

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DE LAS COBERTURAS VEGETALES Y SU RELACIÓN
CON LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS EN EL RÍO MORRO, UBICADO EN EL
MUNICIPIO DE MONGUÍ DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.**

DIANA FERNANDA BARRERA ZEA
Ingeniera Ambiental
JUAN DAVID CHAPARRO PARADA
Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2021

la carta para sesión de derechos de autor la carta para sesión de derechos de autor.

DIANA FERNANDA BARRERA ZEA
Ingeniera Ambiental
JUAN DAVID CHAPARRO PARADA
Ingeniero Ambiental

**Proyecto de investigación para optar por el título de
ESPECIALISTA EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

Director: PAULO GERMAN GARCÍA MURILLO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2021**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado está dedicado a nuestras familias, por el amor y apoyo que nos han brindado a lo largo de nuestra vida, ustedes nos motivan a ser cada día mejores

Diana Barrera y Juan Chaparro

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, a nuestro director de proyecto de grado Paulo Germán García Murillo por su apoyo, paciencia y acertadas recomendaciones y así culminar con buenos resultados la realización del trabajo, también a todos los docentes que estuvieron en el transcurso de esta etapa de nuestras vidas, por apoyarnos y motivarnos para así culminar con éxito un camino más en nuestras vidas. A todos aquellos que nos apoyaron y creyeron siempre.

RESUMEN

En la zona de estudio del municipio de Monguí, el páramo es un ecosistema de gran importancia debido a su cobertura vegetal y al nacimiento de sus principales ríos, para la determinación y análisis del cambio de cobertura vegetal entre los periodos 2000 a 2020 y la alteración del régimen de lluvias, la disminución de caudal del Río Morro, se utilizaron herramientas y métodos que nos proporciona actualmente la teledetección. Se realizó la clasificación supervisada por máxima probabilidad de las imágenes satelitales para dos periodos de tiempo, con el fin de cuantificar la cobertura vegetal, compararla, contrastarla y observar cómo ha sido la dinámica espacial en este tipo de ecosistema. Relacionando los periodos de cambio de coberturas, generando transformaciones evidenciando disminución en los caudales de la microcuenca del Río Morro, debido a la abundancia de coberturas en áreas aledaña al cuerpo de agua y la estabilización de la configuración espacial a escala del paisaje, es indispensable evaluar las transiciones de uso identificadas sobre los recursos hídricos, edáficos y ecológicos, con el fin de orientar estrategias de manejo del recurso hídrico.

La evaluación se realizó por medio de un análisis multitemporal, en la cual se estableció la relación entre la transformación de las coberturas de la tierra y el cambio en la dinámica fluvial, relación que se determinó a partir de la obtención de imágenes satelitales para los periodos 2000, 2001, 2002, 2003, 2016, 2019, 2020; Para la homogenización de las coberturas vegetales producto de la clasificación de las imágenes satelitales se utilizó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)

Como resultado se obtuvo la mapificación de las coberturas vegetales para los diferentes años anteriormente mencionados, los cuales fueron comparados para determinar la variación de las coberturas vegetales durante los 20 años. Los resultados obtenidos pueden ser insumo para los

procesos de planificación y uso racional de los recursos naturales, así como para establecer procesos de conservación en este tipo de ecosistema,

Palabras clave: Dinámica fluvial, Cuenca, Coberturas Vegetales, imágenes satelitales

ABSTRACT

In the study area of the municipality of Monguí, the páramo is an ecosystem of great importance due to its vegetation cover and the source of its main rivers, for the determination and analysis of the change in vegetation cover between the periods 2000 to 2020 and the alteration of the rainfall regime, the decrease in the flow of the Morro River, tools and methods currently provided by remote sensing were used. The classification supervised by maximum probability of the satellite images was carried out for two periods of time, in order to quantify the vegetation cover, compare it, contrast it and observe how the spatial dynamics have been in this type of ecosystem. Relating the periods of cover change, generating transformations evidencing a decrease in the flows of the Morro River micro-basin, due to the abundance of covers in areas surrounding the body of water and the stabilization of the spatial configuration at the landscape scale, it is essential to evaluate the transitions of use identified on water, edaphic and ecological resources, in order to guide management strategies for water resources.

The evaluation was carried out through a multi-temporal analysis, in which the relationship between the transformation of land cover and the change in fluvial dynamics was established, a relationship that was determined from obtaining satellite images for the periods 2000, 2001, 2002, 2003, 2016, 2019, 2020; For the homogenization of plant covers resulting from the classification of satellite images, the Corine Land Cover methodology adapted for Colombia by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies of Colombia (IDEAM) was used.

As a result, the mapping of the vegetation cover was obtained for the different years mentioned above, which were compared to determine the variation of the vegetation cover during the 20 years. The results obtained can be input for planning processes and rational use of natural resources, as well as for establishing conservation processes in this type of ecosystem,

Keywords: River dynamics, Basin, Vegetation Covers, satellite images

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. ANTECEDENTES	25
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	25
5. MARCO TEÓRICO.....	36
6. MARCO REFERENCIAL.....	43
6.1 MARCO CONCEPTUAL.....	43
6.2 MARCO LEGAL	53
7. METODOLOGÍA	56
7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MORRO DESDE SU NACIMIENTO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIMÉTRICA PUENTE COLONIAL [24037300] DEL IDEAM EN EL MUNICIPIO DE MONGUÍ.....	56
7.2 ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL.....	58
7.3 RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES PRESENTES EN EL PÁRAMO DE OCETÁ, ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO MORRO, CON RESPECTO A LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS	60
8. RESULTADOS	63
8.1 DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA.....	63
8.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DEL RÍO MORRO	63
8.3 ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL.....	75

8.3.1 ÁREAS Y ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS.....	75
8.3.2 CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES DESDE EL AÑO 2000 HASTA EL AÑO 2020	77
8.4 RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES PRESENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO MORRO, CON RESPECTO A VARIABLES HIDROLÓGICAS	90
8.4.1.1 <i>Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia</i>	92
8.4.2 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO	97
8.4.2.1 <i>Estimación de caudales de diseño precipitación- escorrentía</i>	97
8.4.2.2 <i>Estimación de tormentas de diseño</i>	98
8.4.3 <i>Modelo de abstracciones de la precipitación</i>	104
8.4.3.1 <i>Modelo de transformación precipitación – escorrentía</i>	113
8.4.3.2 <i>Estimación de caudales modelo HEC-HMS</i>	115
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	127
9.1 AFECTACIONES EN EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL PROPIA DEL ECOSISTEMA DE PARAMO, DURANTE LOS AÑOS 2000 A 2020.....	127
9.2 RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES PRESENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO MORRO, CON RESPECTO A VARIABLES HIDROLÓGICAS (PRECIPITACIÓN, CAUDAL).	132
10. CONCLUSIONES	134
11. RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	137

LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1: Zonas de vida en la Microcuenca el Morro</i>	27
<i>Tabla 2: Lista de vegetación observada de la formación bs-mb</i>	27
<i>Tabla 3: Lista de vegetación de la formación p-sa.</i>	29
<i>Tabla 4: Clasificación de la cuenca según su área</i>	41

<i>Tabla 5: Valores de Factor forma</i>	42
<i>Tabla 6: Valores de Coeficiente de compacidad</i>	43
<i>Tabla 7: Valores de Índice de alargamiento</i>	43
<i>Tabla 8: Valores de Índice asimétrico</i>	44
<i>Tabla 9: Clasificación pendiente media</i>	44
<i>Tabla 10: Características generales de la microcuenca del Río Morro</i>	62
<i>Tabla 11: Parámetros forma de la cuenca</i>	63

LISTADO DE GRAFICAS

<i>Grafica 1: Curva hipsométrica Microcuenca del Río Morro</i>	67
<i>Grafica 2: Pendiente cauce principal de la microcuenca del Río Morro</i>	69
<i>Grafica 3: Variación de la cobertura vegetal, período 2000 – 2021</i>	83
<i>Grafica 4: Precipitación máxima multianual</i>	86
<i>Grafica 5: Curvas IDF AÑO 2000</i>	88
<i>Grafica 6: Curvas IDF AÑO 2001</i>	88
<i>Grafica 7. Curvas IDF AÑO 2002</i>	88
<i>Grafica 8. Curvas IDF AÑO 2003</i>	88
<i>Grafica 9. Curvas IDF AÑO 2016</i>	89
<i>Grafica 10. Curvas IDF AÑO 2019</i>	89
<i>Grafica 11. Curvas IDF AÑO 2020</i>	89
<i>Grafica 12. Curvas IDF AÑO 2021</i>	90
<i>Grafica 13: Hidrograma unitario Río</i>	107

LISTADO DE IMÁGENES

<i>Imagen 1: localización del Río Morro a escala 1:25000</i>	24
<i>Imagen 2: Flujograma de la metodología del procesamiento de imágenes</i>	57
<i>Imagen 3: Esquema de la metodología implementada</i>	59
<i>Imagen 4: delimitación de la microcuenca del Río Morro</i>	61
<i>Imagen 5: Curva hipsométrica</i>	65
<i>Imagen 6: ecosistemas estratégicos en la microcuenca del Río Morro</i>	71
<i>Imagen 7: coberturas vegetales año 2000</i>	75
<i>Imagen 8: : coberturas vegetales año 2001</i>	76
<i>Imagen 9: coberturas vegetales 2002</i>	77
<i>Imagen 10: coberturas vegetales 2003</i>	78
<i>Imagen 11: coberturas vegetales 2016</i>	79
<i>Imagen 12: coberturas vegetales 2019</i>	80
<i>Imagen 13: coberturas vegetales 2020</i>	81
<i>Imagen 14: coberturas vegetales 20021</i>	82
<i>Imagen 15: Mapa de cobertura de tierras de Monguí (IAvH.2007)</i>	128

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña, como los páramos han aumentado su importancia a través de los años, debido a que vienen sufriendo cambios de transformación por las diferentes comunidades que los rodean, las cuales desde su propia visión le han dado a través del tiempo un ordenamiento social, político y cultural (Macizo Colombiano, 2004). Los páramos presentan una relación con la comunidad que habita en ellos y los rodea, además los páramos forman un ecosistema estratégico, prestando variados servicios ambientales y naturales, entre ellos el más importante el de interceptar, almacenar, y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos de ahí que lo convierte en un ecosistema sumamente estratégico (Ministerio de Medio Ambiente, 2001). Sin embargo, los ecosistemas de alta montaña como los páramos, vienen siendo deteriorados ambientalmente por factores como el cambio climático, también por factores antrópicos entre los que cabe resaltar la deforestación, tala, quema y ampliación de la frontera agrícola. Debido a esto han suscitado, en distintos ámbitos, un especial interés por su conservación y manejo sostenible, interés que proviene desde tiempo atrás, siendo un tema de relevancia constitucional y uno de los principios de la Ley 99 de 1993. Este último aspecto forma el nexo por excelencia de las comunidades con el ecosistema, y es la causa de que en los páramo actualmente existe una gran diversidad de paisajes que va más allá de su ya notable diversidad natural (Hofstede, 2000); Sin embargo, el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia plantea la idea de limitar las actividades productivas con miras a su protección y la necesidad delimitar un área geográfica del ecosistema para hacer efectiva dicha iniciativa, se establece por primera vez la Ley 1382 del 9 de febrero de 2010, que modificó parcialmente el Código de Minas (Ley 685 de 2001). Es así como, la función de delimitar los páramos es concedida al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Ley 1450 de 2011 y la Ley 1753 de 2015, función revalidada recientemente por la Ley 1930 de 2018. Para estos efectos,

la Corte Constitucional precisó en la Sentencia C-035 de 2016, que el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible debe tener en cuenta los criterios científicos fijados por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – IAvH,

Los ecosistemas de páramos, localizados en zonas de alta montaña, durante los últimos años han presentado una intensiva degradación como resultado de la pérdida parcial o total de la cobertura vegetal, generando alteración en la regulación hídrica. Esto es una consecuencia del deterioro ambiental de diferentes factores de actividades antrópicas, como agricultura, ganadería y minería. El ser humano, en busca de prevenir una destrucción total de estos ecosistemas, ha implementado políticas de uso sostenible, que no han tenido el impacto positivo esperado, debido al desconocimiento e insensibilidad de las comunidades que los habitan. (Garavito Rincón, 2015).

La expansión de la frontera agrícola ha permitido la reducción de la cobertura vegetal, permitiendo la aceleración de la intervención antrópica, por lo que en muchas de las áreas originales de paramo y de las cuencas hidrográficas se están dedicando a diferentes actividades como campos agrícolas, ganaderos zonas de pastoreo, extracción de madera, tala, quema entre otras. Todas estas actividades afectan directamente la regulación de la escorrentía superficial la cual es de suma importancia para la preservación del recurso hídrico del que dispone Colombia (Marín, 2003).

Desafortunadamente, para el área de estudio en la cuenca del Río Morro, cada vez las actividades humanas son tan intensas que han venido deteriorando ambientalmente el ecosistema, que en muchas áreas de las coberturas vegetales la zona limítrofe entre la vegetación arbórea y la herbácea, han sido cambiadas o taladas. De esta manera , el tercer beneficio del páramo (el espacio para actividades agrícolas) ha perjudicado a los otros dos beneficios (hidrología y diversidad) e inclusive se está afectando a sí mismo.

La cuenca del Río Morro o del Río Monguí en el departamento de Boyacá, es la principal fuente de abastecimiento del Municipio y no está exenta a estas dinámicas, presentado cambio de coberturas vegetales de ecosistemas principalmente de páramo y bosques húmedos de alta montaña, asociados a la actividad ganadera y agrícola y minera.

La cuenca analizada es un sistema ecológico complejo, conformado por ecosistemas de páramo, y bosques de alta montaña, especies herbáceas nativas, además del importante recurso hídrico del que dispone, de todo lo mencionado anteriormente se concluye que la cuenca alta del río Morro tiene importancia local estratégica desde el punto de vista de biodiversidad, abastecimiento de agua y potencial ecoturístico y ecológico. Todos estos servicios dependen directamente del recurso hídrico, cuya regulación se ve afectada por el cambio de coberturas naturales y que debe ser evaluada para generar estrategias de conservación de coberturas para la restauración de la capacidad natural de regulación hídrica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las fuentes de agua más importantes de nuestro país son los páramos. Sin embargo, poco o casi nada se conoce sobre los procesos hidrológicos que ocurren en estos ecosistemas de montaña.

La falta de interés de los habitantes por proteger y mantener en estado natural los páramos es totalmente nula, según se pudo determinar por las diferentes investigaciones del proyecto Boyacá BIO. El uso del páramo cada vez se va incrementando debido a la alta deforestación, tala, quema, ampliación de la frontera agrícola y siembra de cultivos con especies que no son propias de un páramo, el pastoreo de ganado bovino se mantiene desde muchos años atrás, así como la actividad agrícola; todo lo mencionado hace que las áreas naturales como los bosques naturales y los páramos reduzcan su extensión haciendo que la biodiversidad biológica y sus servicios ambientales y naturales disminuya, entre ellos uno de los más importantes, interceptar, almacenar y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos, de ahí que las zonas de paramo sean un ecosistema sumamente estratégico.

En la actualidad se ha encontrado que el cambio de la cobertura vegetal es cada vez más evidente por la intervención antrópica, mostrándose así, una ampliación significativa de la frontera agropecuaria, agrícola y minera (Corponariño, 2006) Este proceso puede llevarse a cabo de manera positiva o negativa según el aprovechamiento que se presente; si el cambio de la cobertura vegetal presente en el Páramo es adecuado y no afecta la calidad de los nutrientes que presenta el suelo y su uso desde el ordenamiento territorial, se puede hablar de un aprovechamiento positivo; por el contrario, si este se lo hace para actividades agropecuarias que no son aptas para la zona se habla de un cambio negativo, puesto que se está contribuyendo con el desgaste y alteración de los bienes y servicios ambientales que ofrece la zona. Por consiguiente, las consecuencias que se presentan cuando el cambio afecta de manera negativa,

son la reducción de la cobertura vegetal, tanto de selva altoandina como paramuna y disminución de oferta hídrica (Corponariño, 2006).

El cambio de cobertura vegetal, es una problemática presente desde el tiempo de la colonización que con el paso del tiempo paulatinamente ha ido creciendo por factores antrópicos principalmente, ya que el incremento de la población ubicada en el área de influencia de estudio busca alternativas para sustentar sus necesidades básicas, trayendo consigo la ampliación de la frontera agropecuaria, y en consecuencia de ello, la destrucción total o parcial de la cobertura vegetal.

La huella del uso del suelo con relación a la escorrentía superficial es una función que depende de diferentes variables, siendo su variable más importante el régimen hídrico del revestimiento vegetal con relación a la evapotranspiración, la capacidad de infiltración, la capacidad del suelo para retener agua y la capacidad de la cubierta vegetal para captar humedad. Un cambio de especies de menor a mayor grado conducirá a un descenso en el caudal anual. De una revisión de 94 cuencas de recepción experimental, (Hofstede, 1998), concluyeron que el establecimiento de una cubierta forestal en un terreno con núcleos de vegetación aislados reduce la escorrentía superficial de agua.

Gran parte del área de la cuenca hidrográfica del Río Morro, se encuentra ubicada por encima de los 3200 m.s.n.m. lo que significa que debe estar completamente protegida según el decreto 1729 del 2002 (Bosques, zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de aguas y zonas de recarga de acuíferos,) y su uso debería ser netamente protector, situación que no sucede, debido a que se puede presenciar gran cantidad de cultivos y pastos empleados para ganadería extensiva en el páramo de Ocetá.

El páramo de Ocetá posee una serie de condiciones naturales excepcionales, alimenta hídricamente a varias corrientes y quebradas entre ellas el Río Morro; a lo que se le suma su

extraordinaria belleza y su función ecosistémica. Cobija parte de los municipios de Monguí y Mongua; siendo mayor su área en este primer municipio.

En la zona de páramo del Río Morro, se ubican fincas con terrenos más extensos y con ganadería extensiva, el minifundio no es tan marcado como hacia la parte baja y media de la Microcuenca. Esto hace que la presión hacia la parte alta no sea acentuada en cuanto a cantidad de habitantes, pero si lo es en lo que se refiere a actividades destructoras, es decir, pocas personas están ejerciendo un daño más marcado que lo que muchas pudieran hacer y esto se debe a la zona sobre la que se están desarrollando estas actividades de agricultura (con la consecuente quema, pérdida de cobertura vegetal, interrupción de equilibrio natural, etc.) y ganadería es un área estratégica y vulnerable a los cambios; resulta muy contradictorio que cerca al nacimiento del Río Morro, después de encontrar una vegetación natural de zonas de páramo, cuando se empieza a descender a la ribera en esta zona se hallen cultivos y en su mayoría ganado rompiendo de tajo el paisaje y la vegetación. En la zona de páramo (3500 m.s.n.m.) se observa musgo, que forman colchones de agua de gran espesor, almacenadores de agua, sin embargo, en un trayecto se nota como el terreno está cediendo horizontalmente, debido quizá a la capacidad del terreno y al manejo a que ha estado sometido. En las zonas altas predomina el pastoreo de ovinos, afectando las zonas de páramo. La parte media y baja de la Microcuenca del Río Morro, donde la presión antrópica se hace más notoria, aquí las actividades agrícolas son más evidentes que las pecuarias, la tenencia es de minifundio marcado y la explotación del territorio es mucho más intensiva en comparación a las zonas altas de la cuenca, donde predomina las explotaciones ganaderas en medianas a grandes extensiones de terreno. Durante el recorrido del Río Morro después de su encuentro con la Quebrada Peñitas; se localiza la Captación para el Acueducto de la Vereda de Docuazúa que abastece a 64 familias, antes del Cerro conocido como El Morrito aproximadamente a los 3400 msnm. más abajo se hallan otras captaciones: una destinada para el acueducto del “Barrio San Isidro” antes sector Hato Viejo Alto a 3100 msnm; la otra corresponde

a la Captación del Acueducto del Centro ubicada cerca de los 3000 msnm. (E.O.T., Esquema de Ordenamiento Territorial, 1999)

De esta manera, no solo en el área de estudio, sino que también a nivel mundial, el ser humano es el principal responsable de las alteraciones al ambiente, siendo esta una problemática que merece un cuidado especial para controlar y minimizar y mitigar, la pérdida de los recursos naturales.

Teniendo en cuenta lo anterior se desea realizar el análisis de cambio de coberturas en el páramo de Ocetá, en la cuenca del Río Morro para un período de 20 años, observando de qué forma este cambio de coberturas vegetales está afectado el balance hídrico de la cuenca con respecto al caudal y la precipitación.

Pregunta de investigación

¿Cómo es la influencia del cambio en las coberturas vegetales sobre las variables hidrológicas (Caudal y Precipitación) en el Río Morro, ubicado en el municipio de Monguí departamento de Boyacá?

2. JUSTIFICACIÓN

El estado colombiano en pro de conservar y promover el buen uso de los recursos naturales ha venido implementando políticas para la identificación de ecosistemas prioritarios en aras de implementar medidas para su manejo y ordenación, enmarcadas en la agenda 21: ordenación de ecosistemas frágiles: desarrollo sostenible de la alta montaña, por ello los páramos (superáramos, páramo, subpáramo y zona superior del bosque alto andino) han sido priorizados debido a su importante capacidad de retención hídrica y por sus islas de diversidad, convirtiéndolos en focos de atención nacional e internacional. (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Fonseca, y Kent, 2000; Ministerio de Medio Ambiente, 2002)

Cabe resaltar, que Colombia tiene la responsabilidad per se de proteger los páramos por tener el 50% del total de estos ecosistemas a nivel mundial. El estado debe velar por la permanencia y conservación de las 3.379 especies de plantas, 70 especies de mamíferos, 157 especies de aves, 90 especies de anfibios y demás especies que no se han reportado pero que contribuyen a las dinámicas, equilibrio ecosistémico y retención hídrica, garantizando así el almacenamiento y distribución del 70% de los recursos hídricos del país (Ruiz, Moreno, Gutiérrez, y Zapata, 2008; Vásquez y Buitrago, 2011).

El departamento de Boyacá es privilegiado al contar con varios ecosistemas de alta montaña y páramo. No obstante, la inadecuada gestión del recurso hídrico amenaza la capacidad de regulación hídrica y los rendimientos hídricos de estos ecosistemas. Sumado al impacto del cambio climático y a la expansión de la frontera agrícola ha conllevado a la necesidad de estudiar con más detalle de su comportamiento hidrológico, con miras a planificar y desarrollar estrategias de gestión integrada del recurso hídrico y darle un adecuado uso, manejo y conservación, en donde se consideren no solo la satisfacción de las diferentes necesidades humanas sino, además

la conservación de sus características ecológicas, hidráulicas e hidrológicas. (EQUIPO COORDINADOR “BOYACÁ BIO”, 2017).

Los páramos son ecosistemas estratégicos para la sostenibilidad social, económica y ambiental de Colombia, pues, además de ser la principal fuente de abastecimiento de muchos ríos, ofrece innumerable y variados recursos naturales necesarios para las actividades productivas, ambientales y socioculturales (Díaz, 2014)

Por lo anterior, es necesario llevar a cabo planes de gestión del recurso hídrico en las cuencas ubicadas en ecosistemas de páramo y alta montaña en el departamento de Boyacá. En este proceso de gestión es fundamental desarrollar herramientas conceptuales y metodológicas adaptadas a las condiciones de páramo, las cuales logren determinar con criterios claros y científicos los caudales ambientales, lo cual permitirá establecer el uso y aprovechamiento del agua para diferentes propósitos; estos incluyen los usos ambientales, el funcionamiento ecológico de los ecosistemas, el suministro de agua para consumo e higiene, la generación hidroeléctrica, el riego agrícola y la recreación, entre otros (Pinilla, 2013).

Uno de los recursos naturales fundamentales para el desarrollo de los seres humanos y de la vida en general es el agua y su principal fuente son los páramos que a través de los procesos de precipitación y deshielos acumulan agua, que luego lenta y sostenidamente ceden a los grandes cuerpos hídricos (Hofstede, 2000).

La disponibilidad de agua depende de la capacidad de los ecosistemas para captarla y mantenerla, así como del buen manejo de los páramos y de las formas e intensidad del consumo del recurso por parte de los distintos grupos sociales. La función de captación de tal recurso es considerada un servicio ambiental, del cual se beneficia toda la sociedad, posibilitando el desarrollo de actividades de producción y reproducción social. En este sentido, se entiende que el deterioro de los ecosistemas involucrados en las cuencas hidrográficas como el páramo, afecta

directamente la oferta hídrica y por lo tanto la calidad de vida poblacional. (Max Neef, M. 1993) el deterioro de los ecosistemas de alta montaña es un problema que afecta no solo a las poblaciones de fauna y flora presentes en estos ecosistemas también afecta a la población humana y los estilos de vida adoptados por las mismas.

La microcuenca del Río Morro se encuentra localizado en la cuenca media del río Chicamocha en el municipio de Monguí, en el departamento de Boyacá. En la zona alta de la cuenca se encuentra parte de El Parque Natural Regional PNR Siscunsi – Ocetá

A pesar de que el páramo de Ocetá fue declarado como Parque Regional Natural, actualmente la zona de páramo de la microcuenca el Morro se encuentra desprotegida en gran medida, presenta una fuerte presión antrópica por la actividad agrícola y pecuaria y no se han desarrollado estudios con relación a la microcuenca importantes. Por lo anterior la presente investigación pretende analizar variables hidrológicas con miras a establecer los parámetros claves que se deben tener en cuenta para el apoyo a la toma de decisiones en la planificación y gestión del recurso hídrico en cuencas ubicadas en estos ecosistemas.

De otra parte, considerando la gran importancia del páramo de Ocetá, valorado por muchos como el más bello del mundo, la gestión adelantada por CORPOBOYACÁ en 2002, permitió la declaración de éste como reserva municipal, tanto en Monguí, como en Mongua. No obstante, con la excepción de la adquisición de algunos predios y la señalización de senderos para ecoturismo, el plan no ha sido implementado.

El proceso de declaratoria y delimitación del PNR Siscunsi – Ocetá se hizo con base en el uso actual del suelo y las coberturas vegetales naturales y transformadas presentes en la región, siempre con el propósito de proteger las áreas de páramo y las fuentes hídricas. Aun cuando no existe un límite visible para el parque por carencia de mojones o cercas, se utilizan accidentes topográficos como los ríos y quebradas, las divisorias de aguas o filos de las cuchillas como los

conoce la gente de montaña; pero en general se puede tomar como referencia el límite entre las áreas productivas (cultivos y potreros) y las áreas de coberturas naturales como los páramos o relictos de matorral y bosque alto andino; en otras palabras, donde terminan los cultivos y potreros y comienza el páramo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el cambio de coberturas vegetales para un período de veinte (20) años, y su relación con las variables hidrológicas (caudal y precipitación), en el Río Morro (código de cuenca 2403025001, código de corriente 2502), Municipio de Monguí, departamento de Boyacá.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las características morfométricas del Río Morro, desde su nacimiento hasta la estación puente colonial en el municipio de Monguí
- Definir el área de la cuenca que se ha visto afectada en el cambio de la cobertura vegetal propia del ecosistema de páramo, durante los años 2000 a 2020.
- Determinar la relación existente entre el cambio de coberturas vegetales presentes en el área de influencia del Río Morro, con respecto a variables hidrológicas (precipitación, caudal).

4. ANTECEDENTES

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

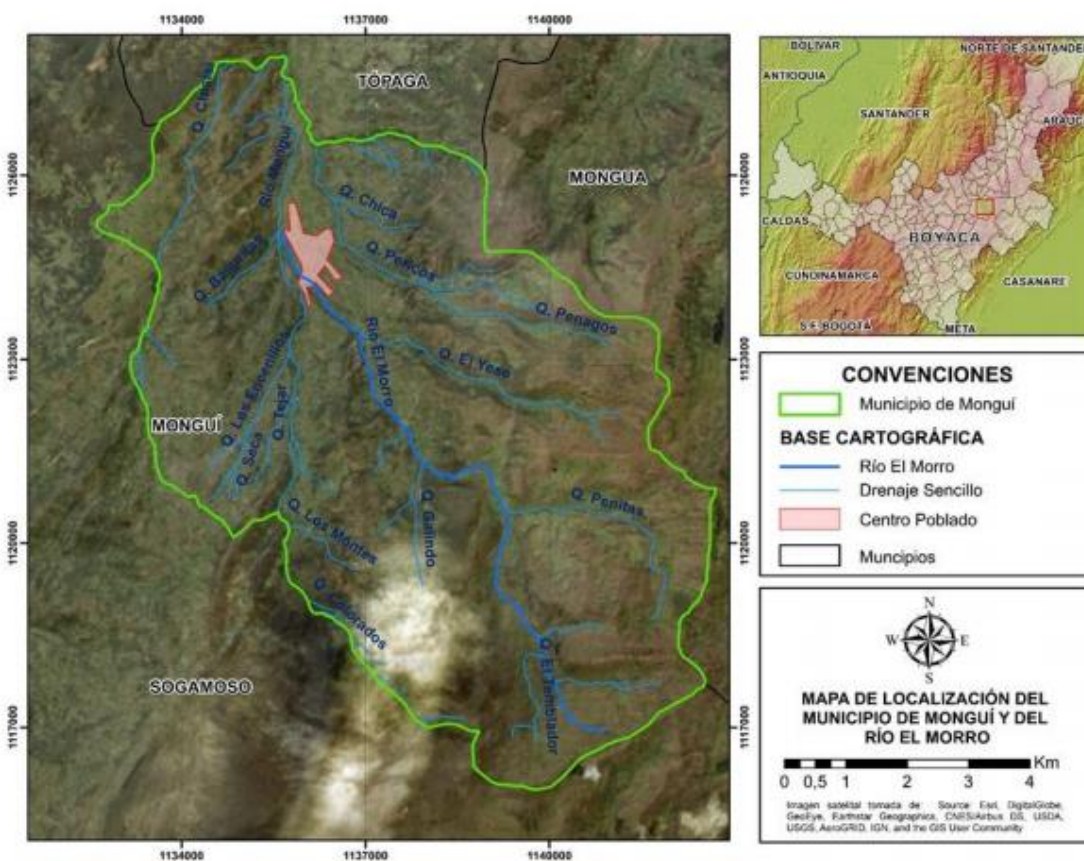
LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO

Monguít está ubicado en la parte oriental del departamento de Boyacá, en la Provincia de Sugamuxi; localizado en las estribaciones de la Cordillera Oriental Colombiana formando parte del altiplano cundiboyacense. Monguít limita por el norte con el municipio de Tópaga, por el este con el municipio de Mongua y por el sur y por el oriente con la ciudad de Sogamoso. (E.O.T., Esquema de Ordenamiento Territorial, 1999)

Localización del Río Morro

Nace a los 3800 metros sobre el nivel del mar, en la Quebrada El Morro (código de cuenca 2403025001, código de corriente 2502), en la vereda de Hato Viejo, cerca de los límites con el municipio de Mongua, en estos predios se ubican humedales de importancia vital para el mantenimiento de la corriente principal del Río Morro (Imagen 1). Esta Quebrada sirve en parte, de división entre las veredas de Docuazúa y Hato Viejo de Monguít. A partir de la entrada al pueblo la quebrada El Morro cambia su nombre a río Monguít el cual funciona como fuente receptora de los vertimientos del alcantarillado. Antes de pasar por el cerro El Morro, el cauce principal recibe aguas de la quebrada de Los Barranquitos que nace en la Cuchilla de Peñas Blancas (aproximadamente a 3800 metros, límite del municipio). (E.O.T., Esquema de Ordenamiento Territorial, 1999)

Imagen 1: localización del Río Morro a escala 1:25000



Fuente: Autores, 2022

Descripción de aspectos bióticos, físicos y socioeconómicos

El Río Morro atraviesa altitudes desde los 3800 metros en su nacimiento hasta aproximadamente a los 2815 metros en su encuentro con el Río Tejar, más abajo de la zona urbana del municipio, para formar el Río Monguá. Por este gran recorrido está influenciado por los suelos con relieve inclinado a ondulado con erosión ligera a moderada y los suelos característicos de Páramo (MP.) con relieve irregular, los suelos son muy superficiales a superficiales, en su mayoría. Se presentan unas pequeñas inclusiones de Misceláneo Rocoso (MR.), en un porcentaje superior a 80% presenta afloramientos de rocas.

A grosso modo, la cobertura de la Microcuenca se halla en los arbustales y herbáceas, con algo de Vegetación de bosque hacia las zonas más altas (3300 metros en adelante, aunque se notan algunas áreas de cultivos en esta zona) y ya hacia la Cuenca media y baja predominan los terrenos dedicados a la agricultura y cobertura de herbáceas. (E.O.T., Esquema de Ordenamiento Territorial, 1999)

El Río Morro entrega sus aguas al Río Monguí, tributa importantes caudales en épocas de lluvias, pero debido al estado de intervención que presenta la cuenca los caudales disminuyen notoriamente durante los períodos secos (Gamboa et al., 2015). En la zona alta de la microcuenca del río el Morro se encuentra ubicado parte del páramo de Ocetá, el cual fue declarado Parque Natural Regional Siscunsi – Ocetá, mediante el Acuerdo 27 del 16 de diciembre de 2008.

El Río Morro presenta un lecho pedregoso y caudal no uniforme, aunque en la parte baja de la cuenca el área se hace más homogénea, su cauce se mantiene casi igual y la corriente avanza en forma ordenada. Saliendo del casco urbano de Monguí.

Según (CORPOBOYACÁ, 2017) el código que identifica a la microcuenca del río Morro dentro del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) de Colombia es 2403010803, esto indica que la microcuenca pertenece a el área Hidrográfica: Magdalena Cauca [2], Zona Hidrográfica: Sogamoso [4], Subzona Hidrográfica: Río Chicamocha [03], Unidad Hidrográfica Nivel I: Cuenca media del Río Chicamocha [01], Unidad Hidrográfica Nivel II: Río Monguí Hidrográfica Nivel III: Río Morro.

Zonas de vida

En la zona de estudio se presentan dos zonas de vida (como se puede observar en la tabla 1) de acuerdo al sistema de clasificación, el cual combina en forma integral los factores bioclimáticos más importantes: temperatura, precipitación y evapotranspiración en términos cuantitativos, los

cuales se relacionan directamente con la vida vegetal y animal y con los factores fisiográficos y edáficos, que en conjunto determinan el uso de la tierra.

Tabla 1: Zonas de vida en la Microcuenca el Morro

	CÓDIGO	NOMBRE	Altitud Promedio msnm	TEMP. °C	Precipitación promedio mm/año
2	bh-M	Bosque húmedo Montano	3000 – 3200	6-12	500 -1000
3	p-SA	Páramo andino	3200-3900	3- 6	500 -1000

Fuente: IGAC. E.O.T. Monguí 2002

Flora y vegetación

Para los inventarios de flora y fauna relacionados a continuación se tuvo en cuenta la relación presentada en el esquema de ordenamiento territorial del Municipio de Monguí, además del diagnóstico del POMCA de la cuenca media del Río Chicamocha y en el plan de ordenamiento del recurso hídrico de la cuenca alta y media del Río Chicamocha

Bosque Húmedo Montano (bh - M): En su mayoría esta transformado y predominan los pastos y pequeños rastrojos como matorrales dispersos entre los pastizales, se encuentra una gran diversidad de especies de árboles indicadores del bosque original, los cuales se relacionan en la tabla 2.

Tabla 2: Lista de vegetación observada de la formación bs-mb

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Uso-potencial	Propagación
Amarillidaceae	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i>	Esterilla, Espadilla	Conservación suelo	semilla, cespedón

Araliaceae	<i>Oreopanax floribundum</i>	Mano de oso- Higuerón	Conservación agua, fauna	Semillas
Aquifoliaceae	<i>Ilex sp.</i>	Espino, Uña de gato	Conservación- cercas	Semillas
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	Cercas-madera	Semillas
Caprifoliaceae	<i>Viburnum triphyllum</i>	Juco-garrocho	Conservación- leña	Semillas
Cunoniaceae	<i>Weinmannia tomentosa</i>	Encenillo	Conservación- Leña	Semillas
Cunoniaceae	<i>Weinmannia fagaroides</i>	Encenillo manzano	Conservación agua, leña	Semillas
Compositae	<i>Espeletia argétea</i>	Frailejón	Conservación agua.	Semillas
Compositae	<i>Espeletia boyasensis</i>	Frailejón	Conservación agua.	Semillas
Escalloniaceae	<i>Escallonia myrtilloides</i>	Tíbar	Conservación- leña	Semillas
Euphorbiaceae	<i>Croton bogotensis.</i>	Drago sangregado	- Conservación suelo, agua	Semillas

Ericaceae	<i>Befaria resinosa</i>	Pega mosca	Conservación fauna, suelo	Semillas
Ericaceae	<i>Maclanea rupestris</i>	Camarera	Conservación fauna, suelo	Semillas
Flacourtiaceae	<i>Xylosma sp.</i>	Espino, Tabe- Corono	Conservación- cercas	Semillas
Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium</i>	Chite	Conservación suelo, agua	Semillas
Hypericaceae	<i>Hypericum mexicanum</i>	chite, lunaria	Conservación suelos	Semillas
Loganiaceae	<i>Buddleia lindenii</i>	Palo blanco	Conservación suelo, agua	Semillas
Melastomatacea	<i>Miconia squamulosa</i>	Tuno esmeraldo	Conservación- leña	Semillas
Melastomataceae	<i>Monochaetum myrtoideum</i>	Angelito	Ornamental	Semillas
Myrtaceae	<i>Myrsianthes leucoxylla</i>	Arrayan	Medicinal- conservación	Semillas
Myricaceae	<i>Myrica pubescens</i>	Laurel de cera	Cercas-leña	Semillas

Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i>	Cucharo	Conservación- Cercas	Semillas
Polygalaceae	<i>Monnina angustifolia</i>	Guaguito	Medicinal- conservación	Semillas
Rosaceae	<i>Acaena cylindrotaquia</i>	cadillo, hoja felpa	conservación suelo	Semillas
Rosaceae	<i>Hesperomeles heterophylla</i>	Mortiño	Cercas-leña	Semillas
Simplocaceae	<i>simplocoos thiformis</i>	te de Bogotá	Cercas leña	Semillas

Fuente: Biólogo, GALVIS, Manuel, Observación directa, 2004

Páramo Subandino: (p-SA): Se localiza en altas regiones andinas por encima de los subpáramos, comúnmente denominado “páramo” para el sistema de clasificación de Cuatrecasas, es el páramo propiamente dicho. La vegetación presente en la zona de estudio se puede observar en tabla 3

Tabla 3: Lista de vegetación de la formación p-sa.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Uso potencial	Propagación
Amarillidaceae	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i>	Esterilla, espadilla	Conservación suelo	semilla, cespedón
Graminea	<i>Calamagrostis effusa</i>	Pajas	Artesanal, Conservación suelos	Semillas, rizomas
Graminea	<i>Festuca sp.</i>	Pajas	Artesanal, Conservación suelos	Semillas, Rizomas
Graminea	<i>Agrostis sp.</i>	Pajas	Conservación suelo	Semillas, Rizomas
Compositae	<i>Espeletia congestiflora</i>	Frailejón	Conservación agua, medicinal	Semillas

Compositae	<i>Espeletiopsis corimbosa</i>	Frailejón	Conservación agua, medicinal	Semillas
Compositae	<i>Espeletia grandiflora</i>	Frailejón	Conservación agua, medicinal	Semillas
Compositae	<i>Espeletia lopezii</i>	Frailejón	Conservación agua, medicinal	Semillas
Compositae	<i>Espeletia argentea</i>	Frailejón	Conservación suelo, medicinal	Semillas
Compositae	<i>Senecio formosus</i>	Árnica	Medicinal	Semillas
Compositae	<i>Espeletia boyasensis.</i>	Frailejón	Conservación agua, medicinal	Semillas
Compositae	<i>Bartsia sp.</i>		Conservación suelo	Semillas
Compositae	<i>Diplosthephyum sp..</i>	Romero	Medicinal, Conservación	Semillas
Berberidaceae	<i>Berberis sp.</i>	Espino	Conservación, restauración	Semillas
Bromelliaceae	<i>Puya goudotiana.</i>	Cardón	Conservación fauna	Semillas
Bromelliaceae	<i>Puya humboldtii.</i>	Cardón	Conservación fauna	Semillas
Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium</i>	Chite, Guardarosio	Conservación, restauración	Semillas
Hypericaceae	<i>Hypericum mexicanum</i>	Chite, lunaria	Conservación, restauración	Semillas
ERíocaulaceae	<i>Paepalanthus karstenii.</i>		Conservación fauna, agua	Semillas
Escrofulariaceae	<i>Castilleja fissifolia</i>	Liberal	Conservación suelo	Semillas
Gentianaceae	<i>Halenia sp.</i>	Cachitos	Conservación suelo	Semillas
Melastomataceae	<i>Castratella piloselloides</i>	Oreja de oso	Conservación suelo	Semillas
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i>	oreja de ratón	Conservación suelo	Semillas
Rosaceae	<i>Acaena cilindrostachya</i>	Cadillo-guin	Conservación suelo	Semillas
Rubiaceae	<i>Arcytophyllum nitidum.</i>	Romero	Conservación agua	Semillas
Rubiaceae	<i>Relbunium sp.</i>	Coral	Conservación fauna	Semillas

Fuente: Con observación de campo Galvis Manuel E.O.T 2002

Atributos urbanos

En general Monguí conserva su carácter residencial (58,3%), este uso se distribuye homogéneamente en todo el perímetro urbano. Las actividades terciarias están representadas

por un 2,86% de uso comercial y 2,01% de servicios, concentradas hacia la zona central y sobre las vías principales (carrera 6, carrera 3, calle 5 y calle 4). Estas actividades generalmente no se desarrollan en predios exclusivos, sino que conviven con la vivienda. Así, el 9,34% del total de predios corresponde a uso mixto, donde cohabitan la vivienda con el comercio, los servicios y la industria doméstica artesanal. Por su parte, la actividad institucional representa el 2,55% y la actividad industrial el 0,93%. (Ministerio de Cultura, 2018)

La tipología de las construcciones involucra amplios patios o solares posteriores, en su mayoría usados como huerta casera”. Es de anotar el gran número de lotes vacíos dentro del perímetro urbano, destinados actualmente a la explotación agrícola afianzando la connotación de minifundio, característica que predomina en la parte rural. Sin embargo, este hecho trae consigo diversas consecuencias de tipo ambiental como el incremento de partículas sólidas en el aire, contaminación por fumigaciones, uso de acueducto en regadío, al tiempo que deteriora la “Imagen Urbana”. (Ministerio de Cultura, 2018)

De la totalidad de edificaciones se puede identificar una variedad de usos así:

- Vivienda Comercio (mixto con residencial) Industria (mixto con residencial)
- Institucional (Subdividido en varios géneros)
- Educativo
- Recreativo y deportivo.
- Espacios públicos y zonas verdes

Las zonas residenciales están distribuías de manera homogénea en el casco Urbano conservando tipologías de distribución e índices de ocupación similares en cada sector, siendo las más homogéneas las correspondientes a los barrios “El prado” y “Los Cedros” por su diseño urbanístico moderno y su desarrollo conjunto. (Ministerio de Cultura, 2018)

Comercio

corresponde a pequeños locales que operan como “Tiendas populares” con productos en su mayoría comestibles y de canasta familiar. Una pequeña franja de éste comercializa a nivel local los productos de su respectiva Industria.

Industria

aunque aparece con un número significativo se registra como pequeña y en algunos casos “artesanal” desarrollada por un núcleo familiar, en una infraestructura “acondicionada” dentro de la tipología tradicional de la vivienda.

Vivienda y entorno

El casco urbano del municipio se caracteriza por un alto nivel de pureza en el estilo propio de la Colonia, edificaciones construidas con materiales nobles como el adobe, la tapia pisada, la piedra de sillería y algunos mampuestos cerámicos conforman estructuras espaciales similares en concepto y distribución, esto por supuesto genera una imagen urbana no sólo homogénea, sino además austera y atractiva que ha hecho merecedor al municipio de la denominación de “El Municipio más lindo de Boyacá”.

Patrimonio cultural construido

El municipio de La Villa de Monguí constituye dentro de las poblaciones de Boyacá, e incluso del país, un verdadero Patrimonio Cultural y Arquitectónico por su conformación y estado de conservación logrado a lo largo de su historia, hecho que lo convierte en un emporio turístico e histórico; no obstante la gran importancia de todas y cada una de sus estructuras, el Ministerio de Educación Nacional, a través del Decreto Número 291 de 1975 declaró “Monumento Nacional” La Basílica, El Convento, La Capilla de San Antonio y el Puente Colonial “Calicanto”, considerando su antigüedad y belleza arquitectónica. (Ministerio de Cultura, 2018)

Espacio publico

Monguí cuenta con diversos espacios públicos, siendo el principal el Parque o Plaza central, pero acompañado del mismo Puente Calicanto, “el Monumento” en la derivación de la Avenida del

Centenario a la entrada del pueblo, y las capillas de San Antonio y Monserrate contribuyen a la condición turística del municipio.

Otro aspecto para tener en cuenta es que, del total de área rural municipal, el 60% está determinada para uso agropecuario, el 36% como suelo protegido bajo la clasificación de bosque natural a propósito del Páramo de Ocetá, y el 4% restante para otros usos y coberturas. Lo que actualmente se presenta como una problemática actual de gran impacto ambiental, pues se han invadido las zonas de protección para llevar a cabo prácticas agrícolas y pecuarias. (Ministerio de Cultura, 2018). Mientras que el área de producción pecuaria es del 40%, el área dedicada a cultivos es apenas del 18%. En cuanto a la producción agrícola, se destaca principalmente el cultivo de papa pastusa, papa criolla, arveja, frijol, maíz, haba, rubas, nabos, hibas, hortalizas, zanahoria, mora, uchuva, tomate de árbol, ciruelo, manzano, quinua, aromáticas.

5. MARCO TEÓRICO

Durante los últimos años, los estudios del cambio de cobertura en los diversos ecosistemas a nivel mundial han tomado mayor notabilidad, debido a múltiples factores como el cambio climático, actividades antrópicas que el ser humano desarrolla en diversos y múltiples ecosistemas del planeta. Se ha tornado una necesidad, el estudio de los diferentes cambios en la cobertura del suelo y así encontrar una forma de revertir las graves consecuencias que han dejado las diferentes actividades del ser humano las diferentes actividades que no son reguladas han aumentado significativamente, por lo que se deben tomar medidas preventivas, para que en unos años no existan daños irremediables.

Por ejemplo, los Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña (2015) es una investigación que se realizó sobre cómo la zona de transición mexicana de montaña y la vegetación se ha visto modificados por la influencia de procesos antropogénicos. El objetivo de esta investigación lleva a analizar los cambios de cobertura y uso del suelo ocurridos entre 1989 y 2009, usando mapas de uso de suelo y vegetación, producto de la interpretación de imágenes satelitales y la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud, para conocer y entender la dinámica y los procesos de cambio de coberturas y el uso del suelo que caracteriza esa región. A partir de la sobreposición de los mapas, se elaboró una matriz de cambios que comprende la superficie de las coberturas y usos del suelo para cada año y con base en esto, se determinaron las tasas de cambio. En este estudio, se muestra que la cobertura de bosque disminuyó considerablemente, perdiendo aproximadamente 19.262 Ha, divididos principalmente en cuerpos de agua (105 ha), agropecuario (19.133 ha), asentamientos humanos (39 ha) y la agricultura controlada (5 ha), siendo la agricultura y la ganadería, dos factores de vital importancia en la deforestación del suelo. (Camacho, 2015)

En el Parque Nacional Volcán Irazú, Costa Rica, se realizaron estudios en la subcuenca del río Reventado. esta investigación tenía como objetivo evaluar los cambios en la producción de agua y sedimento bajo distintos escenarios de cambio de cobertura. El modelo hidrológico se usó para evaluar el comportamiento de la producción de agua y sedimento. Para este cambio de cobertura forestal se consideraron dos escenarios: eliminar las plantaciones forestales y dejar el suelo descubierto y; acabar con las plantaciones y dejar que la vegetación se regenere naturalmente. En el primer escenario el agua sufrió un aumento cercano al 1.3 % y un descenso del 0.69 % para el segundo escenario. La sedimentación aumentó en el primer caso 2.8 % y disminuyó para el segundo escenario 1.95 %. Al cambiar la cobertura forestal de lugar, la dinámica hídrica se modifica generando una afectación de agua, caudal y sedimento. (Valverde, 2018).

Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz a través del cambio de los ecosistemas de páramo, la retención de humedad fue una de las propiedades más afectadas por el cambio de uso del suelo, siendo los suelos cultivados con papa y en descanso los que presentaron menor capacidad de almacenamiento. De todos los usos estudiados, el suelo que se encontraba en descanso fue el que presentó los cambios más significativos en sus propiedades físicas, al compararlo con el suelo con vegetación nativa, con valores más bajos de porosidad y carbono orgánico y valores altos de densidad aparente, lo que permitió entender la razón fundamental del por qué no son utilizados en alguna actividad agropecuaria y son abandonados con vegetación de barbecho. Por lo tanto, se hace necesario dejar áreas extensas de páramo bajo protección total para que este tipo de ecosistemas cumplan con sus dos funciones más importantes: regulación hídrica y reserva de flora y fauna. (Daza Torres, 2014).

Las actividades humanas y sus acciones productivas dan lugar a los cambios de las coberturas naturales de la Tierra que perturban los servicios ecosistémicos y, específicamente, el de regulación hídrica. Con el análisis integrado multitemporal de las coberturas e hidrológico se

demuestra que la cuenca alta del río Chinchiná, que tiene importancia transcendental para la ciudad de Manizales, por sus escenarios naturales de suelos y coberturas naturales no tiene una buena capacidad de regulación hídrica desmejorándose con la expansión de coberturas de pasto y vegetación herbácea. La importancia del artículo radica en la comprensión de la relación entre la capacidad de regulación hídrica versus coberturas vegetales permite proyectar el uso adecuado de la tierra con el propósito de no afectar aún más la capacidad de regulación de la escorrentía superficial que sirve como fundamento de la biodiversidad y del abastecimiento de la ciudad de Manizales. (ÁLVAREZ-PULIDO, 2021)

Los estudios relacionados con los cambios progresivos en la cobertura vegetal y de uso de suelo, han cobrado importancia en la investigación ambiental, ya que han permitido evaluar las tendencias espacio-temporales de procesos como la deforestación y degradación ambiental, provocadas por actividades humanas. (Osuna-Osuna, 2015)

Una investigación en la que se realizó el estudio del bosque seco localizado en la región de Piura, Perú con el objetivo de evaluar el cambio de la cobertura y el uso de la tierra. Se utilizó el procesamiento digital de imágenes satelitales registradas entre 1999 y 2001, a través de una clasificación supervisada, usando el algoritmo de máxima verosimilitud. Los resultados se compararon con el mapa de bosques secos elaborados por INRENA, con interpretación visual de imágenes registradas entre 1986 y 1994. Las imágenes tuvieron un acierto del 89 % y al comparar estas, se logró evaluar la dinámica espacio-temporal de los bosques secos, cuantificando los retrocesos y las mejoras de los mismos. El 38 % del área de bosque seco permaneció sin variación, mientras que un 13 % mejoró su condición y el otro 23 % tiende a la reducción de cobertura. Además, se concluyó que el procesamiento digital de imágenes satelitales permite agilizar el proceso y ser más precisos que la interpretación visual. (Zorogastúa, 2011).

El análisis multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del río Apuela, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, es un trabajo de investigación en la

modalidad de tesis en la provincia de Imbabura, Ecuador, la cual se caracteriza por poseer una economía basada en actividades agrícolas y pecuarias. El estudio realizado determina los cambios en la cobertura vegetal de la zona debido a actividades antrópicas asociadas a la economía de la región y se analizaron de manera multitemporal entre los años 1991 y 2015 a través de imágenes satelitales. La investigación tenía el propósito de facilitar la implementación de propuestas que ayuden y mejoren la conservación de los recursos bióticos y abióticos en la microcuenca del río Yanayacu durante el período de 1991 y 2008. En el lugar de estudio existieron disminuciones de bosque, tierras agropecuarias y otras tierras en un 19.85 % y un aumento del caudal de 1.4 m³/s y 0.3 m³/s en épocas de lluvia y sequía, respectivamente. En los períodos de 2008 y 2015 disminuyó la vegetación arbustiva un 23.15 % y aumentó el caudal en 7.7 m³/s en épocas húmedas, mientras disminuyó en 0.5 m³/s en períodos de sequías. Estos resultados indicaron incidencia directa a corto plazo en el aumento del caudal máximo en el punto de salida de la cuenca. (Andrade, 2016)

El páramo Rabanal es un macizo montañoso que comprende los departamentos de Boyacá y Cundinamarca sobre la cordillera Oriental. Dicha zona del centro oriente de Colombia, se ha visto afectada a lo largo del tiempo por la intervención del hombre, transformando el paisaje y causando serios problemas en su ecosistema, afectando directamente los servicios que se encarga de proporcionar al planeta. Cerca de 300.000 habitantes se ven beneficiados directamente de este complejo paramuno. Graves consecuencias han dejado la incursión del ser humano en este territorio, desde el deterioro de la cobertura vegetal nativa hasta serias afectaciones en las aguas superficiales y subterráneas. Para contrarrestar los efectos de estas actividades antrópicas, se creó una estrategia con el fin de manejar el paisaje y la restauración ecológica, para recuperar el ecosistema; entre las estrategias más importantes se encuentra un sistema agropecuario sostenible, que permite principalmente la reducción de la contaminación del agua, el deterioro y cambios en la cobertura vegetal dando prioridad a los lugares con mayor altura donde se

encuentren cultivos de papa y en donde se apliquen productos químicos nocivos para el suelo y subsuelo. La minería también es un tema importante en cuanto al cumplimiento de normas y estándares ambientales establecidos por la normativa colombiana. (Tapia, 2009)

Los Cambios más importantes ocurridos en las coberturas vegetales de la Alta Montaña entre las décadas del 70 y el 90 en Colombia en zonas de Alta Montaña se dificulta por varios factores (principalmente por nubes y sombras en las imágenes de satélite, y por la dificultad para distinguir coberturas naturales abiertas, como las del tipo páramo, de las coberturas de praderas y otras coberturas agropecuarias), es posible señalar de manera indicativa los principales cambios ocurridos entre las dos series de imágenes consideradas, es decir, entre las décadas del 70 y del 90. Los cambios detectados se describen con especial referencia a las coberturas de los distritos de páramo propuestos para el área de estudio a nivel de Boyacá, es uno de los distritos más grandes del país con 1.043.295 hectáreas en donde los cambios de los últimos años muestran una tendencia alta al incremento de la cobertura páramo (107.838 hectáreas), con una pérdida de ecosistemas boscosos.

En la Alta Montaña y en particular la franja entre los 3.000 y 4.000 m.s.n.m., se encuentran los ecosistemas de páramo, cuya función hidrológica se centra en la captación, recepción, almacenamiento y regulación del agua.

Estos ecosistemas de páramo poseen características que les confieren una importante función hídrica, y localización en zonas de clima frío, lo cual significa una evapotranspiración y evaporación menores. Se encuentran igualmente zonas de condensación cerca al límite altitudinal del bosque y el fenómeno de niebla es frecuente. Es decir, la neblina y el rocío desempeñan un papel definitivo como generadores de aumento en el volumen de aguas de precipitación y escorrentía, este aporte de agua recogido en estos sistemas boscosos contribuye al caudal de los ríos a veces hasta en un 80%, dejando el volumen restante a la lluvia.

Con base en la caracterización hidrológica y en las variaciones del régimen tanto espacial como temporalmente a partir de los caudales, se intentó evaluar el efecto sobre la escorrentía de los cambios en la cobertura y el uso del suelo, entre las décadas de 1980 y 1990

Los bosques tropicales son importantes a nivel mundial por su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proveen, son claves en el ciclo global del agua. Los cambios y presiones de origen antrópico que afectan a los bosques tropicales inciden en el papel fundamental de estos en la provisión de agua. (Ramos Franco AL, 2019), la relación de las coberturas vegetales presentes en el Bosque altoandino de la Reserva Forestal Protectora “El Malmo” con la calidad y cantidad de interceptación y escorrentía los resultados indican que la interceptación de la precipitación no difiere en cada cubierta, mientras que si se ve afectada.

La disponibilidad del recurso hídrico es de vital importancia para la planificación hidrológica, este depende de múltiples causas como la variabilidad climática y la cobertura vegetal. (Suárez-Almiñana, 2019). Las coberturas vegetales tienen efectos por la precipitación en forma de lluvia, la cual puede persistir en el follaje, descender por el tronco, caer desde las hojas por goteo, o en última instancia, no toparse con ningún elemento vegetal hasta tocar el suelo

La estructura del bosque, como la distribución de la cubierta y densidad, el balance hídrico de las especies y su tasa de crecimiento también influyen el balance de agua en un ecosistema.

El tipo de cobertura vegetal asociada al uso del suelo influye en la textura del mismo y determina la estructura edáfica que a su vez modifica sus propiedades hídricas (Sánchez et al., 2015); las características físicas, químicas y biológicas de los suelos bajo cubiertas forestales son especialmente adecuados para proveer agua de alta calidad a los arroyos, moderar la hidrología de la cuenca y proporcionar diversos hábitats acuáticos; sus altos contenidos orgánicos contribuyen a una abundante y diversa microfauna; los sistemas radiculares bajo los bosques son extensos y relativamente profundos en comparación

con las tierras agrícolas y los pastizales; en conjunto, estas condiciones biológicas crean suelos con alta macroporosidad, baja densidad aparente, conductividades hidráulicas altamente saturadas y elevadas tasas de infiltración (Neary et al., 2009). Un cambio en dicha cobertura podría generar pérdidas de materia orgánica, incremento en la densidad del suelo y de la erosión, disminución en la continuidad de los flujos hídricos e incremento de la escorrentía superficial. Este tipo de incremento, no solo amenaza el cambio en la calidad del agua cuenca abajo, aportando sedimentos y nutrientes lixiviados (Rodríguez et al., 2009).

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO CONCEPTUAL

DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

Según el decreto 1729 del 6 de agosto del 2004 se define como cuenca hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con una o varias corrientes superficiales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un Río superficial, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (Ministerio de medio ambiente, 2002)

Se consideran como unidades territoriales adecuadas para la gestión integrada del agua, porque son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran la oferta del agua que proviene de las precipitaciones; constituyen un área en donde interactúan, en un proceso permanente y dinámico, el agua con los subsistemas físico produce la interrelación e interdependencia entre dichos subsistemas; finalmente, sobrelleva el subsistema socioeconómico, formando por los usuarios de las cuencas, habitantes e interventores externos de la misma. Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es el estudio de las características morfométricas de la cuenca, dado que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región.

ÁREA DE DRENAJE

Es la proyección ortogonal de un sistema de escorrentía dirigido de manera directa o indirectamente a un mismo cauce principal. Para la zona de estudio se clasifica dentro del rango de acuerdo a su área (ver tabla 4).

Tabla 4: Clasificación de la cuenca según su área

AREA (KM ²)	NOMBRE TÉCNICO
MENOR A 5	Unidad

5 a 20	Sector
20 a 100	Microcuenca
100 a 300	Subcuenca
MAYOR A 300	Cuenca

Fuente. Jiménez, Materon. 1986

Factor de forma de Horton

Según Horton (1932) el factor de forma es la relación entre el ancho (W) y la longitud de la cuenca de drenaje (Lb). El factor de forma permite comparar cuencas hidrográficas e intenta medir, al igual que (W), que tan elongada es. Las cuencas que presentan un factor de forma bajo son menos susceptibles a presentar crecientes que las cuencas con igual área, pero con mayor factor de forma, (ver tabla 5).

Tabla 5: Valores de Factor forma

COEFICIENTE	FORMA DE LA CUENCA	VALOR
Kf1	Muy alargada	> 0.22
Kf2	Alargada	0.22 - 0.30
Kf3	Ligeramente alargada	0.30 - 0.37
Kf4	Ni alargada, ni ensanchada	0.37 - 0.45
Kf5	Ligeramente ensanchada	0.45 - 0.60
Kf6	Ensanchada	0.60 - 0.80
Kf7	Muy ensanchada	0.80 - 1.20
Kf8	Redondeada	> 1.20

Fuente. Gavilán, G. s.f.

Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

Compara la forma de la cuenca a la de una circunferencia de igual área y se define como la razón entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de la circunferencia. Entre más bajo sea el Kc

mayor será la concentración de agua lo que puede producir crecientes con mayor frecuencia (ver tabla 6). A medida que este coeficiente se acerca a 1 la cuenca se asemejará más a una circunferencia presentando una superficie de captación más pequeña, lo cual aumentará su tendencia a crecientes súbitas.

Tabla 6: Valores de Coeficiente de compacidad

CLASE	DESCRIPCIÓN	TENDENCIA A CRECIENTE
KC1	Circular	MUY ALTA
KC2	Casi redonda a oval redonda	ALTA
KC3	Oval redonda a oval oblonga	MEDIA
KC4	Oval oblonga a rectangular oblonga	BAJA

Fuente. Gavilán, G. s.f.

Índice de alargamiento (Ia)

Propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima (Lm) encontrada en la cuenca, medida en sentido del cauce principal y el ancho máximo medido en forma perpendicular a la anterior. Es alargado, cuando su valor es mucho mayor a una unidad, o si es muy achatada, cuando son valores menores a la unidad (ver tabla 7).

Tabla 7: Valores de Índice de alargamiento

COEFICIENTE	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ia 1	Cuenca alargada	Ia > 1
Ia 2	Cuenca achatada y cauce corto	Ia < 1

Fuente. Gavilán, G. s.f.

Índice asimétrico (Ias)

Resulta del cociente entre el área de las vertientes mayor (A_{may}) y el área de vertiente menor (A_{men}), las cuales son separadas por el cauce principal. Este índice evalúa la homogeneidad en

la distribución de la red de drenaje, pues si se tiene un índice mayor a uno se observará sobre la cuenca que el Río principal estará recargado a una de las vertientes (ver tabla 8).

Tabla 8: Valores de Índice asimétrico

COEFICIENTE	DESCRIPCIÓN	VALOR
I AS 1	Mayor aporte de escurrimiento de una vertiente	$I_a > 1$
I AS2	Homogeneidad en los aportes de cada vertiente	$I_a = 1$

Fuente. Gavilán, G. s.f.

Pendiente media

La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento cada una de la unidad hidrológica respecto al desplazamiento de las capas del suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión; mientras en las regiones aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación.

En este caso las unidades hidrográficas se encuentran con una pendiente de tipo fuerte accidentado (ver tabla 9), lo que puede presentar generación de crecientes altas y se puede generar encharcamientos en las zonas más planas de la unidad hidrográfica. Lo cual indica que al poseer pendientes fuertes existe la tendencia a la generación de crecientes en los cuerpos de agua en tiempos relativamente cortos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Tabla 9: Clasificación pendiente media

COEFICIENTE	DESCRIPCIÓN	VALOR
Pm1	Plano	0 – 3
Pm2	Suave	3-7
Pm3	Medianamente accidentado	7-12
Pm4	Accidentado	12-20
Pm5	Fuertemente accidentado	20-35
Pm6	Muy fuertemente accidentado	35-50
Pm7	Escarpado	50-75
Pm8	Muy escarpado	>75

Fuente. Ortiz 2004

Elevación media o curva hipsométrica

Se emplea para la determinación del comportamiento hidrológico, rangos de variación de alturas, climatología y vegetación predominantes, y la delimitación de zonas de mayor o menor pronunciamiento de su topografía y en cierta manera conocer sus problemas potenciales (erosión en las zonas empinadas e inundaciones en las zonas planas o bajas). Se puede decir que la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada

Características de la red de drenaje

La red de drenaje se conforma por el cauce principal y sus tributarios; se traza considerando las corrientes perenes, las intermitentes y efímeras. De acuerdo con diferentes características, los cauces de drenaje de una cuenca se pueden clasificar de diferentes formas.

Caracterización del cauce principal

Según Llamas (1993), la red drenaje, es decir, el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca, está integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la cuenca. Para Guilarte (1978) la red de drenaje se describe muy bien, mediante los siguientes parámetros:

- El orden de cauces.
- La longitud de los tributarios.
- La densidad de drenaje.
- La longitud del escurrimiento sobre el suelo.

Orden de los cauces.

Es la clasificación que se da a los diferentes cauces y que toman un determinado valor, de acuerdo al grado de bifurcación. En este caso se realizó por medio de la metodología de Horton-Strahler.

Densidad del drenaje (Dd).

Es la relación existente entre la longitud total de las corrientes de la cuenca (Efímeras, intermitentes y perennes) y el área total que las contiene. El resultado obtenido corresponde a una zona medianamente drenada en las dos unidades hidrográficas, lo que implica que puede poseer problemas de erosión por causa de la escorrentía en tiempos de altas lluvias.

Tiempos de concentración

Se define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida de interés la gota de agua caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la unidad hidrográfica, puesto que es para esta duración cuando la totalidad está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos.

TELEDETECCIÓN

El espectro de la radiación electromagnética (Sobrino, 2011) es imperceptible para el ojo humano, debido a que este percibe luz visible con rangos de longitud de onda de 380 a 780 nm, dada esta limitación el ser humano en su espíritu de exploración se vio a la necesidad de recurrir a herramientas que dieran un espectro más amplio para la observación, por esto se produjeron los sensores, con los cuales se ha permitido extender el dominio de exploración para una interacción mucho más amplia con el visible hasta las microondas.

La observación remota de la superficie terrestre constituye el marco de estudio de la teledetección, la teledetección no engloba solo los procesos que permiten obtener una imagen desde el aire o el espacio sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una determinada aplicación. (Salinero, 1990)

La aplicación a esta nueva exploración dio origen a la invención de sensores remotos que permitieran captar información a pesar de no estar en el lugar donde se realiza la captura, lo que hoy se conoce como la teledetección. La teledetección es el sistema integral de captura de información territorial (a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor) que se emplea cada día con mayor asiduidad para la captura tanto de información temática (medioambiental), como de información topográfica (MDT, Planimetría). (Villar, 2012)

SENSORES REMOTOS

Los instrumentos de teledetección son principalmente de 2 tipos: activo y pasivo. Los sensores activos proporcionan su propia fuente de energía para iluminar los objetos que observan. Un sensor activo emite radiación en la dirección del objetivo a investigar. El sensor luego detecta y mide la radiación que se refleja o retro dispersa del objetivo. Los sensores pasivos, por otro lado, detectan la energía natural (radiación) emitida o reflejada por el objeto o la escena que se observa. La luz solar reflejada es la fuente más común de radiación medida por sensores pasivos. (EOSDIS, 2020)

Sensores activos

La mayoría de los sensores activos funcionan en la porción de microondas del espectro electromagnético, lo que los hace capaces de penetrar la atmósfera en la mayoría de las condiciones. Una técnica activa ve el objetivo desde cualquier extremo de una línea de base de longitud conocida. El cambio en la dirección de la vista aparente (paralaje) está relacionado con la distancia absoluta entre el instrumento y el objetivo. (EOSDIS, 2020)

Sensores pasivos

Los sensores pasivos incluyen diferentes tipos de radiómetros y espectrómetros. La mayoría de los sistemas pasivos utilizados en aplicaciones de teledetección operan en las porciones visible, infrarroja, infrarroja térmica y de microondas del espectro electromagnético. (EOSDIS, 2020)

IMÁGENES SATELITALES

Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis.

Existen diferentes tipos de imágenes satelitales, dependiendo del tipo de sensor y de la finalidad de captación con la que fue construido. Desde las primeras cámaras fotográficas instaladas en satélites en la década de los '60 hasta los más sofisticados y sensibles sensores hiperspectrales del día de hoy. Existe una muy amplia gama de imágenes satelitales que hoy se utilizan en las más diversas áreas, dependiendo de su resolución espacial, así como de la información espectral que poseen; desde el espionaje militar, el monitoreo del cambio climático, monitoreo de incendios e inundaciones, seguimiento de huracanes y tifones, evaluaciones multiespectrales de vegetación. (Teledet, 2018)

COBERTURAS TERRESTRES

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra, en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua. (IDEAM, 2014)

COBERTURA CORINE LAND COVER

“La metodología Corine Land Cover, es una metodología francesa adaptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales (IDEAM) para Colombia; consiste en la evaluación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat.” (Suárez-Parra, 2016)

Es un proceso de consolidación de una propuesta metodológica para realizar la caracterización de las coberturas naturales y antropizadas presentes en el territorio colombiano. Ésta permite unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer cómo está cubierto el país, a partir de la adaptación realizada de la metodología europea CORINE Land Cover a nuestro entorno.

Las coberturas de la tierra proporcionan información fundamental para diversos procesos nacionales como los mapas de ecosistemas, conflictos de uso del territorio, ordenación de cuencas y del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques, y los inventarios forestales, sólo por citar algunos. La leyenda nacional para la zonificación de las coberturas de la tierra a escala 1:100.000 adaptada al territorio colombiano proporciona las características temáticas que el país requiere para el conocimiento de sus recursos naturales, para la evaluación de las formas de ocupación y apropiación del espacio geográfico, así como para la actualización permanente de la información, con lo cual se facilitan los procesos de seguimiento de los cambios y la evaluación de la dinámica de las coberturas terrestres. (IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, 2010)

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. La razón

fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma. (CIESAS, 2010)

ESTUDIOS MULTITEMPORALES

Los estudios multitemporales son el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas. Permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas, como los meses del año y los años entre sí. Un análisis multitemporal es mucho más abarcativo que el análisis de una sola imagen. El análisis multitemporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio. (Chuvienco, 1990) Y constituye uno de los métodos más eficaces para la comparación y determinación de cambios (e.g. vegetación) que acontecen en un lapso de tiempo. (Silva, 1999) Uno de los aportes más destacados de la percepción remota al estudio del medio ambiente es su capacidad para seguir procesos dinámicos. La información adquirida por un sensor situado en una órbita estable y repetitiva, como lo son las imágenes de satélite, constituyen una fuente muy valiosa para estudiar los cambios que se producen en la superficie terrestre, ya sean debidos al ciclo estacional de las cubiertas, a catástrofes naturales o a alteraciones de origen humano. El ritmo máximo de observación depende de la resolución temporal del sensor, aunque en términos prácticos ese período se amplía, si consideramos la cobertura nubosa o posibles problemas generados por el sensor, variando con los sistemas disponibles entre 30 minutos, para los satélites geoestacionarios y varias semanas para los de estudios de recursos naturales con órbita polar. (Riaño, 2002)

Así, la frecuencia de observación puede adaptarse al estudio de diversos problemas, desde la dinámica atmosférica, que requiere una observación continua, hasta los cambios urbanos o agrícolas, que sólo precisan actualización en el orden de varios meses o años. En los comienzos de la percepción remota, la resolución espacial del sensor se consideraba el elemento más crítico para valorar su potencialidad, actualmente la resolución temporal se califica como un criterio más protagonista, al acentuarse la necesidad de contar con información suficientemente actualizada (Riaño, 2002).

6.2 MARCO LEGAL

POLÍTICAS INTERNACIONALES DE PARAMOS Y DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

En el contexto internacional se han realizado eventos decisorios en materia de conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales desde el punto de vista del desarrollo sostenible. Estos eventos están representados principalmente por: la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano realizada en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972; la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo realizada en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992 y el más reciente, el Congreso Mundial de Páramos realizado en Colombia del 13 al 18 de junio de 2002.

Las diferentes leyes y resoluciones de orden nacional que sirvieron para direccionar de manera legal esta investigación se presentan a continuación, de las cuales se hace una descripción y la relación que presentaron con el desarrollo del presente trabajo.

Constitución Política de 1991 Artículos 79 y 80. Mediante los cuales se plantea el derecho a gozar de un ambiente sano, la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y en las funciones del Estado para planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos

naturales, su conservación, restauración o sustitución para finalmente garantizar el desarrollo sostenible.

Estos artículos fueron importantes en el desarrollo de la investigación, puesto que en ésta se identificó los factores que están influyendo en la ampliación de la frontera agrícola, para tomar medidas de control y mitigación y así poder tener un ambiente sano.

Ley 99 de 1993. Por la cual se plantean los principios generales ambientales, donde relaciona las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos que serán objeto de protección especial; además formula que las políticas ambientales tendrán en cuenta los procesos de investigación científica y que el manejo ambiental del país será democrático, participativo y descentralizado.

También es elemental mencionar el artículo 5 numeral 19, el cual hace referencia a la administración de las áreas que integran el Sistema de Parques Nacionales Naturales, velar por la protección del patrimonio natural y la diversidad biótica de la Nación, así como por la conservación de las áreas de especial importancia ecosistémica. Esto permitió en el desarrollo de la investigación, reconocer las interacciones espaciales entre el área del Parque Nacional y su zona más próxima, para la identificación de los factores antrópicos y naturales que están influyendo en la ampliación de la frontera agrícola en los ecosistemas estratégicos, como son el páramo y la selva altoandina, trabajando de la mano con la comunidad en la búsqueda de soluciones a esta problemática planteada en la zona de estudio.

Ley 388 de 1997. Artículo 8, numeral 12 los cuales plantean identificar y caracterizar los ecosistemas de importancia ambiental del municipio, de común acuerdo con la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción, para su protección y manejo adecuado. Artículo 14 numeral 3. Que tiene como principio la delimitación de las áreas de conservación y protección de los recursos naturales, paisajísticos, geográficos y ambientales.

Como el área de estudio presenta cambios de cobertura vegetal y según la legislación esta zona tiene que estar protegida, por medio de la investigación se pretende la implementación y articulación a los esquemas de ordenamiento territorial.

Decreto 879 de 1998. El Ministerio de Desarrollo Económico, reglamenta las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial, mediante el cual se reglamenta la Ley 388 de 1997.

Resolución 769 de 2002. El Ministerio del Medio Ambiente, dicta disposiciones para contribuir a la conservación, protección y sostenibilidad de los páramos, ya que estos son ecosistemas de alta fragilidad e importancia para la regulación hídrica, además por su contribución al equilibrio ecosistémico, ya que alberga especies de flora y fauna endémicas, además del sometimiento de estos ecosistemas a diferentes actividades antrópicas que los degradan; en este sentido, esta investigación se enmarcó dentro de este lineamiento, en cuanto a la identificación de los factores que contribuyen al cambio de cobertura vegetal, para posteriormente establecer las posibles soluciones a las alteraciones causadas por el ser humano sobre este ecosistema.

Resolución 839 de 2003. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de Páramos y del Plan de Manejo Ambiental de los mismos.

7. METODOLOGÍA

En este capítulo se describirá la metodología que se usó para analizar algunas de las variables hidrológicas usadas para determinar caudales ambientales en páramo y alta montaña. Para esta investigación se utilizó una metodología de tipo mixto, (cuantitativa y cualitativa); con herramientas de recolección de información primaria (visita al río el Morro para realizar un reconocimiento de la zona y delimitar el área de estudio) y secundaria (Bases de datos, Bibliotecas virtuales, Documentos técnicos y académicos)

7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MORRO DESDE SU NACIMIENTO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIMÉTRICA PUENTE COLONIAL [24037300] DEL IDEAM EN EL MUNICIPIO DE MONGUÍ

ETAPA 1: Para realizar este análisis se definió y caracterizó la microcuenca del Río Morro, realizando la delimitación de la microcuenca, para proceder con la determinación de los parámetros morfométricos utilizando la herramienta Hydrology de Spatial Analyst del software ArcGIS, la delimitación de la microcuenca se basa en un Modelo de Elevación Digital (DEM). El DEM usado fue adquirido por el satélite ALOS desarrollado por La agencia USGS (United States Geological Survey) y ofrece una resolución espacial de 12.5 metros. La delimitación de la red hídrica de la cuenca se realizó usando el DEM, junto con información geográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Corpoboyacá e imágenes de Google Earth.

La delimitación de la microcuenca fue basada en un modelo digital de elevación (DEM). Luego se digitalizó la información en el software ArcGis 10.7 usando la extensión ArcHydro delimitando la microcuenca en función de la elevación. Mediante procedimientos matemáticos, estudios ambientales de cuencas sencillas, un DEM permite la construcción de mapas de pisos altitudinales, y mapas de inclinación, orientación y forma de la pendiente de las laderas, que son importantes en los modelos de escorrentía y erosión.

Para realizar la delimitación de la cuenca y conocer las características morfológicas de la misma, se tiene en cuenta la cartografía base realizada por el INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC) y como referente de estudio se realiza la descarga de un Modelo Digital de Elevación y por medio de un software especializado en SIG (Sistemas de Información Geográfica), para conocer las principales características de la cuenca.

La delimitación de la zona de estudio se realizó con el fin de identificar el área de estudio de la microcuenca Río Morro. Dicho trabajo se hizo mediante el software ArcMap, el cual requería un DEM de la plataforma USGS y el shape de estaciones meteorológicas del IDEAM para identificar el punto de salida de la cuenca. Se tomó como referencia la estación de MONGUÍ; El estudio se llevó a cabo en la microcuenca del Río Morro ubicada en el municipio de Monguí, departamento de Boyacá (imagen 4). De acuerdo con la zonificación hidrográfica establecida por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ, 2017), la escala de la zona de estudio corresponde al Nivel III subsiguiente al de la zona hidrográfica (IDEAM, 2013).

ETAPA 2: Se determinaron las principales variables morfológicas que caracterizan la microcuenca del Río Morro, tales como área, perímetro, elevación media, longitud del cauce principal, pendiente media, ancho o amplitud de la cuenca, factor de forma de Horton, coeficiente de compacidad, índice de alargamiento, relación de elongación, curva hipsométrica, orden de los cauces y densidad de drenaje. Aunque para representar procesos hidrológicos y determinar de una manera confiable y representativa los atributos de la microcuenca y sus procesos geomorfológicos, y a la vez permitir un buen rendimiento computacional, autores como (Zhang & Montgomery, 1994) recomiendan una resolución espacial de 10 metros, en este trabajo se usó la resolución espacial de 12.5 metros ofrecida por el sensor ALOS PALSAR por ser una fuente de datos gratuita y de buena calidad.

7.2 ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL

La metodología de análisis multitemporal, es una técnica que permite obtener conclusiones diferenciadas relacionadas con las transformaciones espaciales de una región. El procesamiento multitemporal implica que las series de datos provenientes de diferentes fechas, tienen que convertirse en un conjunto único de datos. (INTELSIG, 2010).

Etapa 1: procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, radar y elaboración de leyendas de los mapas de cobertura vegetal. La fotointerpretación es un proceso que permite tener un acercamiento más preciso que las imágenes satelitales de la zona de estudio, a fin de reconocer y ubicar parcialmente el relieve, formaciones vegetales, cobertura del suelo, entre otros, por medio de la estereoscopia.

Para este estudio se utilizarán imágenes satelitales (años 1999 y 2020) USGS, DEM, identificando principales ríos, divisorias de aguas y delimitación de áreas de bosque natural denso, páramo, subpáramo, cuerpos de agua y frontera agrícola. Para esta fase se utilizará una metodología mixta (cuantitativa y cualitativa)

El procesamiento de las imágenes satelitales, permiten lograr cartografiar de una forma precisa el tipo de cobertura vegetal existente en la zona de estudio y observar los cambios a los cuales se ha estado sometiendo los diferentes tipos de cobertura vegetal en los últimos 20 años.

El procesamiento y análisis de las imágenes de satélite se realizará en el programa ArcGIS 10.7

Etapa 2: Procesamiento de imágenes. Para la realización del estudio multitemporal de cobertura vegetal, se adquirieron imágenes satelitales

Se realizará un proceso llamado ortorectificación, que consiste en remover la distorsión geométrica presente en las imágenes ocasionadas por la orientación del sensor satelital y los errores sistemáticos asociados con la imagen.

A continuación, se enumera el procedimiento que se seguirá para el procesamiento de las imágenes.

1. Corrección de corrimiento entre imágenes
2. Corrección radiométrica y topográfica
3. Corrección radiométrica y topográfica para imágenes Aster
4. Clasificación de cobertura vegetal de las imágenes satelitales
5. Adaptación de la metodología de clasificación Corine Land Cover a este estudio
6. Leyenda de los mapas de coberturas vegetales.

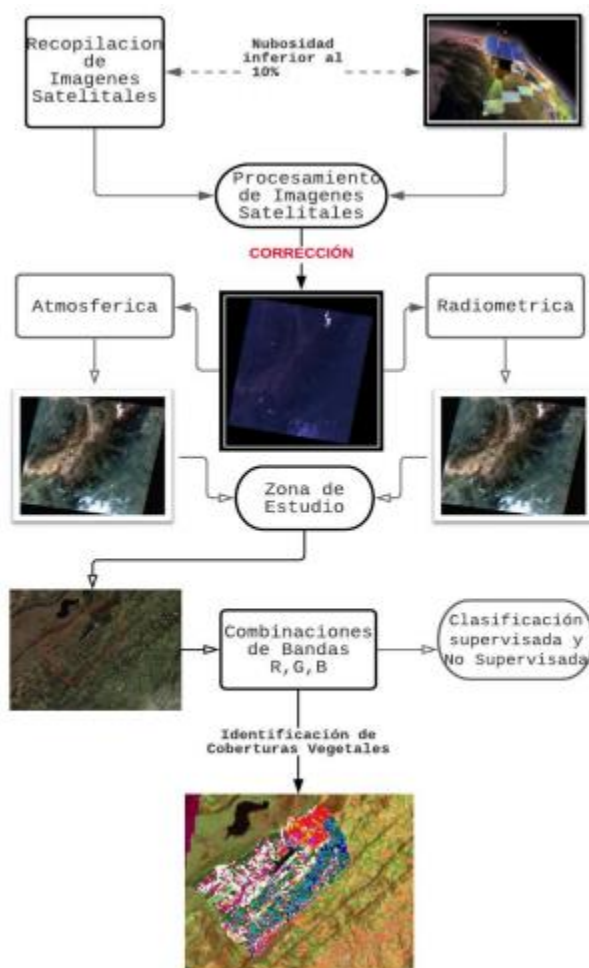
Elaboración de los mapas de cambios de cobertura vegetal.

Se hizo una clasificación no supervisada para determinar las coberturas y sus correspondientes áreas en ArcGIS, las cuales permitieron identificar las zonas que requieren la intervención para poder mejorar las funciones hídricas que brindan a las comunidades cercanas.

Procesamiento de imágenes: una vez se tienen las bases de datos climatológicas para poder llevar la información de forma ordenada, se verifica que no puede llegar a generar ningún error por digitalización en la fase final del proyecto (Bermúdez Rubio et al., 2021). El primer paso para el procesamiento de imágenes, da inicio en una corrección geométrica que permita tener la certeza de la ubicación de la imagen. Se toma como punto de referencia a los cuerpos de agua. El segundo paso lleva a la corrección radiométrica, la cual es utilizada para eliminar vacíos de información y otros errores generados por causas atmosféricas. Finalmente se procede a guardar la información de forma ordenada para su posterior utilización.

Posteriormente se recortó con los límites de la cuenca, se combinaron las bandas de las imágenes satelitales y se clasificaron las coberturas usando las bandas 5,6,7. El procedimiento se muestra en la imagen 2.

Imagen 2: Flujograma de la metodología del procesamiento de imágenes



Fuente: autores, 2022

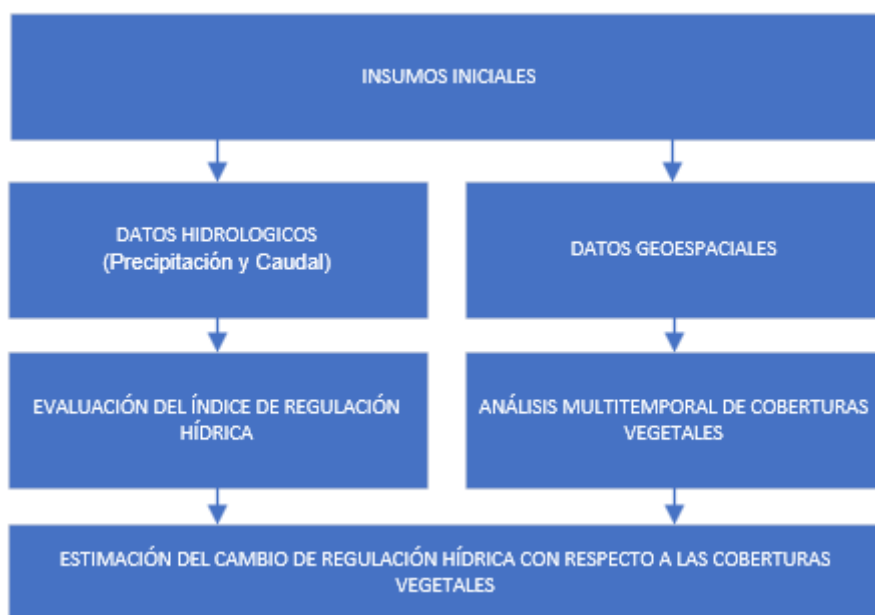
La información geoespacial se relaciona con las imágenes satelitales que se consultan con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), por sus siglas en inglés, mediante los Geo-Visores “GloVis” y “EarthExplorer”, del sensor “Thematic Mapper” (TM) del sistema Landsat

7.3 RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES PRESENTES EN EL PÁRAMO DE OCETÁ, ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO MORRO, CON RESPECTO A LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS

Para identificar cómo los cambios de las coberturas vegetales de la cuenca han afectado la capacidad de regulación hídrica del Río Morro, la metodología utilizada se presenta en la imagen

3.

Imagen 3: Esquema de la metodología implementada



Fuente: autores, 2022

Para este proceso se compararán los datos de las variables hidrológicas como precipitación y caudal de la cuenca, analizando el comportamiento y su relación de estas con respecto al cambio de coberturas que se presentan en la zona de estudio.

La información de caudales medios diarios se consulta en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en su Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC), mediante el visor de datos Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), de la estación: 24037300 PTE. COLONIAL del municipio de Monguí.

La relación existente entre el cambio de coberturas vegetales presentes en el páramo de Ocetá, área de influencia del Río Morro, con respecto a las variables hidrológicas, se analiza para diferentes años a través de la construcción de curva de regulación hídrica y su respectivo valor del Índice de Regulación Hídrica (IRH) (ENA, 2018).

La regulación hídrica en cuencas hidrográficas se da por las características de suelo y de las coberturas vegetales (Lazo Et Al., 2019). Suponiendo las condiciones del suelo invariables, en el estudio se maneja la hipótesis de que el cambio de regulación hídrica en la cuenca está asociado al cambio en las características de coberturas vegetales.

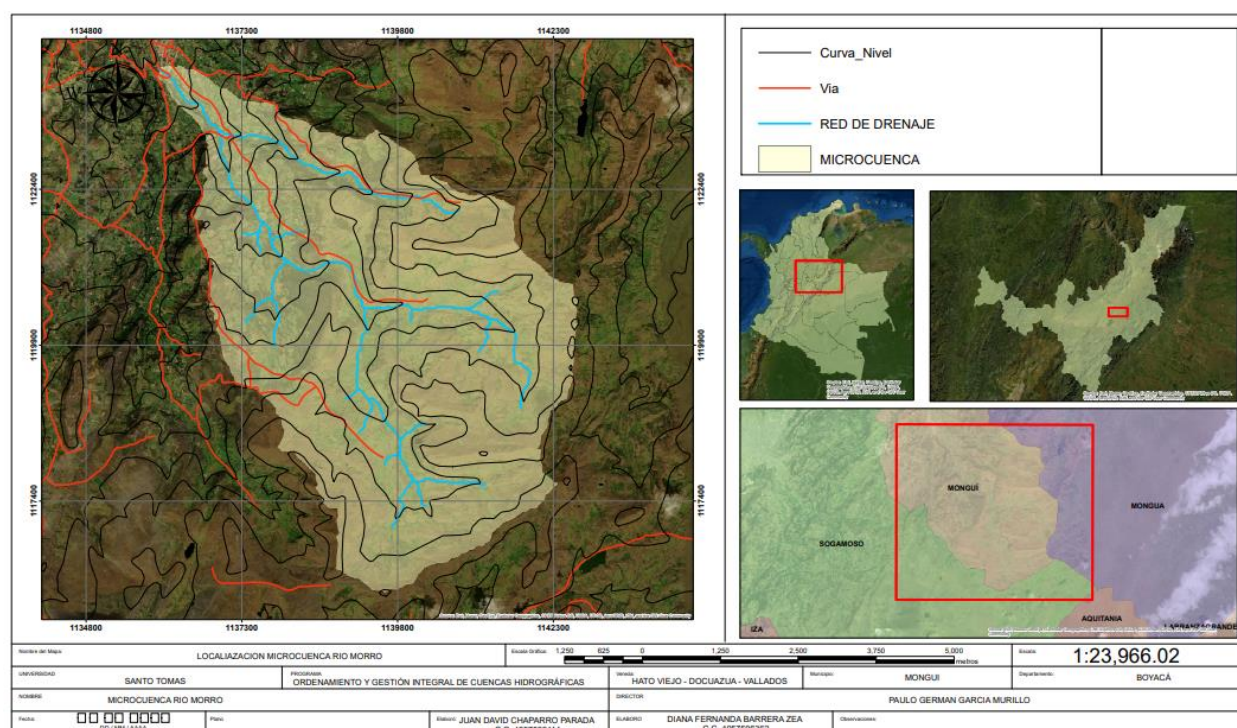
8. RESULTADOS

En este capítulo se describen las principales características de la microcuenca de la quebrada el Morro, tales como su morfometría, coberturas vegetales, suelos, régimen de caudales y por último se realiza una modelación hidrológica.

8.1 DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

El área de estudio se llevó a cabo en la microcuenca del Río Morro, ubicada en el Municipio de Monguí, departamento de Boyacá como se observa en la imagen 4.

Imagen 4: delimitación de la microcuenca del Río Morro



Fuente: autores, 2022

8.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DEL RÍO MORRO

A continuación, se definen las características de la zona de estudio, para su posterior análisis e interpretación (ver tabla 10). Probablemente la característica morfométrica e hidrológica más importante se define como el área de drenaje. Para la zona de estudio se clasifica dentro del rango de acuerdo a su área (ver tabla 4).

Tabla 10: Características generales de la microcuenca del Río Morro

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ÁREA	31.7	Km ²	MICROCUECA
PERÍMETRO	34	Km	
LONGITUD	9.265	Km	
ANCHO	5.86	Km	
ANCHO MAX	5.86	Km	
H MAX	4004	m.s.n.m	
H MIN	2927	m.s.n.m	
ÁREA MAYOR CUENCA	18.99	Km ²	
ÁREA MENOR CUENCA	12.77	Km ²	

Fuente: Autores, 2022

El área de la cuenca del río El Morro es de 31.7km^2 por lo tanto se puede afirmar que la cuenca del río El Morro es clasificada como microcuenca según Jiménez, Materon. 1986, perímetro de 34 km, elevación máxima de 4004 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), con una mínima de 2927 metros.

El ancho o amplitud de la cuenca (W) es de 5.86 Km e indica cual es la superficie de la cuenca por unidad de longitud. Este valor siempre será superior a 1. Entre menor sea el valor de W más

elongada será la cuenca y se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (Lb).

FORMA DE LA MICROCUENCA

El análisis morfométrico se presenta en la tabla 11, este es fundamental para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico. Estas características adimensionales tratan de cuantificar por medio de índices o coeficientes de movimiento del agua y las respuestas a tal movimiento (hidrograma), dado que son un referente para establecer la dinámica esperada sobre la escorrentía superficial producida en tiempos de lluvias.

Tabla 11: Parámetros forma de la cuenca

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Kc (coeficiente de compacidad)	1.7	Adimensional	KC4
Kf (factor forma)	0.37	Adimensional	Kf3
Ia (índice alargamiento)	1.58	Adimensional	Ia 1
I AS (índice asimétrico)	1.49	Adimensional	I AS 1

Fuente: Autores, 2022

Factor de forma de Horton

El factor de forma de Horton (k_f) es de 0.33, lo cual indica que la cuenca de estudio tiende a ser ligeramente alargada (ver tabla 5), se puede determinar que el tiempo de viaje de una gota de

agua es más largo, evidenciando que los picos de crecida sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas.

Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

Para el caso de la microcuenca del Río Morro el coeficiente de compacidad es de 1.7, lo cual indica que la microcuenca tiene forma rectangular-oblonga, por lo cual indica que la cuenca presentará una tendencia a concentrar pocos volúmenes de agua (Gaspari et al., 2012). Como $K_c > 1$ indica que morfológicamente la microcuenca del río El Morro es una microcuenca ligeramente alargada por lo que el tiempo de viaje de la gota de agua es más largo, contribuyendo a que los picos de crecida sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas.

Índice de alargamiento (Ia)

Para la microcuenca del Río Morro el valor del índice de alargamiento es 1.58, indica que la microcuenca posee un sistema de drenaje que se asemeja a una espiga, denotando un alto grado de evolución del sistema de capacidad de absorber mejor una alta precipitación sin generar una crecida de grandes proporciones.

Índice asimétrico (Ias)

Según el índice asimétrico, de la microcuenca del Río Morro se observa claramente una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje aumentando la descarga hídrica, lo que incrementa en cierto grado los niveles de heredabilidad a causa de los eventos de escorrentía superficial.

Pendiente media

La pendiente de la micro cuenca del Río Morro se presenta en la tabla 12. En este caso las unidades hidrográficas se encuentran con una pendiente de tipo fuerte accidentado (ver tabla 9), lo que puede presentar generación de crecientes altas y se puede generar encharcamientos en

las zonas más planas de la unidad hidrográfica. Lo cual indica que al poseer pendientes fuertes existe la tendencia a la generación de crecientes en los cuerpos de agua en tiempos relativamente cortos.

Tabla 12: Pendiente media de la microcuenca del Río Morro

PENDIENTE MEDIA (PM)			
UNIDAD HIDROGRÁFICA	VALOR	COEFICIENTE	DESCRIPCIÓN
MICROCUECA MORRO	28.73	Pm5	Fuertemente Accidentado

Fuente: Autores, 2022

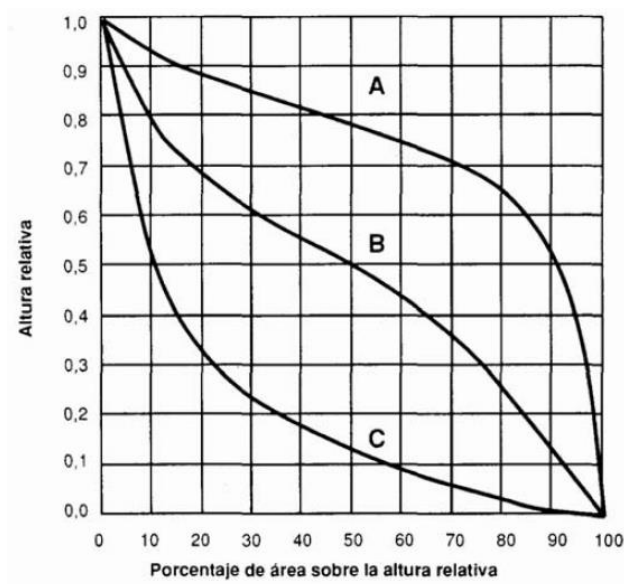
Pendiente de la cuenca

La pendiente para la microcuenca del río El Morro es de 28.73%, esto quiere decir que está moderadamente inclinado. Además, el (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) dice que para esta pendiente “el drenaje es natural bueno a moderado o imperfecto. Encharcamientos, si se presentan, con duración no mayor de 15 días, ciclos de invierno y que no ocasionen mayores daños a los cultivos”

Elevación media o curva hipsométrica

En la imagen 5 se presenta el comportamiento de la curva hipsométrica. Se puede decir que la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada (ver gráfico 1).

Imagen 5: Curva hipsométrica



Fuente. IREHISA-CRC,2007

Donde

A: refleja una cuenca con un gran potencial erosivo (fase de juventud)

B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez)

C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez)

Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir del plano topográfico, tomando las áreas que existen entre curvas de nivel consecutivas, luego se hallan los valores de área que hay por arriba de una determinada altura; que inicialmente será el punto más bajo de la cuenca; En la curva hipsométrica de la microcuenca del Río Morro se observa que el 2.48% de la cuenca presenta relieves accidentados y se ubican en la parte alta. En la parte media de la cuenca se presenta relieves suaves a lomados, y en la parte baja se presenta relieves planos representando el 26.05% de esta (ver tabla13).

Tabla 13: Datos de Cálculo curva Hipsométrica

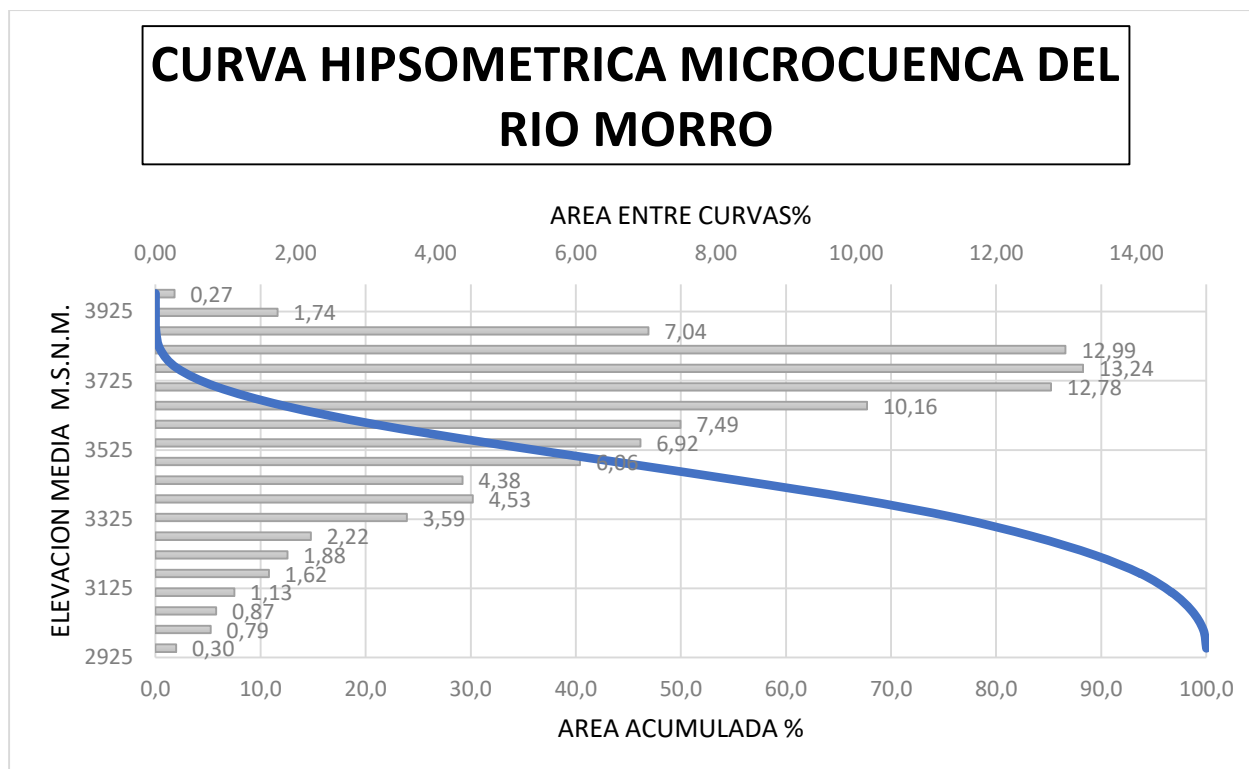
ID	INTERVALO		ELEVACIÓN MEDIA	ÁREA	ELEVACIÓN POR ÁREA	ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	ÁREA ENTRE CURVAS %
	MIN	MAX						
1	2925	2978	2952	0.095	279.470	31.97	100.0	0.30
2	2979	3032	3006	0.252	756.541	31.87	99.70380	0.79
3	3033	3086	3060	0.277	846.621	31.62	98.62338	0.87
4	3087	3140	3114	0.360	1119.887	31.34	96.70096	1.13
5	3141	3194	3168	0.518	1640.666	30.98	93.72796	1.62
6	3195	3248	3222	0.602	1940.450	30.47	89.32769	1.88
7	3249	3302	3276	0.709	2321.511	29.86	83.45084	2.22
8	3303	3356	3330	1.147	3819.041	29.16	76.11043	3.59

9	3357	341 0	3384	1.448	4899.202	28.01	66.68475	4.53
10	3411	346 4	3438	1.401	4817.334	26.56	55.40586	4.38
11	3465	351 8	3492	1.938	6765.327	25.16	43.60573	6.06
12	3519	357 2	3546	2.213	7844.973	23.22	31.67565	6.92
13	3573	362 6	3600	2.396	8623.052	21.01	20.81705	7.49
14	3627	368 0	3654	3.247	11863.029	18.61	12.12082	10.16
15	3681	373 4	3708	4.087	15152.089	15.37	5.82625	12.78
16	3735	378 8	3762	4.233	15922.312	11.28	2.05571	13.24
17	3789	384 2	3816	4.153	15845.652	7.05	0.45312	12.99
18	3843	389 6	3870	2.249	8702.747	2.89	0.04101	7.04

1		395						
9	3897	0	3924	0.558	2187.964	0.64	0.00083	1.74
2		400						
0	3951	4	3978	0.087	344.302	0.09	0.00000	0.27
				32.0	115692.2			100.00

Fuente: Autores, 20222

Grafica 1: Curva hipsométrica Microcuenca del Río Morro



Fuente: autores, 2022

La Curva Hipsométrica indica el grado de madurez de una cuenca evaluando los ciclos erosivos y la etapa evolutiva en la que se encuentre esta, para esto se debe definir el área que se ubica por encima de una determinada altura (grafica 1), en Tabla 15 se presentan los valores de la curva hipsométrica de la microcuenca del Río Morro.

En la curva hipsométrica de la microcuenca del Río Morro se observa que la cuenca presenta relieves accidentados y se ubican en la parte alta. En la parte media de la cuenca se presenta relieves suaves a lomados que representa el 90 % del área, y en la parte baja se presenta relieves planos representando el 8% de esta (figura 1). El comportamiento de la curva corresponde a una cuenca madura (etapa equilibrada) en transición a vieja (etapa erosionada)

Características de la red de drenaje

El cauce principal es la corriente de mayor longitud, que evacua las aguas de escurrimiento, en la tabla 14 se identifican algunas de sus principales características de las unidades hidrográficas.

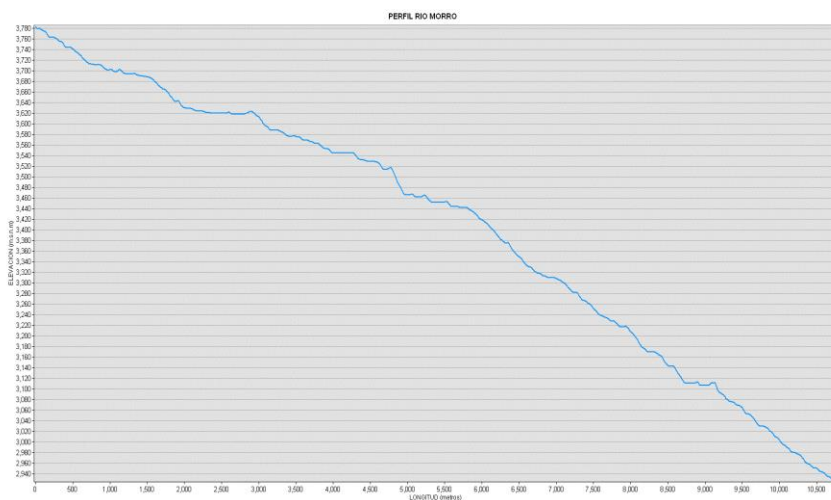
Tabla 14: Características red de drenaje de la microcuenca del Río Morro

CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE		
Longitud cauce principal	10765.2	Metros
H MAX	3783.0	m.s.n.m
H MIN	2927	m.s.n.m
numero de cauces	27.0	
pendiente media cauce	8.0	%
longitud de drenajes	34.5	KM
densidad del drenaje	1.1	
densidad de corriente	0.9	
constante estabilidad Río	0.9	
corrientes 1 orden	14.0	
índice torrencialidad	0.4	

Fuente: autores

El perfil longitudinal de un río es muy característico. La línea que dibuja la quebrada desde su nacimiento hasta el sitio de estudio se representa gráficamente como una curva cuya forma ideal es la de una curva exponencial cóncava hacia arriba, en la cabecera, y a la altura del nivel de base, en la desembocadura (ver gráfico 2).

Grafica 2: Pendiente cauce principal de la microcuenca del Río Morro



Fuente: autores

La profundidad y la anchura del lecho aumentan aguas abajo, en la medida que disminuye la pendiente. Esto es debido a que aguas abajo aumenta el caudal, y disminuye la velocidad, por lo que la carga material transportada cambia de gruesa a fina.

Tiempos de concentración.

Las diversas metodologías existentes para determinar el tiempo de concentración de una cuenca a partir de sus parámetros morfométricos, fueron determinadas a partir de ajustes empíricos de registros hidrológicos (ver tabla 15).

Tabla 15: Tiempos de concentración

TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN		
KIRPICH	65.67	minutos
KIRPICH CALIFORNIA	65.74	Minutos
GUAIRE	45.20	Minutos

BUREAU	65.41	Minutos
PROMEDIO	60.51	Minutos

Fuente: Autores

8.3 ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL

Una vez seleccionadas y obtenidas las imágenes necesarias para el desarrollo del proyecto, fue necesario pasar estas imágenes por una serie de procesos con el fin de asegurar que dichos insumos se encuentren en la posición correcta respecto a las otras, para que al momento de realizar los mapas de coberturas no se generen conflictos y/o confusiones con otros tipos de coberturas vegetales, así mismo, se puede eliminar cualquier tipo de disturbio como alteraciones de tipo atmosférico, ruido y vacíos.

Para el análisis de coberturas vegetales de la microcuenca del Río Morro se identificaron áreas de ecosistemas estratégicos

8.3.1 Áreas y ecosistemas estratégicos

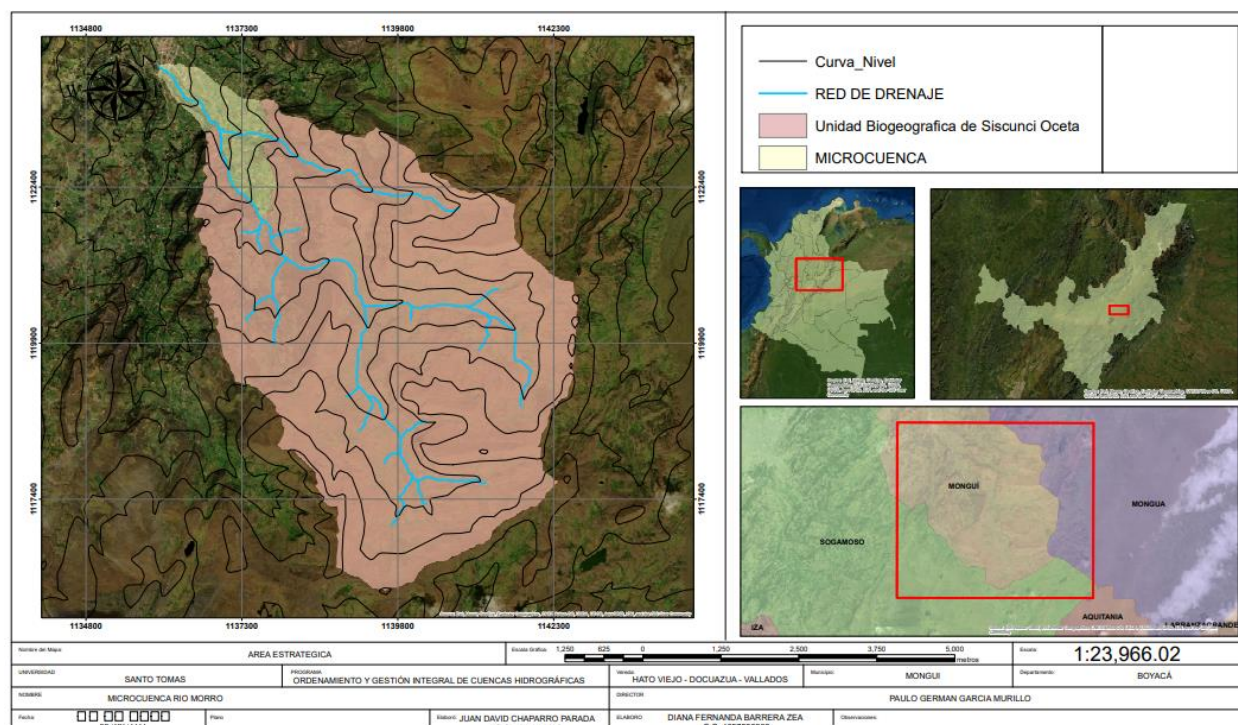
Son aquellas áreas que, por sus características especiales de biodiversidad de flora y fauna, paisaje, producción hídrica superficial y subterránea etc. merecen ser conservadas y protegidas procurando un desarrollo sostenible en el tiempo. La temática “Áreas de especial significado ambiental” está compuesta por las siguientes entidades: (Ministerio de Ambiente , 2015)

- Áreas naturales protegidas
- Rondas Hídricas • Ecosistemas sensibles
- Corredores biológicos
- Presencia de zonas con especies endémicas, amenazadas o en peligro crítico.

Al realizar la superposición de las áreas protegidas consultadas en el RUNAP (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas) con el área de la cuenca del Río Morro en el Municipio de Monguí, se encontró que dentro de delimitación de la cuenca encontramos la Unidad Biogeográfica de Siscunsi Ocetá, área que se considera como Área protegida perteneciente a la categoría de parques naturales regionales (Mediante Acuerdo de Consejo Directivo de CORPOBOYACÁ No. 0027 de Diciembre 16 de 2008, se declara el Parque Natural Regional “Unidad Biogeográfica de Siscunsi - Ocetá” un área de 36.353 hectáreas, localizada en jurisdicción de los municipios de Sogamoso, Aquitania, Monguí y Mongua, con el objetivo de conservar la flora la fauna y las bellezas escénicas naturales, con fines científicos, educativos, recreativos, o estéticos).

La imagen 6 hace referencia a las áreas y ecosistemas estratégicos de la cuenca del Río Morro, estableciendo que gran parte del área delimitada para la cuenca debe ser un área de conservación y protección de importancia ambiental, debido a que se presenta un área natural regional protegida y ecosistemas sensibles de páramo.

Imagen 6: ecosistemas estratégicos en la microcuenca del Río Morro



Fuente: Autores, 2022

8.3.2 CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES DESDE EL AÑO 2000 HASTA EL AÑO 2020

La cobertura vegetal de la cuenca junto con la pendiente media son los factores que mayor impacto tiene sobre el coeficiente de escorrentía de la cuenca (Chen et al., 2018). Por lo cual se determinaron las coberturas vegetales de la microcuenca usando imágenes satelitales. La zona en estudio contó con una disponibilidad total de 8 imágenes satelitales, para los diferentes años en un período de tiempo desde el año 2000 hasta el año 2021 con características descritas en la tabla 16.

Tabla 16: características de las imágenes satelitales del área de estudio

AÑO	SENSOR	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	TIPO DE IMAGEN
2000	TM	30M	8 bits	LANSAND 7
2001	TM	30M	8 bits	LANSAND 7
2002	TM	30M	8 bits	LANSAND 7
2003	TM	30M	8 bits	LANSAND 7
2016	TM	30M	8 bits	LANSAND 8

2019	TM	30M	8 bits	LANSAND 8
2020	TM	30M	8 bits	LANSAND 8
2021	TM	30M	8 bits	LANSAND 8

Fuente: Autores

A estas imágenes se le realizó la Corrección Atmosférica DOS1 que transforma la reflectancia de la parte superior de la atmósfera en reflectancia superficial. Posteriormente se combinaron sus bandas y se clasificaron las coberturas usando las bandas se recortó con los límites de la cuenca, sin embargo, al momento de realizar el procesamiento. Esta corrección se realiza utilizando la información explícita, ya que es de diferentes bandas de una imagen multiespectral y la dispersión aumenta inversamente con la longitud de onda. Los canales se verán afectados de un modo diferente al igual que su almacenamiento en números digitales, los cuales tienen una forma de almacenamiento artificial de cada sensor, pueden ser de 8, 12 y 16 bits respectivamente. (Aguilar, 2015).

En algunos estudios multitemporales, cuando se comparan las propiedades, magnitudes, entre otros, en algunas fechas diferentes, la atmósfera cambia de una fecha a otra y es cuando se deben corregir los valores de radiancias registradas por el sensor para cada una de las bandas.

Una vez clasificadas la imagen como se observa en las imágenes 7,8,9,10,11,12,13,14, se determinó que en la cuenca se presentan 4 tipos de coberturas zona de bosque, herbazal, pastos limpios, pastos y cultivos (Principalmente cultivos de papa, maíz, cebolla), los valores para cada

año se presentan en las tablas 17 y 18 con su respectivo porcentaje para los años 2000, 2001, 2002, 2003, 2016, 2019, 2020, 2021.

Tabla 17: Área cobertura vegetal microcuenca del Río Morro (hectáreas)

ÁREA COBERTURA VEGETAL MICROCUENCA DEL RÍO MORRO (HECTÁREAS)								
COBERTURA	2000		2001		2002		2003	
	ÁREA	%	ÁREA	%	ÁREA	%	ÁREA	%
ZONA DE BOSQUE	753.68	23.57	755.99	23.64	739.53	23.13	728.38	22.78
HERBAZAL	929.67	29.08	931.71	29.14	1040.8	32.55	1175.06	36.75
PASTOS Y CULTIVOS	1001.81	31.33	1238.82	38.75	995.83	31.15	303.76	9.5
PASTOS LIMPIOS	512.16	16.02	270.8	8.47	421.15	13.17	990.14	30.97

Fuente: Autores, 2022

Tabla 18: Área cobertura vegetal microcuenca del Río Morro (hectáreas)

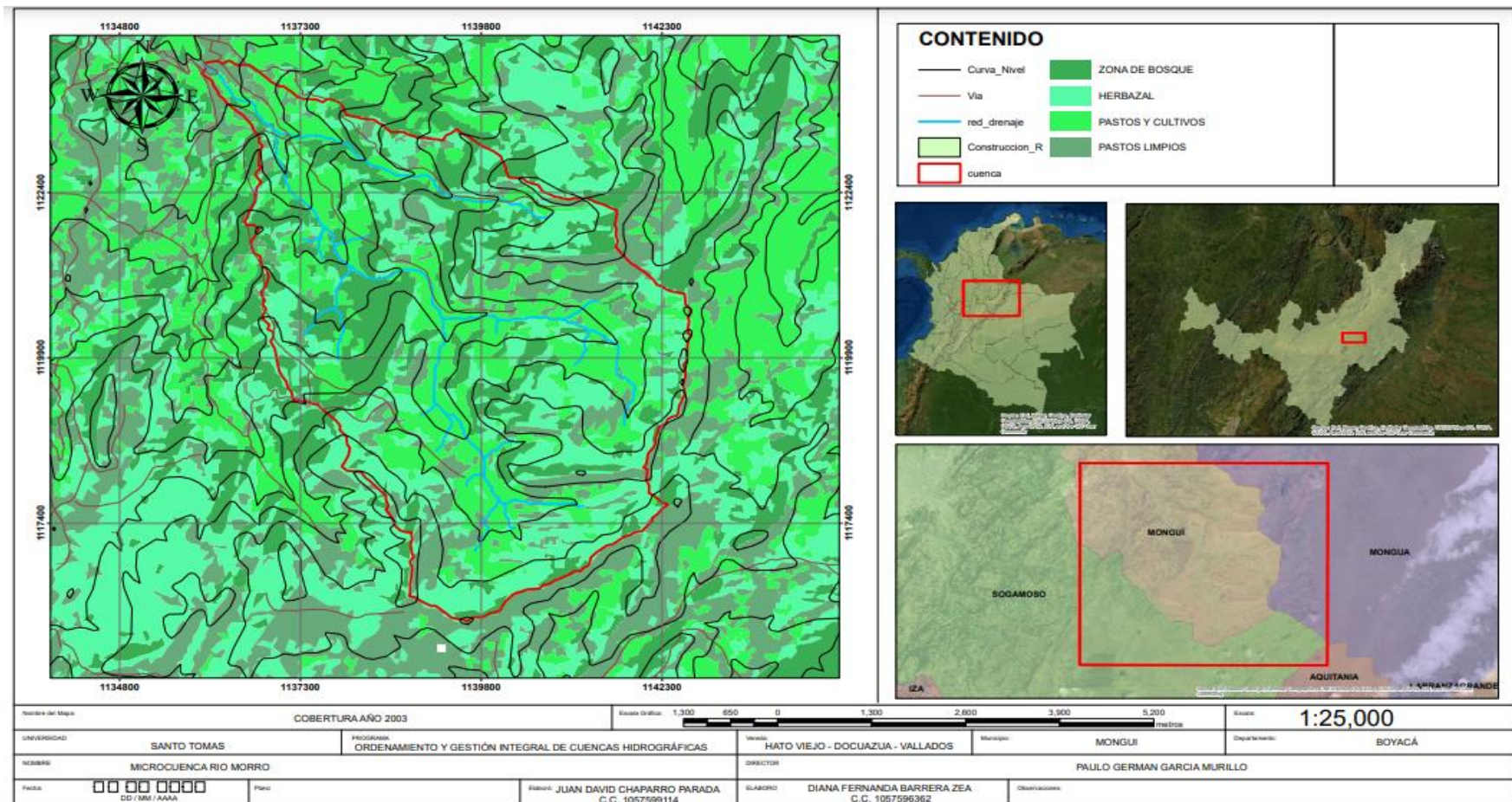
ÁREA COBERTURA VEGETAL MICROCUENCA DEL RÍO MORRO (HECTÁREAS)				
COBERTURA	2016	2019	2020	2021

	ÁREA	%	ÁREA	%	ÁREA	%	ÁREA	%
ZONA DE BOSQUE	671.42	21	374.63	11.72	745.96	23.33	876.15	27.4
HERBAZAL	1050.69	32.86	719.93	22.52	908.15	28.4	982.27	30.72
PASTOS Y CULTIVOS	595.5	18.62	1265.59	39.58	1087.29	34.01	829.75	25.95
PASTOS LIMPIOS	879.71	27.51	837.17	26.18	455.93	14.26	509.17	15.92

Fuente: Autores, 2022

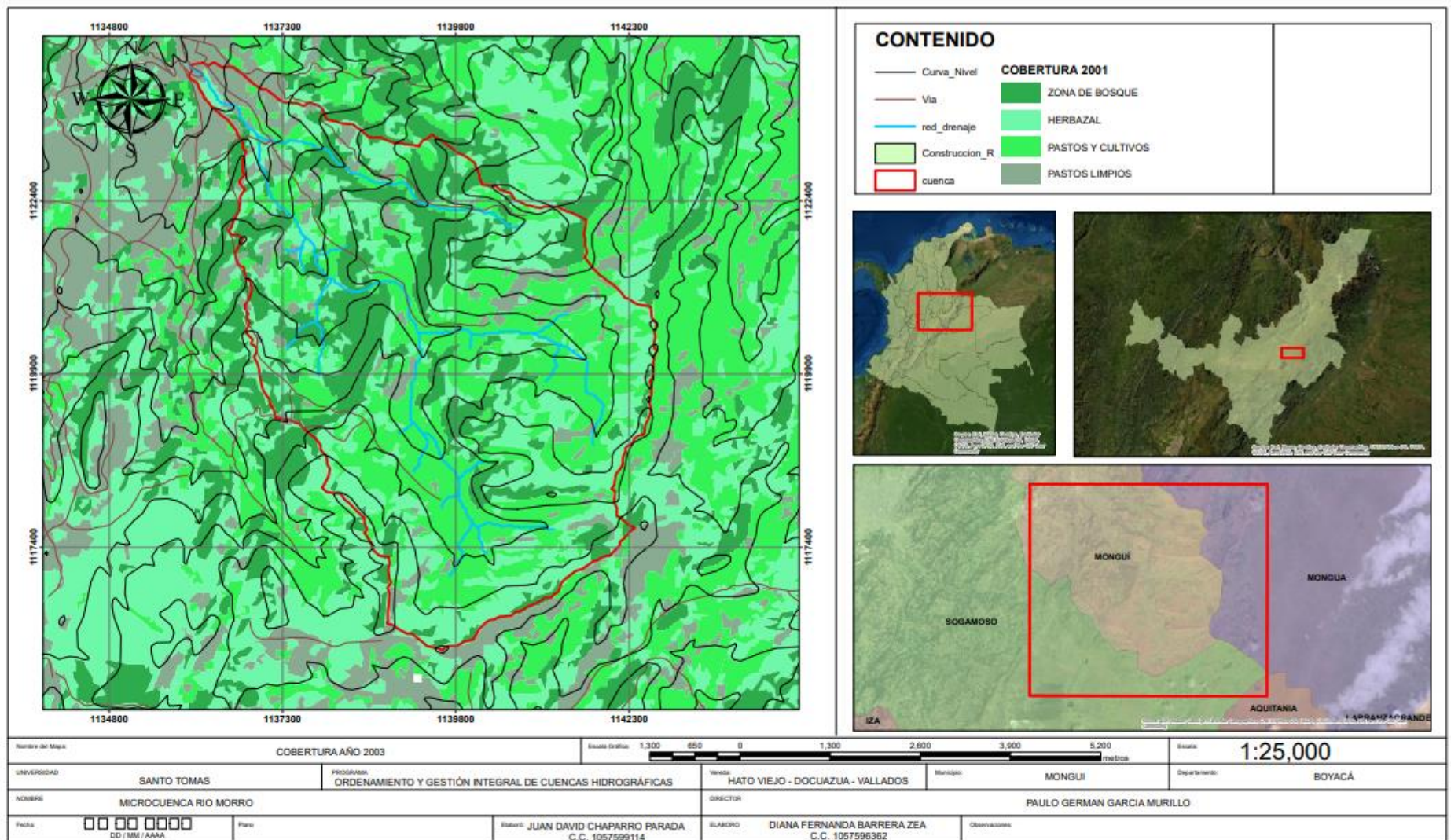
en cuanto a los años seleccionados en la investigación, se relaciona la cobertura vegetal con el área total y el porcentaje en relación al área total del área de estudio

Imagen 7: coberturas vegetales año 2000



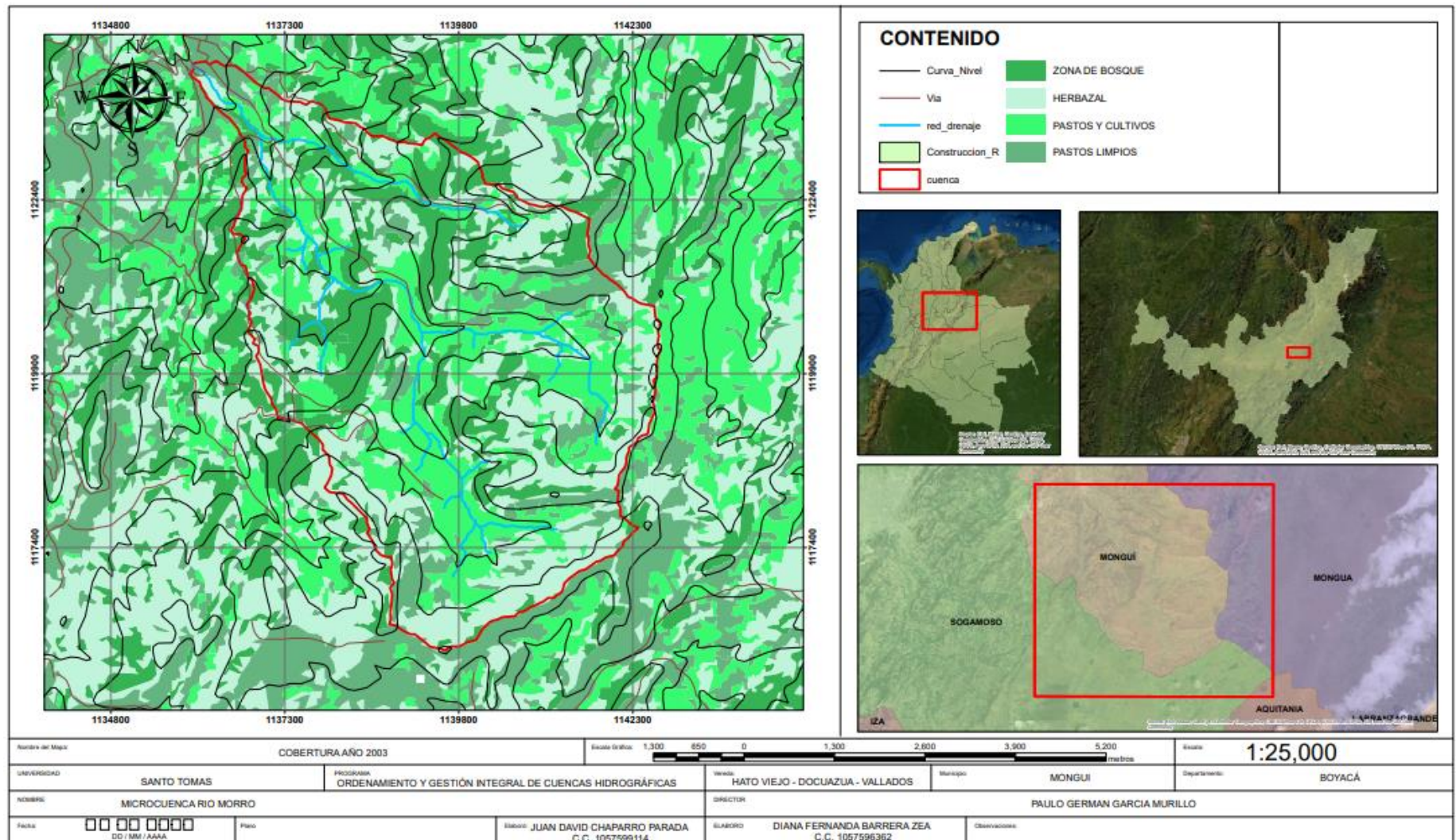
Fuente: Autores, 2022

Imagen 8: coberturas vegetales año 2001



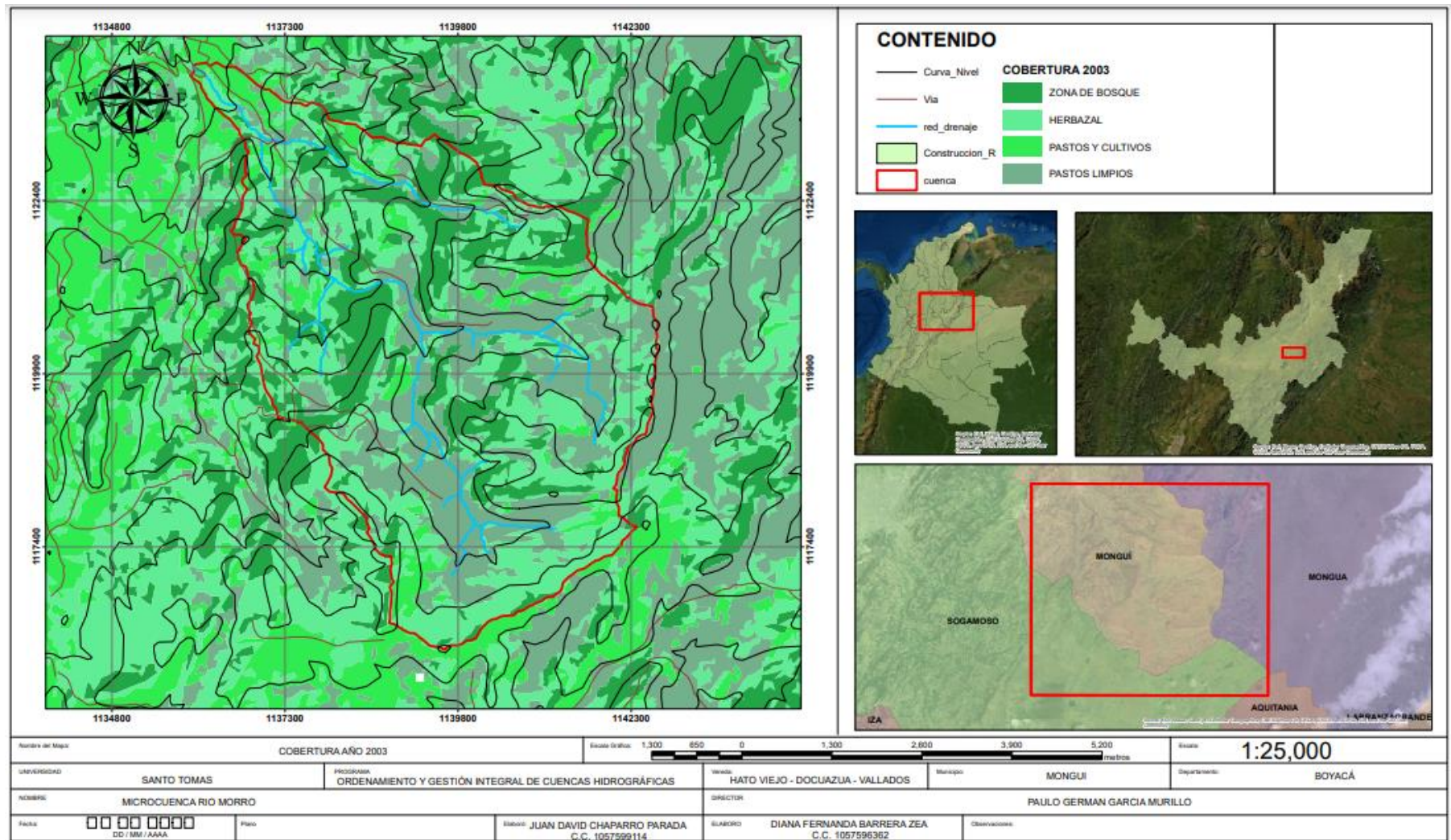
Fuente: Autores, 2022

Imagen 9: coberturas vegetales 2002



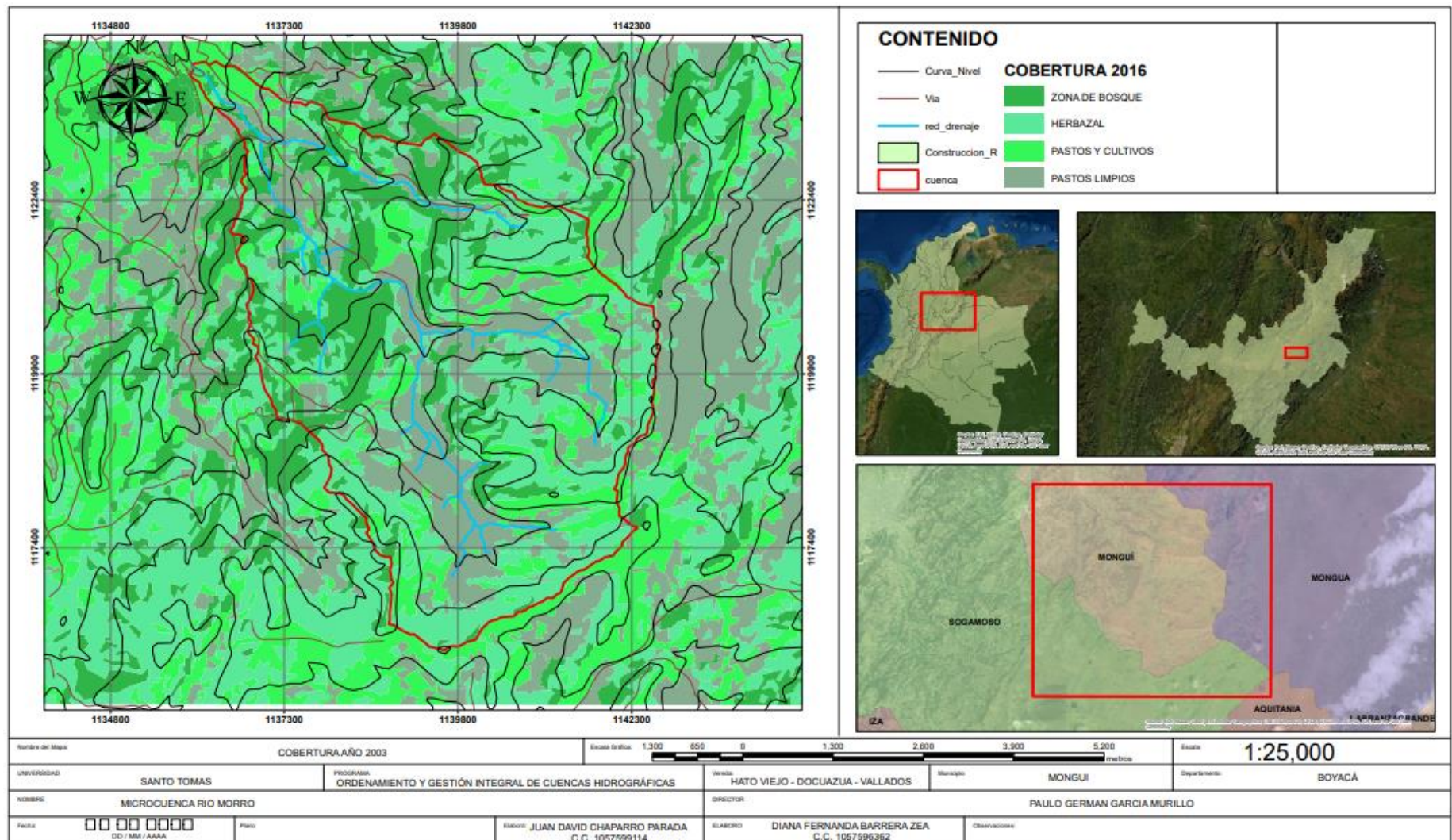
Fuente: Autores, 2022

Imagen 10: coberturas vegetales 2003



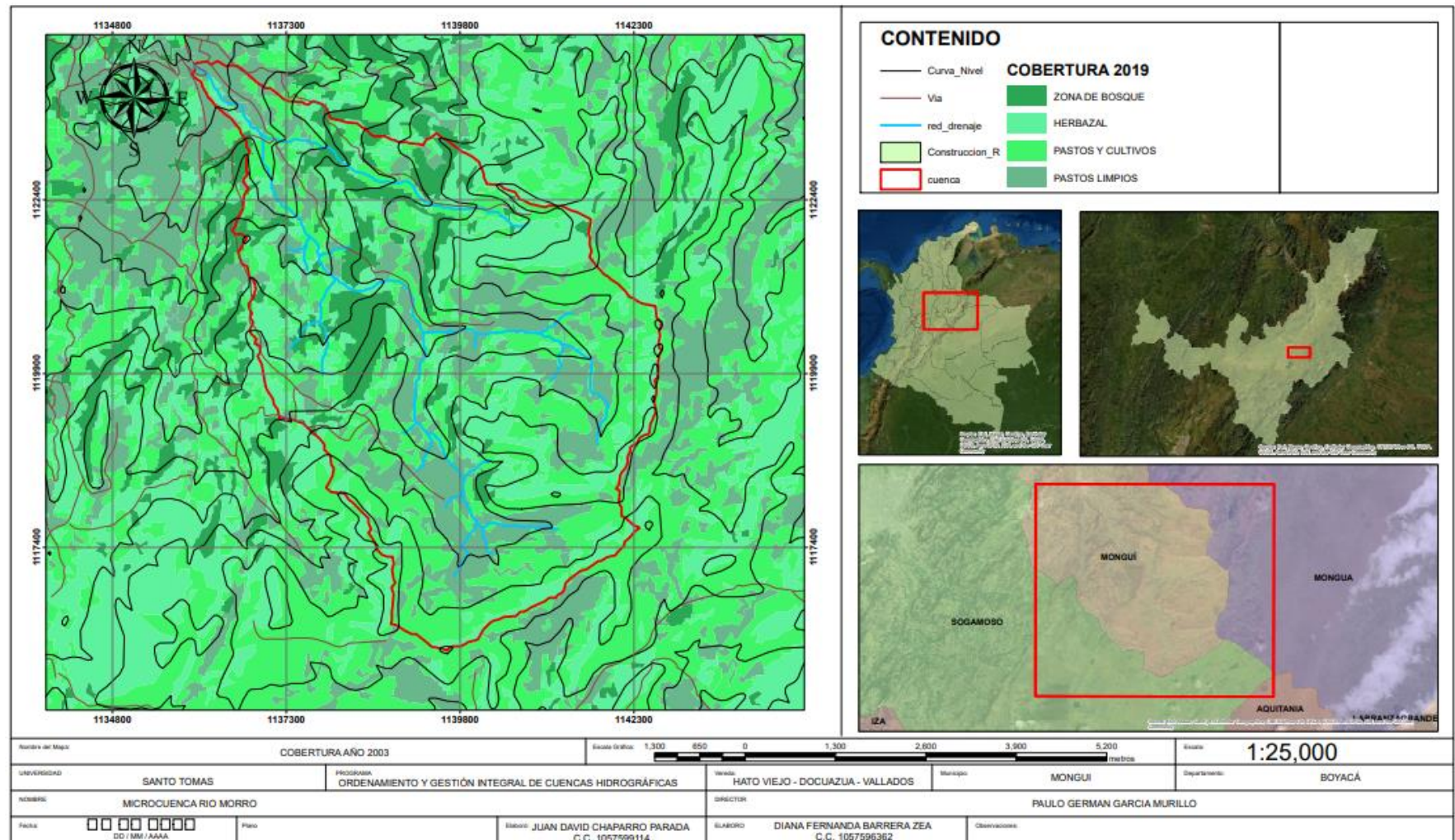
Fuente: Autores, 2022

Imagen 11: coberturas vegetales 2016



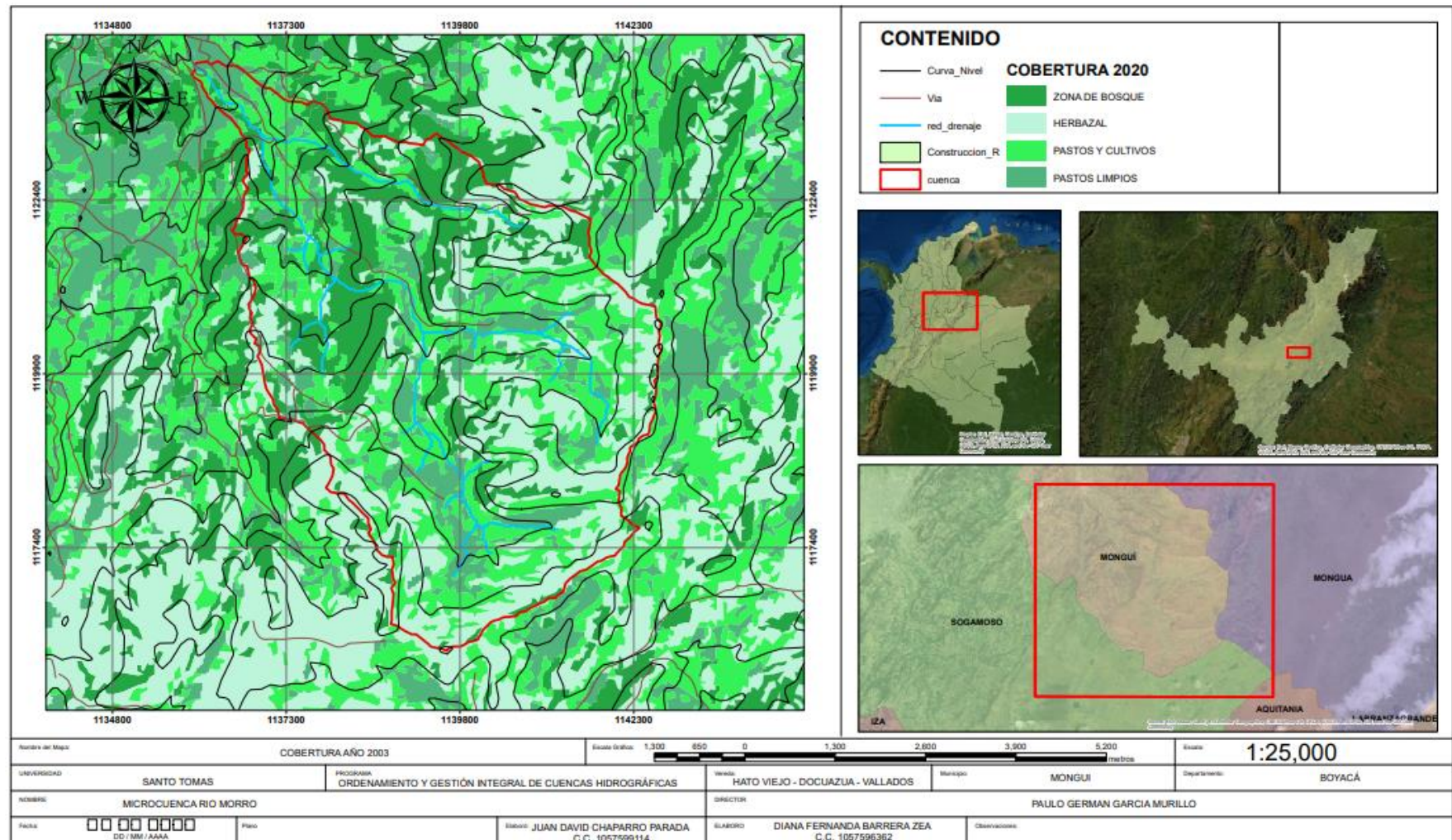
Fuente: Autores

Imagen 12: coberturas vegetales 2019



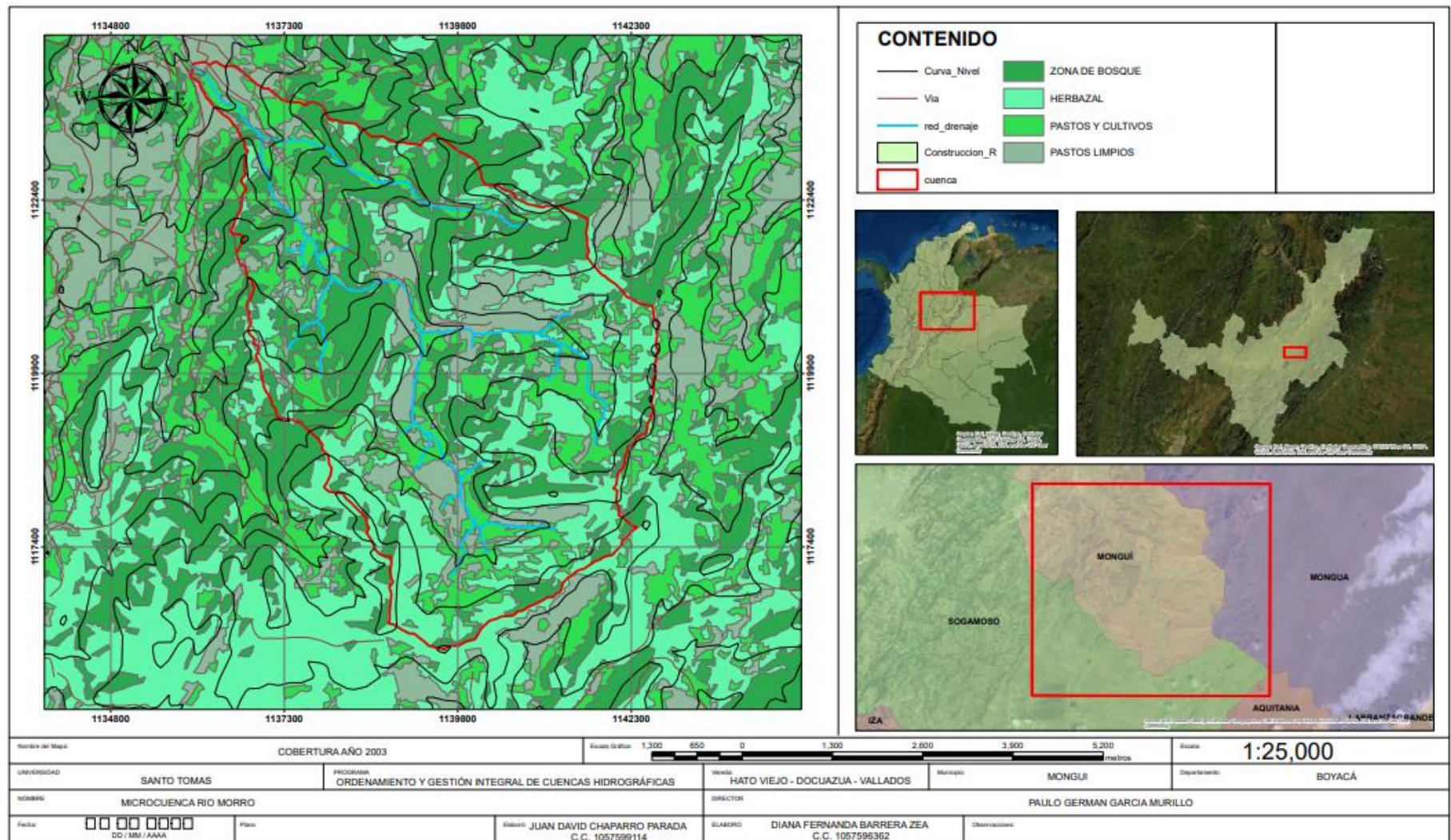
Fuente: Autores, 2022

Imagen 13: coberturas vegetales 2020



Fuente: Autores, 2022

Imagen 14: coberturas vegetales 20021

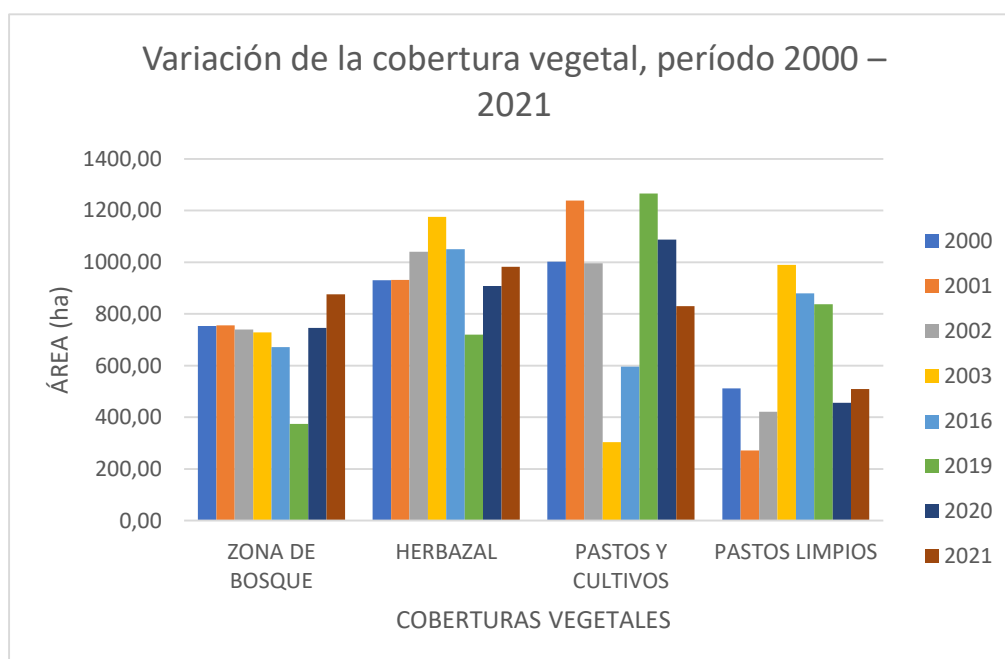


Fuente: Autores, 2022

Una vez analizada la información se observa que para el año 2000, 2001 y 2021 la cobertura de mayor predominancia en el área de estudio es pastos y cultivos, para el año 2002, 2003, 2016, 2019, y 2020 es de herbazales, el mayor impacto en el cambio de coberturas vegetales se presenta de 2016 a 2021 con el cambio de cobertura vegetal de zona de bosque pasando de 671.42 hectáreas en el 2016 a 374.63 hectáreas en 2019 y aumenta para los años 2020 y 2021 en un 50%.

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la microcuenca del Río Morro, en un intervalo de 20 años, entre 2000 y 2021, denota que los factores antrópicos que aquejan la zona se ven reflejados en la disminución de las coberturas nativas. La cobertura que ha presentado una mayor disminución ha sido la cobertura de vegetación de bosques de páramo. Como se observa en la grafica

Grafica 3: Variación de la cobertura vegetal, período 2000 – 2021



Fuente: Autores, 2022

La grafica 3 evidencia la variación del cambio de coberturas vegetales en el área de estudio de la microcuenca del Rio Morro donde se evidencia el constante cambio de estas, se puede decir que debido a la falta de control ambiental el mayor impacto generado es en los años 2001 y 2019 debido al incremento en la cobertura de pastos y cultivos, generando impactos ambientales, incluidos los cambios y variaciones en el suelo, que amenazan el autosustento y el desarrollo de las especies vegetales en el entorno, es de tener en cuenta que las condiciones climáticas del paramo hace que los procesos biológicos ocurran a ritmos mas bajos, por ende cuando existe una afectación a las coberturas vegetales la capacidad de retención del agua disminuye drásticamente y en consecuencia las funciones de almacenamiento y regulación también disminuyen.

8.4 RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL CAMBIO DE COBERTURAS VEGETALES PRESENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO MORRO, CON RESPECTO A VARIABLES HIDROLÓGICAS

Para el análisis hidrológico se aplicó el modelado precipitación-escorrentía, Los modelos lluvia – escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en hoyas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

Empleando el programa HEC-HMS. Se derivaron tormentas de diseño para diferentes períodos de retorno con base en la información de precipitación disponible en el área de estudio. La caracterización morfológica, así como sus condiciones actuales fueron la base para definir los parámetros de los modelos de abstracciones y de transformación que utiliza el programa HEC-HMS.

Como resultado de la aplicación del modelo a las unidades hidrográficas, se obtuvieron hidrogramas de crecientes y sus respectivos caudales pico para los diferentes períodos de retorno.

8.4.1 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

Para la estimación de caudales en pequeñas cuencas sin mediciones fluviográficas, es común recurrir a modelos de precipitación-escorrentía, que permiten calcular hidrogramas de crecientes o caudales pico a partir de las características de las lluvias en la región de análisis. Estos modelos requieren definir “tormentas de diseño” o “intensidades de diseño”, lo cual usualmente se realiza por medio de curvas intensidad-duración-frecuencia (curvas IDF) representativas del área de estudio y derivadas a partir de registros pluviométricos.

El análisis de precipitación se realizó con base a los datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, en el municipio de Monguí existe una estación pluviométrica en la tabla 19, se muestra las principales características de la estación.

Tabla19: Datos de estación utilizada

CÓDIGO	24030190
NOMBRE	MONGUÍ
CATEGORÍA	PLUVIOMÉTRICA
FECHA_INST	15/02/1958
ALTITUD	2970
LATITUD	5.724555560
LONGITUD	-72.84786111
DEPARTAMENTO	Boyacá
MUNICIPIO	MONGUÍ

Fuente: autores, 2022

Para el siguiente análisis hidrológico se tomó la precipitación máxima mensual para cada año de estudio. La microcuenca del Río Morro se encuentra principalmente dentro del área de influencia de la estación Monguí, encontrándose en la figura 20 los valores medios mensuales multianuales en mm/mes, registrados por esta estación para el período de 2000-2021. Permitiendo a su vez evidenciar que los meses de abril, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre son los más lluviosos, mientras que los meses de diciembre y febrero son los más secos.

Tabla 20: Precipitación máxima anual

MES	PRECIPITACION							
	2000	2001	2002	2003	2016	2019	2020	2021
ENERO	18.2	0.5	4.7	1.6	8.4	18.2	10.3	2.1
FEBRERO	3.5	17.5	5.3	7.6	0	3.5	10.6	6.3
MARZO	13.2	1.5	15.1	11.6	20.5	13.2	10.5	19.2
ABRIL	30.6	5.1	29.5	28.2	20.6	30.6	11.2	30.3
MAYO	10.8	11.5	16.5	10.6	10.3	10.8	14.2	24.4
JUNIO	10.8	10.4	10.2	13.5	4.3	10.8	18.2	20.3
JULIO	10.3	8.5	23.5	23.4	10.6	10.3	7.2	3.1
AGOSTO	8.3	8.5	8.3	1.6	10.4	8.3	22.2	29.2
SEPTIEMBRE	5.3	17.5	18.4	13.6	10.3	5.3	15.3	6.4
OCTUBRE	20.5	19.7	14.1	29.6	24.4	20.5	20.3	20.4
NOVIEMBRE	20.8	19.3	18.6	31.3	27.2	20.8	23.1	0
DICIEMBRE	10.3	20.1	9.6	16.8	20.3	10.3	6.3	0
RRGISTRO	12	12	12	12	12	12	12	10
promedio	13.55	11.68	14.48	15.78	13.94	13.55	14.12	16.17
maximo	30.60	20.10	29.50	31.30	27.20	30.60	23.10	30.30
desviacion estandar	7.66	7.10	7.41	10.31	8.43	7.66	5.72	10.76

Fuente: autores

8.4.1.1 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia

Es importante conocer los eventos máximos de lluvia que pueden ocurrir en una cuenca determinada, pues las obras hidráulicas van a estar inevitablemente sometidas a estos. El método más común de analizar las precipitaciones máximas es utilizando una tormenta de diseño que involucre una relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y los períodos de retorno apropiados para este tipo de proyectos.

De acuerdo con la ubicación del Área de Estudio y con la información disponible de relaciones IDF para la quebrada, se tomó como referencia el análisis realizado anteriormente para determinar la precipitación y así obtener información básica de intensidades extremas para los análisis hidrológicos del presente Estudio para períodos de retorno de 20 y 50 años respectivamente (ver tabla 21)

Según Vahrson et.al. (1992), la intensidad máxima de la lluvia esperada en dicha estación en función de la duración de la lluvia y el período de retorno, se puede expresar como:

$$i = 155.052 - 25.8865 \ln \ln(d) + (21.7857 - 3.13747 \ln(d)) * \ln(TR)$$

Donde:

i: intensidad de la lluvia, en mm/hr,

d: duración de la precipitación, en minutos

TR: es el período de retorno, en años.

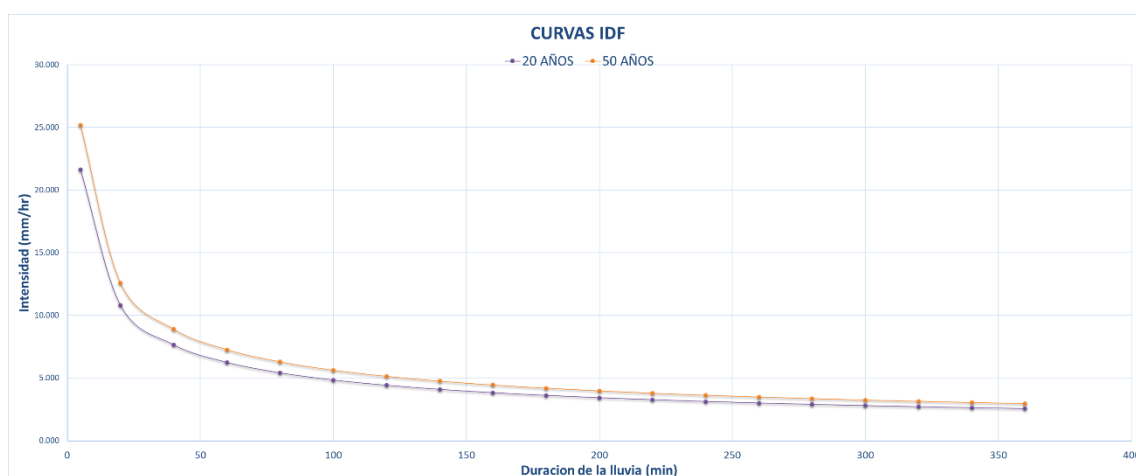
: Las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia (Temez Peláez, 1978). En la tabla 21 se puede observar que la intensidad media de precipitación se reduce a medida que aumenta la duración del evento de precipitación. Así mismo, para una duración de precipitación determinada, cuanto mayor sea la frecuencia o período de retorno T de la tormenta, mayor será su intensidad

Tabla 21: Intensidad-Duración- Frecuencia

		PRECIPITACION (mm) PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO															
		2000		2001		2002		2003		2016		2019		2020		2021	
		20	50	20	50	20	50	20	50	20	50	20	50	20	50	20	50
Duración de la lluvia, en minutos	5	21.6	25.2	17.6	21.3	20.0	23.8	24.8	30.1	21.0	25.3	19.7	23.6	17.5	20.5	25.6	31.2
	20	10.8	12.6	8.8	10.6	10.0	11.9	12.4	15.0	10.5	12.7	9.8	11.8	8.8	10.2	12.8	15.6
	40	7.7	8.9	6.2	7.5	7.1	8.4	8.8	10.6	7.4	8.9	7.0	8.4	6.2	7.2	9.1	11.0
	60	6.2	7.3	5.1	6.1	5.8	6.9	7.1	8.7	6.1	7.3	5.7	6.8	5.1	5.9	7.4	9.0
	80	5.4	6.3	4.4	5.3	5.0	6.0	6.2	7.5	5.2	6.3	4.9	5.9	4.4	5.1	6.4	7.8
	100	4.8	5.6	3.9	4.8	4.5	5.3	5.5	6.7	4.7	5.7	4.4	5.3	3.9	4.6	5.7	7.0
	120	4.4	5.1	3.6	4.3	4.1	4.9	5.1	6.1	4.3	5.2	4.0	4.8	3.6	4.2	5.2	6.4
	140	4.1	4.8	3.3	4.0	3.8	4.5	4.7	5.7	4.0	4.8	3.7	4.5	3.3	3.9	4.8	5.9
	160	3.8	4.4	3.1	3.8	3.5	4.2	4.4	5.3	3.7	4.5	3.5	4.2	3.1	3.6	4.5	5.5
	180	3.6	4.2	2.9	3.5	3.3	4.0	4.1	5.0	3.5	4.2	3.3	3.9	2.9	3.4	4.3	5.2
	200	3.4	4.0	2.8	3.4	3.2	3.8	3.9	4.8	3.3	4.0	3.1	3.7	2.8	3.2	4.1	4.9
	220	3.3	3.8	2.7	3.2	3.0	3.6	3.7	4.5	3.2	3.8	3.0	3.6	2.6	3.1	3.9	4.7
	240	3.1	3.6	2.5	3.1	2.9	3.4	3.6	4.3	3.0	3.7	2.8	3.4	2.5	3.0	3.7	4.5
	260	3.0	3.5	2.4	3.0	2.8	3.3	3.4	4.2	2.9	3.5	2.7	3.3	2.4	2.8	3.6	4.3
	280	2.9	3.4	2.4	2.8	2.7	3.2	3.3	4.0	2.8	3.4	2.6	3.2	2.3	2.7	3.4	4.2
	300	2.8	3.2	2.3	2.7	2.6	3.1	3.2	3.9	2.7	3.3	2.5	3.1	2.3	2.6	3.3	4.0
	320	2.7	3.1	2.2	2.7	2.5	3.0	3.1	3.8	2.6	3.2	2.5	3.0	2.2	2.6	3.2	3.9
	340	2.6	3.1	2.1	2.6	2.4	2.9	3.0	3.6	2.5	3.1	2.4	2.9	2.1	2.5	3.1	3.8
	360	2.6	3.0	2.1	2.5	2.4	2.8	2.9	3.5	2.5	3.0	2.3	2.8	2.1	2.4	3.0	3.7

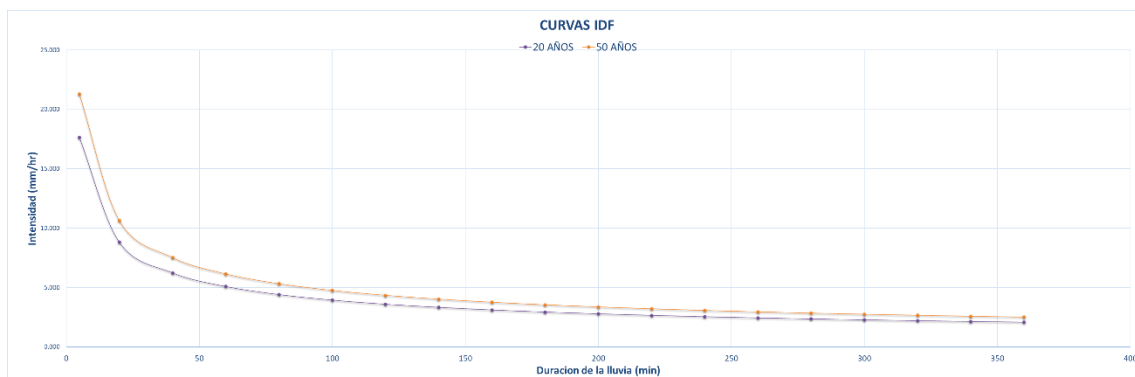
Fuente: Autores, 2022

Grafica 5: Curvas IDF AÑO 2000

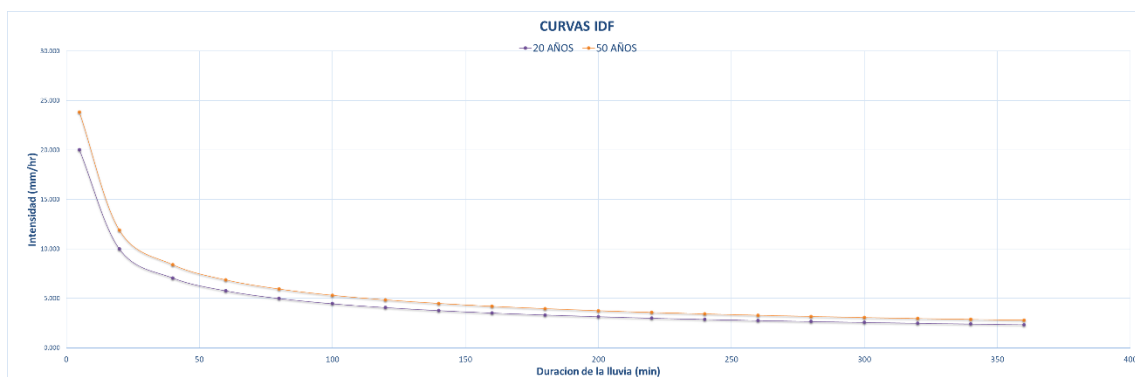


Fuente: autores

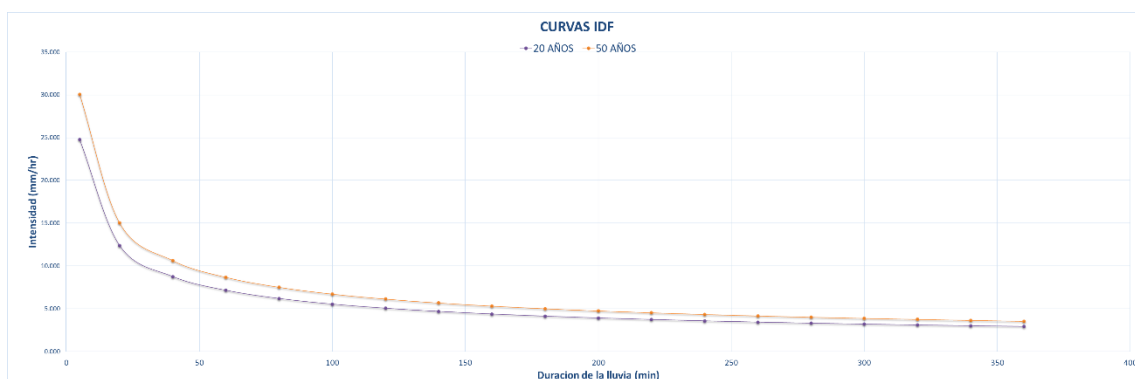
Grafica 6: Curvas IDF AÑO 2001



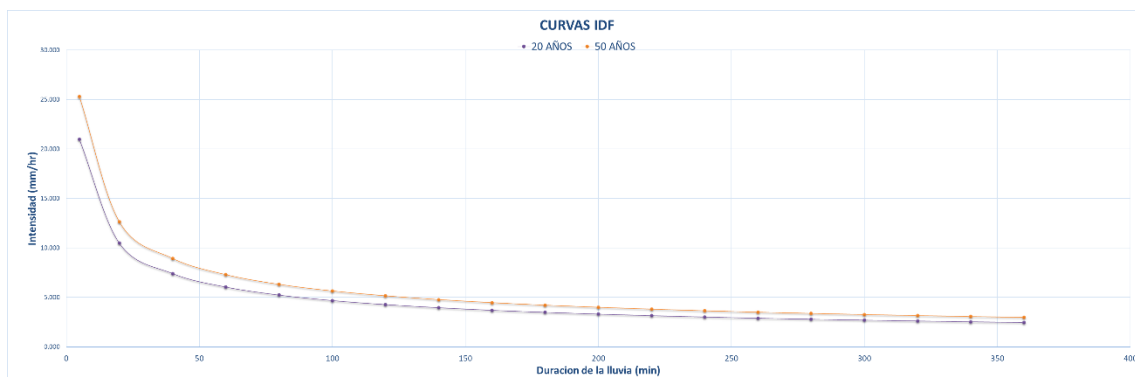
Fuente: autores
Gráfica 7. Curvas IDF AÑO 2002



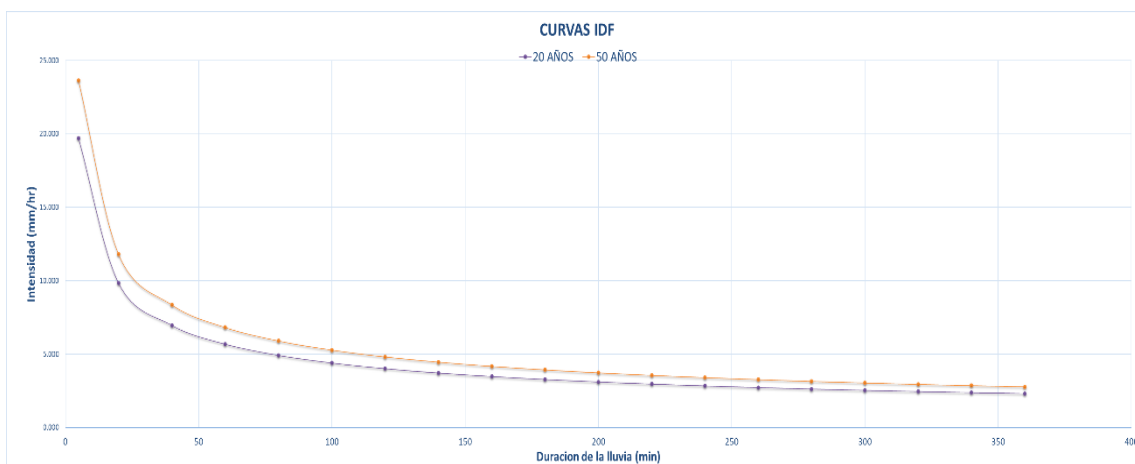
Fuente: autores
Gráfica 8. Curvas IDF AÑO 2003



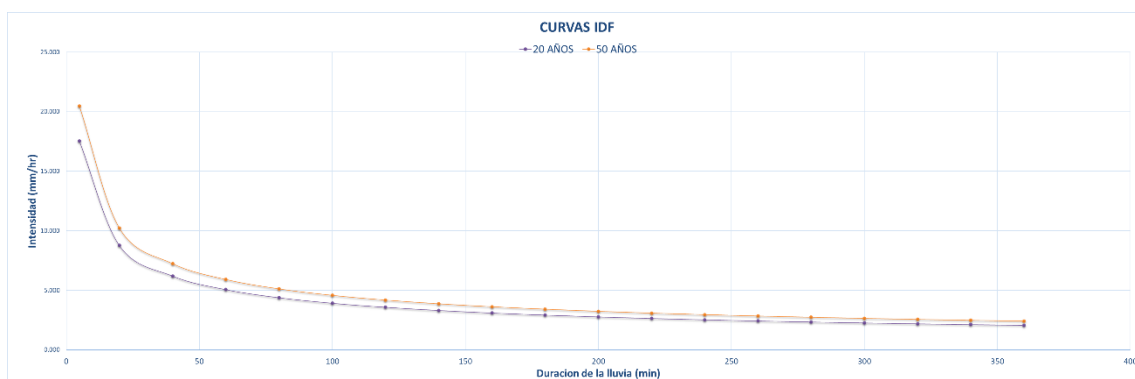
Fuente: autores
Gráfica 9. Curvas IDF AÑO 2016



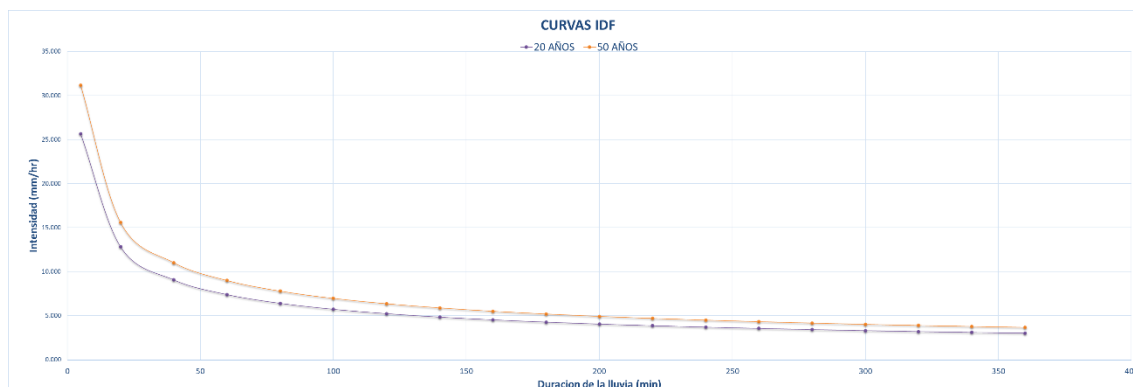
Fuente: autores
Gráfica 10. Curvas IDF AÑO 2019



Fuente: autores
Gráfica 11. Curvas IDF AÑO 2020



Fuente: autores
Gráfica 12. Curvas IDF AÑO 2021



Fuente: autores

8.4.2 Estimación de caudales de diseño

se emplea la metodología de Modelado precipitación-escorrentía mediante el modelo HEC-HMS (modelo agregado de análisis de crecientes), para estimación de caudales máximos instantáneos a partir de tormentas de diseño, derivadas de la información intensidad-duración-frecuencia, con el fin de estimar caudales máximos instantáneos y teniendo en cuenta Los lineamientos a los que se rige cada uno de los parámetros se establece un período de retorno de 20 y 50 años para cada año de estudio

8.4.2.1 Estimación de caudales de diseño precipitación- escorrentía

Los modelos de precipitación-escorrentía son el método indirecto más usual a ser aplicado en los casos en que no existe información directa de caudales de avenida en una cuenca. El modelo HEC-HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, es probablemente el modelo de simulación hidrológica más ampliamente utilizado y está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de un evento de precipitación, mediante la representación de la micro cuenca como un sistema de componentes interconectados. El modelo HEC-HMS permite estimar, de manera agregada, los hidrogramas de crecientes resultantes de eventos de precipitación sobre la cuenca ("tormenta de diseño") asociados a una recurrencia determinada.

El proceso de simulación en HEC-HMS se puede resumir en los siguientes pasos:

- Análisis probabilístico del comportamiento de las precipitaciones extremas y estimación de la tormenta de diseño media sobre unidades hidrológicas, para los períodos de retorno de interés
- Definición del modelo
- Definición del modelo de abstracciones de precipitación
- Definición del modelo de transformación precipitación-escorrentía
- Corrida de las simulaciones del modelo y obtención de los hidrogramas de crecientes para los períodos de retorno de interés.

8.4.2.2 Estimación de tormentas de diseño

Para la definición de tormentas de diseño como insumo del modelo hidrológico de precipitación - escorrentía, es indispensable contar con información sobre los patrones temporales, magnitudes y frecuencias de los eventos extremos de precipitación que se presentan, si se cuenta con información. La ecuación desarrollada por Vahrson et al. (1992) tiene una validez hasta 120 minutos, tiempo menor a tiempo de concentración de las unidades hidrológicas. Debido a que el modelo HEC-HMS requiere de la distribución temporal de la precipitación, hietograma característico de la región, se procedió a utilizar la metodología de bloque alterno para su obtención. El hietograma característico debe reflejar la distribución de la precipitación a lo largo del tiempo en que se dispone de información de intensidad-duración-frecuencia (Chow et al. 1994). Para determinar el hietograma característico se utilizó la relación de intensidad-duración-frecuencia desarrollada por Vahrson, Alfaro y Araúz (1992):

$$i = 155.052 - 25.8865x \ln \ln (d) + (21.7857 - 3.13747x \ln(d)) * \ln \ln (TR)$$

Donde:

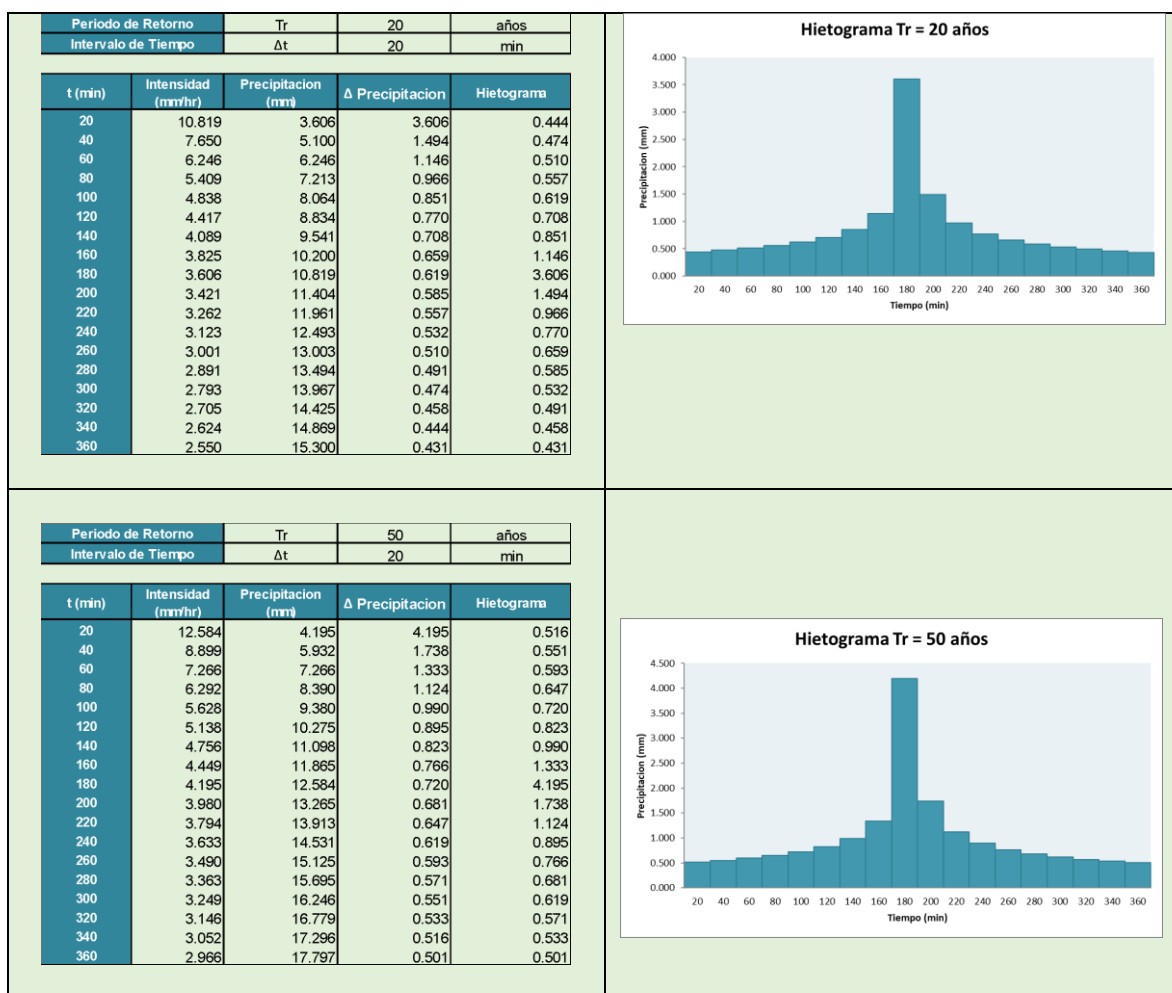
- i : intensidad de la lluvia, en mm/hr,
- d : duración de la precipitación, en minutos
- TR : es el período de retorno, en años.

El método de bloque alterno es una forma simple para el desarrollo de un hietograma de precipitación utilizando la curva de intensidad-duración-frecuencia. El hietograma de precipitación producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en varios intervalos de tiempo sucesivos de duración determinada sobre una duración total de una tormenta. Para su utilización se debe seleccionar el período de retorno que se quiere utilizar, con ello, se determinan las intensidades de precipitación para cada intervalo de tiempo mediante la relación intensidad-duración-frecuencia, y con esta información, se calcula la precipitación correspondiente. Una vez que se tiene la información de la precipitación para cada intervalo, se debe reordenar en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida y que los demás valores o bloques de precipitación queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño.

Para el caso de estudio se considera el hietograma para los tiempos de retorno de 20 y 50 años (ver tabla 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29).

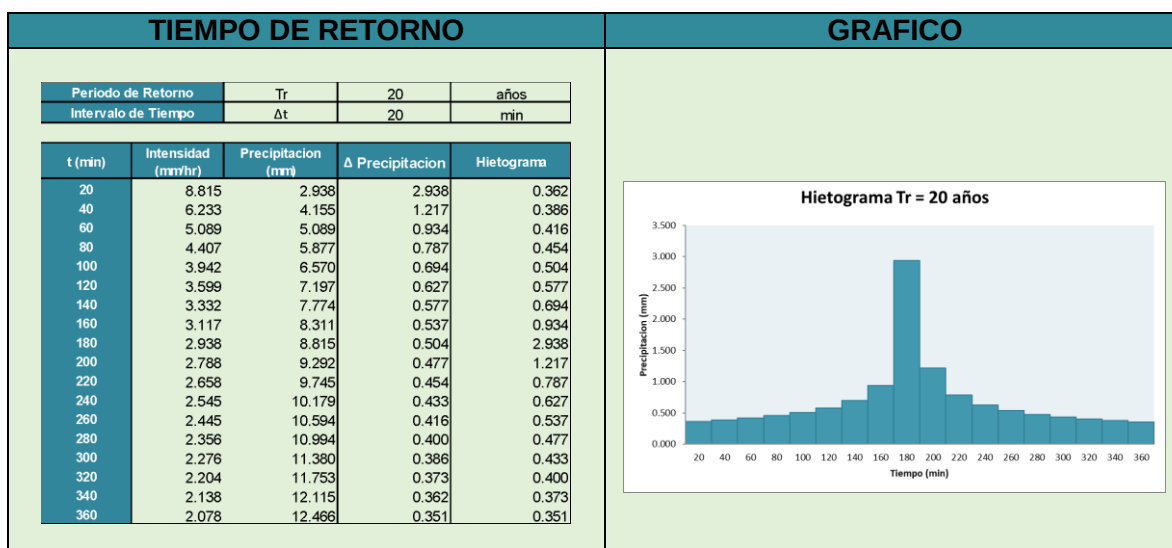
Tabla22: Hietogramas año 2000

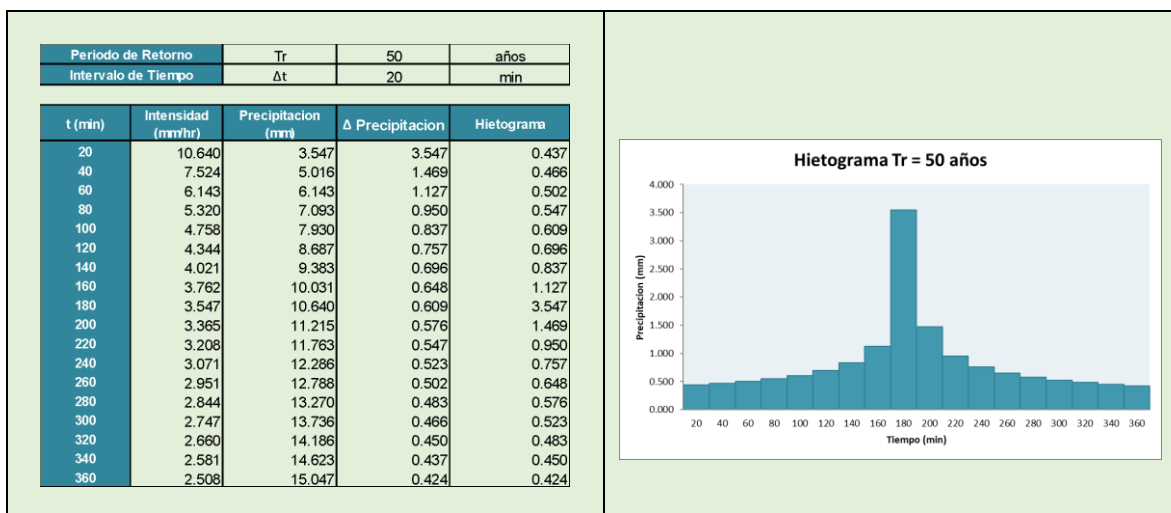
TIEMPO DE RETORNO	GRAFICO



Fuente: autores

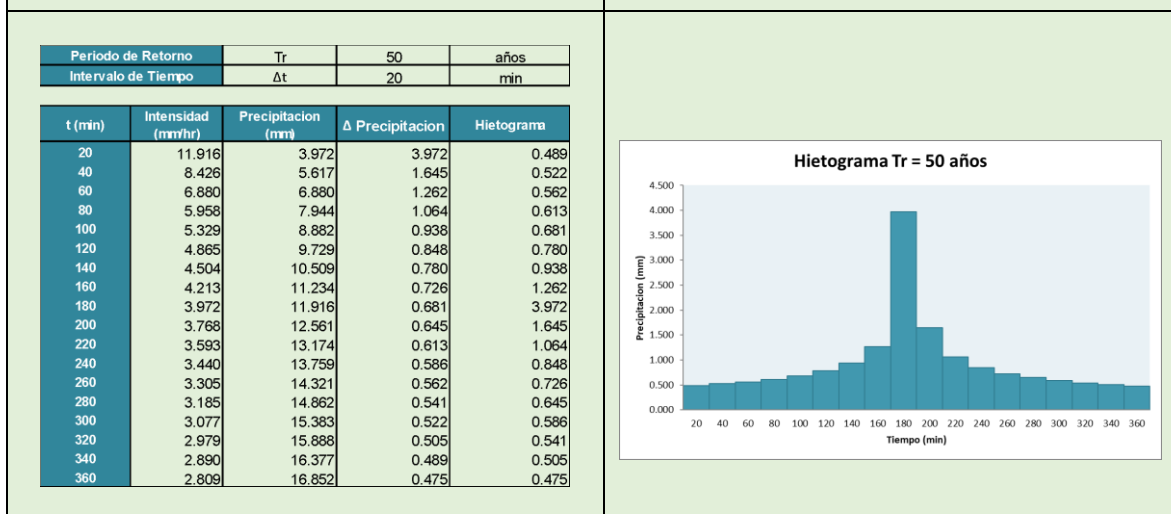
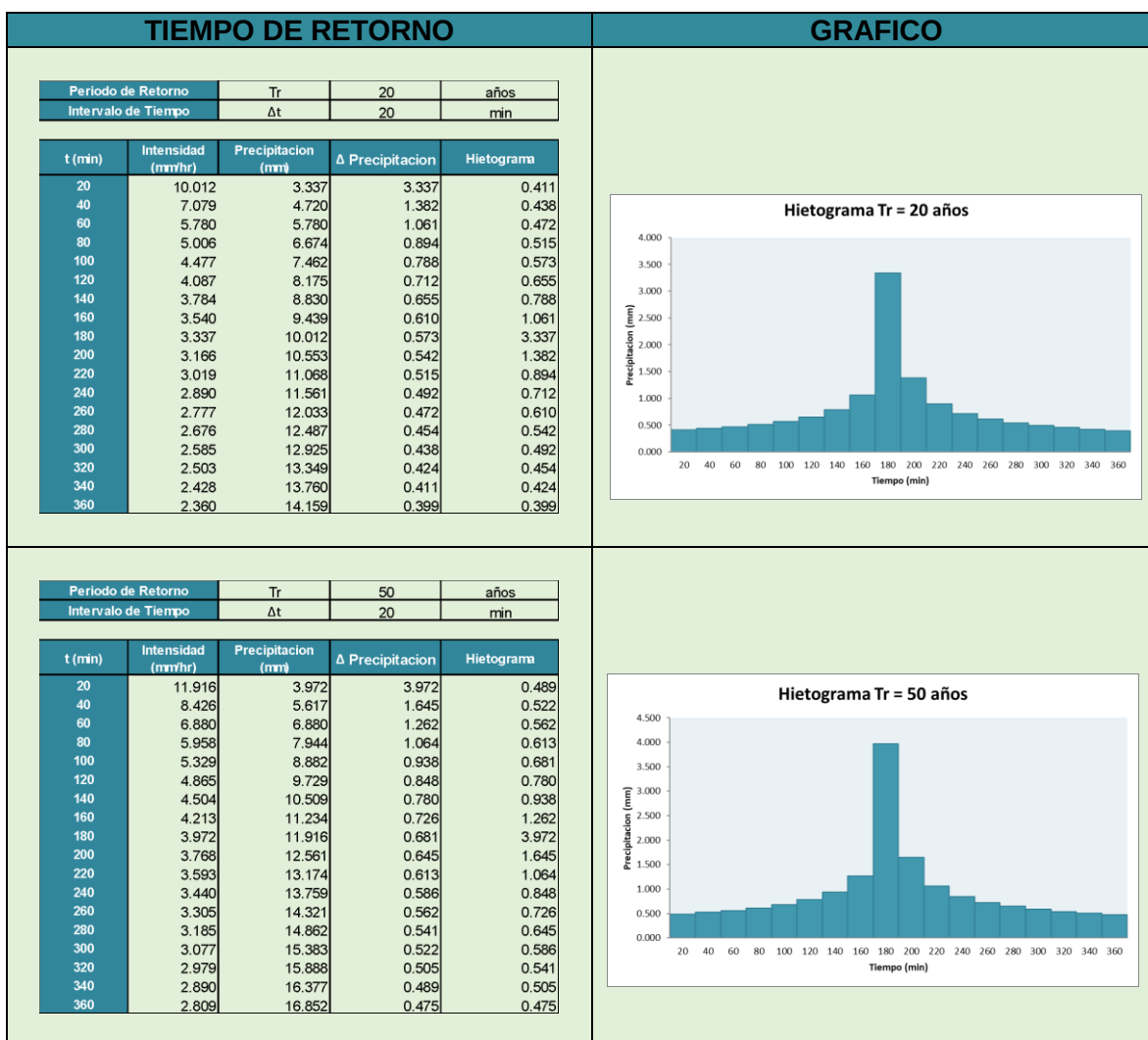
Tabla 23: Hietogramas año 2001





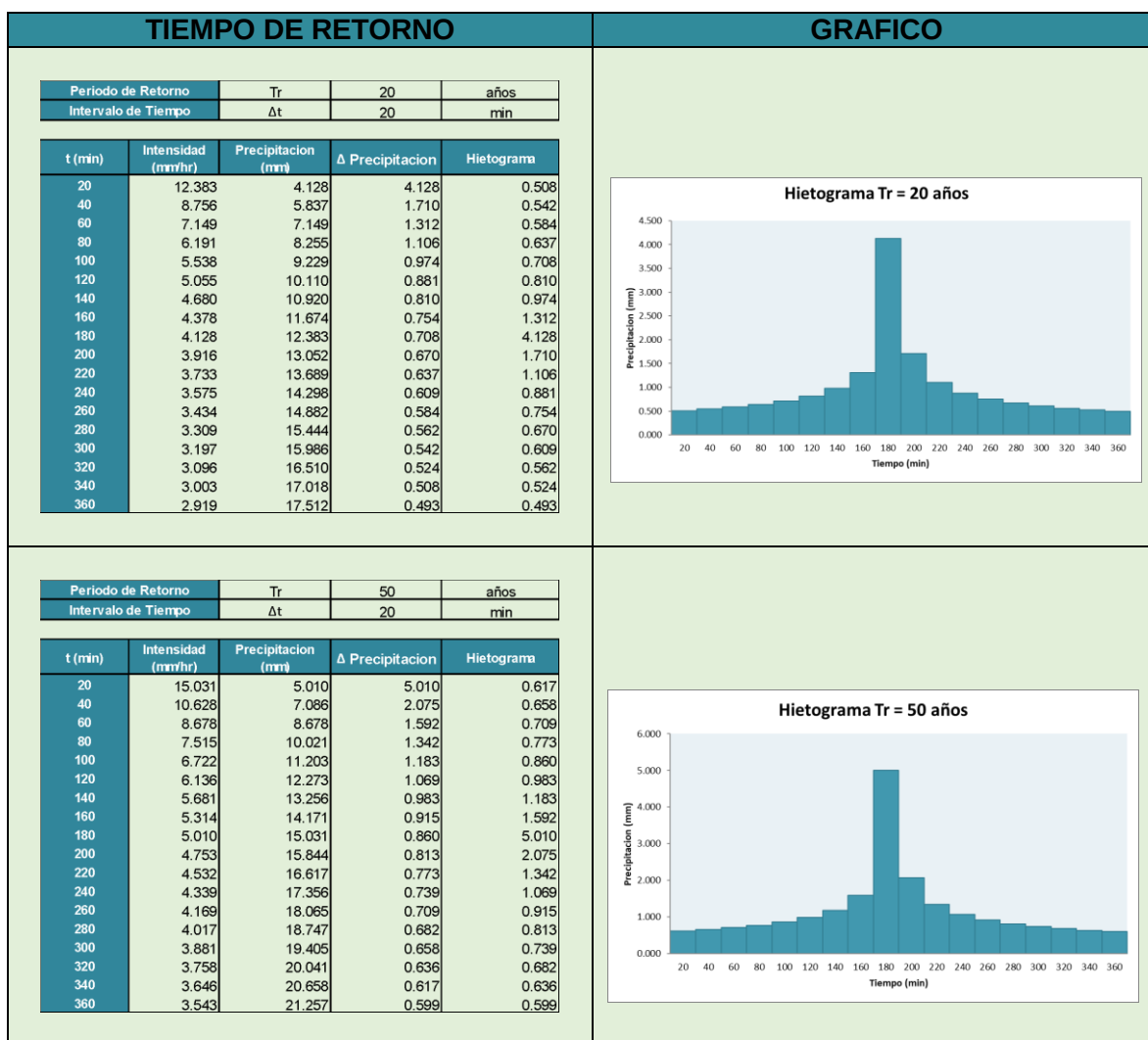
Fuente: autores

Tabla 24: Hietogramas año 2002



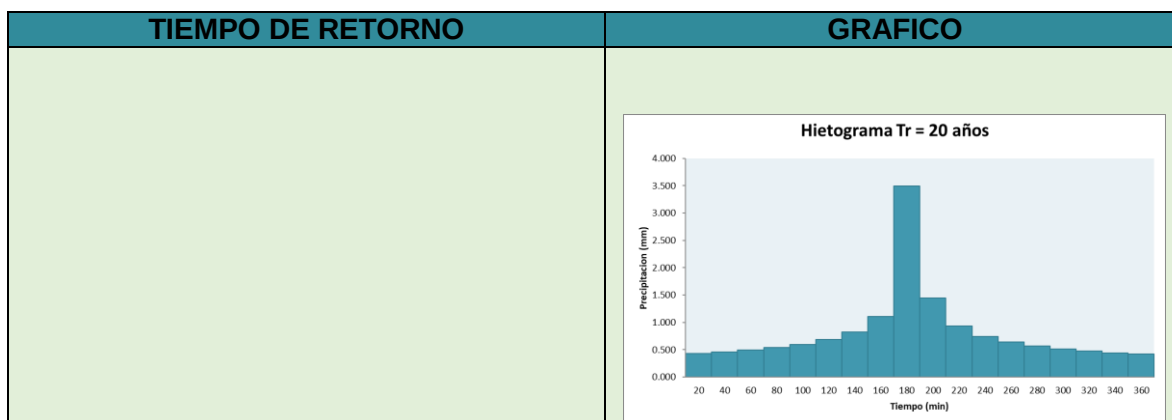
Fuente: autores

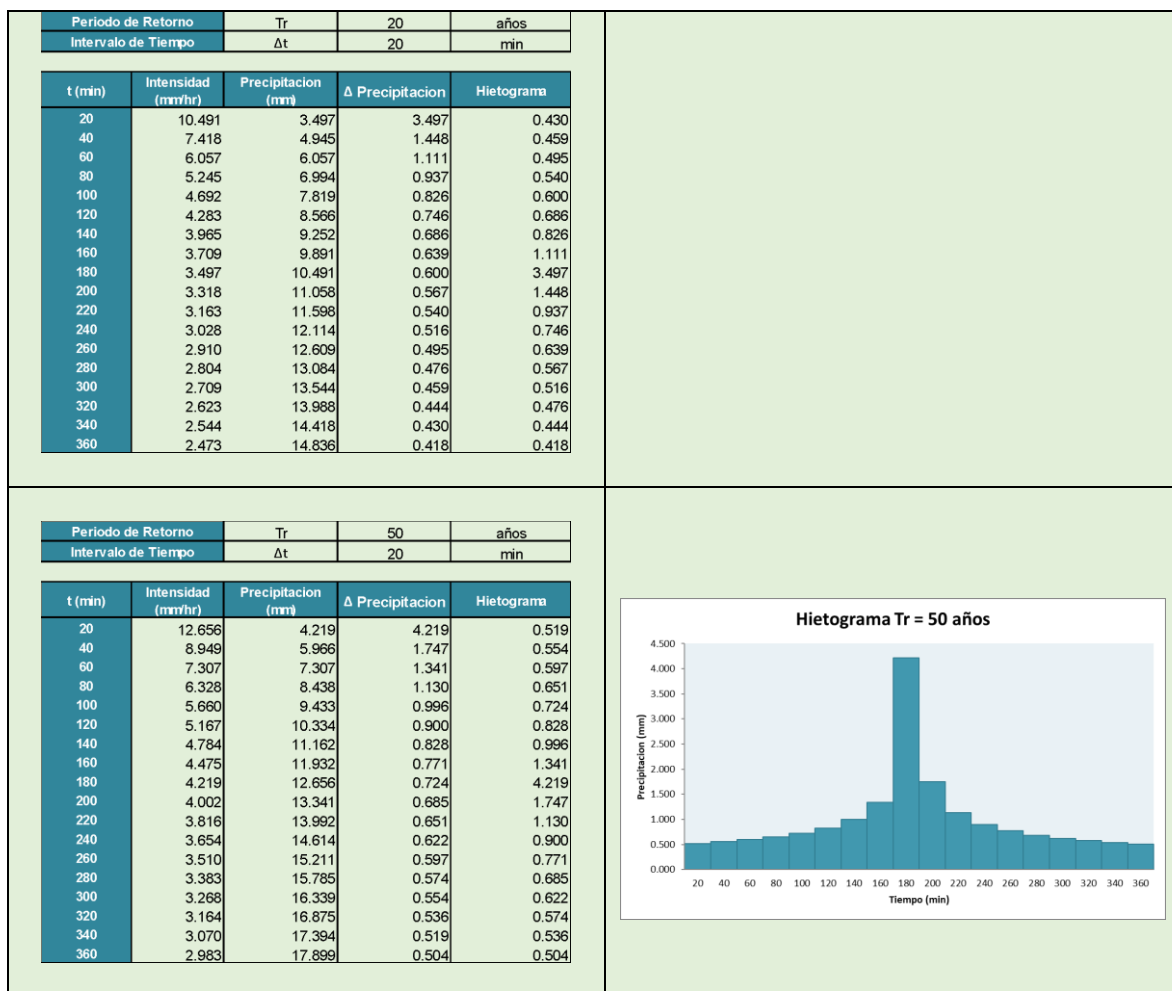
Tabla 25: Hietogramas año 2003



Fuente: autores

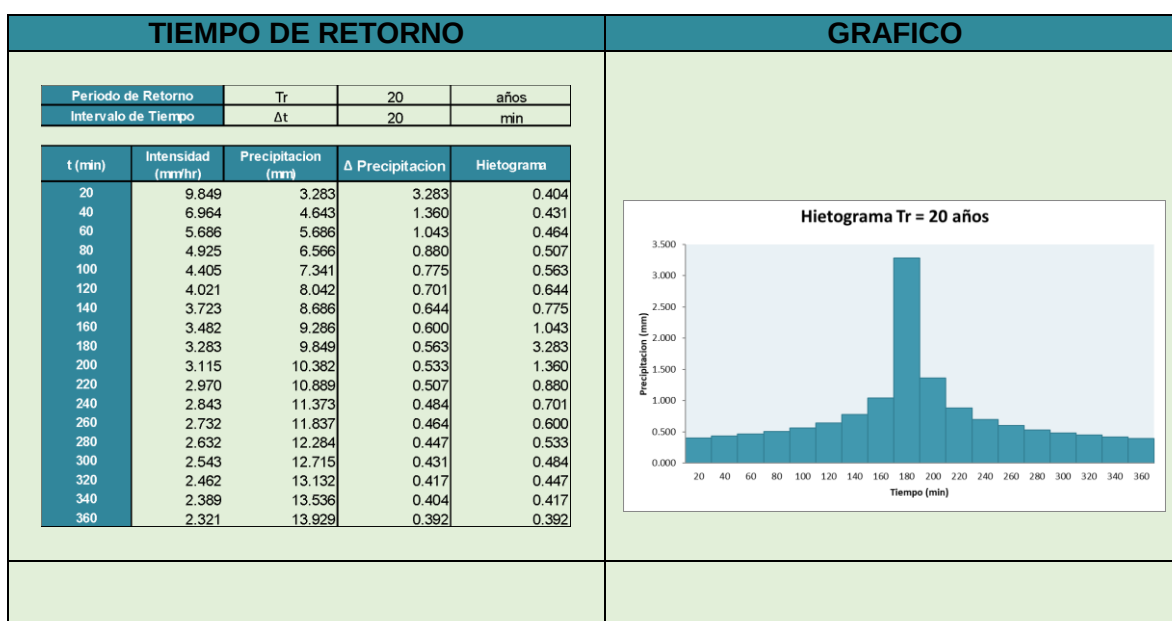
Tabla26: Hietogramas año 2016

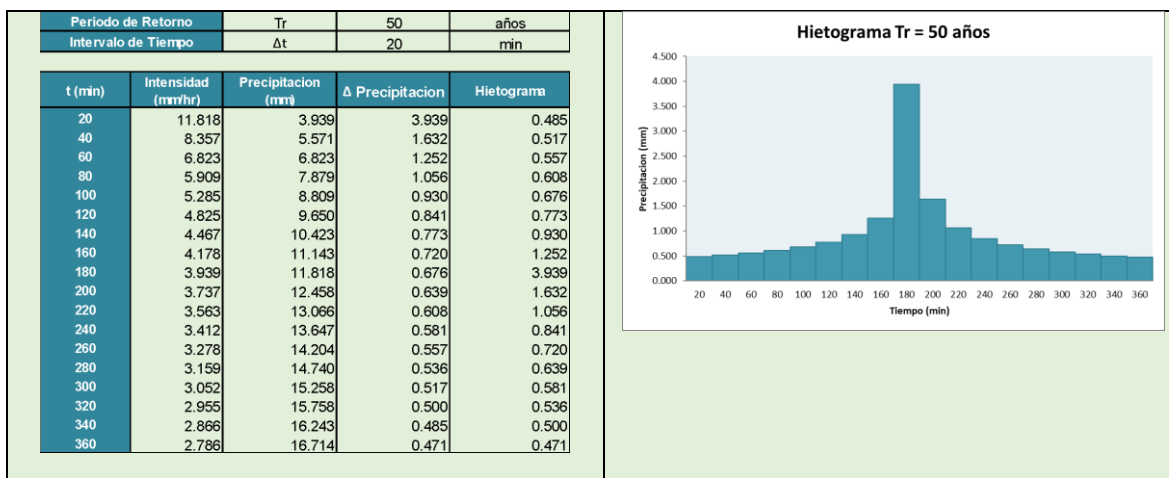




Fuente: autores

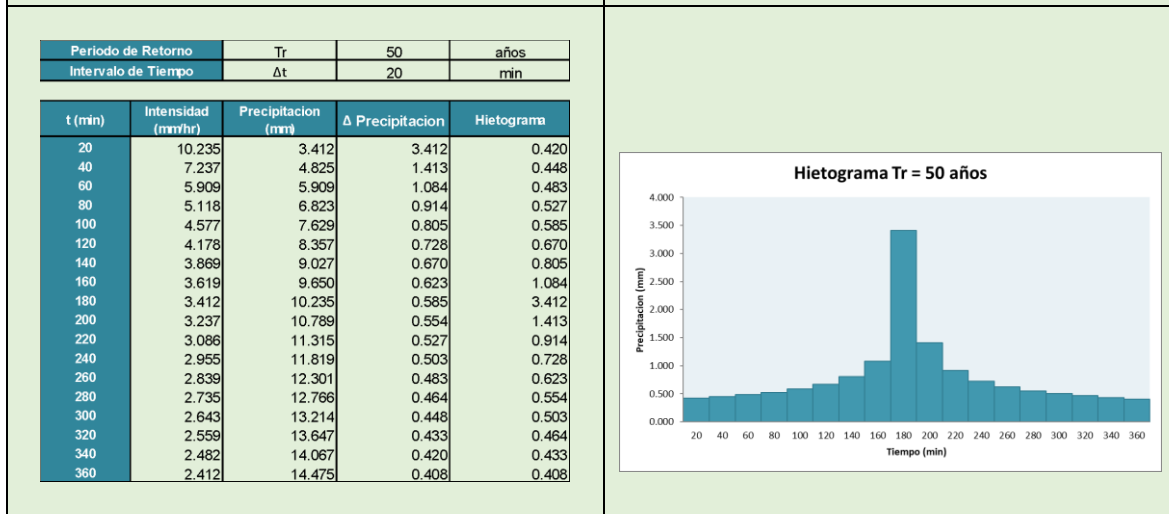
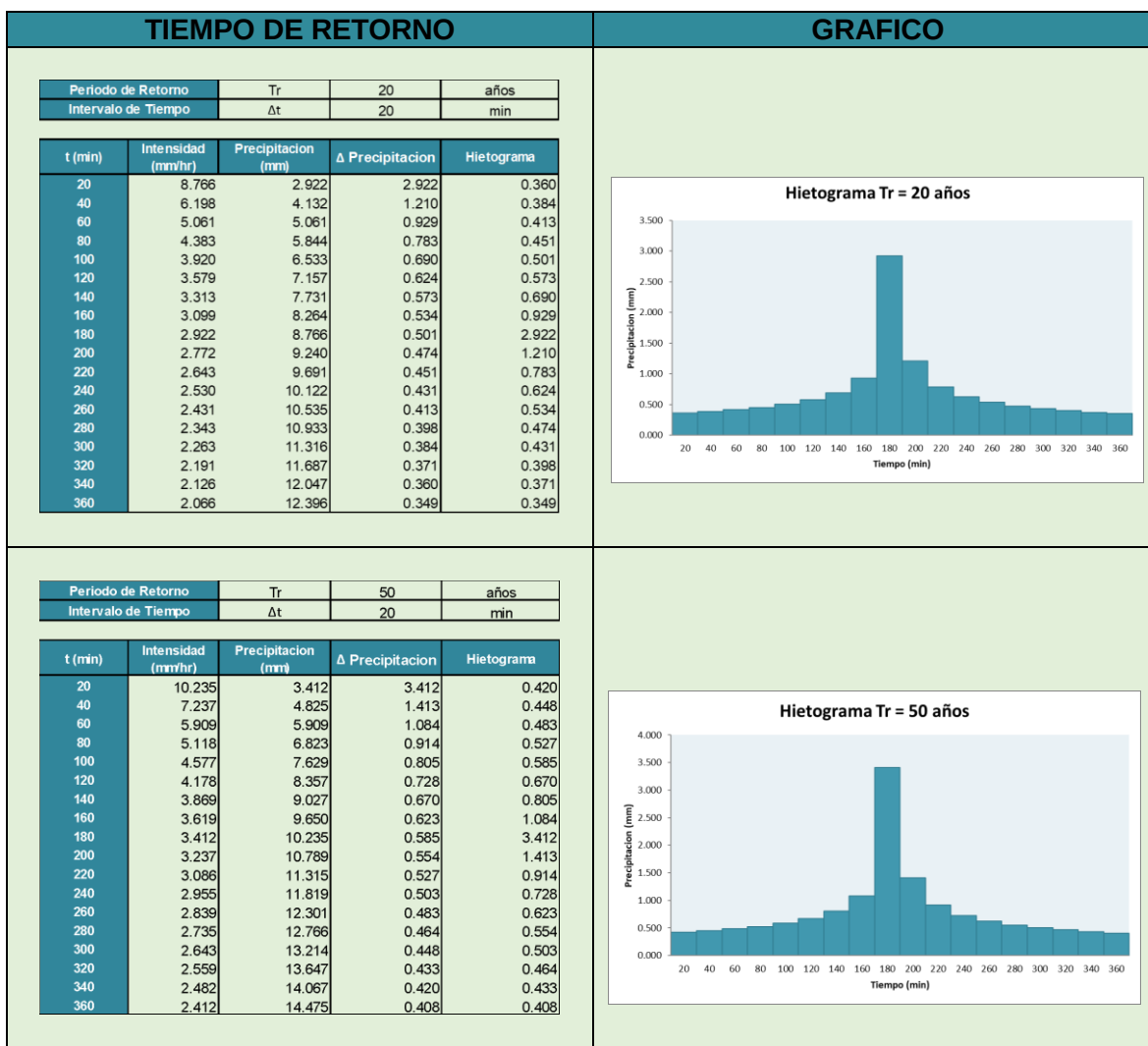
Tabla 27: Hietogramas año 2019





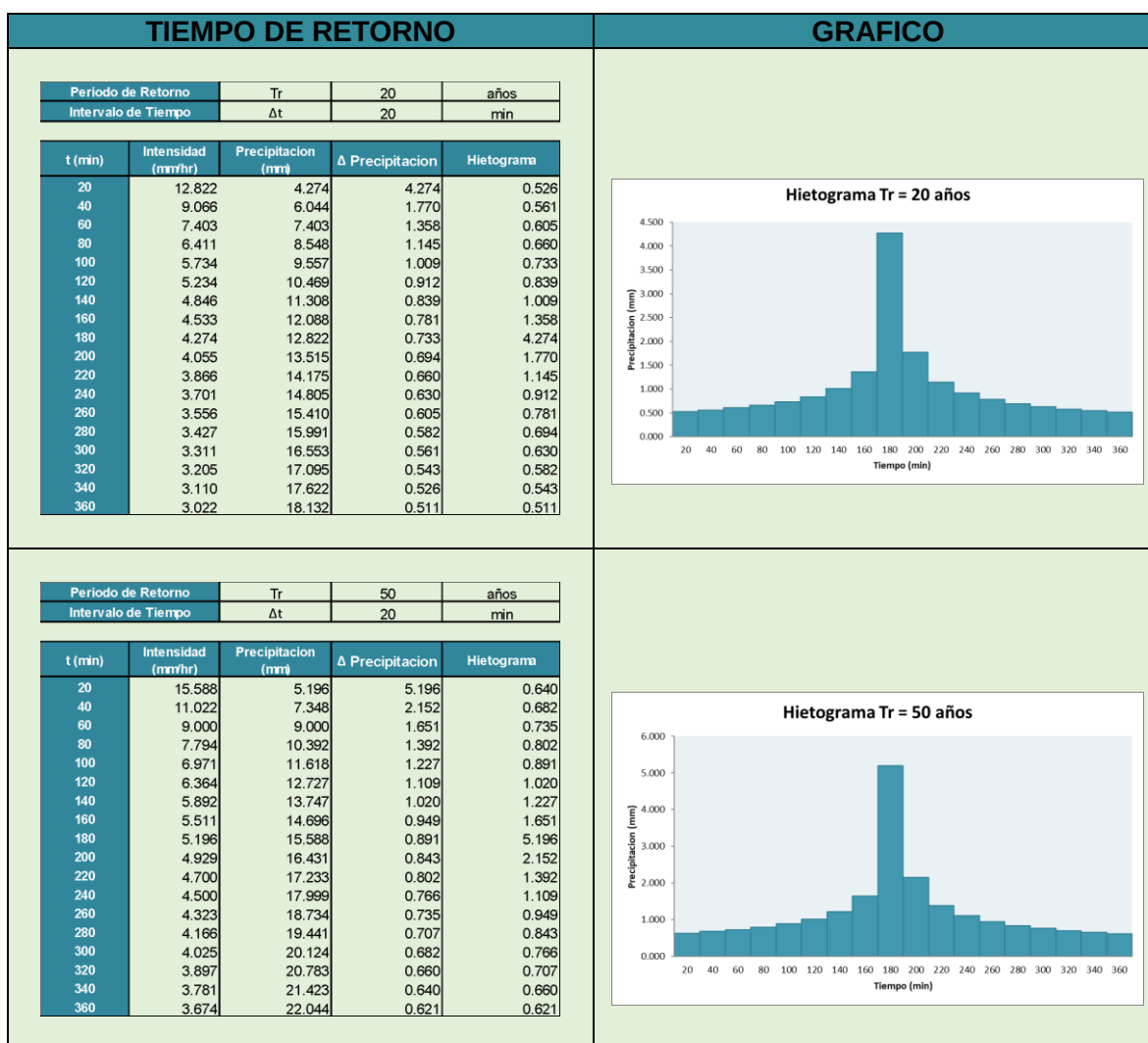
Fuente: autores

Tabla 28: Hietogramas año 2020



Fuente: autores

Tabla29: Hietogramas año 2021



Fuente: autores

8.4.3 Modelo de abstracciones de la precipitación

Todo modelo de precipitación-escorrentía requiere, para el cálculo de caudales, la estimación del exceso de precipitación o precipitación efectiva, es decir, de la fracción de la lluvia que va a llegar a escurrir sobre la superficie. La diferencia entre la precipitación total producto de una tormenta y la precipitación efectiva corresponde a las denominadas abstracciones de precipitación, las cuales ocurren mediante dos procesos hidrológicos fundamentales: la infiltración en el subsuelo y la interceptación por parte de la vegetación y las superficies.

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas en el presente estudio empleando la metodología del número de curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos. Se estimó un número de curva CN representativo, tomando en cuenta la distribución de geología, tipos de suelo, cobertura del suelo y pendientes dentro de la región de análisis. La estimación de CN se realizó mediante la ponderación de los valores recomendados por Chow et.al. (1994) para las características de cobertura, tipo de suelo y pendientes.

En el capítulo 7.3.2 se establecen el uso de suelo de acuerdo a la cobertura presentada para cada año y de esta manera ver la influencia a la hora de analizar los caudales.

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en el planteamiento de cuencas para la estimación de la escorrentía superficial a partir de la precipitación. Las propiedades de los suelos “desnudos”, luego de un humedecimiento prolongado, que son consideradas para estimar la tasa mínima de infiltración, son: profundidad del nivel freático en época de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo luego de un humedecimiento prolongado, y la profundidad hasta el estrato de permeabilidad muy baja. La influencia de la cobertura vegetal es tratada independientemente.

Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C, y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento.

- A. (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración incluso cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
- B. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

- C. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcalis o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).
- D. (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcalis y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

Teniendo en cuenta el número de CN para tierras agrícolas (ver tabla 30 se establece las condiciones de CN para la microcuenca del Río Morro para poder realizar el modelo de transformación precipitación – escorrentía.

Tabla 30: Numero CN para tierras agrícolas

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo ¹	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	---	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento ²	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30 ³	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles) ⁴	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques ⁵	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	---	59	74	82	86

Fuente. Monsalve S. Germán, “Hidrología en la Ingeniería”, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999,

7.4.3.1. Determinación del número de curva de escorrentía

Actualmente están en uso tablas de número de curva de escorrentía CN para un promedio de la condición AMC II, esto debido a que la precipitación que se presenta en la zona no supera la cantidad de 56 mm, las coberturas hidrológicas del suelo se muestran los números de curva para áreas agrícolas cultivadas, y para otros tipos de tierras agrícolas, respectivamente.

El análisis puntual del número de curva que pertenece la zona y estudio se debe tener en consideración y por medio de relación de área por uso del suelo se categoriza por medio de grupos hidrológicos y de esta forma poder tener un aproximado real del número CN, en la tabla 31-38 se definen el número CN para cada año en la micro cuenca del Río Morro.

Tabla31: Numero CN año 2000

ID	USO DE SUELO	ÁREA KM2	% ÁREA	NUMERO DE CURVA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	7.54	24%	C	REGULAR	73	550.19
2	HERBAZALES	9.30	29%	D	REGULAR	77	715.85
3	PASTOS Y CULTIVOS	10.02	31%	D	REGULAR	82	821.49
4	PASTOS LIMPIOS	5.12	16%	D	BUENA	80	409.73
SUMA		31.97	100%				2497.25
NUMERO DE CURVA							78.10

Fuente: autores

Tabla 32: Numero CN año 2001

ID	USO DE SUELO	ÁREA KM2	% ÁREA	NUMERO DE CURVA	CONDICIÓN HIDROLOGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	7.56	24%	C	REGULAR	73	551.87
2	HERBAZALES	9.32	29%	D	REGULAR	77	717.42
3	PASTOS Y CULTIVOS	12.39	39%	D	REGULAR	82	1015.83
4	PASTOS LIMPIOS	2.71	8%	D	BUENA	80	216.64
SUMA		31.97	100%				2501.77
NUMERO DE CURVA							78.25

Fuente: autores

Tabla 33: Numero CN año 2002

ID	USO DE SUELO	ÁREA KM2	% ÁREA	NUMERO DE CURVA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	7.40	23%	C	REGULAR	73	539.86
2	HERBAZALES	10.41	33%	D	REGULAR	77	801.43

3	PASTOS Y CULTIVOS	9.96	31%	D	REGULAR	82	816.58
4	PASTOS LIMPIOS	4.21	13%	D	BUENA	80	336.92
SUMA		31.97	100%				2494.79
NUMERO DE CURVA							78.03

Fuente: autores

Tabla 34: Numero CN año 2003

ID	USO DE SUELO	ÁREA KM2	% ÁREA	NUMERO DE CURVA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	7.28	23%	C	REGULAR	73	531.72
2	HERBAZALES	11.75	37%	D	REGULAR	77	904.79
3	PASTOS Y CULTIVOS	3.04	10%	D	REGULAR	82	249.08
4	PASTOS LIMPIOS	9.90	31%	D	BUENA	80	792.11
SUMA		31.97	100%				2477.70
NUMERO DE CURVA							77.49

Fuente: autores

Tabla 35: Numero CN año 2016

ID	USO DE SUELO	AREA KM2	% AREA	NUMERO DE CURVA	CONDICION HIDROLOGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	6.71	21%	C	REGULAR	73	490.14
2	HERBAZALES	10.51	33%	D	REGULAR	77	809.03
3	PASTOS Y CULTIVOS	5.96	19%	D	REGULAR	82	488.31
4	PASTOS LIMPIOS	8.80	28%	D	BUENA	80	703.77
SUMA		31.97	100%				2491.25
NUMERO DE CURVA							77.92

Fuente: autores

Tabla 36: Numero CN año 2019

ID	USO DE SUELO	ÁREA KM2	% ÁREA	NUMERO DE CURVA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	3.75	12%	C	REGULAR	73	273.48
2	HERBAZALES	7.20	23%	D	REGULAR	77	554.35

Fuente: autores
 Tabla 38: Numero CN año 2021

ID	USO DE SUELO	ÁREA KM2	% ÁREA	NUMERO DE CURVA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN	CN*AI
1	ZONA DE BOSQUE	8.761	27%	C	REGULAR	73	639.59
2	HERBAZALES	9.823	31%	D	REGULAR	77	756.34
3	PASTOS Y CULTIVOS	8.297	26%	D	REGULAR	82	680.39
4	PASTOS LIMPIOS	5.092	16%	D	BUENA	80	407.33
SUMA		31.97	100%				2483.66
NUMERO DE CURVA							77.68

Fuente: autores

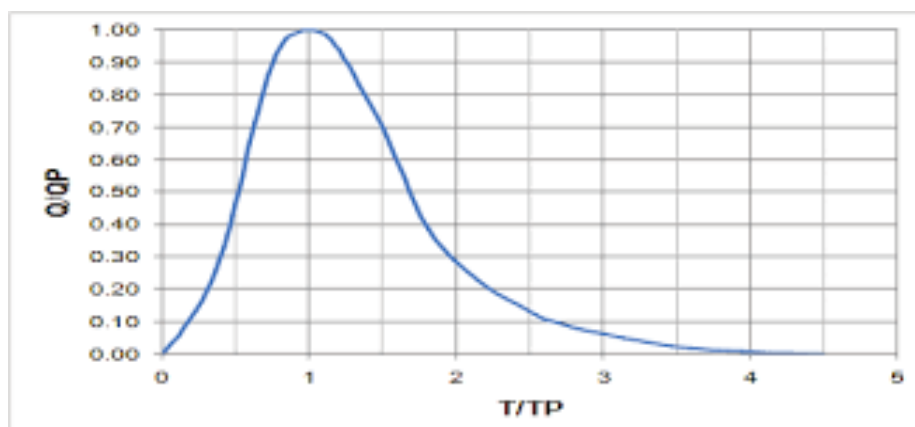
8.4.3.1 Modelo de transformación precipitación – escorrentía

En los modelos de precipitación-escorrentía, después del cálculo de las abstracciones de precipitación, se procede a aplicar la precipitación efectiva una transformación para el cálculo de los caudales de escorrentía. Uno de los modelos de transformación más utilizados en la hidrología es el del hidrograma unitario, que es un modelo empírico originalmente propuesto por Sherman en 1932 (ver grafica 13).

El modelo del hidrograma unitario es un modelo hidrológico lineal que representa la función de respuesta de pulso unitario para un sistema hidrológico. Mediante este modelo es posible deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de precipitación (Chow et.al., 1994).

Existen diferentes modelos de hidrograma unitario. Dentro de los modelos disponibles está el hidrograma unitario adimensional del SCS, el cual es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa como la razón del caudal unitario U al caudal unitario pico U_p y el tiempo como la razón del tiempo al tiempo al pico t/T_p . Este hidrograma sintético adimensional fue derivado a partir de información de diversas cuencas y se muestra a continuación (Chow et.al., 1994).

Grafica 13: Hidrograma unitario



Fuente. INVIAS

Para su utilización es necesario determinar el tiempo de retardo t_{lag} . Este tiempo es un parámetro que describe el tiempo de respuesta hidrológica en cada unidad hidrológica, representando el tiempo en que se presenta el pico de caudal ante un evento de duración determinada. Este parámetro se obtiene usualmente a través de la calibración de la cuenca. Sin embargo, para cuencas no instrumentadas se pueden usar relaciones en función del tiempo de concentración de la cuenca.

Para la estimación de tiempo de concentración en pequeñas cuencas rurales con canales bien definidos, se recomienda como procedimiento estándar utilizar la ecuación de Kirpich, también conocida como la ecuación de California Culverts Practice (Chow et.al., 1994). Según esta ecuación, el tiempo de concentración t_c se puede estimar a partir de la pendiente media del cauce y de la longitud del cauce.

Para transformar este tiempo de concentración t_c en tiempo de retardo t_{lag} , el SCS propone la siguiente expresión:

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

Para la microcuenca se calcula el tiempo de concentración y tiempo de retardo (ver tabla 39), los cálculos se basaron en las características morfométricas (longitud de cauce principal, pendiente media del cauce) calculadas para la misma.

Tabla 39: Tiempo de retardo

MICROCUEENCA	PARÁMETRO	VALOR
RÍO MORRO	Tiempo de concentración t_c (min)	65.67
	Tiempo de retardo t_{lag} (min)	39.40

Fuente: autores

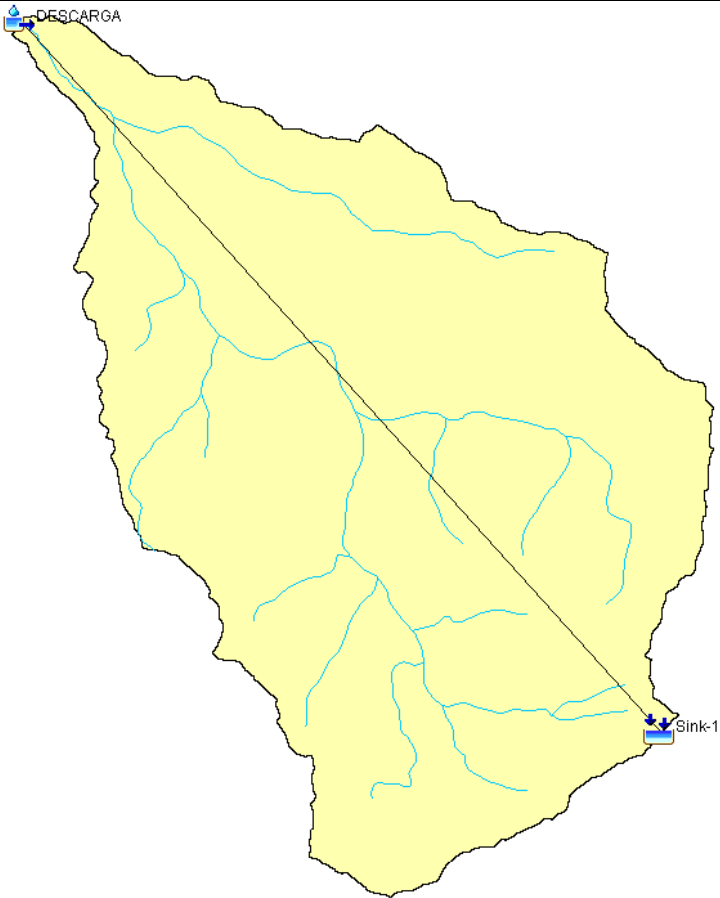
Los parámetros anteriores permiten estimar el hidrograma unitario sintético para una duración efectiva de precipitación de 20 minutos (hietograma de precipitación efectiva discretizado de 12 horas o para cualquier otra duración. Con base en estos parámetros el modelo HEC-HMS aplica los principios de proporcionalidad y superposición para calcular el hidrograma de respuesta resultante de los hietogramas de diseño

8.4.3.2 Estimación de caudales modelo HEC-HMS

Las simulaciones (ver tabla 40-48), con el modelo realizado en el software HEC-HMS se realizaron, tal como se ha descrito en los apartados anteriores, con las siguientes condiciones:

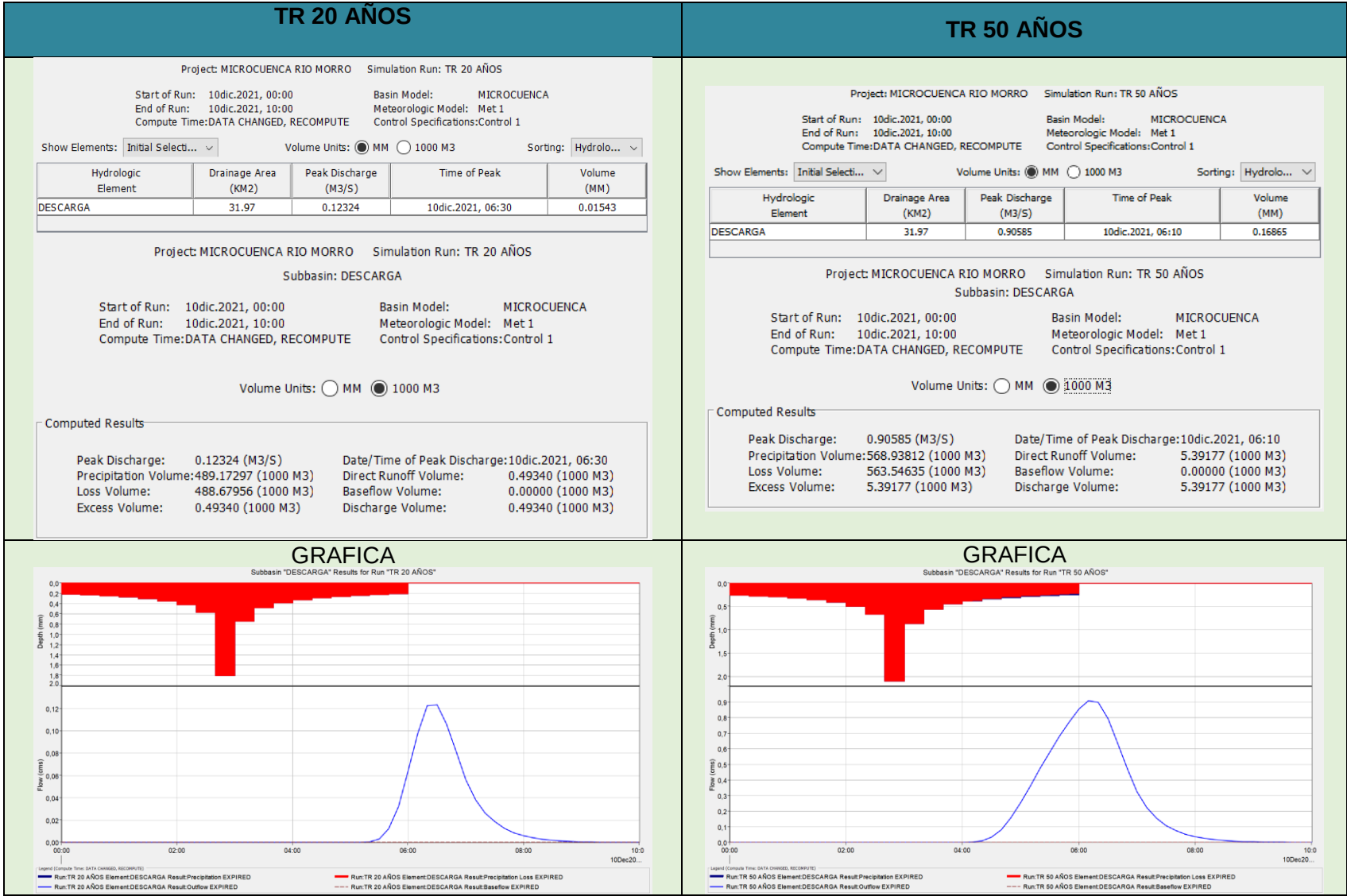
- Representación del sector hidrográfico en el software (ver tabla 34)
- Modelo de precipitación: Hietograma determinado por el método de bloque alterno con la información de intensidad-duración-frecuencia.
- Número de curva para cada una de las unidades hidrográficas según cobertura y tipo de suelo.
- Modelo de transformación precipitación-escorrentía según el hidrograma unitario sintético adimensional del SCS. Tiempos de concentración y retardo calculados mediante la ecuación de Kirpich.
- Discretización temporal de cada hora para las simulaciones.
- Se hace un análisis para la obtención de caudales en los tiempos de retorno de 20,50 años.

Tabla 40: Modelo HEC-HMS microcuenca Río Morro

MICROCUEENCA	IMAGEN
RÍO MORRO	 The image shows a map of the Río Morro watershed. The watershed area is highlighted in yellow. A network of blue lines represents the river system. A blue dot at the top left is labeled 'DESCARGA' (outlet). A blue dot at the bottom right is labeled 'Sink-1'. A diagonal line runs from the 'DESCARGA' point to the 'Sink-1' point, indicating the main flow path.

Fuente: autores

Tabla 41: Resultado caudal año 2000



Fuente: autores

Tabla 42: Resultado caudal año 2001

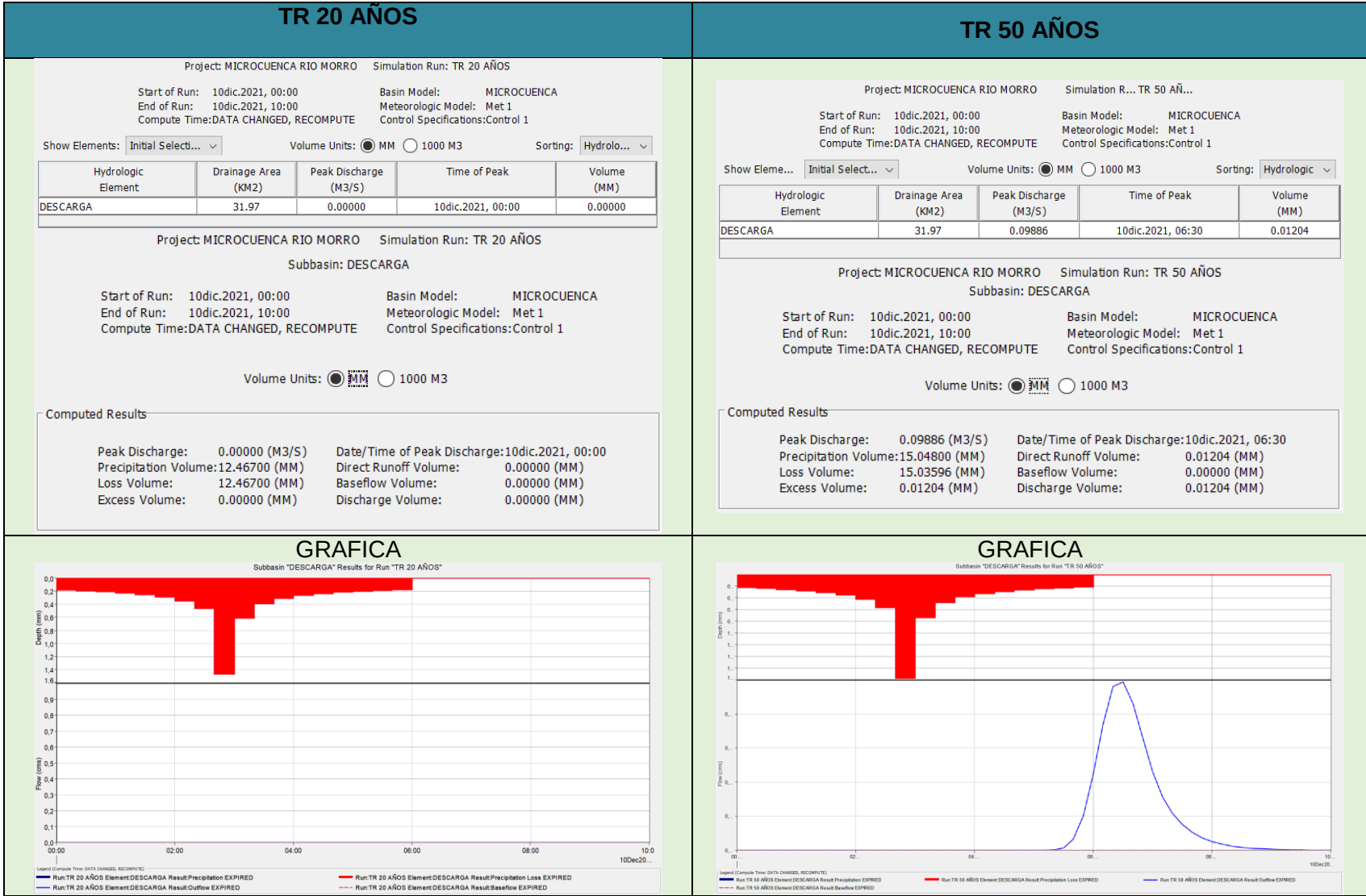


Tabla 43: Resultado caudal año 2002

TR 20 AÑOS

Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 20 AÑOS

Start of Run: 10dic.2021, 00:00 Basin Model: MICROCUENCA

End of Run: 10dic.2021, 10:00 Meteorologic Model: Met 1

Compute Time:12dic.2021, 14:39:25 Control Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Select...

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DESCARGA	31.97	0.00000	10dic.2021, 00:00	0.00000

Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 20 AÑOS

Subbasin: DESCARGA

Start of Run: 10dic.2021, 00:00 Basin Model: MICROCUENCA

End of Run: 10dic.2021, 10:00 Meteorologic Model: Met 1

Compute Time:12dic.2021, 14:39:25 Control Specifications:Control 1

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge: 0.00000 (M3/S) Date/Time of Peak Discharge:10dic.2021, 00:00

Precipitation Volume:14.15900 (MM) Direct Runoff Volume: 0.00000 (MM)

Loss Volume: 14.15900 (MM) Baseflow Volume: 0.00000 (MM)

Excess Volume: 0.00000 (MM) Discharge Volume: 0.00000 (MM)

TR 50 AÑOS

Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 50 AÑOS

Start of Run: 10dic.2021, 00:00 Basin Model: MICROCUENCA

End of Run: 10dic.2021, 10:00 Meteorologic Model: Met 1

Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Select...

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DESCARGA	31.97	0.54789	10dic.2021, 06:20	0.08785

Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 50 AÑOS

Subbasin: DESCARGA

Start of Run: 10dic.2021, 00:00 Basin Model: MICROCUENCA

End of Run: 10dic.2021, 10:00 Meteorologic Model: Met 1

Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge: 0.54789 (M3/S) Date/Time of Peak Discharge:10dic.2021, 06:20

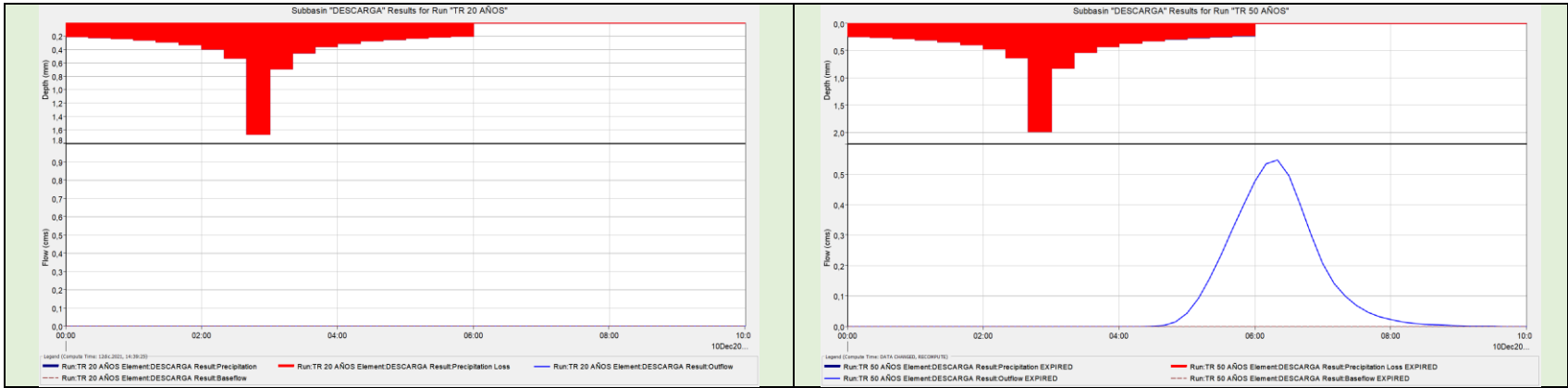
Precipitation Volume:16.85400 (MM) Direct Runoff Volume: 0.08785 (MM)

Loss Volume: 16.76615 (MM) Baseflow Volume: 0.00000 (MM)

Excess Volume: 0.08785 (MM) Discharge Volume: 0.08785 (MM)

GRAFICA

GRAFICA



Fuente: autores

Tabla 44: Resultado caudal año 2003

TR 20 AÑOS

Project: MICROCUENCA RIO MORROSimulation Run: TR 20 AÑOS

Start of Run: 10dic.2021, 00:00Basin Model: MICROCUENCA
End of Run: 10dic.2021, 10:00Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTEControl Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Selecti...

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DESCARGA	31.97	0.00074	10dic.2021, 06:30	0.00008

Project: MICROCUENCA RIO MORROSimulation Run: TR 20 AÑOS
Subbasin: DESCARGA

Start of Run: 10dic.2021, 00:00Basin Model: MICROCUENCA
End of Run: 10dic.2021, 10:00Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTEControl Specifications:Control 1

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge: 0.00074 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:10dic.2021, 06:30
Precipitation Volume:14.83500 (MM)	Direct Runoff Volume: 0.00008 (MM)
Loss Volume: 14.83492 (MM)	Baseflow Volume: 0.00000 (MM)
Excess Volume: 0.00008 (MM)	Discharge Volume: 0.00008 (MM)

GRAFICA

TR 50 AÑOS

Project: MICROCUENCA RIO MORROSimulation Run: TR 50 AÑOS

Start of Run: 10dic.2021, 00:00Basin Model: MICROCUENCA
End of Run: 10dic.2021, 10:00Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTEControl Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Selecti...

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DESCARGA	31.97	0.73659	10dic.2021, 06:20	0.12827

Project: MICROCUENCA RIO MORROSimulation Run: TR 50 AÑOS
Subbasin: DESCARGA

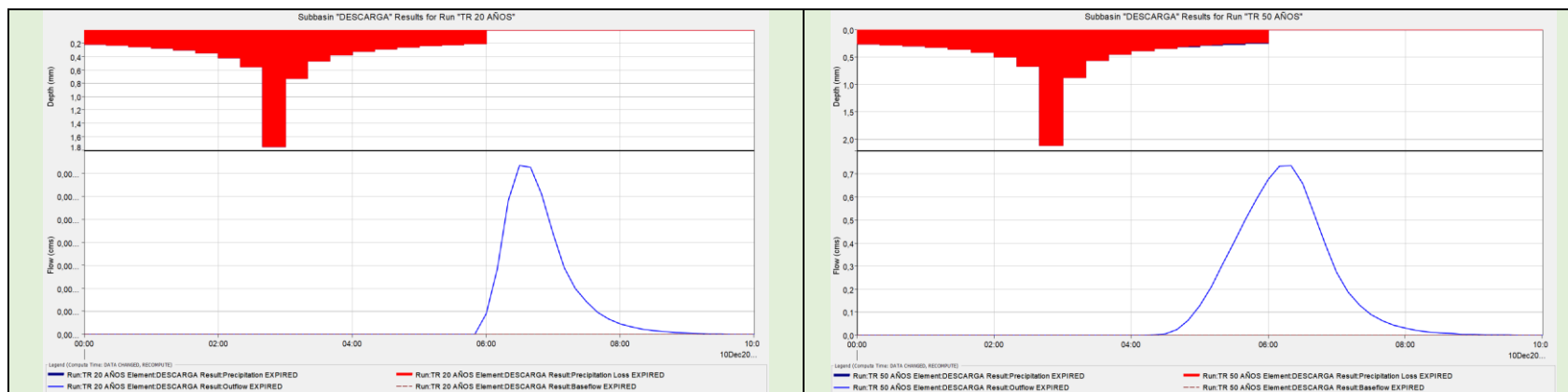
Start of Run: 10dic.2021, 00:00Basin Model: MICROCUENCA
End of Run: 10dic.2021, 10:00Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTEControl Specifications:Control 1

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge: 0.73659 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:10dic.2021, 06:20
Precipitation Volume:17.89800 (MM)	Direct Runoff Volume: 0.12827 (MM)
Loss Volume: 17.76973 (MM)	Baseflow Volume: 0.00000 (MM)
Excess Volume: 0.12827 (MM)	Discharge Volume: 0.12827 (MM)

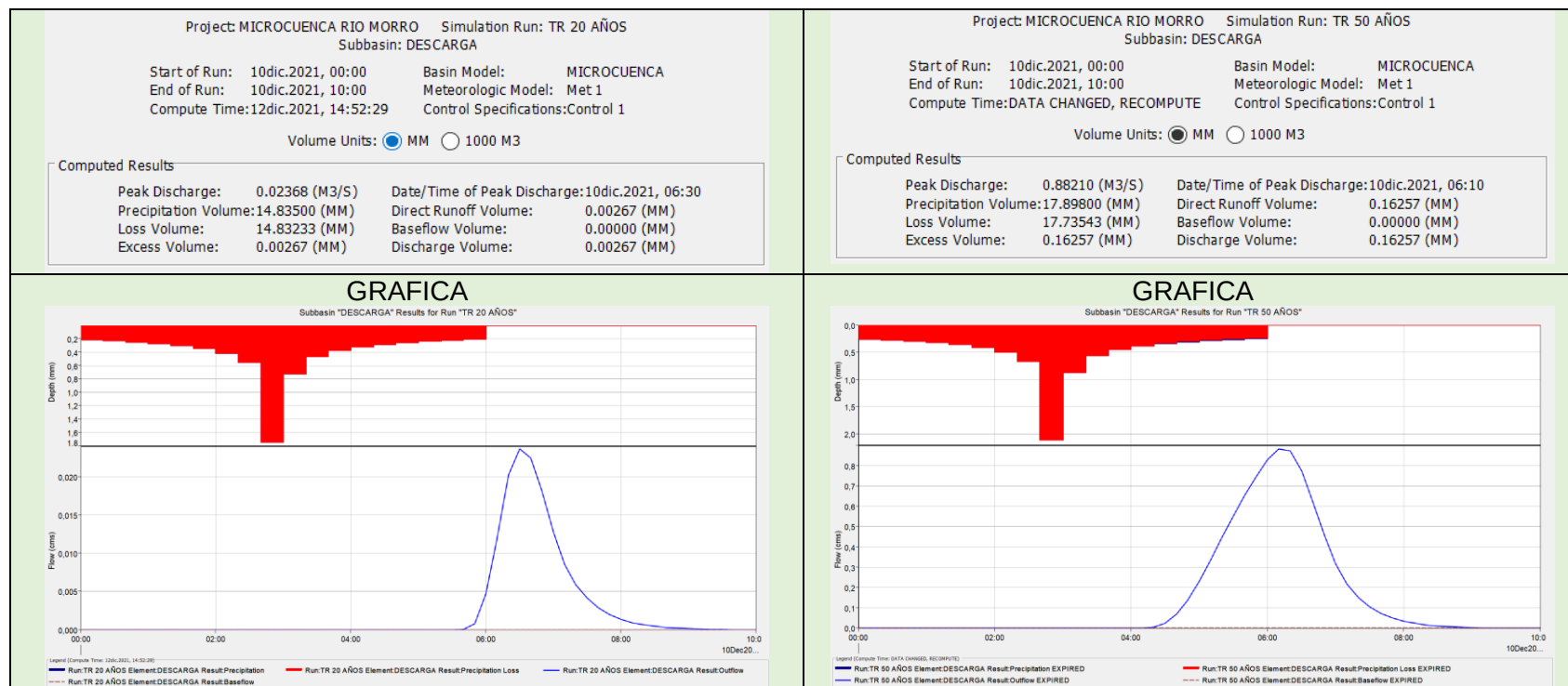
GRAFICA



Fuente: autores

Tabla 45:Resultado caudal año 2016

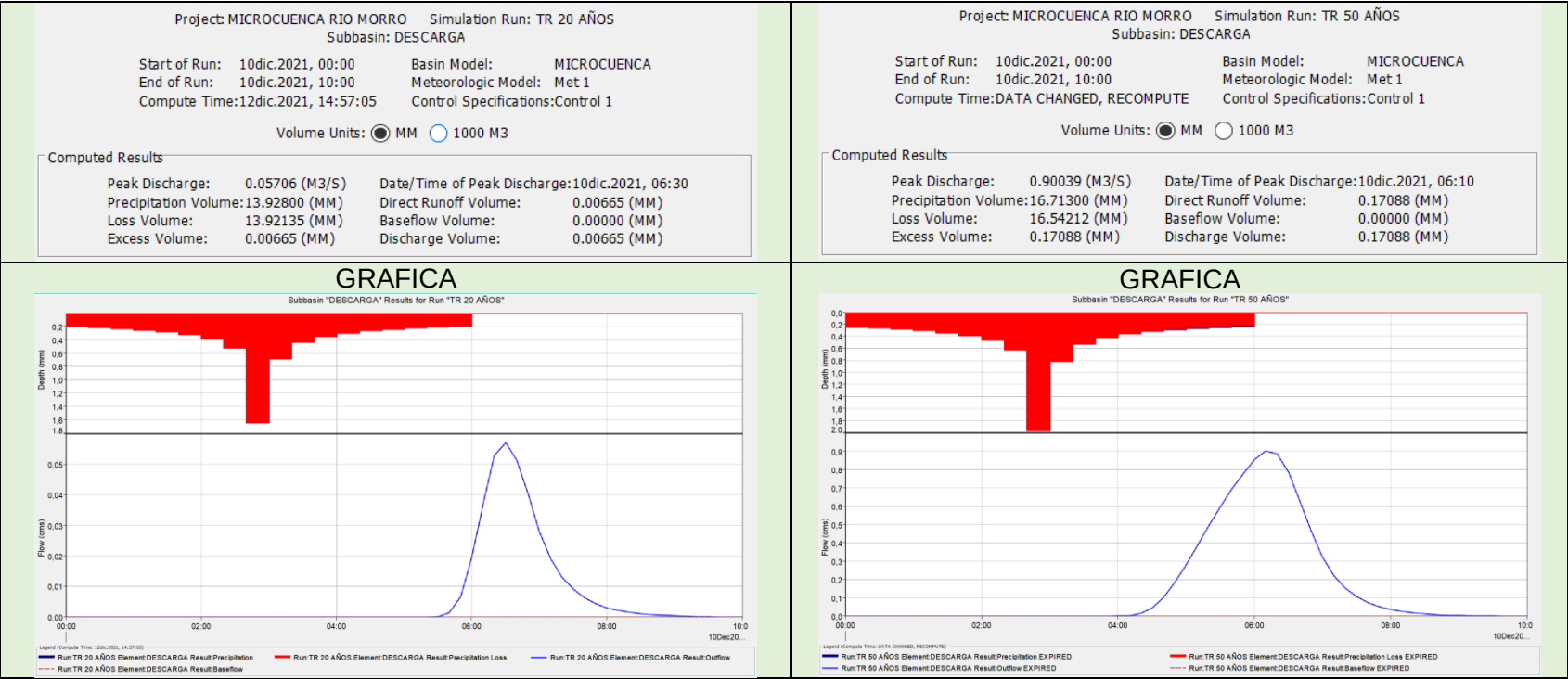
TR 20 AÑOS					TR 50 AÑOS				
Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 20 AÑOS					Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 50 AÑOS				
Start of Run: 10dic.2021, 00:00		Basin Model: MICROCUENCA			Start of Run: 10dic.2021, 00:00		Basin Model: MICROCUENCA		
End of Run: 10dic.2021, 10:00		Meteorologic Model: Met 1			End of Run: 10dic.2021, 10:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time:12dic.2021, 14:52:29		Control Specifications:Control 1			Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications:Control 1		
Show Elements: Initial Selecti...	Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3		Sorting: Hydrolo...		Show Elements: Initial Selecti...	Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3		Sorting: Hydrolo...	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)	Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DESCARGA	31.97	0.02368	10dic.2021, 06:30	0.00267	DESCARGA	31.97	0.88210	10dic.2021, 06:10	0.16257



Fuente: autores

Tabla 46: Resultado caudal año 2019

TR 20 AÑOS					TR 50 AÑOS				
Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 20 AÑOS Start of Run: 10dic.2021, 00:00 Basin Model: MICROCUENCA End of Run: 10dic.2021, 10:00 Meteorologic Model: Met 1 Compute Time: 12dic.2021, 14:57:05 Control Specifications: Control 1 Show Elements: Initial Select... Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3 Sorting: Hydrolo...					Project: MICROCUENCA RIO MORRO Simulation Run: TR 50 AÑOS Start of Run: 10dic.2021, 00:00 Basin Model: MICROCUENCA End of Run: 10dic.2021, 10:00 Meteorologic Model: Met 1 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1 Show Elements: Initial Select... Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3 Sorting: Hydrolo...				
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)	Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DESCARGA	31.97	0.05706	10dic.2021, 06:30	0.00665	DESCARGA	31.97	0.90039	10dic.2021, 06:10	0.17088

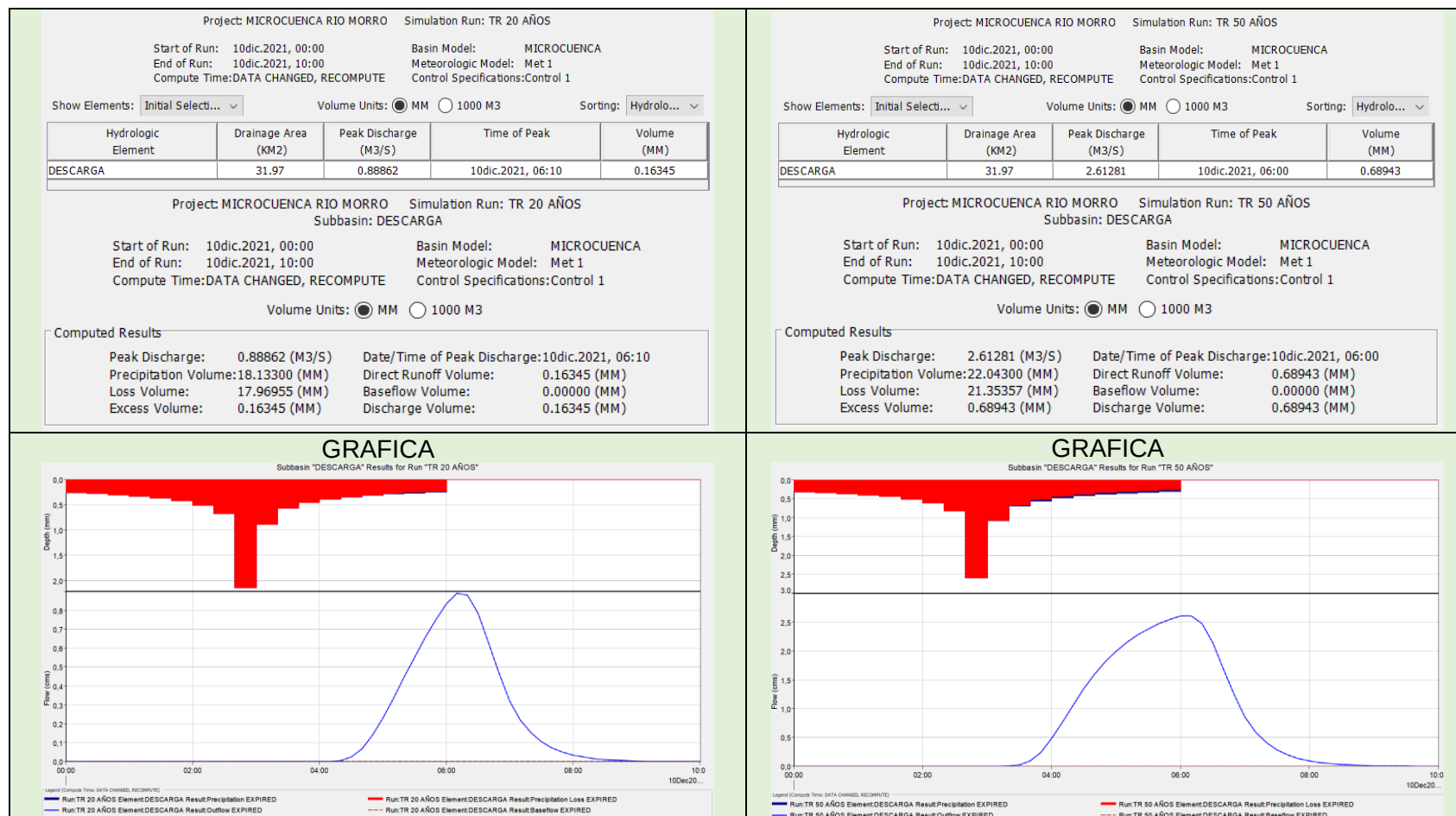




Fuente: autores

Tabla 48: Resultado caudal año 2021

TR 20 AÑOS	TR 50 AÑOS
------------	------------



Fuente: autores

En la tabla 49 se presenta el resumen de los caudales máximos en los diferentes períodos de retorno y teniendo en cuenta la ecuación de transposición de caudales con un valor al exponente de 0.5 se determinan los valores de caudal dentro del área.

Tabla 49: Caudales máximos

CAUDAL (m3/s)	AÑOS							
	2000	2001	2002	2003	2016	2019	2020	2021
TR 20 AÑOS	0.1232 4	0	0	0.0007 4	0.0236 8	0.0570 6	0	0.8886 2
TR 50 AÑOS	0.9058 5	0.0988 6	0.5478 9	0.7365 9	0.8821	0.9003 9	0.0115 4	2.6128 1

Fuente: autores

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1 Afectaciones en el cambio de la cobertura vegetal propia del ecosistema de paramo, durante los años 2000 a 2020.

Los análisis de cobertura vegetal realizados para los diferentes años, la declaración de áreas de protección o conservación, la ampliación de la frontera agrícola, las políticas ambiguas y la débil institucionalidad y el abandono del sector agrícola demuestran una relación de las actividades antrópicas y el cambio de coberturas son una premisa fundamental para el manejo de los recursos en el Complejo, no solo como una forma de entender los errores del pasado que comparten las instituciones y los actores cuencas arriba y cuencas abajo, sino como una forma de reconocer la construcción socioambiental del páramo. (EQUIPO COORDINADOR “BOYACÁ BIO”, 2017)

Una vez analizada y procesada la información, se observó y confirmó que al igual que el trabajo de campo realizado en profundidad por la expedición Boyacá BIO en cada una de las áreas priorizadas durante 60 días continuos, se pudo entender la gran variedad de formas de actuar sobre el páramo y el valor que se le otorga al mismo. Los pobladores locales discuten, por ejemplo, las diversas afectaciones que han vivido dados los cambios en los regímenes 5 de lluvias y en las intervenciones de desarrollo en el páramo. Más aún, el páramo y sus lagunas, suelos, vegetación y fauna son concebidos por muchos habitantes como agentes que tienen diversas formas de injerencia en el paisaje y en sus propias vidas. (Bocarejo, 2014).

Para el área de estudio se tiene presente que se realizan prácticas asociadas al ecoturismo, a la actividad minera industrial y a las prácticas agropecuarias las cuales pueden relacionarse con el cambio de coberturas presentes en los años 2000, 2001, 2002 donde se observa que las coberturas de mayor predominancia es la de pastos y cultivos seguida de herbazales, para el año 2003 se observa una disminución de pastos y cultivos y aumenta la cobertura de pastos limpios en un 50% y herbazales en un 9, para el 2016 disminuyen las coberturas de herbazales

y pastos limpios y la zona de bosque de paramo aumentando la cobertura de pastos y cultivos, para el año 2019 disminuye en un 50% la cobertura de bosque de paramo, herbazales y aumentan en un 60% la cobertura de pastos y cultivos, para el 2020 aumenta las coberturas de zona de bosque de paramo en un 50% y herbazal en un 22% y para el 2021 siguen aumentando considerablemente las coberturas de la zona de bosque de paramo y herbazales, disminuyendo pastos y cultivos este cambio de coberturas puede deberse a la perspectiva de algunos líderes campesinos del municipio de Monguí, quienes a través de programas institucionales empezaron a implementar prácticas de educación, vigilancia, alerta, y acción para cuidar el páramo. (Bocarejo, 2014).

Según los testimonios de varios habitantes de Monguí, el estado de los páramos es variado. La parte turística del páramo de Ocetá es la mejor conservada, precisamente porque su valor ecoturístico depende de este. Algunos habitantes de Monguí señalan que la lejanía de ciertos páramos con el casco urbano genera que existan irregularidades en el manejo del mismo, contribuyendo así a su deterioro. La cobertura de suelos en el área no es homogénea. Encontramos que hay paisaje de páramo en donde domina la vegetación de frailejones y pajonales. Además, en los páramos muy húmedos se encuentran musgos y “vegetación rasante” que puede almacenar grandes cantidades de agua. En el subpáramo el 80% del terreno está cubierto por vegetación herbácea menor; El bosque alto andino se ha sustituido por pastos y cultivos, también hay bosque húmedo en donde dominan los arbustales densos y los bosques. Hay también cultivos de pinos y eucaliptos. En las áreas húmedas abajo del páramo dominan los pastizales. Muchos de estos pastos han sido mejorados con variedades de kikuyo, falsa poa, ray grass y trébol. Los cultivos más característicos son arveja, haba, papa y maíz.

La zona de estudio es un territorio heterogéneo que brinda una serie de servicios ecosistémicos a los habitantes del municipio de Monguí es por eso que se debe analizar los usos del suelo y

coberturas, a los principales usos del agua, las nociones locales de interacción con el páramo, el uso y estado del suelo.

Teniendo en cuenta esta forma de zonificación se puede observar como el gradiente altitudinal en el área de estudio se ha ido transformando y de esta forma también el paisaje. La actividad humana y sus actividades productivas (agricultura, ganadería, entre otras) se han abastecido durante décadas de los servicios ecosistémicos del páramo y de la cuenca del Río Morro o haciendo uso del suelo, el agua, la fauna, la flora, es decir, de los aspectos bióticos y abióticos que conforman en bioma paramuno. De acuerdo al cambio de coberturas vegetales de la tierra en el período 2000-2021, se determinó que las coberturas vegetales varían para los diferentes años de estudio, la cobertura natural con mayor impacto corresponde a bosques de paramo, esta cobertura se mantiene estable durante los años 2000 a 2016 (su porcentaje en cambio de cobertura es mínimo) para el año 2019 se presenta un cambio de cobertura vegetal en un 50% para el 2020 y 2021 incrementa nuevamente; A partir de la comparación de cambio de coberturas vegetales del área de estudio y su problemática ambiental se observa que una de las mayores afectaciones en la microcuenca es el impacto genera sobre la cobertura de bosque de paramo que deberían ser de protección y conservación en la zona de la cuenca que hace parte del páramo de Ocetá, debido a que gran parte del área de la microcuenca del Río Morro, se encuentra ubicada por encima de los 3200 m.s.n.m. lo que significa que debe estar completamente protegida (Bosques, Vegetación de páramo) y su uso debería ser netamente protector, situación que no sucede, debido a que se puede presenciar gran cantidad de cultivos y pastos empleados para ganadería extensiva en el páramo de Ocetá, esto afecta la flora la cual va disminuyendo con la realización de las actividades antrópicas y también afecta la pérdida de fauna y biodiversidad.

Para el período de análisis de estudio 2000 a 2020, se observa la transformación de los diferentes sectores del páramo, se encuentran coberturas conservadas que coexisten con actividades

agrícolas y pecuarias que aumentan y disminuyen en diferentes intervalos de tiempo, según los resultados para el año 2014 el Instituto Humboldt – Pontificia Universidad Javeriana y Universidad del Rosario y los datos cualitativos recolectados por los investigadores de campo, el páramo de Ocetá tiene una cobertura de páramo muy abundante, rica en diferentes tipos de gramíneas. Los frailejones más altos pueden alcanzar los 5 metros. En el páramo propiamente dicho prácticamente no hay actividades agrícolas. El páramo propiamente dicho suele ser aprovechado en actividades silvopastoriles. Hay parches con coberturas de pinos y eucaliptos. (Bocarejo, 2014), coincidiendo de esta manera con los resultados obtenidos para los últimos años de estudios comprendidos entre 2016 y 2020; La cobertura de bosque alto andino se mezcla con parches de cultivos de papa y potreros de pastos mejorados en el sector de Tunjuelo en Mongua. Por el nivel de humedad muchos potreros tienen pastos y musgo. Existen bosques recuperados que seguramente fueron talados recientemente y existen parches más exuberantes que parece no haber sido intervenidos antrópicamente. Donde más se preserva la vegetación de bosque es en la ronda de las quebradas (García-Murillo et al, 2020). Muchas de estas rondas han sido procesos de reforestación adelantados por los dueños de los predios. Se reforesta principalmente con aliso. Se identifican parches donde se han generado cambios graduales de la variación de la vegetación. En el sector de Pericos, Dusgua y Hato Viejo, el bosque alto andino ha disminuido debido a actividades productivas y el cambio es más abrupto entre los lotes con cobertura de tierra trabajada y el páramo. Hay parches con coberturas de pinos y eucaliptos. (Bocarejo, 2014).

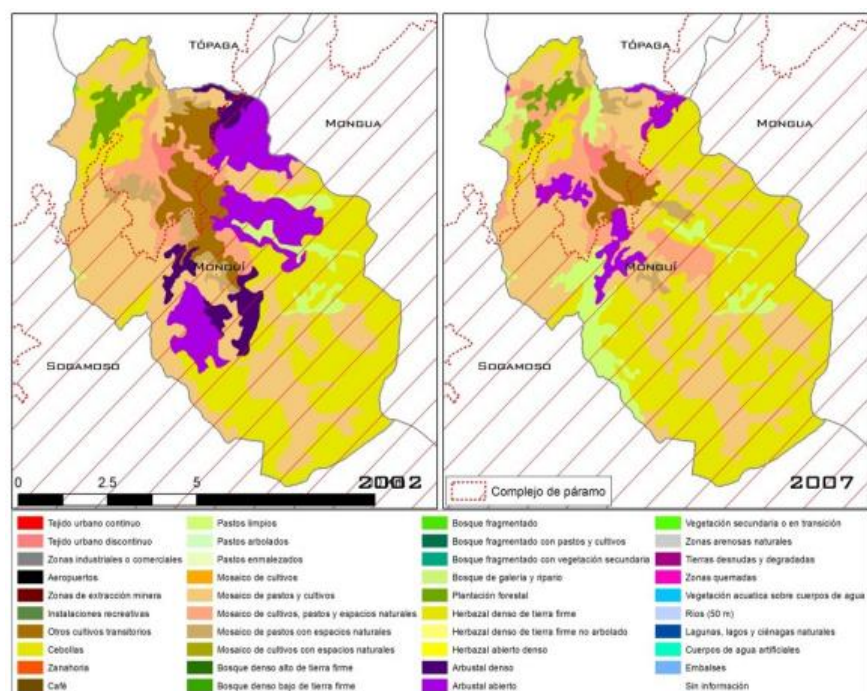
Según el mapa de cobertura de la tierra del IAvH del año 2007, en los municipios con jurisdicción en el complejo de paramos Tota-Bijagual-Mamapacha Y Ocetá los principales paisajes que se encuentran son de uso agropecuario y bosques y área seminaturales (bosque denso y herbazal). Además, se indican un aumento en las actividades agrícolas (monocultivo de cebolla y papa) y pecuarias (ganadería bovina) en las zonas de páramo. Por ejemplo, en el 2002 se identificaron

4.642 ha con mosaico de pastos y cultivos dentro del área del complejo de páramos mientras que para el 2007 aumentaron a 19.438 ha (IAvH 2007). Esa tendencia en las zonas prioridades es convergente con la dinámica general del departamento de Boyacá ya que entre 2006 y 2012 en el conjunto del departamento aumentaron las hectáreas cultivadas de arveja, habas y cebolla, así como las áreas de pastoreo mientras que disminuyeron los cultivos de papa y maíz (EVA, 2007-2012).

En el páramo de Ocetá la mayoría de los productores combinan las actividades pecuarias con cultivos diversificados permitiendo el descanso de los suelos y los espacios de conservación o turismo. (Bocarejo, 2014).

Según el Mapa de cobertura de tierras del IAvH (imagen 15), entre 2002 y 2007 en Monguí disminuyeron las hectáreas sembradas con cultivos transito Ríos y aumentaron las áreas de rotación entre pastoreo, cultivos y espacios naturales (IAvH, 2007). Esta rotación se complementa con el aumento del número de hectáreas con vegetación nativa de páramo (herbazal denso de tierra firme).

Imagen 15: Mapa de cobertura de tierras de Monguí (IAvH.2007)



Fuente: CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL DEL COMPLEJO DE PÁRAMOS TOTAL-BIJAGUAL-MAMAPACHA Contrato de prestación No. 14-13-014-071CE Instituto Humboldt – Pontificia Universidad Javeriana y Universidad del Rosario

9.2 Relación existente entre el cambio de coberturas vegetales presentes en el área de influencia del Río morro, con respecto a variables hidrológicas (precipitación, caudal).

La importancia de entender los flujos del agua a una escala micro-macro radica en reconocer que el recurso hídrico, así como otros elementos que interactúan con el ecosistema de páramo, funciona como un intercambio y una relación circular de cuencas arriba y cuencas abajo (García-Murillo, 2019). La microcuenca del Río Morro posee un régimen de caudal bimodal, presentando dos épocas de caudales altos entre el mes de abril y entre los meses de octubre a noviembre, con picos en los meses de mayo y noviembre; y dos períodos con caudales bajos entre los meses de enero a marzo y de junio a septiembre, este comportamiento coincidiendo con las precipitaciones reportado por la estación Monguá ubicada dentro de la microcuenca del Río Morro. Debido a que Colombia se encuentra ubicada en la zona intertropical del planeta, tanto el

régimen de precipitación como el de caudales se ve afectado por fenómenos climáticos a escala global asociados a la variabilidad climática como el fenómeno del Niño-Oscilación del Sur – “ENOS”. Por tal motivo es necesario considerar la variabilidad de los caudales influenciada por estos fenómenos climáticos. Este cambio ha sido relacionado con las variaciones en el régimen de lluvia teniendo en cuenta el fenómeno del niño y de la niña presentados en el tiempo de estudio, la ampliación de la frontera agrícola hacia el páramo, evidenciando así a disminución de la oferta hídrica (Sánchez-Espinosa et al, 2020).

En esa medida se evidencia que la creencia de que el páramo es productor de agua no es un hecho en sí mismo. Por ejemplo, la falta de la disponibilidad de agua en algunos períodos del tiempo de estudio ha permitido la disminución de coberturas de pastos y cultivos, la disminución de la humedad del suelo ha incidido en el cambio de coberturas en el área de estudio; La relación entre estas dinámicas de los sistemas productivos y la transformación de las actividades productivas en la zona guarda relación con el estado actual de los servicios ecosistémicos que involucran el aprovisionamiento de agua y que influyen sobre otros servicios ecosistémicos que han sido aprovechados e intervenidos por los productores agropecuarios por largo del tiempo (García-Murillo, 2021).

10. CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis morfométrico ayuda a entender el comportamiento ante eventos climatológicos, como también ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. Se determina que el sector estudiado del Río morro pertenece a una microcuenca, asemejándose a una hoja alargada. De acuerdo a su comportamiento hidrológico para el caso de la microcuenca del río El Morro su factor de forma por medio de la metodología de Horton de 0.33 lo que estableció que la forma de la cuenca es ligeramente alargada con un coeficiente de compacidad de 1.32 que indica que la forma de la cuenca era oval redonda a oval oblonga y la tendencia de crecidas era media, es un río joven esto es obtenido por medio de su curva hipsométrica. Aparte el orden de sus drenajes es tres, su densidad de drenaje es bajo, indicando un bajo potencial erosivo en la microcuenca
- La investigación llevada a cabo en el Río Morro (código de cuenca 2403025001, código de corriente 2502), Municipio de Monguí, departamento de Boyacá en torno al cambio de coberturas vegetales para un período de 20 años y su relación con las variables hidrológicas (caudal y precipitación), a partir de la información recopilada muestra mediante el procesamiento de imágenes satelitales y el análisis multitemporal como se presenta una variación en el cambio de las coberturas naturales presentando un considerable incremento en pérdida de cobertura en bosque y vegetación de páramo y un notable incremento de cultivos en la zona .El porcentaje de cambio de coberturas demuestran que las coberturas vegetales de bosque y vegetación de páramo han sufrido progresivamente la intervención del ser humano con fines socioeconómicos, sin medir la afectación a estos importantes ecosistemas. Mediante el procesamiento de imágenes satelitales y el análisis multitemporal se puede decir que las tasas de cambio de las

coberturas naturales presentan una categoría baja a pesar de un considerable incremento en pérdida de cobertura en bosque y vegetación de páramo y un notable incremento de cultivos en la zona. El porcentaje de cambio de coberturas demuestran que las coberturas vegetales de bosque y vegetación de páramo han sufrido progresivamente la intervención del ser humano con fines socioeconómicos, sin medir la afectación a estos importantes ecosistemas.

- Uno de los ecosistemas mas importantes para el bienestar y el progreso de las comunidades es el páramo, hoy notablemente intervenido, como se pudo observar para la microcuenca del Rio Morro, estudios recientes adelantados por el IDEAM Y simulaciones de manejo aplicadas al paramo están transformando su caracterización, dadas las crecientes actividades humanas como el avance de la frontera agrícola, el crecimiento en ganadería, entre otros, estas actividades alteran el comportamiento hidrológico del área de paramo de la zona de estudio, el suelo del paramo retiene el agua, la variación en las dinámicas de las coberturas vegetales se ven reflejados en la disminución de caudales, y la alteración en los sistemas de drenajes naturales, en el paramo los musgos y los pajonales o gramíneas conforman la vegetación natural dominante, estas especies ayudan a la regulación y captación de agua proveniente de los procesos de condensación e infiltración, existiendo una relación directa entre la topografía, la temperatura. La humedad y las coberturas vegetales.

11. RECOMENDACIONES

Los resultados del presente estudio sustentan una alerta temprana de pérdida de cobertura vegetales, así como los bienes y servicios ambientales que presta el ecosistema de paramo. Desde el punto de vista territorial las variaciones y contrastes estructurales en la vegetación identificada en el área de estudio están siendo influenciadas por la alta presión que ejercen principalmente los factores antrópicos, como actividades agrícolas y ganaderas.

Esto puede conducir al planteamiento de un plan de manejo ambiental para el control y la restauración de las coberturas que han sufrido cambios significativos en la vegetación nativa de la zona de estudio.

Se hace prioritario evaluar la incidencia y el impacto de los procesos de intensificación de las coberturas sobre el cuerpo de agua del Río Morro en especial con la cantidad y calidad del recurso hídrico.

Bibliografía

- Aguilar, H. M. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes áster, rapideye, spot 2 y landstat 8 con el módulo flaash del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 53.
- Andrade, D. (2016). Análisis multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del río Apuela, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. *Universidad Técnica del Norte*.
- Bermúdez Rubio, D., Cuenca Rivera, P. E., García Murillo, P. G., Gutiérrez Gómez, G., y Portela Ramírez, A. J. (2021). Sugerencias para escribir análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones en tesis y trabajos de grado. *CITAS*, 7(1).
<https://doi.org/10.15332/24224529.6608>
- Bocarejo, D. d. (2014). *Caracterización de actores, análisis de redes y de servicios ecosistémicos en el ámbito local, del Complejo de Páramos Tota - Bijagual - Mamapacha en jurisdicción de Corpoboyacá, Corpochivor y Corporinoquia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad del Rosario, Pontificia Universidad Javeriana.
- Camacho, J. e. (2015). Cambios de cobertura /uso del suelo en una porción de la Zona de. *Maderas y Bosques*, 93–112.
- Castaño Uribe, C. (2002). Transformaciones de las coberturas vegetales en los páramos de Colombia: un punto de partida para la evaluación ambiental. En *Páramos y ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición HotSpot y Global Climatic Tensor*. Bogotá: IDEAM.

Corponariño, u. d. (2006). *Plan de accionen biodiversidad para el departamento de Nariño (2006-2030). estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño*. Nariño.

(1999). *E.O.T., Esquema de Ordenamiento Territorial*. Monguí.

EQUIPO COORDINADOR “BOYACÁ BIO”. (2017). *Boyacá, BIO*. Tunja, Boyacá: Diseño Editorial.

Gamarra, Y., Restrepo, R., Cerón-Vivas, A., Villamizar, M., Arenas, R., Vega, C., & Ávila, A. (2017). Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamáramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(2), 11-29.

Garavito Rincón, L. N. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare*, ISSN-e 2390-0504, 127-136.

García Murillo, P. G. (2018). Evaluación de tres desinfectantes contra el moho gris causado por *Botrytis cinerea* en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 9 (1), 39–45. <https://doi.org/10.14483/2248762X.13882>

García Murillo, P. G. (2018). Producción de orellanas (*Pleurotus ostreatus*) como alternativa para el tratamiento de residuos sólidos de origen vegetal en Bogotá D.C. *Redes de Ingeniería*, 9(1), 26–31. <https://doi.org/10.14483/2248762X.13858>

García Murillo, P. G. (2019). Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 10 (1), 5–12. <https://doi.org/10.14483/2248762X.15091>

- García Murillo, P. G. (2021). Evaluación de cuatro biofungicidas y dos cepas del género *Trichoderma* contra el moho gris en rosa. *Agronomía y ambiente: Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires*, 41 (1). 31-38. <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=raya&d=2021garciamurillopaulog>
- García Murillo, P. G. (2021). *Propuesta de bioensayo como actividad de investigación formativa relacionada con la bioprospección de microorganismos en la agricultura en el marco de la educación STEM*. En E. Serna M (Ed.) *Revolución en la formación y la 75 capacitación para el siglo XXI Edición 4, Vol. 1.* (pp. 471-479) Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://drive.google.com/file/d/1vZSugLNcK08npD3u4-fXT9esFyrOb80i/view>
- García Murillo, P. G., Martín Perico, J. Y., Parada Romero L. B., y Garibello Suan, B. (2020). *Diseño metodológico para la implementación de competencias STEAM en un proyecto de agricultura urbana, ajustado a condiciones de COVID-19 y con estudiantes de 5° grado en Bogotá, Colombia*. En E. Serna M (Ed.) *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI Edición 3, Vol. 2.* Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. (pp. 139-146). <https://drive.google.com/file/d/1jLvJSGs5w3iqyuwzFkUo1T7h3YSygl3A/view>
- García Silva, E., Barrios Gómez, M., Rodríguez Olarte, D., & Marrero, C. (2016). Interacción de escalas, gradientes ambientales e índices en la evaluación del estado de conservación de los Ríos en la cota oriental del lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 41, 305-311.
- Gómez Sánchez Carlos, R. R. (2002). Caracterización de los suelos páramos de Colombia: Génesis de una transformación. En *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condición HotSpot & Global Climatic Tensor*. Bogotá: IDEAM.

- Hofstede, R. y. (2000). los beneficios escondidos del páramo: servicios ecológicos e impacto humano.
- Pabón Caicedo José Daniel. (2002). Cambios en los patrones de temperatura media anual del aire y precipitación anual en los páramos anual del aire y precipitación anual en los páramos de Colombia. En *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condición HotSpot & Global Climatic Tensor*. Bogotá: IDEAM.
- Pinilla, G. R. (2013). La Estimación Del Caudal Ambiental En. *Acta Biológica Colombiana*, 43–60.
- Ramos Franco AL, A. P. (2019). Interceptación y escorrentía del bosque altoandino en la reserva forestal protectora “El Malmo”. . *Acta biol. Colomb*, 24(1).
- Sánchez-Espinosa, J. A., Mendoza-Plazas, Y. B., y García-Murillo, P. G. (2020). *Zonificación Ecológica y Socioeconómica como aporte al proceso de planificación y gestión, en el marco del proceso de Ordenamiento, de la Cuenca Grande del Municipio de San Antonio del Tequendama, Departamento de Cundinamarca* (1st ed.). Bogotá D. C. Colombia: Universidad Santo Tomas. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/dt.inv.2021.01877>
- Tapia, C. (2009). *Plan Participativo de Manejo y Conservación del Macizo del Páramo de Rabanal*. Bogotá : Instituto Humboldt.
- Téllez, E. A. (2008). Ayuga Téllez E (2008). Aplicaciones de Inferencia Estadística a la Ingeniería del Medio Natural Fundación Conde del Valle de Medio Natural. Fundación Conde del Valle de Salazar, ETSIM (UPM), Madrid.
- Valverde, E. (2018). Modelación hidrológica para cuantificar la producción de agua y sedimento actual y futuro a partir de cambios de cobertura forestal, sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú. *[Tesis de licenciatura]*.

- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., . . . Umaña, A. (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventario de Biodiversidad. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt,
- Warren, A., Davis, K., Stageland, E., Pelham, J., & Grishin, G. (2018). *Illustrated List of American Butterflies*. Obtenido de <http://www.butterfliesofamerica.com>
- Welsh, H., & Olliver, L. (1998). STREAM AMPHIBIANS AS INDICATORS OF ECOSYSTEM STRESS: A CASE STUDY FROM CALIFORNIA'S REDWOODS. *Ecological Applicationis*, 8(4), 1118-1132.
- Willmott, K. (2003). The Genus *Adelpha*: its systematics, biology and biogeography (Lepidoptera: Nymphalidae: Limenitidini). *Scientific Publishers, Gainesville*.
- Zorogastúa, P. Q. (2011). Evaluación De Cambios En La Cobertura Y Uso De La Tierra Con Imágenes De Satélite En Piura - Perú. *Ecología Aplicada*, 10(1-2), 13. Obtenido de <https://doi.org/10.21704/rea.v10i1-2.409>.