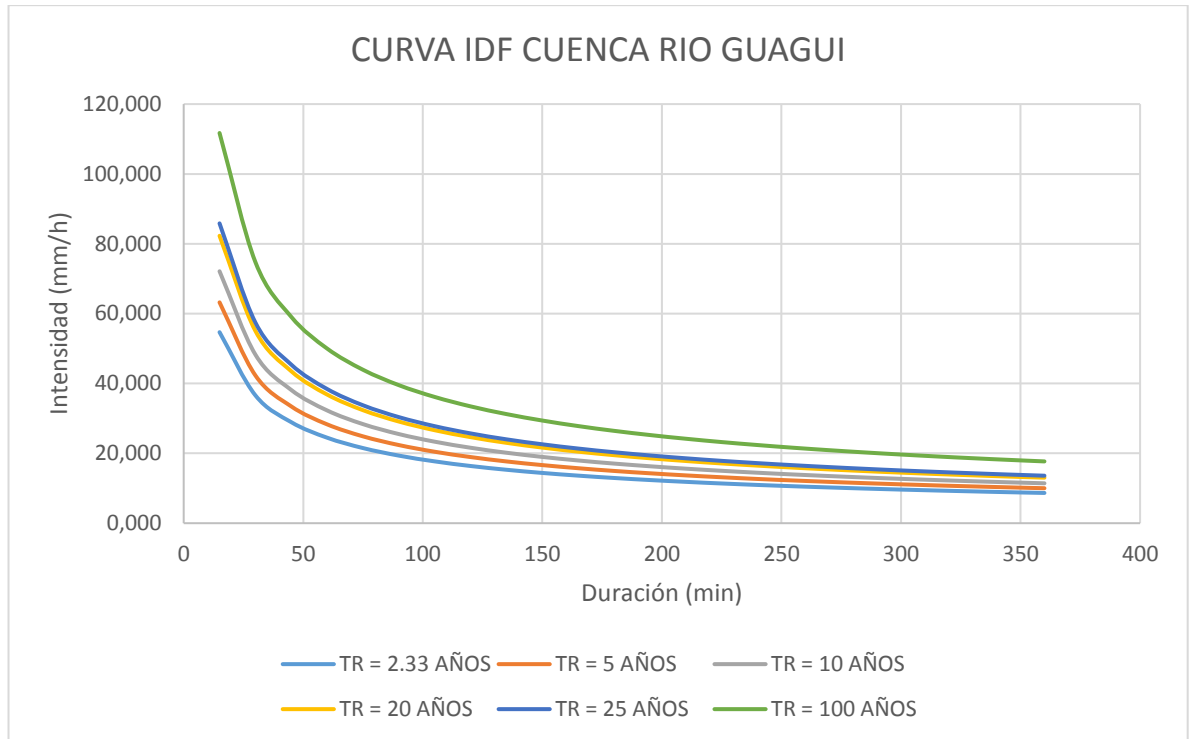
AÑO	PRECIPITACION (mm)	AÑO	PRECIPITACION (mm)
1990	166.6	2005	184.5
1991	155.3	2006	142
1992	120.4	2007	119.2
1993	120.4	2008	163.5
1994	110.8	2009	146.6
1995	141	2010	144.7
1996	217.1	2011	159.4
1997	164.7	2012	164.7
1998	199.5	2013	217.1
1999	195	2014	161.4
2000	138.4	2015	138.4
2001	199.5	2016	137.8
2002	133.3	2017	180.2
2003	138.5	2018	136.4
2004	142.8	2019	142.3

Fuente: Propia.

6.6. OBTENCIÓN DE CURVAS IDF.

A partir de los datos mensuales de precipitación máxima en 24 hrs (mm), se obtuvo la Curvas de intensidad, duración y frecuencia a partir de la ecuación de Vargas y Diaz Granados, para diferentes tiempos de retorno 2.33, 5, 10, 25 y 100 años.

Figura 13. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia estación Barbacoas.



Fuente: Fuente propia.

A manera de resumen en la Tabla 6-10 se presentan los valores de intensidad de precipitación, precipitación total y precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno.

Tabla 6-10. Datos de intensidad Estación Barbacoas

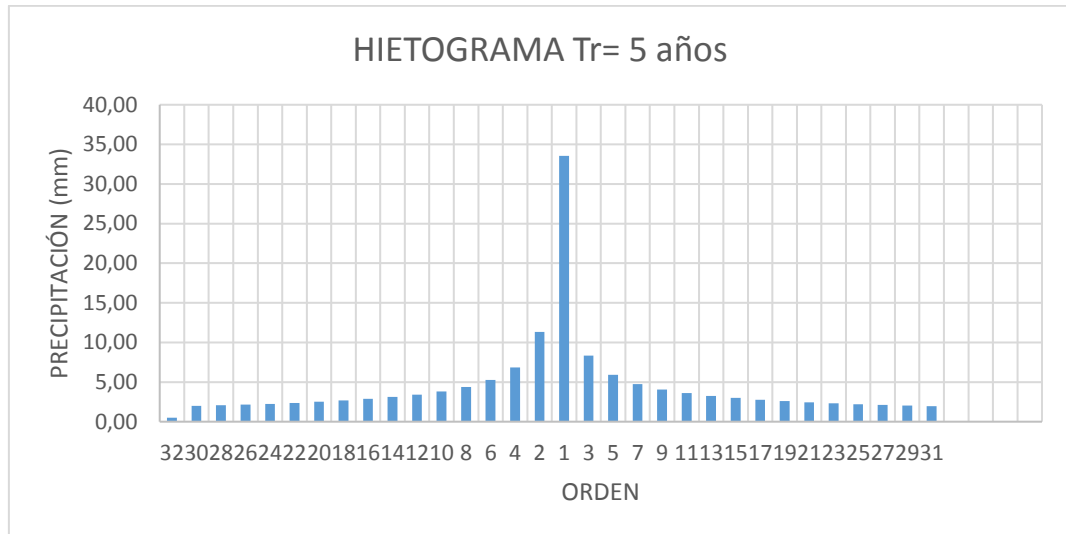
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	INTENSIDAD (mm/h)				
	DURACIÓN (min)				
	15	30	60	90	120
2.33	54.69	36.59	24.48	19.35	16.37
5	63.23	42.30	28.30	22.37	18.93
10	72.13	48.25	32.28	25.52	21.59
20	82.29	55.05	36.82	29.11	24.63
25	85.85	57.43	38.42	30.37	25.70
100	111.72	74.74	50.00	39.52	33.45

Fuente: Fuente propia.

6.7. OBTENCION DEL HIETOGRAMA

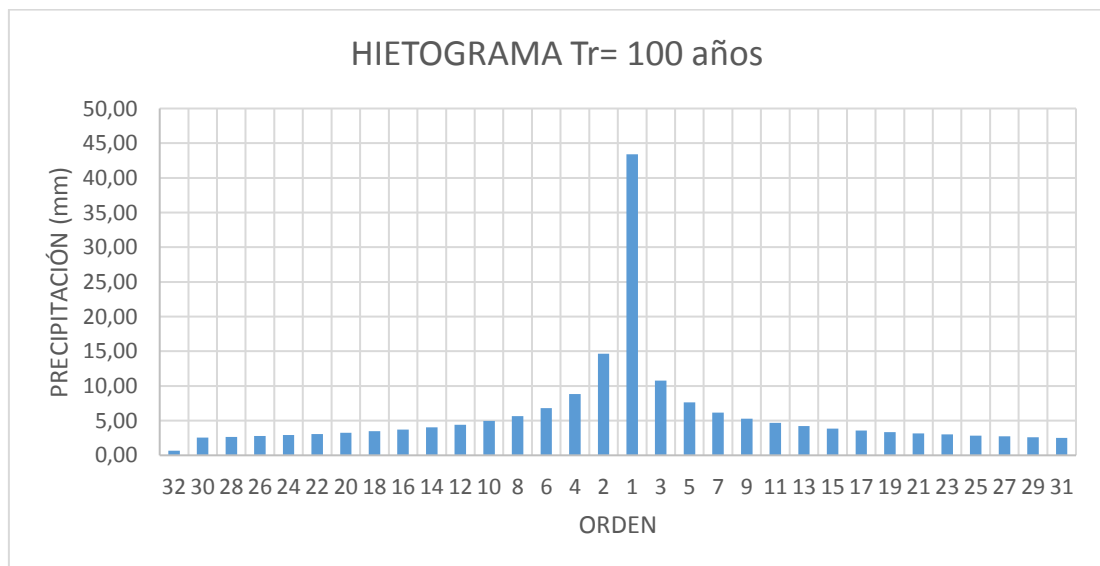
Una vez se obtuvo la intensidad presentada anteriormente, se generó el cálculo de precipitación utilizando el método de bloques alternos, lo cual permite tener una distribución temporal de la precipitación máxima de un evento de lluvia durante un tiempo conocido. Para el presente estudio se realizó el análisis para un periodo de retorno de 5 y 100 años.

Figura 14. Hietograma para periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Fuente propia.

Figura 15. Hietograma para periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Fuente propia.

6.8. OBTENCIÓN DE NUMERO DE CURVA

De acuerdo con las coberturas obtenidas del Sistema de información Ambiental de Colombia, se analizaron dos periodos, el primero comprendido del año 2000-2002 y el segundo comprendido del año 2010-2012. De acuerdo con estudios de suelos realizados en el municipio de Barbacoas se estableció un grupo hidrológico tipo B, dado que en estos suelos predominan suelos franco arcillosos con una capacidad de infiltración moderada.

Tabla 6-11. Número de curva cuenca de Rio Guagui periodo 2000-2002.

Periodo 2000-2002			
TIPO DE SUELOS	AREA_KM2	%AREA	CN
1.1.1. Tejido urbano continuo	0.06	0.11%	60
2.3.3. Pastos enmalezados	3.25	6.22%	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3.94	7.54%	
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	2.53	4.84%	
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	32.71	62.64%	
3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0.78	1.49%	
3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetacion secundaria	3.38	6.47%	
3.2.3. Vegetacion secundaria o en transicion	5.58	10.68%	

Fuente: Fuente propia.

Tabla 6-12. Número de curva cuenca de Rio Guagui periodo 2010-2012.

Periodo 2010-2012			
TIPO DE SUELOS	AREA_KM	%AREA	CN
1.1.1. Tejido urbano continuo	0.18	0.34%	64
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2.17	4.12%	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	12.31	23.41%	
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	2.21	4.21%	
3.1.1. Bosque denso	19.79	37.64%	
3.1.3. Bosque fragmentado	12.30	23.39%	
3.2.3. Vegetacion secundaria o en transicion	3.62	6.89%	

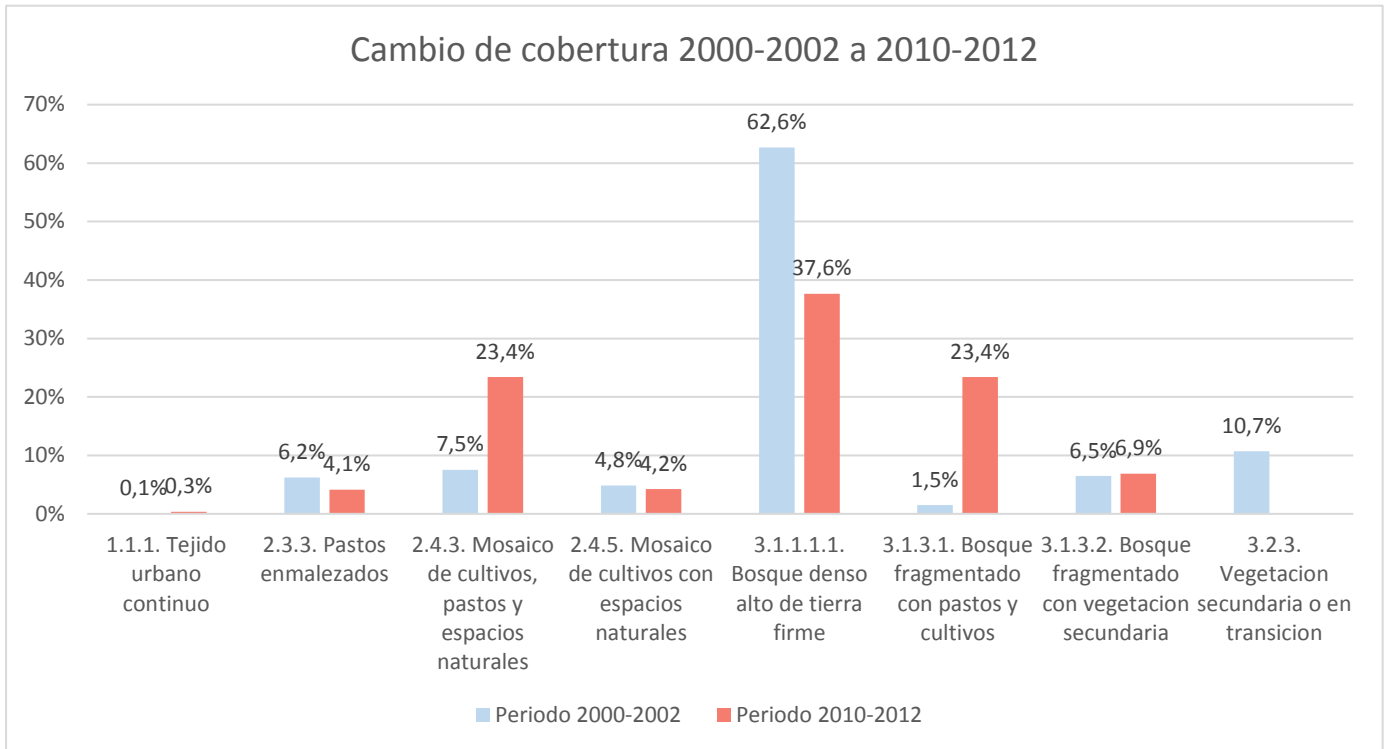
Fuente: Fuente propia.

Como se aprecia en las tablas Tabla 6-11 para el periodo comprendido del año 2000-2002 se obtiene un numero de curva de 60 mientras que en la Tabla 6-12 para el periodo comprendido del año 2010-2012 se obtiene un numero de curva de 64.

Según lo anterior en la Figura 16, se presenta el cambio de las diferentes

coberturas del río Guagui, durante los periodos mencionados anteriormente

Figura 16. Cambio de cobertura 2000-2002 a 2010-2012



Fuente: Fuente propia.

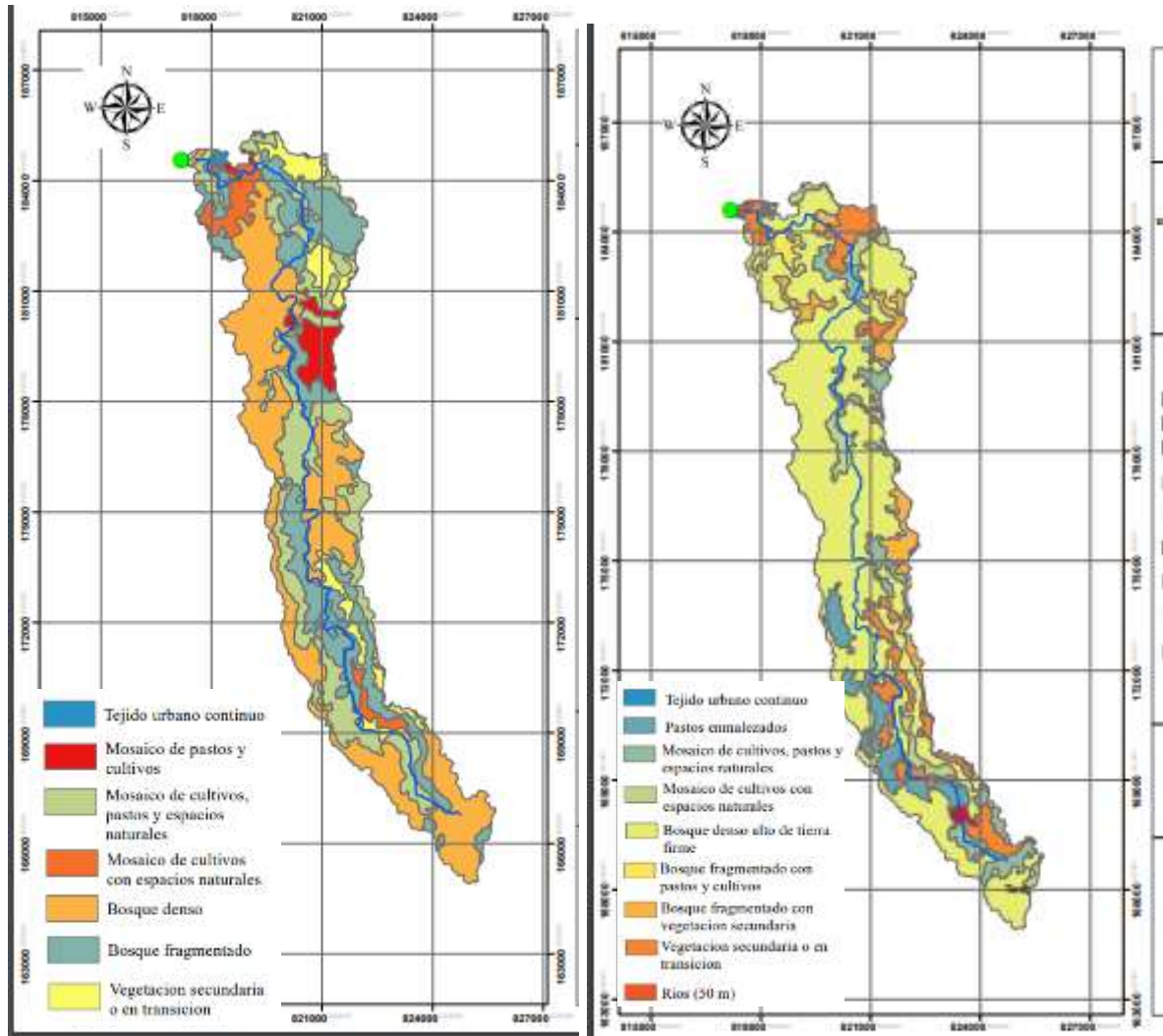
Así, el cambio se atribuye a un aumento notable en el mosaico de cultivos y pastos dadas las actividades económicas que se han intensificado en el municipio (actividades agropecuarias y minería).

Si bien, el bosque denso es el tipo de suelo predominante en el área de la cuenca, dicho porcentaje se redujo en aproximadamente un 50% pasando de 62% en el año 2000 a 37% en el año 2012, esta reducción en el porcentaje de bosque incide directamente en la capacidad de retención y filtración del suelo, generando un aumento significativo de la escorrentía, produciendo así picos de caudal mayores.

Otra consecuencia importante de la deforestación se evidencia en el incremento de bosques fragmentados con pastos y cultivos, lo cual hace que el bosque se desconecte, se fragmente en muchos trozos de diversos tamaños. Lo anterior, trae como consecuencia la degradación de los ecosistemas y una disminución en la cantidad de dióxido de carbono. Para la cuenca del río Guagui los bosques fragmentados con pastos y cultivos incrementaron del 1.5% en el año 2000 al 23.4% en el año 2012.

En la Figura 17 se presenta el mapa de coberturas de los años 2000-2002 y 2010-2012, donde se aprecia lo anteriormente descrito.

Figura 17. Mapas de coberturas 2000-2002 y 2010-2012.

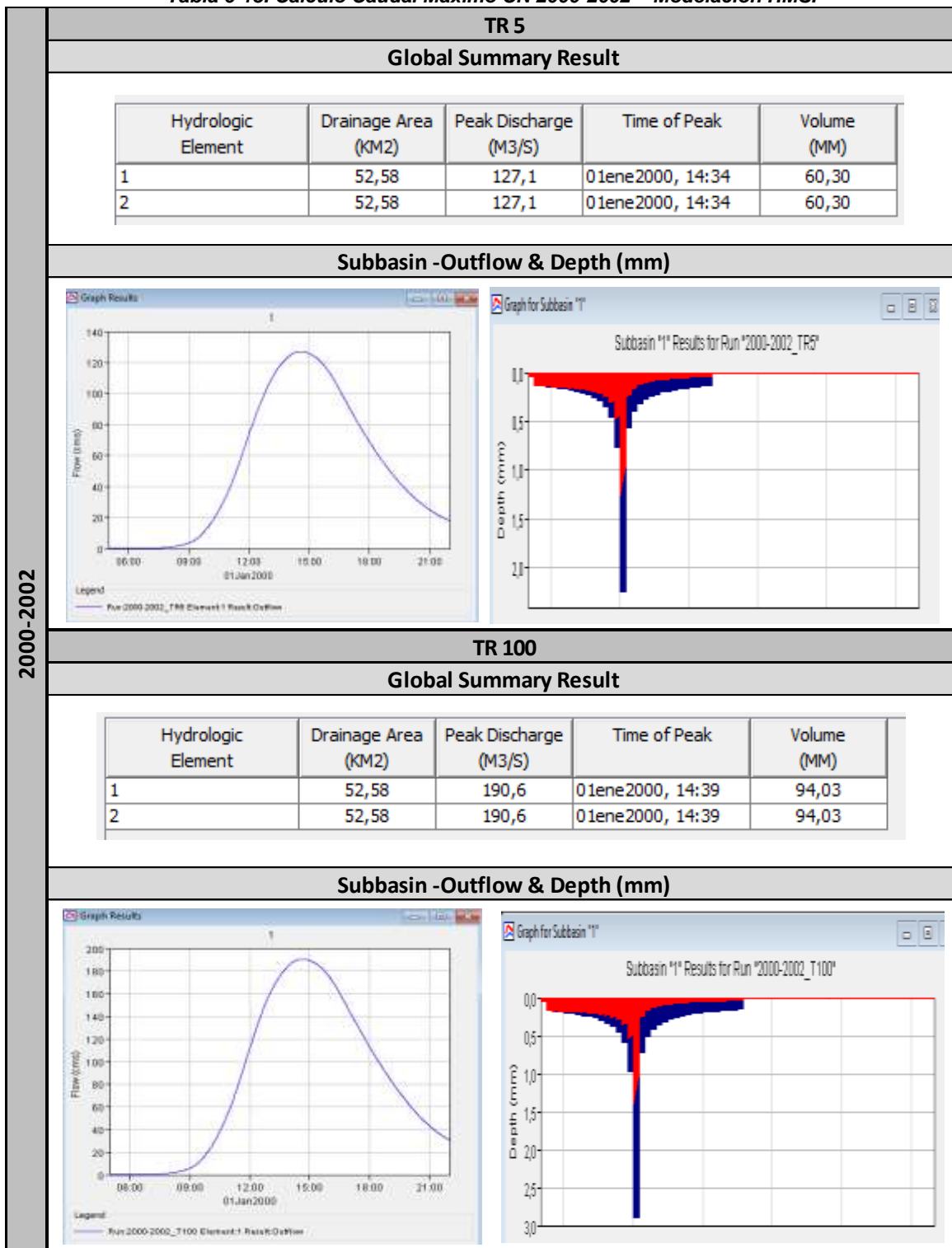


Fuente: Fuente propia.

6.9. OBTENCIÓN CAUDALES MÁXIMOS – MODELACIÓN HMS

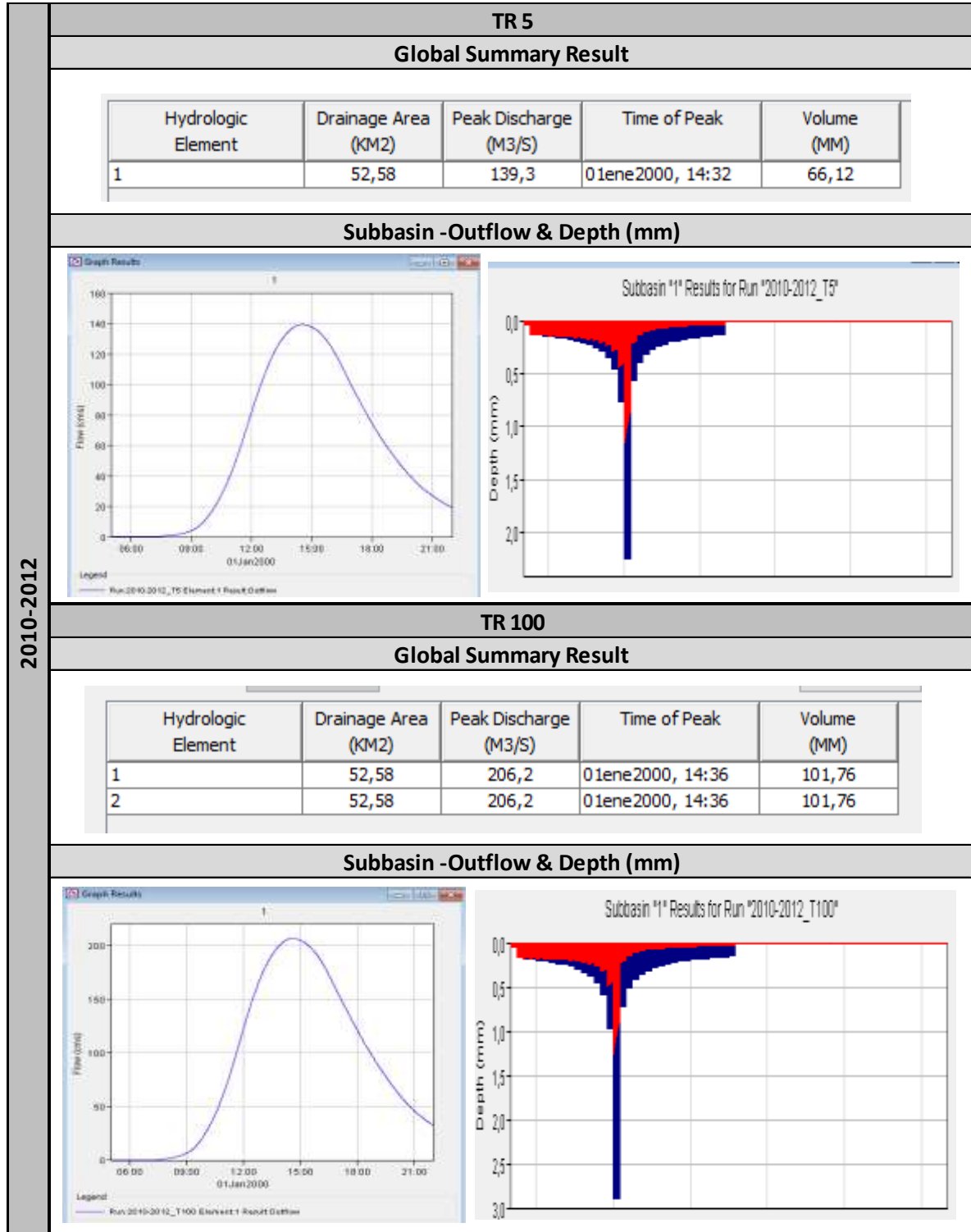
Con los datos de intensidad calculados por las IDF se obtuvieron los hietogramas para los periodos de retorno de 5 y 100 años, a su vez, los números de curva calculados para los dos periodos de análisis 2000-2002 y 2010-2012, y con ello se realizó la modelación en el Software HMS para el cálculo de los caudales máximos de la cuenca del Río Guagui, teniendo variaciones significativas donde se evidencian los cambios de cobertura vegetal en la zona dado a las diferentes actividades económicas y crecimiento poblacional en el municipio.

Tabla 6-13. Calculo Caudal Máximo CN 2000-2002 – Modelación HMS.



Fuente: propia

Tabla 6-14. Calculo Caudal Máximo CN 2010-2012 – Modelación HMS



Fuente: propia.

En las tablas 14 y 15 se indican los valores máximos de caudal los cuales registran que, para un periodo de retorno (T_r) de 5 años en el periodo de análisis comprendido en 2000-2002 se tiene $127,1 \text{ m}^3/\text{s}$ y para el análisis de 2010-2012 se tiene un caudal de $139,3 \text{ m}^3/\text{s}$, a su vez, para el periodo de retorno (T_r) de 100 años se obtuvo que en los años 2000-2002 el caudal máximo es de $190,6 \text{ m}^3/\text{s}$ y en 2010-2012 es de $206,2 \text{ m}^3/\text{s}$, con lo anterior se cumple con el objetivo resultante que es evidenciar el crecimiento de los caudales dado a las intervenciones hechas en la cuenca, mostrando que estos están directamente relacionados a los efectos del cambio de cobertura.

6.9.1. Proyección de cambio de cobertura.

Con base en el número de curva obtenido para los años 2000 y 2010, se proyectó el número de curva al presente año y al año 2030, lo anterior considerando un cambio constante en la cobertura.

Con la condición anterior se analizó una tendencia lineal, la cual indica que, bajo una tasa constante, para el año 2020 es de esperar un número de curva de 68, y para el año 2030 sería de 72. La ecuación resultante de dicho comportamiento se presenta a continuación:

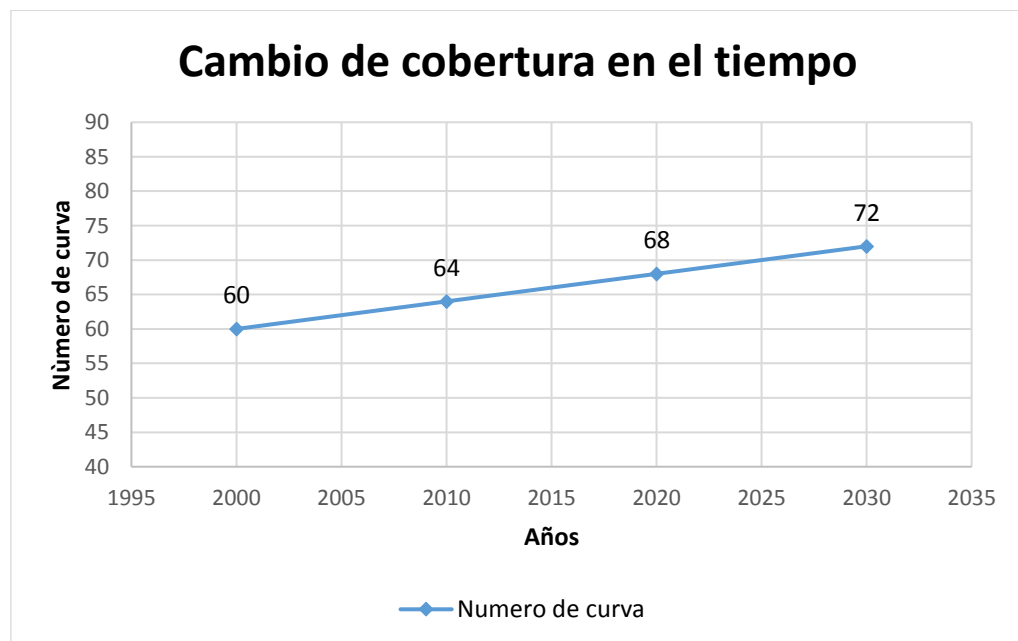
$$y = 0.4x - 740$$

Donde:

y = número de curva.

x= años analizados.

Figura 18. Proyección del cambio de cobertura Cuenca Río Guagui.



Fuente: Fuente propia.

6.9.2. Predicción de caudales máximos de la cuenca.

Lo anterior tiene una repercusión importante en los caudales pico producidos en la cuenca bajo esta apreciación. De este modo en la Figura 19 se presentan los caudales esperados bajo el supuesto de una dinámica similar a la presentada entre los años 2000 y 2012, lo cual se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

- Para $Tr= 5$ años

$$y = 1.56x - 2929.4$$

- Para $Tr= 10$ años

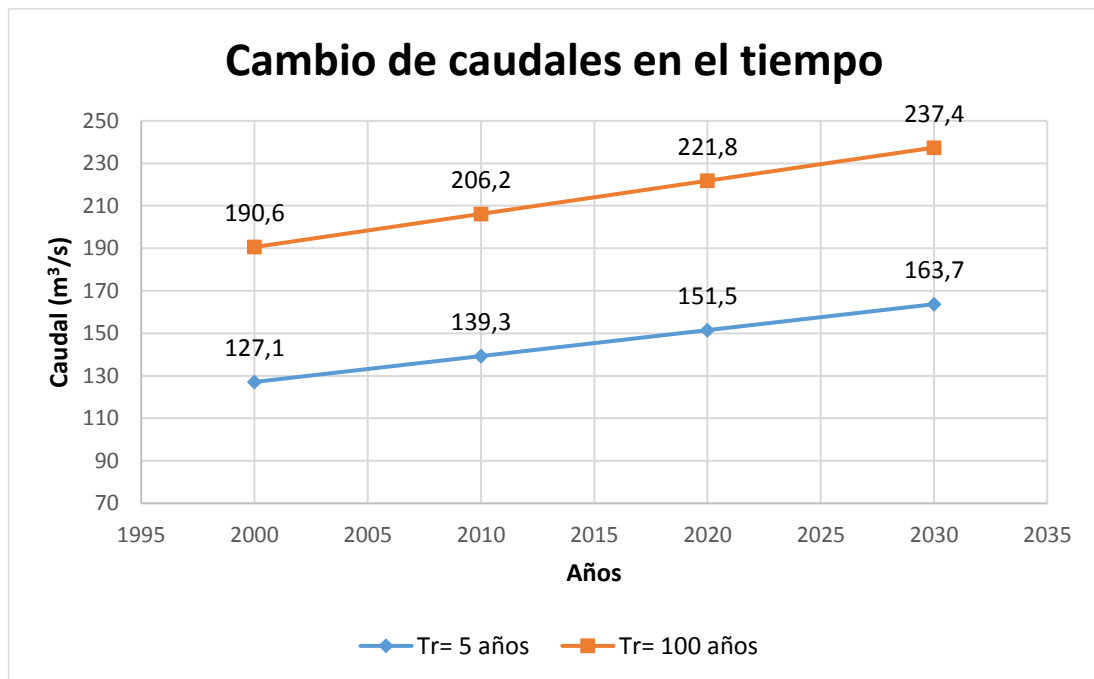
$$y = 1.22x - 2312.9$$

Donde:

y = número de curva.

x= años analizados.

Figura 19. Proyección de caudales Río Guagui.



Fuente: Fuente propia.

Como se aprecia en la gráfica anterior para el año 2030 se proyecta un caudal de $163.7\text{m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 5 años, mientras que para un periodo de retorno de 100 años se espera un caudal de $237,4\text{ m}^3/\text{s}$.

En este orden, se obtiene un aumento de los caudales de aproximadamente el 20% dadas las condiciones de cambio de cobertura de la cuenca en estudio.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La cuenca del río Guagui presenta un índice de sinuosidad de 1.72, lo cual lo clasifica como un tipo de canal irregular, así es posible inferir que, en este cauce predominan procesos de sedimentación, donde el agua fluye más lentamente al interior de la curva, reduciendo velocidad y depositando sedimentos.
- En cuanto al coeficiente de compacidad se obtuvo un valor de 2.28, lo cual apunta a una cuenca rectangular. De este modo es de esperar una tendencia a concentrar menores volúmenes de agua producto de escorrentía.
- En cuanto al índice de forma se obtuvo un valor mayor a 1 lo que indica una tendencia a ocurrencia de avenidas torrenciales.
- En los últimos años, el municipio de Barbacoas Nariño ha presentado una afectación importante en sus coberturas de suelo principalmente por las actividades económicas que se desarrollan en el sector como la explotación aurífera, la ganadería extensiva, entre otras.
- De acuerdo con el cambio de coberturas entre los años 2000-2002 y 2010-2012 obtenidos del Sistema de información Ambiental de Colombia, es posible identificar que, para la cuenca del Río Guagui se presenta una disminución en las áreas de bosque denso, de aproximadamente el 50%, mientras que los bosques fragmentados con pastos aumentaron notablemente de un 1,5% a un 23.4%.
- Suponiendo una tasa en el cambio de la cobertura constante en el tiempo como la que se ha presentado en el periodo 2000-2012, es de esperar un número de curva de 68 para el año 2020 y de 72 para el año 2030.
- La cobertura vegetal de la cuenca incide directamente en la generación de caudales pico. De este modo, analizando un periodo de retorno de 5 años, para el año 2030 se esperaría un caudal de 163.7 m³/s, indicando un incremento del 20% respecto al año 2000.
- Para un periodo de retorno de 100 años, para el año 2030 se esperaría un caudal de 237.4 m³/s, indicando un incremento del 20% respecto al año 2000.
- De acuerdo con los efectos de deforestación de la cuenca del río Guagui que se han evidenciado en el periodo comprendido del año 2000 al 2012, se recomienda realizar actividades de recuperación de bosques, con el fin de disminuir el incremento de los caudales del río en estudio.

- El incremento de caudales incide en las velocidades del cauce y por ende en el tipo de transporte que se presenta en el río. De este modo se recomienda evaluar posibles procesos de erosión o depositación que se generan, los cuales pueden alterar la dinámica del cauce e incluso la sección hidráulica efectiva del cauce.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Minería. (2017). *Caracterización de la actividad minera departamental - Nariño*. Nariño: MINMINAS.
- Agricultura, O. d. (2018). *Guía de buenas practicas para la Gestión y Uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. Obtenido de Guía de buenas practicas para la Gestión y Uso sostenible de los suelos en áreas rurales: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia_de_buenas_practicas_para_la_gestion_y_uso_sostenible_de_los_suelos_en_areas_rurales.pdf
- ArcGIS. (s.f.). *Plataforma ArcGIS*. Obtenido de <https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arcgis>
- Armas, M. G. (2008). *Cálculo hidrológico de procesos de lluvia-escorrentía mediante un modelo de aguas someras 2D*. UNIVERSIDADE DA CORUÑA
- Bernal, S. M., & Prado, C. A. (2015). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA GRANADILLO EN LOS AÑOS 1993 Y 2009 A PARTIR DE AEROFOTOGRAFÍAS Y CARTOGRAFÍA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Climatico, I. D. (12 de diciembre de 2019). *www.idiger.gov.co*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Climatico., I. D. (09 de diciembre de 2019). *www.idiger.gov.co*. Recuperado el 09 de abril de 2020, de <https://www.idiger.gov.co/riesgo-por-avenidas-torrenciales>
- Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño. (2016). *PLAN DE DESARROLLO 2016-2019 "Por un Nuevo Barbacoas: Con Salud, Educación, Equidad y Paz"*. Barbacoas: Concejo Municipal de Barbacoas - Nariño.
- Condori, L. I., Loza, M. G., Mamani Pati, F., & Solíz Valdivia, H. (2017). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 1-20.
- DANE. (2018). *DANE Información para todos*. Obtenido de Censo Nacional de Población de Vivienda - 2018 Colombia: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Eraso, N. R. (2012). *Análisis del cambio de cobertura vegetal en el corredor volcánico Chile - Cerro Negro - Cerro Granizo en el departamento de Nariño, periodo 1987-2011*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Espitia Duarte, D. M., & Caicedo Gutierrez, V. N. (2018). *Impacto económico de la minería ilegal en Colombia*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

- García, R. A. (2002). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Biológica de Yuscarán, El Paraíso, Honduras*. Honduras: Universidad de Zamorano.
- Gaspari, F., Senisterra, G., & Marlats, R. (21 de Diciembre de 2006). *Relación precipitación - escorrentía y número de curva*. Obtenido de Relación precipitación - escorrentía y número de curva: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1521/gaspariagrarias39-1.pdf
- Gutiérrez, N. M. (2016). *ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA IDENTIFICAR LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL DEL HUMEDAL DE TIBABUYES*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Hernandez, L. N., & Salamanca, J. A. (2019). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y INFLUENCIA EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES PICO DE LA CUENCA SARDINATA, DEL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER – COLOMBIA*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- IDEAM. (2010). *LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1: 100.000*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). *Coberturas de la tierra*. Obtenido de Coberturas de la tierra: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (14 de Junio de 2018). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/id/72115815?_101_INSTANCE_LdWW0ECY1uxz_urlTitle=ideam-presento-los-datos-actualizados-del-monitoreo-a-la-deforestacion-en-2017
- Lanly, J. P. (2003). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/3/xii/ms12a-s.htm>
- Minería, A. N. (septiembre de 2018). *Agencia Nacional de Mineral*. Obtenido de mineriaencolombia.anm.gov.co: <http://mineriaencolombia.anm.gov.co/images/MINERALES/ficha-oro-2019.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Tesoro Ambiental para Colombia*. Obtenido de Tesoro Ambiental para Colombia: <https://bibliovirtual.minambiente.gov.co/documentos/tesauro/naveg.htm>
- Ministerio de Minas y Energía. (Agosto de 2003). *Glosario Técnico Minero*. Obtenido de Glosario Técnico Minero: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Muñoz, D., Rodríguez, M., & Romero, M. (2008). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS, EN LA MICROCUENCA*

LAS MINAS, CORREGIMIENTO DE LA LAGUNA, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO. Pasto.

- Poveda, G., & Mesa, O. (1995). *Efectos hidrológicos de la deforestación*. Obtenido de *Efectos hidrológicos de la deforestación* : <http://www.bdigital.unal.edu.co/53202/1/Energetica%201995%20No.%2016-91.pdf>
- Rosero, M. M. (2017). *Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura*. Ibarra – Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- SIAC. (2012). *SIAC - SUELOS EN COLOMBIA*. Obtenido de [siac.gov.co/sueloscolombia](http://www.siac.gov.co/sueloscolombia): <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>
- UMAIC, U. d. (2018). *Informe Final MIRA: Municipio de Barbacoas (Nariño, Colombia)*. Barbacoas, Nariño: Unidad de Manejo y Análisis de Información Colombia – UMAIC.
- Vega, E. (2017). La minería: año de definiciones. *Dinero*.
- Villegas, J. C. (2004). ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO EN LA RELACIÓN AGUA-SUELO-VEGETACIÓN PARA EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. *Revista EIA*.