

APOYO TÉCNICO EN LA CONSOLIDACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN
HIDROMETEOROLÓGICA EN LOS PROCESOS DE MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO
EN EL PNN EL COCUI

NICOLLE CAMILA RODRÍGUEZ ROBLES
CÓDIGO:2252533

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
TUNJA
2023



**PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA**

APOYO TÉCNICO EN LA CONSOLIDACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN
HIDROMETEOROLÓGICA EN LOS PROCESOS DE MONITOREO AL RECURSO
HÍDRICO EN EL PNN EL COCUY

NICOLLE CAMILA RODRÍGUEZ ROBLES

CODIGO: 2252533

TRABAJO INFORME FINAL DE PASANTIA COMO OPCION DE GRADO PARA
OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR: ING. CAMILO ANDRÉS ROJAS CRUZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

TUNJA

2023

Tabla de contenido

1. Introducción.....	10
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2Objetivos Específicos	13
3. Marco Referencial	14
3.1 Marco Contextual	14
3.1.1Generalidades de PNN de Colombia	14
3.1.6 Esfuerzos de Conservación:.....	15
3.1.2 Compromiso ambiental	16
3.1.3 Órganos de Dirección, Administración y Representación	16
3.1.4 Objetivo de PNN de Colombia.....	18
3.2 Marco Conceptual.....	19
3.3 Marco teórico	22
3.3.1 Cuenca:.....	22
3.3.2 Subcuenca:	22
3.3.3Microcuenca:.....	22
3.3.4 Zonificación:	22
3.3.5 Morfometría:.....	22
3.3.6 Precipitación:.....	34
3.3.7 Temperatura:	34
3.3.8 Humedad relativa:	34
3.3.9 Estación pluviométrica:	34
3.3.10 Estación climatológica:	34
3.3.11 Hidrograma:.....	34
3.3.12 Datalogger	35
3.3.13 Índice de Martonne.....	35
3.3.14 Índice de disponibilidad hidro ambiental (IDHA):	35
3.3.15 Índice de sequía hidro ambiental (ISHA):	36
3.4 Marco Legal.....	38
4.Desarrollo de la pasantía.....	42
4.1 Actividades realizadas	42

4.2 Metodología	44
5. Resultados	49
5.1 Base de datos investigaciones de recurso hídrico y ecosistemas acuáticos	49
5.2 Zonificación y codificación de cuencas hidrológicas.....	51
5.2.1 Morfometría de la cuenca	58
5.3 Análisis de datos estaciones climáticas del PNN El Cocuy.....	67
6. Conclusiones.....	81
7. Recomendaciones.....	84
8. Referencias	85
9. Anexos	89

Tabla de tablas

Tabla 1. Clasificación de áreas.

Tabla 2. Índice de clasificación de cuencas.

Tabla 3. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.

Tabla 4. Clases de valores de masividad.

Tabla 5. Clasificación del índice de Martonne.

Tabla 6. Índice de disponibilidad hidro ambiental.

Tabla 7. Tabla 7. Índice de sequía hidro ambiental.

Tabla 8. Cronograma de actividades.

Tabla 9. Características generales de las microcuencas, subcuencas y cuenca del PNN El Cocuy, Boyacá.

Tabla 10. Índices y coeficientes de forma para la clasificación de microcuencas, subcuencas y cuenca del PNN El Cocuy, Boyacá.

Tabla 11. Parámetros de relieve de las microcuencas, subcuencas y cuenca del PNN El Cocuy, Boyacá.

Tabla 12. Parámetros de relieve con respecto a la erosión del PNN El Cocuy, Boyacá.

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Metodología objetivo específico 1.

Ilustración 2. Metodología objetivo específico 2.

Ilustración 3. Metodología objetivo específico 3.

Ilustración 4. Código numérico para la codificación.

Ilustración 5. Fenómeno de El Niño y La Niña.

Tabla de Mapas

Mapa 1. Orden de las Corrientes Nivel I del PNN El Cocuy, Boyacá.

Mapa 2. Zonificación hidrológica Nivel II y Nivel III del PNN El Cocuy, Boyacá.

Mapa 3. Codificación de los Niveles II y III de la Cuenca del Río Nevado.

Mapa 4. Ubicación de estaciones pluviométricas y climatológicas en el costado oriental del PNN El Cocuy, Boyacá.

Tabla de gráficos

Gráfico 1. Precipitación 2017.

Gráfico 2. Precipitación 2018.

Gráfico 3. Precipitación 2019.

Gráfico 4. Precipitación 2020.

Gráfico 5. Temperatura- Humedad Relativa 2018.

Gráfico 6. Temperatura- Humedad Relativa 2019.

Gráfico 7. Temperatura-Humedad Relativa 2020.

Resumen

El PNN El Cocuy en Colombia no solo es una impresionante maravilla natural, sino también una fuente vital de recursos hídricos. Este vasto parque abarca nevados, glaciares y lagos vírgenes, que sirven como un área de captación de agua crucial para las regiones circundantes. Los glaciares y los humedales de gran altitud del parque actúan como reservorios naturales, proporcionando un flujo constante de agua dulce a las comunidades cercanas y sustentando una rica variedad de vida acuática. Además, los recursos hídricos del parque contribuyen a la regulación de los climas locales y ayudan a mantener el equilibrio ecológico. Por tal razón, se realizó una asistencia técnica en la consolidación y análisis de información hidrometeorológica en los procesos de monitoreo al Recurso Hídrico en el PNN El Cocuy, esto por medio de la implementación de una metodología de tres etapas. En primer lugar, se realizó una recopilación y consolidación de investigaciones existentes e investigaciones realizadas en el PNN El Cocuy relacionadas con recursos hídricos y ecosistemas acuáticos para así reunir información y establecer una base de datos que permitirá recopilar las investigaciones. La segunda etapa consistió en generar la zonificación hidrológica del nivel II y III y su respectiva codificación implementando la metodología propuesta por el IDEAM, así mismo, se realizó el estudio de la morfometría de las microcuencas del Río Lagunillas, Río Cóncavo, Río San Pablín, Río Mosco, Río Casiano, de las subcuencas Río Cifuentes, Río Pantano Grande, Río Cóncavo y Río Chiscano las cuales forman la cuenca del Río Nevado, esto con el fin de comprender mejor las características espaciales y la dinámica del agua dentro del parque. En la tercera y última etapa, se ejecutó el análisis de algunos factores como la precipitación, temperatura y otros parámetros meteorológicos, ya que, al examinar estos datos, se obtuvo información sobre las condiciones del parque y sus implicaciones para los recursos hídricos. Finalmente, el poder realizar cada una de estas etapas permitió cumplir con el objetivo principal de esta pasantía que fue ofrecer asistencia técnica en fortalecimiento y análisis de información hidrometeorológica en los procesos de monitoreo del Recurso Hídrico en el PNN El Cocuy.

1. Introducción

El Parque Nacional El Cocuy está situado en la Cordillera Oriental de los Andes de Colombia, abarcando las regiones de Boyacá, Casanare y Arauca. Su extensión es de aproximadamente 306.000 hectáreas, este tesoro ecológico cuenta con una diversa gama de ecosistemas, desde frondosos bosques y lagos glaciares hasta escarpados paisajes montañosos adornados con magníficos glaciares. Esta ubicación privilegiada dota al parque de un paisaje diverso y cautivador, convirtiéndolo en una destacada joya natural de Colombia (Colombia P. N., 1977). La importancia del parque radica en sus abundantes y vitales recursos naturales, que son vitales para apoyar el ecosistema cercano y las comunidades vecinas. El PNN El Cocuy, es el hogar de variedades de flora y fauna, varias de las cuales son exclusivas de la región. y tienen un inmenso valor ecológico. Sus glaciares vírgenes y lagos glaciares sirven como fuentes vitales de agua, contribuyendo al equilibrio hidrológico de la región y proporcionando agua dulce a numerosas comunidades río abajo (País, 2022). Los densos bosques de la reserva ayudan a capturar carbono y equilibrar el clima, reduciendo el impacto del cambio climático. Además, la rica biodiversidad del PNN El Cocuy atrae a turistas e investigadores, fomentando el ecoturismo y contribuyendo al desarrollo económico local. Sirviendo como un santuario vital para especies en riesgo y un centro para la investigación científica, el PNN El Cocuy destaca la importancia de proteger estos preciados bienes para hoy y las generaciones venideras (Zulma Tellez Gómez, 2020).

Además, el complejo de páramos del PNN El Cocuy ‘Un área con precipitaciones constantes y abundante agua durante todo el año se describe como aquella en la que la escasez de agua es mínima o inexistente. Incluso en los meses más secos, la región permanece húmeda debido al agua de deshielo de los glaciares y las temperaturas más frías que limitan las tasas de evapotranspiración’ (Morales Rivas, y otros, 2007). Los recursos hídricos en el PNN El Cocuy son vitales, con sus lagos, ríos y arroyos glaciares que sustentan diversa flora, fauna y comunidades locales. Estas fuentes hidratan la vida silvestre, sustentan la agricultura y mantienen el equilibrio hidrológico regional al alimentar los ríos aguas abajo. Dado que el cambio climático afecta a los glaciares y las precipitaciones, conservar estos recursos es imperativo para el medio ambiente y las comunidades que dependen de ellos.

Sin embargo, la morfometría y la zonificación del agua del parque no se comprenden completamente, lo que afecta la gestión y protección del agua. Para abordar esto se requiere un estudio detallado de los atributos del agua del parque. Esto guiará la toma de decisiones, promoverá el uso sostenible y protegerá los recursos hídricos. Una comprensión clara es esencial para una gestión y conservación eficaces del agua, ya que el comprender los procesos hidrológicos del parque es crucial para una conservación eficaz del agua debido a que ayuda a identificar áreas importantes o sensibles y amenazas potenciales, lo que permite mejores estrategias de conservación. Esto asegurará la disponibilidad y calidad del recurso a largo plazo y abordará las brechas en la comprensión de la zonificación hidrológica en el PNN El Cocuy Boyacá.

Es por ello, que el objetivo es mejorar la gestión de recursos a través de la zonificación ambiental. Al comprender los aspectos ecológicos, sociales y económicos y la zonificación basada en factores ambientales, se podría garantizar el crecimiento sostenible y la protección del medio ambiente. Este enfoque ayuda a la toma de decisiones, equilibrando la actividad humana con la preservación de los ecosistemas. Proporcionar niveles de zonificación específicos ayuda a monitorear y controlar fuentes de agua vitales en el PNN El Cocuy y sus alrededores. Además, el análisis morfométrico mejorará la comprensión de los comportamientos hidrológicos de la cuenca.

Así mismo, el poder relacionar variables meteorológicas en el PNN El Cocuy tiene una profunda importancia para varios aspectos de la gestión y conservación ambiental. Es por ello, que tener presente parámetros tales como la precipitación los cuales son cruciales para comprender el ciclo del agua, evaluar la disponibilidad de agua y gestionar el delicado equilibrio de los ecosistemas dentro del parque, ayudará a predecir sequías o inundaciones, lo que permitirá a las autoridades implementar estrategias adecuadas de gestión de recursos hídricos. De igual forma, parámetros como las temperaturas mínimas, máximas y media brindan información sobre los patrones climáticos del parque, las variaciones estacionales y los posibles impactos de los cambios climáticos en la flora y la fauna. Por otro lado, el abordar el porcentaje de humedad relativa es un factor crucial para comprender los niveles de humedad en un entorno determinado. Además, estudiar la velocidad y curso de las brisas es esencial para predecir patrones climáticos, identificar posibles riesgos de incendios forestales

y evaluar la calidad del aire, especialmente si hay influencias antropogénicas cerca. La integración de todas estas variables meteorológicas permite a los administradores de parques y científicos ambientales tomar decisiones informadas para el desarrollo sostenible, la planificación del turismo, iniciativas de conservación y preparación para emergencias. Al reconocer la importancia de estas variables meteorológicas y sus complejas interacciones, las partes interesadas pueden trabajar juntas para garantizar la integridad ecológica y la resiliencia a largo plazo de este precioso hábitat natural. Finalmente, el poder generar este tipo de información permitirá actualmente y para los tiempos venideros, adquiera una mejor toma de decisiones que logren reducir, controlar o mitigar el recurso hídrico en el PNN El Cocuy.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar el apoyo técnico en la consolidación y análisis de información hidrometeorológica en los procesos de monitoreo del Recurso Hídrico en el PNN El Cocuy.

2.2 Objetivos Específicos

- Consolidar las investigaciones realizadas en el PNN El Cocuy relacionadas con el Recurso Hídrico y los ecosistemas acuáticos.
- Realizar la zonificación (nivel II y III) y la morfometría de la cuenca del PNN El Cocuy.
- Analizar los datos de las diferentes estaciones climáticas dentro del PNN El Cocuy.

3. Marco Referencial

3.1 Marco Contextual

3.1.1 Generalidades de PNN de Colombia

Las reservas naturales nacionales son regiones protegidas dedicadas a preservar la belleza excepcional y el valor ecológico de los paisajes naturales. Estos parques son establecidos por los gobiernos para salvaguardar la biodiversidad única, mantener ecosistemas vitales y proteger especies vulnerables. Las actividades humanas dentro de estas áreas están reguladas para minimizar las perturbaciones y mantener la condición prístina del medio ambiente. Estas áreas protegidas a menudo abarcan una amplia gama de hábitats, como bosques densos, praderas en expansión, montañas majestuosas, lagos serenos y diversos humedales (S.A.S V. , 2007). Proporcionan un refugio seguro para una miríada de especies de plantas y criaturas, especialmente aquellas que son escasas y están en riesgo. Dentro de los límites de estos parques, las actividades humanas están cuidadosamente reguladas para minimizar las perturbaciones y evitar la degradación del entorno natural. Los parques nacionales naturales juegan un papel vital en la investigación científica, ya que permiten a los expertos estudiar ecosistemas, monitorear poblaciones de vida silvestre y obtener información sobre varios procesos ecológicos. Sirven como laboratorios vivos, aportando valiosos conocimientos en el ámbito de la conservación de la biodiversidad y las ciencias ambientales. En general, las reservas naturales nacionales son pilares críticos de los esfuerzos de conservación global, asegurando que las generaciones futuras puedan maravillarse con las maravillas naturales de nuestro planeta mientras apoyan la protección de sus tesoros más preciados e irreemplazables (Colparques, 2015).

El PNN El Cocuy Boyacá, situado en la región de Boyacá en Colombia, este notable santuario de la naturaleza es famoso por sus impresionantes terrenos, ecosistemas elevados y ricas fuentes de agua. Este esquema busca ofrecer información sobre el PNN Cocuy en Boyacá, enfatizando sus características geográficas, vida diversa y la importancia de sus recursos hídricos. (IDEAM, 2021).

 **Características geográficas:** La Reserva Natural Cocuy Boyacá está situada en la cordillera oriental de la Cordillera de los Andes de Colombia, abarcando un área de aproximadamente 3.062 kilómetros cuadrados. El parque se caracteriza por su terreno

accidentado, que incluye picos nevados, valles profundos, lagos glaciares y extensos ecosistemas de páramo. Cuenta con varios picos notables, como Ritacuba Blanco, Ritacuba Negro y Pan de Azúcar, que atraen a montañeros y amantes de la naturaleza (Wordpress, 2012).

✚ **Biodiversidad:** Los parques nacionales del Cocuy Boyacá son reconocidos por su rica biodiversidad. Las diferentes altitudes y ecosistemas dentro del parque contribuyen a un amplio espectro de flora y fauna. Las regiones más bajas del parque cuentan con exuberantes bosques nubosos con diversas especies de árboles, incluidos robles, palmas de cera y cedros andinos. A medida que aumenta la altitud, dominan los ecosistemas de páramo, caracterizados por frailejones (plantas gigantes en roseta), pastos y vegetación alpina única. La reserva también alberga varias especies únicas y en riesgo, incluida la comadreja colombiana y el oso andino (Regional, 2021).

✚ **Recursos hídricos:** Los recursos hídricos son un aspecto crucial del PNN El Cocuy Boyacá. El parque es el origen de numerosos ríos, arroyos y lagos glaciares, que sirven como fuente de agua vital tanto para las comunidades locales como para las regiones circundantes. El derretimiento de los glaciares en el parque contribuye a la formación de ríos, que suministran agua para la agricultura, el uso doméstico y la industria. Los recursos hídricos del parque no solo son esenciales para las necesidades humanas, sino que también sustentan los diversos ecosistemas y la vida silvestre del parque.

3.1.6 Esfuerzos de Conservación: Para preservar los Parques Nacionales Naturales Cocuy Boyacá y sus recursos hídricos, se están realizando varios esfuerzos de conservación (Corpoboyacá, 2012):

a. Manejo de Áreas Protegidas: El gobierno colombiano, en colaboración con las comunidades locales y organizaciones ambientales, implementa políticas y regulaciones para proteger los ecosistemas y los recursos hídricos del parque. Esto incluye monitorear actividades, hacer cumplir las restricciones y promover prácticas sostenibles.

b. Iniciativas de reforestación: los programas de reforestación tienen como objetivo restaurar áreas degradadas y prevenir la erosión del suelo, salvaguardando en última instancia la calidad y cantidad de agua dentro del parque.

C. Educación ambiental: Las campañas de concientización y los programas educativos mejoraran la comprensión de la comunidad sobre la importancia de los recursos hídricos, fomentando el turismo consciente y métodos ecológicos de manejo del agua.

El PNN Cocuy Boyacá, con sus notables características geográficas y diversos ecosistemas, sirve como un recurso hídrico vital tanto para los ecosistemas del parque como para las comunidades aledañas. Sin embargo, la reserva lidia con problemas ecológicos como los cambios climáticos y la pérdida de árboles, lo que afecta sus recursos hídricos. Con acciones protectoras, que engloban la vigilancia de las zonas protegidas.

3.1.2 Compromiso ambiental

Las reservas naturales nacionales reflejan una profunda dedicación a la administración ambiental, siendo creadas principalmente para proteger y mantener nuestro entorno natural. Estas reservas actúan como refugios esenciales para diversas formas de vida, asegurando la protección de innumerables especies de flora y fauna. Al marcar estas zonas como áreas de conservación, los organismos estatales y los grupos ambientalistas muestran su compromiso en la salvaguardia de los entornos naturales y la defensa de las especies en riesgo. Con una observación detallada y estudios académicos, estos parques ofrecen información crucial sobre las condiciones ambientales, lo que guía los planes y directivas ecológicos globales (Banco Mundial – Fondo GEF, 2009).

3.1.3 Órganos de Dirección, Administración y Representación

En Colombia, varias organizaciones fundamentales colaboran para supervisar la gobernanza, el funcionamiento y la representación de las reservas naturales nacionales. Estas entidades son fundamentales para garantizar la preservación, la utilización sostenible y la representación de estas regiones conservadas (Colombia P. N., Dirección General, 2023) . A continuación, se destacan los principales:

 **Unidad de Parques Nacionales (UPNN):** La Unidad de PNN se erige como el principal organismo gubernamental que supervisa la gobernanza y el funcionamiento de las reservas naturales de Colombia. Bajo el paraguas del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, esta unidad asume la responsabilidad de iniciar, conservar y salvaguardar estos parques. Los deberes de la UPNN incluyen diseñar y promulgar

estrategias de gestión, encabezar la investigación y la vigilancia, y fomentar la conciencia educativa y ecológica dentro de los límites del parque.

- ✚ **Consejo Asesor de Parques Nacionales:** Compuesto por delegados de organismos gubernamentales, establecimientos educativos, grupos ambientalistas, poblaciones nativas y residentes locales, este consejo ofrece orientación y sugerencias a la Unidad de Parques Nacionales sobre temas relacionados con la gobernanza, la preservación y el crecimiento del parque. Este organismo asegura que los diversos puntos de vista y preocupaciones de las partes interesadas influyan en los procedimientos de deliberación.
- ✚ **Directores y administradores de parques:** cada parque nacional individual está encabezado por un director o administrador del parque que es responsable de la gestión y administración diarias del parque. Supervisan las operaciones del parque, la aplicación de la ley, los servicios para visitantes y los esfuerzos de conservación dentro de sus respectivas áreas.
- ✚ **Poblaciones indígenas y vecinas:** Aquellos grupos nativos y locales que viven adyacentes o dentro de las reservas nacionales juegan un papel crucial en la administración y representación del parque. En los procedimientos de deliberación se fomenta a través de métodos consultivos y colaborativos, dado que su sabiduría ancestral y legados culturales se consideran indispensables para una conservación adecuada y prácticas sostenibles.
- ✚ **Sociedad civil y entidades sin fines de lucro:** Muchas entidades benéficas y partes de la comunidad cívica juegan un papel proactivo en la salvaguardia de los santuarios naturales de Colombia. Su compromiso abarca estudios, promoción ambiental, participación comunitaria y recaudación de fondos para proyectos ecológicos.
- ✚ **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:** Encargado de orientar los asuntos ambientales en Colombia, este ministerio colabora intensamente con la Unidad de Parques Nacionales. Juntos, enmarcan políticas, normas y planes relacionados con la conservación y salvaguarda de las zonas naturales.
- ✚ **Representación internacional:** Los parques nacionales en Colombia a menudo están representados en foros y conferencias internacionales relacionados con la conservación y protección ambiental. Esta representación ayuda a mostrar el compromiso de Colombia

con la preservación de su patrimonio natural y fomenta la cooperación con otros países y organizaciones en los esfuerzos globales de conservación.

A través de la colaboración de varias entidades de gobernanza, operativas y de defensa, las reservas naturales nacionales de Colombia adoptan una estrategia de conservación integral. Este enfoque equilibra los aspectos ecológicos, sociales y económicos para preservar estas valiosas joyas naturales en beneficio de las próximas generaciones.

3.1.4 Objetivo de PNN de Colombia

El principal objetivo de los PNN de Colombia es conservar, proteger y manejar de manera sostenible la biodiversidad natural y los ecosistemas únicos del país. Estos parques se establecen para salvaguardar el rico y diverso patrimonio natural de Colombia, incluyendo su flora, fauna, paisajes y procesos ecológicos.

3.2 Marco Conceptual

✚ **El Recurso hídrico:** Colombia se encuentra entre las naciones con los recursos hídricos más abundantes a nivel mundial, con un rendimiento de agua que supera seis veces el promedio mundial (Instituto de Hidrología, 2023). En la Zona Andina, hay una tasa de escorrentía del 9,5%, lo que sugiere una capacidad de regulación del agua de leve a moderada en este sector. La métrica de regulación de agua para la parte nororiental de Colombia en el departamento de Boyacá indica una capacidad moderada para sostener y administrar estos flujos en 9,5% (Instituto de Hidrología, 2010). Por el contrario, dentro de la Reserva Natural Nacional El Cocuy en la Cordillera Oriental, la red de cuencas, subcuencas y microcuencas revela que el 93,1% se alinea con la vertiente oriental. El 6,9% restante está asociado a la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, que enlaza con la cuenca central del río Chicamocha, abarcando siete microcuencas (Romero & Díaz, 2008). Dentro de la Reserva Natural Nacional El Cocuy, se realizan investigaciones hídricas para evaluar su disponibilidad y necesidades, tanto para actividades antrópicas como para asegurar el bienestar del ecosistema allí existente (Instituto de Hidrología, 2010).

✚ **Ecosistemas de alta montaña:** En la investigación de 2002 de Castaño Uribe sobre los páramos y los hábitats altoandinos de Colombia en condiciones de punto crítico y tensión climática global, proporciona un análisis exhaustivo de la condición de los ecosistemas alpinos y los procesos que les dan forma a nivel nacional (Castaño Uribe, 2002). Su exploración enfatiza el equilibrio de los servicios ecosistémicos, destacando tres facetas particulares:

- El ecosistema de Alta Montaña específicamente de páramo que se encuentran en los Andes tropicales son lugares significativos debido a que sus características y realidades geobióticas se encuentran en una condición con doble biodiversidad/amenaza, lo que indica que está clasificado entre las diez áreas mundiales con mayor amenaza. Para poder determinar dicha clasificación, se tiene presente las actividades antrópicas que ejercen presión a los ecosistemas en las que se destacan la deforestación y los vectores de desarrollo que transforman fuertemente el territorio (Castaño Uribe, 2002).
- En estos hábitats se albergan especies animales y vegetales endémicas que en tierras bajas han desaparecido. En ciertos casos, estas cumbres se transforman en santuarios

aislados, convirtiéndose esencialmente en "islas biológicas desprovistas de conectividad y colaboración genética con ecosistemas similares". Sus características están profundamente influenciadas por su relación con otras zonas de transición, especialmente en los bosques andinos y bosques de niebla.' (Castaño Uribe, 2002).

- El desarrollo de los ecosistemas de páramo es relativamente nuevo, data de no más de tres millones de años. Su surgimiento, a diferencia de otras formaciones continentales, fue moldeado principalmente por factores asociados con los Andes tropicales. Estos factores incluyen condiciones de altitud superiores a los 3.000 metros sobre el nivel del mar, posición geográfica, influencia de la luz solar, patrones de humedad y distribución de lluvia tanto horizontal como vertical, entre otros (Castaño Uribe, 2002).
- Colombia abarca alrededor de 1.925.401 hectáreas de páramo, lo que representa alrededor del 2% de su territorio total. De esto, el 38,8% (o 746.644 hectáreas) se encuentra dentro de las Reservas Naturales Nacionales. A pesar de su tamaño limitado, Colombia es reconocida mundialmente por tener la región más expansiva de estos ecosistemas. Esto subraya el importante papel de Colombia en la conservación de estas zonas únicas que se encuentran principalmente en los Andes del Norte (Rivera Ospina & Rodríguez Murcia, 2011). En el PNN El Cocuy, los recursos hídricos, vistos como un servicio ecosistémico, dependen de la capacidad de estos ecosistemas para regular y almacenar agua. Aún con esta cobertura limitada a nivel nacional, atiende las necesidades de agua de los centros municipales, rurales y departamentales.
- **Hábitats altoandinos y su respuesta a los cambios climáticos contemporáneos y prospectivos (IDEAM 2002):** Los estudios del IDEAM dentro de los ecosistemas de alta montaña que abarcan desde 1980 hasta 2000, durante un período de 30 años, evaluaron las fluctuaciones en la temperatura atmosférica, la lluvia y la exposición a la luz solar. Los hallazgos identificaron alteraciones significativas atribuidas principalmente a cambios en el uso del suelo, particularmente en áreas de bosque altoandino y cobertura vegetal. Esto es especialmente evidente en regiones como Cundinamarca, Boyacá, Santander, Cauca, Nariño y el sur del Tolima, que albergan importantes centros de población. Tales cambios aceleran la degradación de páramos y bosques. Además, los recursos hídricos que se originan en estos hábitats enfrentan desafíos, ya que las capacidades de regulación y retención de agua de los páramos se

ven comprometidas. impactando las fuentes primarias de agua y las comunidades que dependen de estos suministros aguas abajo. Ante este panorama, es vital introducir medidas que prioricen la salvaguardaría del medio ambiente y la sabia utilización de los recursos hídricos (Alarcón Hincapié & Pabón Caicedo, 2013).

3.3 Marco teórico

3.3.1 Cuenca: La cuenca hidrográfica es aquella área que logra contribuir al flujo del agua ya sea de una quebrada o un río (área de captación) (Dombeck, 2021). Los componentes de una cuenca se analizan teniendo en cuenta el canal primario y las divisiones que crea, lo que ayuda a establecer conexiones geomorfológicas. Los elementos clave incluyen:

✚ **Talweg:** Refiriéndose a la parte más profunda de un canal, el Talweg representa el camino seguido por las corrientes de agua naturales. Los diagramas de Talweg representan las trayectorias profundas de los canales que se estudian (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

Estas áreas funcionan como regiones receptoras de agua, extendiéndose a ambos lados del Talweg desde este último hasta la línea divisoria de agua. Existe una relación geomorfológica significativa entre las laderas y el Talweg (Rivera Ospina & Rodríguez Murcia, 2011).

3.3.2 Subcuenca: Son todas aquellas partes en las que se puede dividir una cuenca hidrográfica, en donde su escorrentía superficial mana a través de ríos y fortuitamente lagos hacia un determinado punto (España, 2020).

3.3.3 Microcuenca: Es aquella cuenca que presenta un área de drenaje menor a 500Km², lo cual permite definir el nivel subsiguiente teniendo presente su orden y manejo de una cuenca hidrográfica (Sostenible, Microcuencas, 2019).

3.3.4 Zonificación: La zonificación ambiental implica la identificación de regiones específicas en función de sus características distintivas, que indican su vulnerabilidad ambiental a varios elementos dentro de cada ecosistema (como factores no vivos, organismos vivos y aspectos socioeconómicos). Este proceso se basa en datos obtenidos de la evaluación de las condiciones prevalecientes y la susceptibilidad del área a los factores naturales como a las influencias humanas, teniendo en cuenta el medio ambiente en su forma intacta, sin la influencia de ninguna iniciativa específica. (S.A.S, 2018).

3.3.5 Morfometría: Esto implica una evaluación numérica en cuanto a los atributos estructurales de la cuenca, que ofrece información esencial sobre sus dimensiones, contornos y topografía. Las medidas abarcan el área, el límite, la longitud, el ancho, la profundidad y los cambios de altitud de la cuenca. Analizar la forma y estructura de un área de captación ayuda a comprender la dinámica del agua, como el movimiento de fluidos, el transporte de sedimentos y las tendencias de inundación. Además, es fundamental para las simulaciones

hidrológicas, observar los recursos hídricos y evaluar el riesgo de inundación. Los datos sobre la morfometría de la cuenca ayudan a los expertos, ingenieros y tomadores de decisiones a tomar decisiones informadas para un crecimiento duradero y una estrategia adecuada de recursos hídricos. (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

El objetivo principal de analizar la morfometría de cuencas es recopilar información crucial para determinar las respuestas hidrológicas esperadas de microcuencas individuales y discernir las relaciones entre ellas. Las secciones siguientes detallarán varias métricas o indicadores empleados para evaluar los atributos morfológicos de las cuencas y sus subdivisiones.

 **Área:** La característica hidrológica más crítica y probablemente la principal característica morfométrica de una cuenca es su área. Se relaciona con el contorno del área de captación total dentro de un mecanismo de escorrentía que finalmente se canaliza hacia un curso de agua en particular, ya sea directa o indirectamente (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Las dimensiones comparativas de estas regiones relacionadas con el agua determinan etiquetas como microcuenca, subcuenca, cuenca o sector, aunque estas categorizaciones no están estrictamente establecidas (*Tabla 1*).

Tabla 1. Clasificación de áreas.

Área Km2		Nombre
<5		Unidad
5	20	Sector
20	100	Microcuenca
100	300	Subcuenca
>300		Cuenca

Nota: (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010)

 **Perímetro:** El límite o extensión de la cuenca es vital. Cuando se combina con el área, ofrece información sobre la configuración de la cuenca (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

 **Forma de la cuenca:** Estas características tienen como objetivo medir el flujo de agua y las reacciones de la cuenca a ese flujo utilizando índices o proporciones específicos. Además, brindan conocimientos fundamentales sobre los patrones esperados de escorrentía superficial. Las razones e índices primarios se detallarán en las siguientes secciones (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010):

✚ **Índice de compacidad o Índice de Gravelius:** Cuantifica la elongación o circularidad de una cuenca de drenaje comparando su perímetro con su área. Desempeña un papel importante ya que las cuencas con índices de Gravelius cercanos a 2 exhiben tiempos de concentración más largos debido a su forma alargada. Por el contrario, las cuencas con índices de Gravelius cercanos a 1 tienen tiempos de concentración más cortos, lo que indica una forma de cuenca más circular (Parques Nacionales Naturales El Cocuy, 2017). La siguiente ecuación permite definir este índice (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010):

$$K_c = 0.28 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde:

K_c : Índice de compacidad o índice de Gravelius (Adimensional).

P : Perímetro de la cuenca (km).

A : Área de la cuenca (Km²).

Además, en la siguiente tabla se aprecian los valores interpretativos de este índice:

Tabla 2. Índice de clasificación de cuencas.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
1.00-1.25	Redonda-Ovalada
1.25-1.50	Ovalada-Alargada
1.50-1.75	Alargada

Nota: (Sarmiento, 1988)

✚ **Factor de Forma (F):** El factor de forma se calcula comparando el área de drenaje (A) con el cuadrado de su ruta de flujo más larga (L). Esta medida proporciona información sobre la vulnerabilidad de la cuenca a patrones de inundación variados, desde rápidos y severos hasta graduales y prolongados. Indica si la cuenca puede mostrar valores extremos, altos o bajos, en función de sus reacciones. El factor de forma es una medida sin unidades que indica si la cuenca parece más circular o estirada. Un valor del factor de forma (F) superior a uno sugiere una cuenca más ancha o un río primario más corto, propenso a una escorrentía sustancial durante las lluvias intensas, lo que provoca inundaciones pronunciadas (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). El factor de forma se puede expresar a través de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{A}{L_m^2}$$

Donde:

F: Factor de forma (Adimensional).

A: Área de cuenca (Km²).

L_m: Longitud de máximo recorrido (Km).

Al obtener su resultado, se deben tener presente los siguientes valores interpretativos:

F>1: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas.

F<1: Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.

✚ **Índice de alargamiento (I):** El índice de elongación es otra métrica que destaca la forma de la cuenca, enfatizando su extensión en comparación con su longitud principal y su anchura máxima. Si este índice tiene valores superiores a uno, significa que la longitud de la cuenca supera su ancho, lo que sugiere una apariencia más estirada. Este índice ayuda a pronosticar los patrones de flujo dentro del drenaje y su potencial de erosión o transporte de sedimentos (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). La fórmula para esto se puede representar como:

$$l_a = \frac{L_m}{l}$$

Donde:

l_a: índice de alargamiento (Adimensional).

L_m: Longitud de máximo recorrido (Km).

l: Ancho máximo (Km).

Interpretación para el resultado:

l_a: Cuenca alargada.

l_a: Cuenca achata y por lo tanto el cauce principal es corto.

✚ **Índice asimétrico (I_{as}):** El índice representa la relación entre el área de la pendiente mayor (A_{may}) y la pendiente menor (A_{men}) dividida por el canal primario. Esta métrica mide la consistencia en el diseño del sistema de drenaje. Un índice notablemente superior a 1 implica una distribución irregular dentro de la cuenca, con el cauce principal del río experimentando un aumento del caudal de un lado. Esto puede conducir a un mayor flujo de agua y una mayor susceptibilidad a la erosión debido a eventos de mayor flujo de agua

superficial (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). La fórmula para esto es:

$$I_{as} = \frac{A_{may}}{A_{men}}$$

Donde:

I_{as} : Índice asimétrico (Adimensional).

A_{may} : Vertiente mayor (Km²).

A_{men} : Vertiente menor (Km²).

✚ **Parámetro de Relieve:** La evaluación de las métricas de relieve en la morfometría de la cuenca ayuda a comprender y medir los atributos topográficos y los cambios de altitud dentro de la cuenca. Métricas como Pendiente promedio de la cuenca y Elevación promedio de la cuenca brindan datos vitales sobre el terreno. Además, evaluar las ayudas de socorro para pronosticar el movimiento del agua, identificar rutas de drenaje probables y medir las reacciones de la cuenca a las precipitaciones. Tales conocimientos son fundamentales para la gestión eficiente del agua, la mitigación de inundaciones y las estrategias de conservación en la cuenca (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Dentro de esta categoría, encontramos:

- **Método de intersección (Elevación media de la cuenca):** La elevación promedio es la altura de la línea de contorno que divide la cuenca en dos regiones de igual tamaño. En otras palabras, representa la cota a la que el 50% del área total de la cuenca se encuentra por encima y por debajo de esta curva de nivel (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). La forma de calcular la elevación es

$$E_m = \frac{\sum \text{cotas}}{n}$$

Donde:

E_m : Elevación media de la cuenca (m.s.n.m).

$\sum \text{cotas}$: Sumatoria de las cotas de las diferentes intersecciones (m.s.n.m).

n : Número de intersecciones.

- **Pendiente media de la cuenca (S_m):** Evaluar el gradiente de una cuenca es esencial para comprender su reacción al movimiento del suelo, ya sea por erosión o acumulación de sedimentos. Los gradientes más pronunciados comúnmente dan como resultado una mayor erosión, mientras que las áreas más planas se enfrentan a problemas de drenaje

y acumulación de sedimentos. El gradiente medio se determina utilizando metodologías como las de Alvord y Horton, aprovechando las curvas de nivel de las diferencias de elevación constantes en una superficie cartográfica. Este gradiente afecta profundamente el drenaje del agua de lluvia, lo que influye tanto en la intensidad como en el inicio de las inundaciones en la vía fluvial primaria. Las cuencas con fuertes pendientes, denominadas cuencas pluviales, a menudo producen inundaciones rápidas (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). La Tabla 3 presenta la clasificación de las cuencas en función de sus pendientes

Tabla 3. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.

Pendiente media (%)		Tipo de Relieve	Símbolo
0	3	Plano	P1
3	7	Suave	P2
7	12	Medianamente Accidentado	P3
12	20	Accidentado	P4
20	35	Fuertemente Accidentado	P5
35	50	Muy fuertemente Accidentado	P5
50	75	Escarpado	P7
>75		Muy Escarpado	P8

Nota: (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010)

- **Método de Alvord:** Propone la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{D * L_c}{A}$$

Donde:

S_m : Pendiente media de la cuenca.

D : Diferencia de nivel entre las curvas de nivel del plano topográfico empleado (Km).

A : Área de la cuenca (Km²).

L_c : Longitud de la curva de la curva de nivel.

Parámetros de relieve con respecto a la erosión:

- **Coefficiente de masividad:** Esta correlación ilustra el vínculo entre la elevación promedio de la cuenca y sus dimensiones generales. Ayuda a distinguir cuencas con la misma elevación promedio, pero con diferente relieve. Sin embargo, diferentes cuencas pueden arrojar valores iguales para este coeficiente, por lo que es posible que no defina exclusivamente las características de erosión (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

$$K_m = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m. s. n. m)}}{\text{Área de la cuenca en Km}^2}$$

Este coeficiente toma valores altos en cuencas montañosas y bajos en cuencas planas **Tabla 4.**

Tabla 4. Clases de valores de masividad.

Rangos de Km		Clases de Masividad
0	35	Moderadamente montañoso
35	70	Montañoso
70	105	Muy montañoso

Nota: (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010)

- **Coeficiente orográfico (C_o):** La relación orográfica se determina comparando el cuadrado de la elevación media del terreno con el área horizontal de la cuenca. Esta métrica significa el potencial de degradación de la cuenca, ampliándose con una mayor elevación promedio y una proyección de área de cuenca reducida. Una relación orográfica < 6 denota un gradiente más suave, que se encuentra comúnmente en cuencas anchas con una inclinación mínima. Por el contrario, una relación > 6 indica un paisaje más empinado y desigual. Este factor fusiona la elevación del terreno, impactando la energía potencial del agua, con la inclinación del espacio proyectado, afectando el escurrimiento de lluvia inmediato (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

$$C_o = \frac{h^2}{A}$$

C_o : Coeficiente orográfico.

h^2 : Altitud media del relieve (Km).

A : Área de la cuenca (Km²).

- ✚ **Características de la red de drenaje:** La red de vías navegables abarca el río primario y sus arroyos subsidiarios, que incluyen cursos de agua permanentes, ocasionales y transitorios. La granularidad en la representación de la estructura del flujo de agua depende de la escala de mapa seleccionada utilizada. Existen varios métodos de clasificación para categorizar los canales de drenaje dentro de una cuenca, cada uno

basado en diferentes características, como se explica a continuación (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010):

- **Cauces perennes:** Los arroyos perennes fluyen constantemente, no se ven afectados por condiciones climáticas adversas, ya que reciben un suministro continuo de agua del nivel freático que mantiene el nivel del lecho del río constantemente lleno (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).
- **Cauces intermitentes:** Los cursos de agua intermitentes fluyen durante las estaciones húmedas, pero cesan durante los períodos secos. El nivel de las aguas subterráneas supera la elevación del piso del río únicamente durante las ocurrencias de precipitación (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).
- **Cauces efímeros:** Los cursos de agua efímeros se manifiestan únicamente durante o justo después de las lluvias, transportando solo el desbordamiento superficial, con el agua subterránea constantemente situada debajo del lecho del arroyo (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

Por otro lado, esta clasificación clasifica los canales o cursos de agua en función de su forma como semirrecta, trenzada o serpenteante. Dentro de una sola corriente, su configuración varía a lo largo de su recorrido, afectada por el movimiento del agua a lo largo de diversas estaciones.

- **Cauces semirrectos:** Si bien el flujo tiende a favorecer pendientes más pronunciadas, la forma del terreno y los elementos geológicos obligan al canal a adherirse a una ruta bastante lineal intercalada con algunas curvas, a menudo como resultado de irregularidades topográficas en lugar de efectos hidráulicos. El canal primario puede estar bien definido o no definido. La sedimentación tiene lugar a ambos lados del río en áreas planas y poco profundas con barras (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).
- **Cauces trenzados:** Estos fenómenos ocurren en regiones con pendientes variables, que van desde empinadas a moderadas, y con flujos de agua significativos, que se encuentran típicamente en lechos de ríos que consisten en suelos granulares gruesos como arena y grava. La ocurrencia resulta de la deposición de partículas más grandes ocurre debido a una reducción en la velocidad del agua luego de inundaciones o

alteraciones en el gradiente. Estas partículas se acumulan en barras o zonas específicas, formando diversos canales o ramales acompañados de islotes, entre otras características. de las cuales pueden tener vegetación. Durante los niveles altos de agua, el río inunda estas islas, lo que lleva a la expansión y la latencia del canal (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

- **Cuces meándricos:** Este evento tiene lugar en regiones con pendientes suaves y sustancias delicadas en la vía fluvial. Consiste en sucesivas curvas opuestas dentro del extenso valle del río o zona de meandros. El agua se mueve de forma sinuosa, lo que provoca erosión y acumulación de sedimentos en diferentes puntos (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

 **Caracterización del Río Principal:** En regiones con ligeras pendientes y materiales de canales más finos, este evento se desarrolla. Está marcado por curvas inversas consistentes dentro del tramo más amplio del valle del río o la zona de meandros. El agua adopta una trayectoria sinuosa, provocando erosión y acumulación de sedimentos en diversos lugares (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

- **Longitud del cauce principal:** La longitud del cauce (L) se refiere a la distancia lineal que recorre el río primario en la cuenca, comenzando desde su origen y concluyendo en la coyuntura de cierre o fusión (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).
- **Número de orden:** La designación de orden es una clasificación jerárquica otorgada a diferentes cursos de agua según la extensión de su ramificación (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Los elementos siguientes se tienen en cuenta a la hora de clasificar los órdenes de corriente dentro del sistema de drenaje:
- **Orden de las corrientes:** Los arroyos primarios emergen de manantiales sin ninguna rama contribuyente. Cuando dos flujos primarios convergen, se crea un flujo secundario. De manera similar, cuando dos corrientes secundarias se unen, surge una corriente terciaria y el patrón continúa. Si un flujo de orden inferior se fusiona con uno de orden superior, el orden superior permanece sin cambios (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).
- **Método de Horton Strahler:** Horton ideó un sistema de ordenación de redes fluviales, que luego Strahler adaptó ligeramente. El método, denominado Horton Strahler, se erige

como la técnica más frecuente para clasificar los sistemas fluviales en la época contemporánea (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

- **Relación de bifurcación:** Indica la conexión entre el conteo de canales de un rango específico y el conteo de canales del siguiente rango superior. Esto ayuda a evaluar los cambios geomorfológicos en la cuenca, particularmente en lo que respecta a los cambios en la roca subyacente y los tipos de suelo dominantes. Horton observó que esta proporción generalmente se mantiene constante en los rangos posteriores (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Su fórmula es:

$$R_b = \frac{n_i}{n_{i+1}}$$

Donde:

R_b : Relación de bifurcación (Adimensional).

n_i : Número total de cauces de orden i.

n_{i+1} : Número total de cauces de orden i+1.

- **Relación de longitud:** El coeficiente de longitud indica la relación entre la longitud media de los arroyos de un rango específico y la longitud media de los arroyos del rango directamente inferior. El coeficiente de longitud de la cuenca se deriva del promedio de estos coeficientes de longitud individuales. Esta asociación sirve como indicador de retención temporal de agua e impacta la cantidad inmediata de flujo directo de agua, a menudo denominado desbordamiento máximo o liberación (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). El cálculo de la relación de longitud implica la siguiente fórmula:

$$R_l = \frac{L_i}{L_{i-1}}$$

Donde:

R_l : Relación de longitudes (Adimensional).

L_i : Longitud promedio de todos los cauces de orden i (m).

L_{i-1} : Longitud promedio de todos los cauces de orden i-1 (m).

- **Densidad de los cauces-Método de Horton:** El coeficiente de longitud del canal representa la conexión entre la longitud total de los cursos de agua en una cuenca y su tamaño colectivo (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). La

relación de longitud de la vía fluvial indica el vínculo entre la longitud total de los canales dentro de una cuenca y su espacio agregado. Su ecuación es:

$$D_d = \frac{\sum Li}{A}$$

Donde:

D_d : Densidad de drenaje.

$\sum Li$: Suma de las longitudes de los drenajes que se integran en la cuenca (Km).

A : Área de la cuenca (Km²).

- **Constante de estabilidad del río (C):** Esta medida representa el área de captación requerida para mantener un flujo de agua constante para una longitud específica de canal. Como resultado, sirve como un signo de la vulnerabilidad de la cuenca al desgaste (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Shum presentó la constante de estabilidad del río, equivalente a la inversa de la densidad de drenaje, para resumir este concepto.

$$C = \frac{A}{\sum Li}$$

Donde:

C : Constante de estabilidad del río.

A : Área de la cuenca (Km²).

$\sum Li$: Suma de las longitudes de los drenajes que se integran en las cuencas (Km).

- **Índice de Torrencialidad:** Esta medida examina la conexión entre el conteo de arroyos primarios y toda el área de captación. Ayuda a evaluar la probabilidad de inundación de una cuenca (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Su ecuación es:

$$C_t = \frac{n_1}{A}$$

Donde:

C_t : Índice de torrencialidad (Km²).

n_1 : Número de corrientes de primer orden según el método de Horton.

A : Área de la cuenca (Km²).

- **Método de elevaciones extremas:** La técnica de elevaciones extremas implica encontrar la diferencia entre los puntos más alto y bajo del río que se analiza y luego

dividir esta diferencia por la longitud del canal del río (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{L} * 100$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce (%).

$H_{m\acute{a}x}$: Altitud máxima del cauce (m.s.n.m).

$H_{m\acute{i}n}$: Altitud mínima del cauce (m.s.n.m).

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (Km).

- **Tiempo de concentración:** Esto representa la duración requerida para que la lluvia, que se origina en la ubicación hidráulica más distante de la cuenca, llegue al segmento de drenaje especificado. Además, puede significar la duración necesaria para que el agua viaje desde un lugar específico en la cuenca hasta una zona objetivo (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Se empleó la fórmula de Temez para calcular esta duración:

$$T_c = \left(\frac{L}{S_0} \right)^{0.76}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (Horas).

L: Longitud del cauce principal (Km).

S_0 : Pendiente promedio del cauce principal (%).

- **Sinuosidad del Cauce:** Esta métrica muestra la correlación entre la longitud total del cauce principal (L), considerando sus meandros y recodos, y la longitud del valle del cauce principal, medido a lo largo de una ruta directa dentro de la corriente (Reyes Trujillo, Ulises Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Esta relación se describe mediante la ecuación:

$$Sin = \frac{L}{L_s}$$

Donde:

Sin: Sinuosidad del cauce.

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (m).

L_s : Longitud del valle del cauce principal, medida sobre un trazo suave del cauce (m).

3.3.6 Precipitación: La precipitación es el proceso donde el agua aparece en varias formas como lluvia, nieve, aguanieve o granizo, desciende del cielo a la Tierra. Desempeña un papel vital en el ciclo del agua, proporcionando los suministros de agua necesarios para diversos ecosistemas y actividades humanas (Pérez, 2018).

3.3.7 Temperatura: La temperatura mide la energía cinética media de los movimientos moleculares en una sustancia, que indica qué tan caliente o fría está. Se mide comúnmente en grados Celsius o Fahrenheit y juega un papel crucial en los patrones meteorológicos, el clima y varios procesos naturales (Fernández, 2023).

3.3.8 Humedad relativa: La humedad relativa indica la fracción de vapor de agua presente en el aire en comparación con su capacidad máxima a una temperatura particular. Expresado como porcentaje, indica qué tan cerca está el aire de saturarse con humedad, lo que influye en la comodidad y las condiciones climáticas (QUEST, 2020).

3.3.9 Estación pluviométrica: Una estación de pluviómetro es una instalación de monitoreo del clima diseñada específicamente para medir y registrar la cantidad de precipitación, como lluvia o nieve, en un lugar en particular. Proporciona datos cruciales para el análisis meteorológico, la gestión de recursos hídricos y la comprensión de los patrones climáticos locales (IDEAM, DEFINICIONES DEL CATÁLOGO NACIONAL DE ESTACIONES , 2019).

3.3.10 Estación climatológica: Una estación meteorológica es una instalación equipada con instrumentos para medir y registrar diversas condiciones atmosféricas, que comprende la temperatura, los niveles de humedad, la velocidad del viento, las precipitaciones y la presión atmosférica. Proporciona datos meteorológicos esenciales para el pronóstico, el análisis climático y la comprensión de los patrones y cambios climáticos (IDEAM, DEFINICIONES DEL CATÁLOGO NACIONAL DE ESTACIONES , 2019).

3.3.11 Hidrograma: Un hidrograma es una representación visual que ilustra los cambios en el flujo de agua o caudal de un río a lo largo del tiempo. Traza el nivel del agua o el caudal del río en función del tiempo, generalmente en respuesta a la lluvia u otros eventos hidrológicos, lo que brinda información sobre el comportamiento del río y la dinámica de la cuenca (Javier Sánchez San Román, 2022).

3.3.12 Datalogger: Es un dispositivo electrónico que recopila información durante un período o en función de la ubicación utilizando sus instrumentos y sensores internos o externos (FinalTest, 2023).

3.3.13 Índice de Martonne: Esta métrica mide la sequedad dividiendo la precipitación mensual por la suma de la temperatura mensual promedio (en Celsius) más diez (Fernández Prias, 2015). Los valores más altos indican una mayor humedad **Tabla 5**.

Tabla 5. Clasificación del índice de Martonne.

Intervalo		Clasificación
0	5	Desiertos (hiperárido)
5	10	Semidesierto (árido)
10	20	Semiárido de tipo mediterráneo
20	30	Subhúmeda
30	60	Húmeda
>60		Per húmeda

Nota: (Fernández Prias, 2015)

Se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$IM = \frac{(12 * pp)}{(t + 10)}$$

Donde:

IM: Índice de disponibilidad hidro ambiental.

pp: Precipitación mensual (mm).

t: Temperatura (°C)

3.3.14 Índice de disponibilidad hidro ambiental (IDHA): Ajuste del índice de Martonne (Mercado Mancera, y otros, 2010) **Tabla 6**.

Tabla 6. Índice de disponibilidad hidro ambiental.

Índice de disponibilidad hidro-ambiental		Vulnerabilidad	Recomendaciones de manejo
0	2.5	Extremo	Exclusión total del pastoreo
2.5	5	Alto	Severas restricciones de manejo, exclusión total durante el mes seco
5	7.5	Medio	Gestión sostenible con rotaciones adecuadas y prevenciones durante la sequía
>7.5		Bajo	Alto potencial para la gestión sostenible, uso de rotaciones adecuadas

Nota: (Mercado Mancera, y otros, 2010)

Se calculo a partir de la siguiente ecuación:

$$IDHA = \frac{K_e * (12 * pp)}{(t + 10)}$$

Donde:

IDHA: Índice de disponibilidad hidro ambiental.

K_e : Coeficiente adimensional (0.33).

pp : Precipitación mensual (mm).

t : Temperatura (°C).

3.3.15 Índice de sequía hidro ambiental (ISHA): Herramienta que cuantifica la escasez de agua mediante el análisis de datos hidrológicos, ambientales y climáticos para evaluar las condiciones de sequía (Mercado Mancera, y otros, 2010). Este se clasifica de acuerdo con la

Tabla 7.

Tabla 7. Índice de sequía hidro ambiental.

Índice de Sequía hidro ambiental		Vulnerabilidad	Clasificación de zona
<2.5		No vulnerable	Húmedo
2.5	5	Vulnerable	Semiárido (tipo mediterráneo)
5	7.5	Muy vulnerable	Semidesierto (árido)
7.5	10	Muy vulnerable	Desierto (Hiperárido)

Nota: (Mercado Mancera, y otros, 2010)

Además, su ecuación es:

$$ISHA = K_a - IDHA$$

Donde:

ISHA: Índice de sequía hidro ambiental.

K_a: Coeficiente adimensional (10).

IDHA: Índice de disponibilidad hidro ambiental.

3.4 Marco Legal

La Constitución Política de 1991 enfatiza en varios artículos la importancia de preservar la diversidad biológica de la nación. Cabe destacar que los artículos 8, 58, 63, 79, 80, 334, 336 y otros ahondan en temas como:

- ✚ Las responsabilidades mantenidas conjuntamente por el gobierno y sus ciudadanos incluyen el mandato de salvaguardar los tesoros culturales y ambientales de la nación (Colombia R. d., Constitución Política de Colombia 1991, 1991).
- ✚ El papel comunal de la propiedad, que conlleva deberes, abarca inherentemente una dimensión ecológica (Colombia R. d., Constitución Política de Colombia 1991, 1991).
- ✚ Carácter de intransferibilidad, incaducidad e irrefutabilidad de las reservas naturales que resguardan ejemplares representativos de la variedad biológica de la nación (Colombia R. d., Constitución Política de Colombia 1991, 1991).
- ✚ El derecho de toda persona a un entorno saludable, junto con la obligación del gobierno de salvaguardar la diversidad ambiental y mantener regiones de valor ecológico único (Colombia R. d., Constitución Política de Colombia 1991, 1991).
- ✚ El gobierno tiene el deber de formular planes de manejo y aprovechamiento de los bienes naturales para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, renovación o sustitución (Colombia R. d., Constitución Política de Colombia 1991, 1991).
- ✚ La Ley Segunda de 1959, creada con el propósito de 'salvaguardar la fauna y flora del país, otorga al Ministerio de Agricultura la facultad de designar "Parques Nacionales Naturales" en las regiones que el Gobierno Nacional, previa aprobación de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas, y Ciencias Naturales, define y deja de lado mediante decretos. Además, las zonas identificadas como "Parques Nacionales Naturales" se consideran de interés público, entre otros elementos (Sostenible, Ley 2 DE 1959, 1959).
- ✚ El artículo 1 de la Ley 79 de 1986 del Congreso Nacional establece: 'Declarar zonas forestales de protección para la salvaguarda y defensa de las aguas a las regiones, comprendiendo... todos los bosques y flora autóctona de la Nación situados en altitudes superiores a los tres mil (3.000) metros sobre el nivel del mar. el nivel del mar.' (República, 1986).

- ✚ El Decreto 2811 de 1974 establece los Lineamientos Nacionales de los Recursos Naturales Renovables y la Defensa del Medio Ambiente. El artículo 1 de este documento proclama que 'el medio ambiente es un patrimonio común. Tanto las autoridades como las entidades privadas comparten la responsabilidad en su conservación y vigilancia, reconociendo su importancia social y utilidad pública.' En el mismo documento, el artículo 21 destaca la importancia del Sistema de Datos Ambientales para el examen y estudio de los datos relacionados con el agua. Al mismo tiempo, el artículo 328, que pertenece al Marco de Parques Nacionales, enumera uno de sus objetivos como 'preservar ciertas áreas geográficas en su forma intacta... para que funcionen como puntos de referencia ecológicos para la exploración académica, investigaciones amplias y esclarecimiento ecológico' (Colombia, Decreto 2811 de 1974 , 1974).
- ✚ La Ley 99 de 1993, que establece las Bases de los Lineamientos Ambientales de Colombia, destaca en su artículo inicial que 'las áreas de páramo y subpáramo, así como los puntos de origen de las aguas y las regiones de recarga de aguas subterráneas, tendrán medidas de protección reforzadas.' (Sostenible, Ley 99 de 1993, 1993).
- ✚ En virtud de la Ley 165 de 1994, las autoridades colombianas aprobaron el "Acuerdo de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica", respetando las obligaciones establecidas durante la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. Los objetivos principales de este acuerdo abarcan: i) salvaguardar la diversidad de la vida, ii) promover la utilización duradera de sus componentes, y iii) garantizar una participación equitativa en las ventajas del uso de los recursos genéticos (Sostenible, Ley 165 de 1994 , 1994).
- ✚ La Ley 373 de 1997 del Congreso Nacional, enfocada en salvaguardar las áreas de manejo especial, detalla en su programa para el uso eficiente del agua y la conservación que 'áreas como páramos, bosques nubosos y regiones que influyen en las fuentes de acuíferos y ríos primarios, deben ser priorizados para la adquisición por las agencias ambientales pertinentes. Estas entidades tienen la tarea de realizar estudios integrales para determinar la capacidad genuina de estas áreas para proporcionar recursos y servicios ambientales, lo que lleva al comienzo de los esfuerzos de restauración, protección y conservación.' (Sostenible, Ley 373 de 1997 , 1997).

- ✚ El Decreto Unificado 1076 de 2015 consolidó varios decretos anteriores: D-2372 de 2010, D-622 de 1977 y D-1996 de 1999. Emitido el 26 de mayo de 2015, este decreto reunió las normas reglamentarias que anteriormente dirigían al Medio Ambiente y Sustentabilidad Sector Desarrollo (Sostenible, Decreto Único 1076 del 2015, 2015).
- ✚ El 1 de julio de 2010 se promulgó el Decreto 2372 que establece los lineamientos del Marco Nacional de Zonas Protegidas. Este reglamento esboza las clasificaciones dentro del marco y establece los procesos fundacionales relacionados con el mismo (Sostenible, Decreto 2372 del 1 de julio de 2010 , 2010).
- ✚ Decreto 622 del 1977 (Naturales, 1977) que reglamentan parcialmente el Capítulo V, Título II, Parte XIII, Libro II del Decreto – Ley número 2811 de 1974 (Colombia, Decreto 2811 de 1974 , 1974) sobre “Sistema de Parques Nacionales”; la Ley 23 de 1973 y la Ley 2 de 1959 (Sostenible, Ley 2 DE 1959, 1959).
- ✚ El Decreto 1996 de 1999 desarrolla los artículos 109 y 110 de la Ley 99 de 1993, sobre Santuarios Naturales de la Sociedad Civil (Civil, 1999).
- ✚ El 21 de julio de 2010, el Consejo Nacional de Política presentó el Documento CONPES 3680/10 sobre el Marco Nacional de Zonas Protegidas. Este texto establece “lineamientos para fortalecer el Marco Nacional de Zonas Protegidas” con un objetivo central:
 - Sugerir las bases y directrices esenciales para avanzar en el fortalecimiento del Marco Nacional de Zonas Protegidas de Colombia. El objetivo es transformarlo en un sistema integral y ecológicamente ilustrativo administrado de manera eficiente. Esta transformación debe ayudar en la organización regional, cumplir con los objetivos de preservación del país y alinearse con las responsabilidades de crecimiento sostenible que la nación ha asumido (Documento Conpes 3680, 2010, p.29).
- ✚ La Estrategia Nacional de Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) promueve un método revolucionario para manejar la biodiversidad y sus beneficios ecosistémicos asociados. Su intención es salvaguardar la biodiversidad, responder a los cambios ambientales y mantener la adaptabilidad dentro de los sistemas socioambientales, mejorando en última instancia la calidad de vida y el bienestar de los colombianos. Además, esta estrategia enfatiza su congruencia con los Objetivos de Aichi 2020 establecidos por el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

✚ La Ley 1955 de 2019, en consonancia con los compromisos del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 denominado "Acuerdo por Colombia - Contrato por la Equidad", llama a una estrategia modernizada para fortalecer el SINAP (Marco Nacional de Zonas Protegidas) que prevé la década de 2020 a 2030.

4.Desarrollo de la pasantía

4.1 Actividades realizadas

Las actividades realizadas durante la pasantía se desarrollaron en oficina, debido a que estas no requerían salidas a campo. En la **Tabla 8** se muestra la lista de actividades con su respectiva descripción y el tiempo invertido en semanas durante la práctica. La actividad que menos tiempo requirió fue la creación de la base de datos sobre los estudios relacionados a recurso hídrico; por el contrario, la que requirió más tiempo fue la zonificación de las distintas cuencas que abarcan el área del parque. El tiempo total de la pasantía fue de 4 meses y 7 días.

Tabla 8.Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	Tiempo de duración																
	24 de marzo	Abril				Mayo				Junio				Julio			
	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión integral de la literatura existente sobre recursos hídricos y ecosistemas acuáticos en el PNN El Cocuy	X	X															
Clasificación de los estudios según la temática y el tipo de ecosistema estudiado			X														
Recopilación de la información de acuerdo con matriz diseñada				X	X	X											
Recopilación de datos relevantes para el análisis, incluidos imágenes satelitales, datos de elevación e información hidrológica, como redes fluviales y patrones de drenaje.			x														
Determinar los niveles de zonificación para el análisis, considerando los objetivos y requerimientos específicos del PNN El Cocuy.			x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Calcular parámetros morfométricos para evaluar las características físicas de la cuenca del PNN El Cocuy.											x	x					
Integración de los datos de zonificación para crear mapas y conjuntos de datos integrales que representen los niveles de zonificación del del PNN El Cocuy.												x	x				
Analizar e interpretar los datos de zonificación y morfométricos para identificar patrones, relaciones y hallazgos clave dentro de la cuenca del PNN El Cocuy.													x	x			

Recopilar datos meteorológicos de las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas dentro del PNN El Cocuy	x		
Verificación de los datos recopilados estén completos, precisos y consistentes.	x		
Consolidación de los datos de las diferentes estaciones meteorológicas en un solo conjunto de datos.	x		
Análisis de datos exploratorios para comprender las características y patrones en los datos meteorológicos.	x	x	
Resumen de los hallazgos del análisis de datos de manera clara y concisa.	x	x	

Nota: Elaboración propia.

4.2 Metodología

Para el desarrollo de esta pasantía se manejará una metodología cuantitativa y cualitativa por medio de tres etapas las cuales serán explicadas a continuación:

Primera etapa:

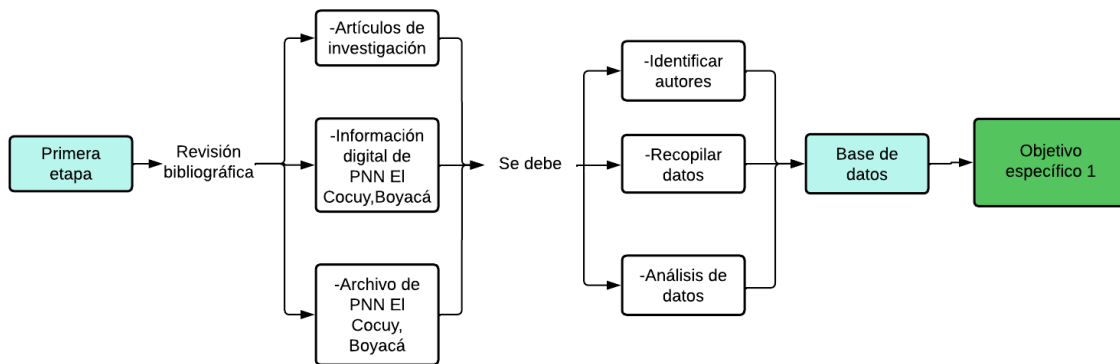
Para desarrollar el objetivo de consolidar las investigaciones realizadas en el PNN El Cocuy relacionadas con el Recurso Hídrico y los ecosistemas acuáticos, se puede aplicó la siguiente metodología:

- **Revisión de estudios existentes:** Realizar una revisión exhaustiva de los estudios existentes, trabajos de investigación, informes y cualquier otra literatura relevante relacionada con los activos hídricos y entornos basados en agua en el PNN El Cocuy. Esto ayudará a identificar las brechas de conocimiento existentes, las metodologías de investigación y los hallazgos clave.
- **Identificar Actores:** Identificar los actores clave involucrados en los estudios existentes del PNN El Cocuy.
- **Definir objetivos de investigación:** En función de la investigación destacada en el análisis de la literatura, definir objetivos de investigación específicos que aborden la consolidación de las investigaciones. Por ejemplo, los objetivos podrían incluir evaluar la calidad del agua, conservación, gestión del riesgo, etc.
- **Recopilación de datos:** implementar el diseño de investigación mediante la recopilación de datos primarios del campo y datos secundarios de fuentes relevantes. Educar al personal de investigación sobre métodos de recopilación de datos, procedimientos de muestreo y estándares de control de calidad. Recopilar datos sobre parámetros de calidad del agua, composición de especies acuáticas, características del hábitat, patrones hidrológicos y cualquier otra variable relevante.
- **Síntesis e integración:** Consolidar los hallazgos de las diferentes investigaciones en una matriz (base de datos), para así poder identificar las conclusiones de los estudios.
- **Recomendaciones:** Con base en los hallazgos consolidados, reconocer las recomendaciones de manejo que mencionan los autores de acuerdo con la investigación realizada ya sea para el recurso hídrico y/o ecosistemas acuáticos en el PNN El Cocuy.

- **Comunicación y Difusión:** Presentar los hallazgos, conclusiones y recomendaciones a las partes es decir a las autoridades del parque, los investigadores y las comunidades locales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó el siguiente gráfico para la obtención del primer objetivo específico:

Ilustración 1. Metodología objetivo específico 1.



Nota: Elaboración propia.

Segunda etapa:

Para la segunda etapa, se realizó una división para la obtención de la información de la siguiente manera:

○ **Zonificación y Codificación**

-Recopilación de datos: Recopilar datos relevantes como mapas topográficos, modelos digitales de elevación (DEM) e imágenes satelitales, información sobre el uso de la tierra y características del suelo. Estos datos servirán como base para el proceso de zonificación.

-Delineación de cuencas hidrográficas: Implementar el uso de herramientas y técnicas del Sistema de información geográfica (SIG) para delinear los límites de las cuencas hidrográficas dentro del área de estudio. Esto implica identificar la red de drenaje y dividir el área en unidades hidrológicas.

-Criterios de Zonificación: Definir los criterios para la zonificación hidrológica en base a los objetivos y requerimientos específicos del estudio.

-Clasificación de Zonificación: Aplicar los criterios definidos por el IDEAM para clasificar las cuencas hidrográficas en diferentes niveles (por ejemplo, Nivel II y III), esto por medio del software ArcGIS.

-Codificación: Tener presente la metodología propuesta por el IDEAM para poder codificar las unidades hidrográficas obtenidas en la zonificación de los niveles II y II.

-Documentación: Presentar los resultados en mapas, tablas e informes, destacando la clasificación de zonificación obtenida y la justificación detrás de ella.

Es importante aclarar, que la información obtenida por medio de esta metodología es un insumo generado por medio de todas las consultas mencionadas anteriormente con el fin de plasmar todos los mapas e imágenes como recurso para el PNN El Cocuy. Además, cabe resaltar que todos estos documentos son edición y elaboración propia.

○ **Morfometría**

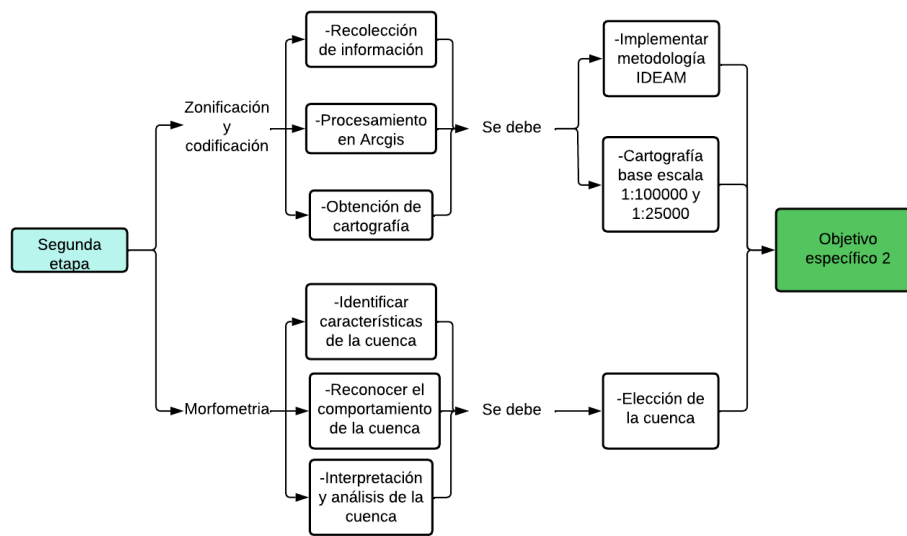
Para realizar el análisis morfométrico de las microcuencas, subcuencas y la cuenca principal se aplicó la siguiente metodología:

-Recopilación de datos: Recopilar datos relevantes para la cuenca, incluidos mapas topográficos, modelos digitales de elevación (DEM) e imágenes satelitales. Además de adquirir datos hidrológicos como redes de arroyos, perfiles de ríos y límites de cuencas hidrográficas.

-Procesamiento: De acuerdo con la zonificación obtenida se identificaron las áreas a las cuales se les realizaría el respectivo análisis morfométrico.

Igual que la primera etapa, se diseñó un gráfico para la obtención del segundo objetivo específico:

Ilustración 2. Metodología objetivo específico 2.



Nota: Elaboración propia.

Tercera etapa:

Para analizar los datos de las estaciones meteorológicas se puede aplicar la siguiente metodología:

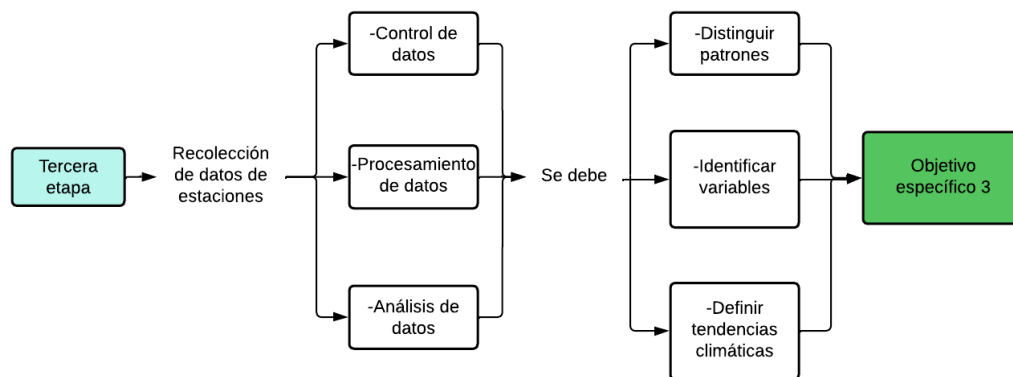
- **Recopilación de datos:** Recopilar datos meteorológicos de las estaciones meteorológicas de interés. Esto puede incluir parámetros como temperatura, precipitación, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar y presión atmosférica. Se debe asegurar que los datos sean precisos, completos y registrados correctamente durante el período de tiempo deseado.
- **Control de calidad de datos:** Realizar procedimientos de control de calidad de datos para identificar y corregir cualquier error o inconsistencia en los datos recopilados. Esto puede implicar la comprobación de valores perdidos, valores atípicos y lecturas erróneas. Aplicar técnicas estadísticas apropiadas o métodos de validación de datos para garantizar la confiabilidad del conjunto de datos.
- **Preprocesamiento de datos:** Preprocesar los datos para que sean adecuados para el análisis. Esto puede implicar convertir los datos a un formato uniforme, estandarizar las unidades de medida y agregar los datos en intervalos de tiempo apropiados (por ejemplo, por hora, por día, por mes). Aplicar las transformaciones o cálculos necesarios para

derivar variables adicionales si es necesario (p. ej., temperatura del punto de rocío, índice de calor).

- **Visualización de datos:** Crear visualizaciones para comunicar de manera efectiva los datos meteorológicos a partir de la generación de diagramas como gráficos de líneas, histogramas, diagramas de dispersión o diagramas de caja para visualizar los patrones, las distribuciones y las relaciones entre los diferentes parámetros meteorológicos. Utilizar etiquetas, títulos y leyendas adecuados para mejorar la claridad y la interpretación de las visualizaciones.
- **Análisis de eventos extremos:** Identificar y analizar eventos climáticos extremos, como olas de calor, olas de frío, fuertes lluvias o vientos fuertes. D
- **Interpretación e informes:** Interpretar los resultados del análisis de datos, extraer conclusiones e información de los hallazgos. Resumir el análisis en un documento, incluidos los hallazgos clave, las visualizaciones, los resultados estadísticos y cualquier recomendación relevante. Así mismo, explicar las tendencias que puedan implicar variaciones de temperatura, precipitación, humedad, patrones de viento y otros elementos meteorológicos.

Finalmente, este es el gráfico que se obtuvo para el desarrollo de tercer objetivo específico:

Ilustración 3. Metodología objetivo específico 3.



Nota: Elaboración propia.

La propuesta en tres etapas se ejecutó para lograr el desarrollo de cada meta específica de la manera más efectiva, cumpliendo así con el objetivo general de la pasantía en PNN en el municipio de El Cocuy, Boyacá.

5.Resultados

5.1 Base de datos investigaciones de recurso hídrico y ecosistemas acuáticos

Los resultados de la evaluación del conjunto de datos sobre artículos de investigación de recursos hídricos en el PNN El Cocuy revelan información importante sobre la dinámica hidrológica del parque. A través de una extensa revisión de estudios relevantes, surgieron varios hallazgos clave que arrojan luz sobre la disponibilidad, la calidad y las interacciones ecológicas del agua dentro de este entorno natural prístino. Para la obtención del conjunto de datos, se determinó una elección de documentos teniendo presente en primer lugar los documentos electrónicos que tenía PNN en el Cocuy, Boyacá, en segundo lugar, se hizo revisión del archivo físico y se complementó por medio de búsqueda en páginas y revistas web, obteniendo un total de 25 artículos relacionados a estudios sobre recurso hídrico y ecosistemas acuáticos de los cuales 12 corresponden a las documentos electrónicos, 5 en el archivo físico y 8 con la búsqueda complementaria.

Luego de haber obtenido dichos artículos, se inició la clasificación de estos por medio de una matriz la cual contiene el título del documento, seguido por una clasificación de acuerdo con la temática y el tipo de ecosistema en el que se centró la investigación. De igual manera, se manejaron casillas en las que se incluyeron los autores, año de estudio los cuales se encuentran desde 1998 al 2020, objetivos, las recomendaciones que los autores sugieren que sean aplicados por PNN El Cocuy, los resultados más relevantes y finalmente las coordenadas del lugar del estudio. Para la clasificación de acuerdo con la temática se manejaron 5 opciones las cuales son oferta/demanda hídrica, calidad del agua, gestión del riesgo, estado o presión de ecosistemas y conservación de estos, así mismo, para reconocer el tipo de ecosistema estudiado se manejaron 4 elecciones la cuales fueron Ríos de páramos, Ríos de bosque, Lagunas y humedales. Este resultado se puede observar en el siguiente *Anexo 1*.

La revisión extensa de este conjunto de datos presenta una comprensión integral de la dinámica hidrológica dentro del PNN El Cocuy. La variedad de fuentes, tanto electrónicas como físicas, garantiza una representación diversa de la investigación. La clasificación sistemática por tema y tipo de ecosistema permite una revisión organizada y eficiente, lo que

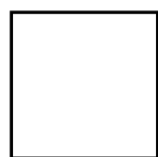
facilita la identificación de patrones, lagunas y conocimientos cruciales sobre la disponibilidad, la calidad y las interacciones ecológicas del agua en el parque.

En otras palabras, esta evaluación actúa como un recurso invaluable para comprender la intrincada dinámica hidrológica y ecológica del PNN El Cocuy, allanando el camino para la toma de decisiones informadas y estrategias de conservación en el futuro.

5.2 Zonificación y codificación de cuencas hidrológicas

Para la obtención de esta zonificación y codificación de cuencas hidrológicas del PNN El Cocuy, Boyacá, se tuvo en cuenta la metodología diseñada por el IDEAM ya que esta involucra la categorización y organización de los recursos hídricos de Colombia en áreas diferenciadas con base en las características y usos hidrológicos, además este proceso ayuda en la gestión, planificación y preservación eficiente de los activos hídricos, asegurando el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. A su vez, se requirió del uso de software de ArcGIS 10.8, dado que este permite realizar la gestión, el análisis y visualización de datos espaciales, así como crear, mapear y analizar datos geográficos para diversas aplicaciones, incluida la administración ecológica, desarrollo de la ciudad y evaluación de los bienes naturales.

Seguido a esto, para la definición y obtención de cuencas o áreas de captación, se usó un DEM de 12 metros, ya que este ofrece un mayor detalle espacial, debido a que por medio de este se debían adquirir otras capas necesarias para realizar la zonificación. La primera capa obtenida por medio de este DEM, fue la de llenado (Fill), ya que a través de esta se logran eliminar pequeñas imperfecciones de la superficie. Seguido a esto se obtuvo el curso del flujo (Flow Direction), que identifica la ruta que sigue una gota de agua desde cada uno de los píxeles, así mismo se consiguió la acumulación de flujos (Flow Accumulation), esta función calcula el peso del flujo acumulado de todas las celdas y dependiendo de la dirección que tome el flujo se presenta una sumatoria de las celdas que contribuyen a la acumulación. Por otro lado, se generó la capa de la definición de corriente (Stream Definition), la cual establece las corrientes a partir de la superficie raster de acumulación de flujos para un área sugerida, para la obtención de una red de drenaje se debe especificar un umbral que defina la cantidad de píxeles adyacentes que constituyen al píxel. Teniendo en cuenta que el píxel empleado fue el de 12m el área de captación sugerida fue de 3 Km².



12m

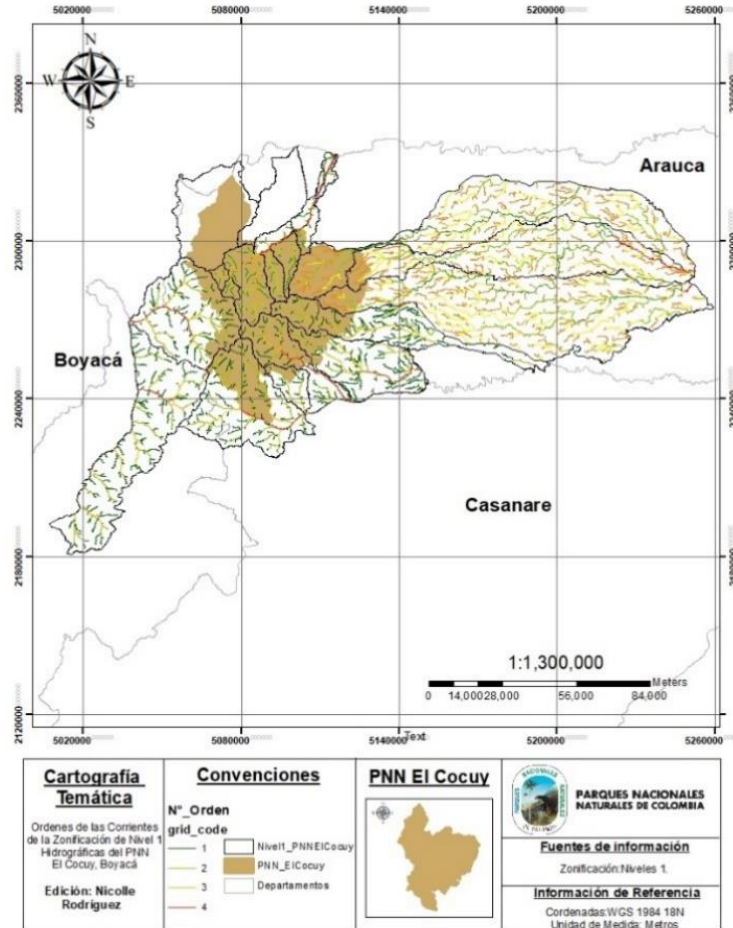
$$12 \times 12 = 144 \text{ m}^2$$

$$3 \text{ Km}^2 = 3'000.000 \text{ m}^2$$

$$3 \text{ Km}^2 = 20833 \text{ pixels}$$

Realizando la relación correcta, un área de 3Km² contiene 20833 pixeles de 12 metros, siendo este el umbral para el área de Captación. Finalmente, se obtuvieron los órdenes de las corrientes (Stream Order) para reconocer y categorizar varios patrones de flujo sobre la base del número de afluentes, esta asignación de orden numérico es para todos los segmentos de la red de drenajes iniciando desde su nacimiento. La técnica adoptada fue la de Strahler, que eleva el orden por convergencia en una intersección drenajes con el mismo orden. Ahora bien, es importante aclarar que el IDEAM, ya tiene la zonificación y codificación de las áreas y zonas hidrográficas, de igual manera en Parques Nacionales Naturales realizaron el mismo proceso para la subzona hidrográfica y el Nivel I de unidades hidrográficas para las áreas protegidas. Por medio de estas capas, y los procesos mencionados anteriormente se procedió a la obtención de los niveles II y III de las unidades hidrográficas del PNN El Cocuy, Boyacá. Hay que mencionar, además, que estos shapes se generaron teniendo presente el orden de las corrientes, para el caso del Nivel II el orden tomado es el que antecede al de mayor orden del Nivel I y para el Nivel III el que anticipa al orden tomado para las cuencas del nivel II. Como se observa en el *Mapa 1* se puede apreciar el orden de las corrientes con respecto a la zonificación del Nivel I, las cuales fueron tenidas en cuenta para la obtención de los niveles II y III.

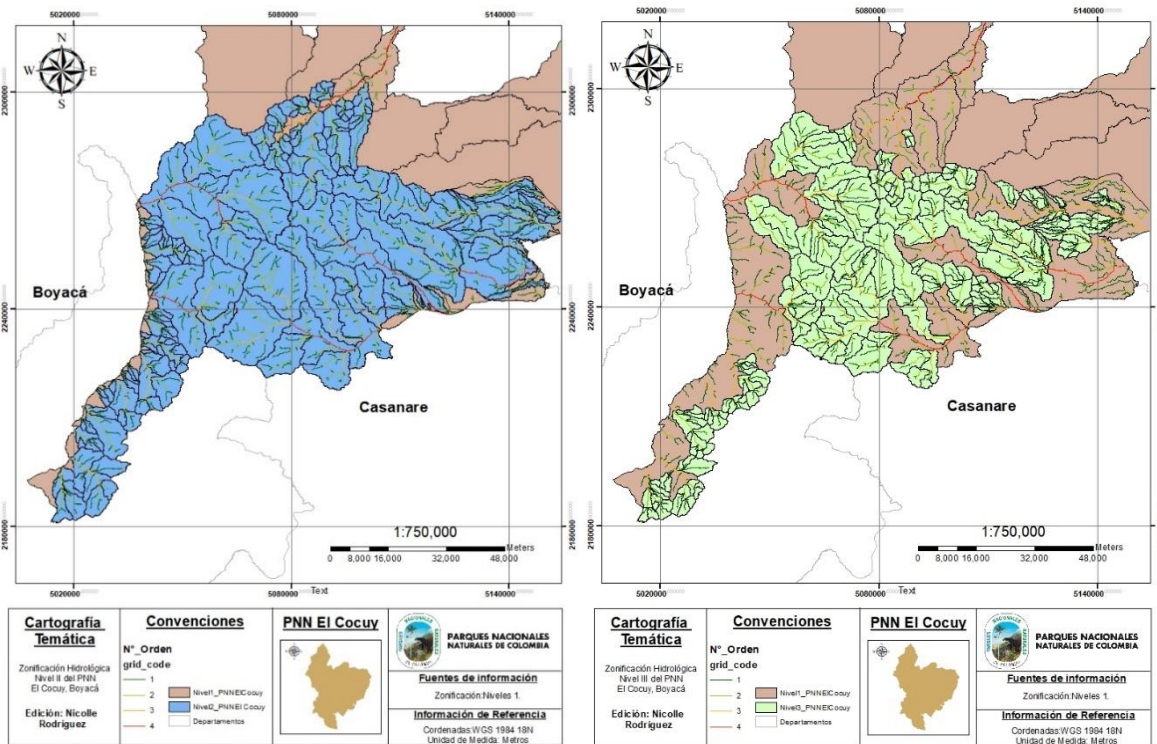
Mapa 1. Orden de las Corrientes Nivel I del PNN El Cocuy, Boyacá.



Nota: Elaboración propia.

Por consiguiente, se procedió a realizar la zonificación de los niveles (II y III) de acuerdo con lo mencionado anteriormente. En el **Mapa 2**, se pueden apreciar estos niveles de zonificación hidrológica, específicamente para las subzonas hidrográficas del Río Chicamocha, Río Bojabá y Río Casanare.

Mapa 2. Zonificación hidrológica Nivel II y Nivel III del PNN El Cocuy, Boyacá.



Nota: Elaboración Propia.

Después de la obtención de estos niveles hidrológicos teniendo presente el orden de las corrientes, se procedió a realizar la codificación de cada uno de los polígonos y además agregarles su respectivo nombre. Para la correspondiente codificación, se adoptó la metodología de Otto Pfafstetter en Brasil en 1989, que luego fue adoptada por Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) introducido en 1997 como el Marco de Codificación Estándar Internacional. IDEAM luego ajustó esto, proponiendo un código para identificar unidades hidrográficas dentro del SIRH (Marco de Información de Recursos Hídricos) consista en una secuencia numérica consecutiva de 10 dígitos. El código evita letras y caracteres especiales para impedir posibles problemas con mayúsculas, espacios, acentos y otros problemas de codificación. El código numérico consecutivo se utiliza para registrar unidades hidrográficas con mayor granularidad, incluyendo subzonas y fuentes de agua. El código está establecido de la siguiente manera:

Ilustración 4. Código numérico para la codificación.

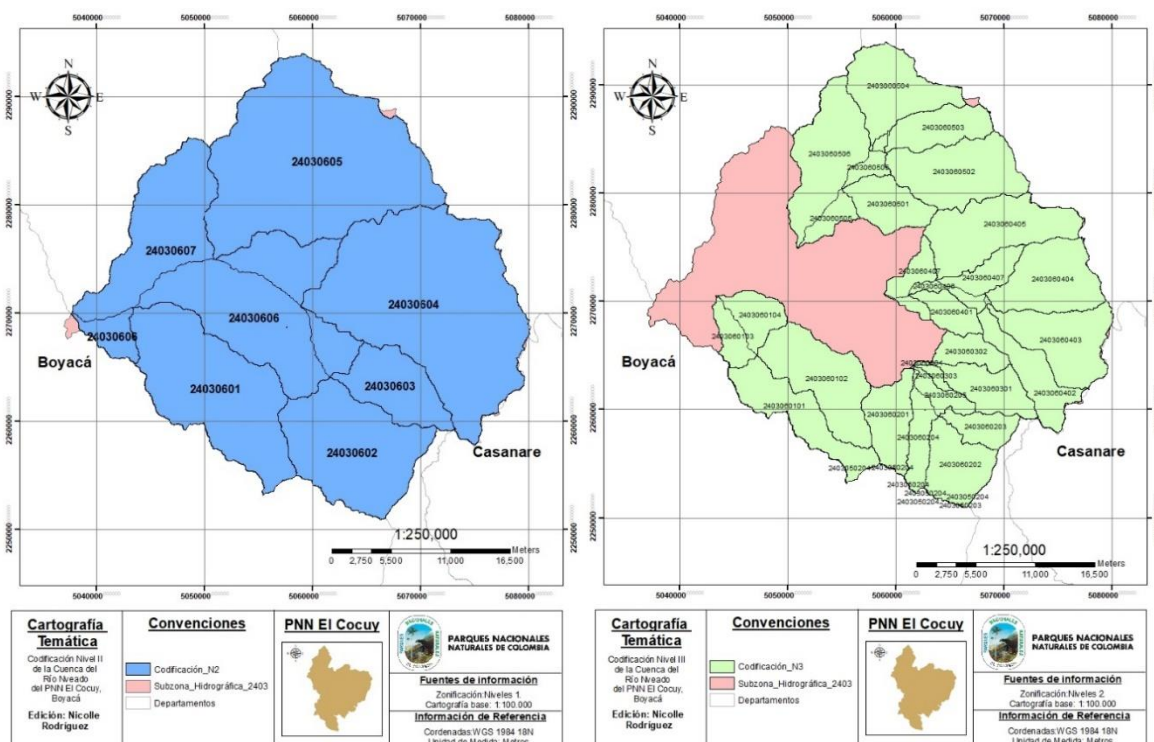


Nota: (IDEAM, Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrológicas de Colombia, 2013)

De acuerdo con la **Ilustración 4**, se puede observar que el primer dígito hace referencia a las áreas hidrográficas las cuales son 5 (Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Amazonas, Pacífico), el segundo dígito son las zonas hidrográficas (41), el tercer dígito hace referencia a la subzona hidrográfica. Los siguientes 6 dígitos son asignados por las corporaciones autónomas con apoyo de la cartografía base oficial y el DEM. El quinto y sexto código enseñan el número de la unidad hidrográfica para el Nivel I, estas unidades hidrológicas se pueden dividir aún más y, al igual que en la codificación de nivel I, los niveles II y III se codifican secuencialmente según la identificación del punto de salida y el drenaje primario. El séptimo y octavo dígito permiten codificar la unidad hidrográfica Nivel II la cual se obtuvo de la degradación del Nivel I. Finalmente, el noveno y décimo dígito indican el número de la unidad hidrográfica III que se obtuvo de la degradación del Nivel II.

De manera que, el orden de las codificaciones de cada uno de los niveles se hicieron a partir del punto de desembocadura y en contra de las manecillas del reloj asignando valores de manera consecutiva iniciando desde 01, hasta retomar a la desembocadura, las subdivisiones que quedaron al interior fueron enumeradas después de que se terminó la codificación de todas aquellas que se encontraban dentro de los límites de la unidad y estos también deben ser enumerados en contra de las manecillas del reloj. A continuación, se puede contemplar la creación de la codificación de Nivel II y Nivel III (**Mapa 3**) de la Subzona Hidrográfica del Río Chicamocha (240306), las otras codificaciones se pueden observar en el **Anexo 2** y **Anexo 3**.

Mapa 3. Codificación de los Niveles II y III de la Cuenca del Río Nevado.



Nota: Elaboración Propia.

Por último, para poder nombrar cada uno de estos polígonos de acuerdo con su corriente se usaron las respectivas capas de drenajes dobles y sencillo, además de una cartografía base suministrada por la entidad.

La obtención de la codificación hidrológica y la zonificación de esta cuenca proporcionara información crítica sobre la jerarquía espacial y los patrones de drenaje de la cuenca. Al categorizar sistemáticamente las subcuencas e identificar sus códigos respectivos, se puede comprender cómo fluye el agua desde los afluentes más pequeños hacia los sistemas fluviales más grandes dentro de la cuenca. Este proceso de codificación y zonificación facilita la gestión eficiente de los recursos hídricos, la evaluación del riesgo de inundaciones y la planificación de la conservación. Además, comprender la jerarquía y las interconexiones de las subcuencas puede guiar el desarrollo de infraestructura y las evaluaciones de impacto ambiental. De igual manera, este conocimiento ayuda a predecir los efectos de los cambios

en el uso de la tierra sobre la calidad y disponibilidad del agua, lo que permite medidas proactivas para la gestión sostenible de la cuenca.

Cabe aclarar que esta zonificación y codificación es un producto elaborado de manera autentica y sin replicación previa por parte de nadie más.

5.2.1 Morfometría de la cuenca

En cuanto a la morfometría se decidió realizar la de la Subzona Hidrográfica del Río Chicamocha (240306) la cual corresponde al Nivel I, de igual manera se realizó la de los siguientes niveles (II, III) de esta subzona, debido a que esta cuenca es de las más importantes dentro del PNN El Cocuy.

Características Generales

Generalmente, los límites y tamaños de las cuencas de drenaje tienden a aumentar en la dirección Norte-Sur, pero en este caso estas disminuyen en dirección contraria (Sur-Norte). Como se observa en la **Tabla 9**, se puede apreciar la clasificación de tamaños de la cuenca, donde es evidente que el Río Nevado corresponde a una cuenca por su gran área, los Ríos Cifuentes, Pantano Grande, Cóncavo y Chiscano corresponden a subcuencas y los Ríos El Mortiño, Lagunillas, nacimiento del Río cóncavo, San Pablín, Mosco y Casiano se catalogan como microcuencas ya que estas presentan áreas menores a los 100 Km², pero un área mayor los 20 Km². La misma tendencia se observa en la longitud máxima del recorrido, el ancho máximo y la longitud del cauce principal. De igual manera en esta tabla se encuentran otros parámetros que fueron requeridos para calcular las diferentes características de estas áreas.

Tabla 9. Características generales de las microcuencas, subcuencas y cuenca del PNN El Cocuy, Boyacá.

Nombre	Nivel	Código	Área		Perímetro	Longitud de máximo recorrido	Ancho máximo	Vertiente mayor	Vertiente menor	Elevación media de la cuenca	Altitud media del relieve	Longitud total de las corrientes	Altura máxima	Altura mínima	Longitud del cauce principal
			Km2	Nombre	Km	Km	Km	Km2	Km2	msnm	Km	Km	msnm	msnm	Km
Río Nevado	1	240306	1091.5	Cuenca	161.7	43.2	43.7	716.6	368.5	3719.5	3.7	428.6	5300	1200	51.7
Río Cifuentes	2	24030602	139.4	Subcuenca	78.8	21.4	9.4	80.6	58.8	3085.1	3.1	46.3	4200	3200	15.5
Río Pantano Grande	2	24030603	111.5	Subcuenca	62.7	14.5	13.7	84.0	27.5	3818.0	3.8	44.7	4200	2800	16.5
Río El Mortiño	2	24030604	49.2	Microcuenca	45.1	12.5	5.9	32.0	17.2	3789.2	3.8	25.3	4400	2800	16.5
Río Cóncavo	2	24030605	256.9	Subcuenca	103.7	21.0	22.3	146.9	110.0	4262.7	4.3	106.5	5300	2200	27.9
Río Chiscano	2	24030606	254.9	Subcuenca	102.5	21.5	17.2	138.9	116.0	3650.9	3.7	99.2	4600	2200	26.2
Río Lagunillas	3	2403060503	32.7	Microcuenca	48.5	3.4	9.4	21.8	10.9	4261.9	4.3	14.9	5000	3200	15.5
Río Cóncavo	3	2403060504	51.4	Microcuenca	50.0	12.9	8.5	30.8	20.5	4508.7	4.5	21.4	5300	3200	16.0
Río San Pablín	3	2403060505	53.0	Microcuenca	43.1	11.4	7.0	31.8	21.2	4460.0	4.5	24.4	5300	3200	17.2
Río Mosco	3	2403060506	65.2	Microcuenca	56.5	15.9	6.5	39.4	25.8	4037.7	4.0	23.3	5200	2600	18.1
Río Casiano	3	2403060603	62.3	Microcuenca	50.8	13.6	7.3	40.5	21.8	3880.4	3.9	21.4	4800	2800	16.5

Nota: Elaboración Propia.

Índice y coeficientes de forma

En cuanto al índice de gravellius se obtuvo como resultado que la Cuenca del Río Nevado presenta una forma redonda- ovala (**Tabla 10**) lo que sugiere que presenta un drenaje simétrico que fluye en múltiples direcciones desde el centro, pero también cuenta con un drenaje más largo a lo largo de un eje, lo que influye en el flujo de agua y la distribución de la esorrentía en la cuenca. Para las subcuencas y microcuencas todas presentaron una forma oval oblonga (**Tabla 10**) lo que indica que son alargadas y de forma elíptica, con un eje significativamente más largo que el otro. Esto influye en el flujo de agua y la distribución de la esorrentía dentro de estas, afectando la dinámica hidrológica y los patrones de drenaje. En cuanto al factor de forma se obtuvo que todas las microcuencas, subcuencas y cuenca presentan forma estirada con mínima vulnerabilidad a inundaciones (**Tabla 10**) lo que reduce el riesgo de inundaciones. Su elongación permite que el agua fluya rápidamente a lo largo del canal principal, minimizando la acumulación de agua y disminuyendo la susceptibilidad a inundaciones. Por otro parte, el índice de alargamiento para la gran mayoría de los ríos fue alargada (**Tabla 10**) lo que revela que existe una mayor relación de largo-ancho, únicamente la microcuenca del Río Lagunillas presento un alargamiento con cauce principal caracterizándolo por una forma alargada con una longitud de flujo limitada. Esta configuración puede llevar a una menor retención de agua y un flujo más lento, lo que afectaría el drenaje y la gestión del agua en la cuenca. A su vez, el índice asimétrico arroja que todos estos ríos se recargan a una de las vertientes (**Tabla 10**) permitiendo identificar que presentan una forma desigual, con una pendiente que recibe más recarga, esto influye en los patrones de flujo y drenaje del agua, afectando las características hidrológicas de la cuenca, subcuencas y microcuencas en la distribución del agua

Tabla 10. Índices y coeficientes de forma para la clasificación de microcuencas, subcuencas y cuenca del PNN El Cocuy, Boyacá.

Nombre	Nivel	Código	Índices y coeficientes de forma para la clasificación de cuencas							
			Índice de compacidad o Índice de Gravellius	Interpretación	Factor de forma (F)	Interpretación	Índice de alargamiento	Interpretación	Índice asimétrico	Interpretación
Río Nevado	1	240306	1.37	Redonda-Ovalada	0.59		0.99	Alargada	1.94	
Río Cifuentes	2	24030602	1.87		0.30		2.29	Alargada	1.37	
Río Pantano Grande	2	24030603	1.66		0.53		1.06	Alargada	3.05	
Río El Mortiño	2	24030604	1.80		0.31		2.11	Alargada	1.86	
Río cóncavo	2	24030605	1.81		0.58		0.94	Alargada	1.34	
Río Chiscano	2	24030606	1.80	Cuenca oval oblonga	0.55	Alargada, baja susceptibilidad a las avenidas	1.25	Alargada	1.20	Cauce principalmente recargado a una de las vertientes
Río Lagunillas	3	2403060503	2.38		2.86		0.36	Cuenca alargada y por lo tanto el cauce principal es corto	2.00	
Río cóncavo	3	2403060504	1.95		0.31		1.52	Alargada	1.50	
Río San Pablín	3	2403060505	1.66		0.41		1.64	Alargada	1.50	
Río Mosco	3	2403060506	1.96		0.26		2.44	Alargada	1.53	
Río Casiano	3	2403060603	1.80		0.34		1.86	Alargada	1.86	

Nota: Elaboración propia.

Parámetro de relieve

Al mismo tiempo, se calcularon los parámetros con respecto al relieve en los que se identificó la elevación media de cada uno de los cauces los cuales se encuentran entre los 3000 y 4200 msnm. A su vez, se calculó la pendiente media de la cuenca (%), gracias a este se lograron identificar los tipos de relieve, el que más se destaca es el relieve ‘muy escarpado’ lo que refleja que tiene un terreno accidentado y empinado, lo que hace que el agua fluya rápidamente cuesta abajo. Esta topografía empinada acelera el movimiento del agua, lo que puede generar mayores tasas de erosión y escorrentía rápida; por otro lado, está el relieve escarpado que presenta variaciones significativas en la elevación (

Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros de relieve de las microcuencas, subcuencas y cuenca del PNN El

Nombre	Nivel	Código	Parámetros de relieve		
			Elevación media de la cuenca	Pendiente media de la cuenca	Tipo de relieve
Río Nevado	1	240306	3719.52	0.82	Muy escarpado
Río Cifuentes	2	24030602	3085.06	0.91	
Río Pantano Grande	2	24030603	3818.03	0.68	Escarpado
Río El Mortiño	2	24030604	3789.19	0.48	
Río Concavo	2	24030605	4262.67	0.82	
Río Chiscano	2	24030606	3650.94	0.79	
Río Lagunillas	3	2403060503	4261.90	0.77	Muy escarpado
Río Concavo	3	2403060504	4508.70	0.89	
Río San Pablín	3	2403060505	4460.00	0.84	
Río Mosco	3	2403060506	4037.70	0.82	
Río Casiano	3	2403060603	3880.43	0.81	

Cocuy, Boyacá.

Nota: Elaboración propia.

Parámetros de relieve con respecto a la erosión.

Otro aspecto evaluado para reconocer las características morfométricas de estas microcuencas, subcuencas y cueca fue el coeficiente de masividad los cuales cuentan con terreno muy montañoso, montañoso y moderadamente macizo lo que indica que es una región con diferencias sustanciales de elevación y pendientes variadas. La presencia de montañas contribuye al rápido flujo de agua, al aumento de la escorrentía y a la posible erosión, mientras que el terreno escarpado a menudo canaliza el agua rápidamente a

través de valles estrechos, lo que hace que la cuenca sea más susceptible a inundaciones repentinas durante las lluvias intensas.

Tabla 12. Parámetros de relieve con respecto a la erosión del PNN El Cocuy, Boyacá.

Nombre	Nivel	Código	Parámetros de relieve con respecto a la erosión		
			Coefficiente de masividad	Interpretación	Coefficiente orográfico
Río Nevado	1	240306	3.41		0.01
Río Cifuentes	2	24030602	22.13	Moderadamente	0.07
Río Pantano Grande	2	24030603	34.26		0.13
Río El Mortiño	2	24030604	77.05	Muy Montañoso	0.29
Río Concavo	2	24030605	16.59	Moderadamente	0.07
Río Chiscano	2	24030606	14.32		0.05
Río Lagunillas	3	2403060503	130.53	Muy Montañoso	0.56
Río Concavo	3	2403060504	87.77		0.40
Río San Pablín	3	2403060505	84.22	Montañoso	0.38
Río Mosco	3	2403060506	61.97		0.25
Río Casiano	3	2403060603	62.26		0.24

Nota: Elaboración propia.

Parámetros relativos a la red de drenaje

También cabe destacar que las características del sistema de drenaje juegan un papel fundamental en la gestión de inundaciones, la supervisión de los recursos hídricos, la mitigación de la erosión, la garantía del bienestar ecológico, la planificación de la infraestructura y la protección de la pureza del agua. Además, ayuda a adaptarse a los cambios climáticos, lo que sustenta la administración duradera del agua y la preservación ecológica. Es por ello, que uno de los parámetros calculados fue la relación de bifurcación la cual hace referencia a la división de un río en corrientes más pequeñas. El valor de este índice de bifurcación de cada una de estas áreas oscila entre 1 y 3, indicando que estos presentan una red fluvial de moderada a densa, lo que revela un número sustancial de corrientes ramificadas y una mayor densidad de drenaje en la región. Otro aspecto calculado fue la relación de longitud y de elongación, la primera se hayo con la finalidad de poder conocer la longitud total de todos los segmentos del río debido a que esta se correlaciona con el área de drenaje, y la segunda para confirmar la forma de la cuenca. Otro parámetro que se tuvo en cuenta fue el de la densidad de los drenajes, este es vital para evaluar la distribución de la red fluvial.

La densidad de estos ríos se encuentra entre 0.30 y 0.45 implicando que presentan una red moderadamente densa con un equilibrio entre canales de drenaje y área de la cuenca. Por otro parte, el factor de estabilidad de un curso de agua es esencial, ya que refleja el equilibrio entre la entrada y salida de sedimentos, lo que influye en desgaste y movimiento de sedimentos. A partir de estos, es imperativo reconocer que esta constante de estabilidad para estas áreas se encuentran entre 2 y 3 lo que revela que los cauces de estos ríos son relativamente estables con una capacidad moderada de transporte de sedimentos, lo que afecta el mantenimiento del cauce y la salud del ecosistema. Al mismo tiempo, se calculó el índice de Torrencialidad, esta característica es de suma importancia debido a que permite evaluar la intensidad del transporte de sedimentos y el riesgo potencial de inundaciones. Como se puede observar en la **Tabla 13**, la subcuenca del Río Chiscano fue la que presentó el mayor índice (2.57) enseñando que este presenta una alta capacidad de movimiento de sedimentos, lo que sugiere un mayor desgaste y riesgo de inundaciones intensas. El resto de las áreas de captación arrojaron un valor menor a 1, lo que insinúa que en estos lugares hay baja capacidad de transporte de sedimentos. De la misma forma, se calculó la pendiente media del cauce la cual superó el valor del 80% en cada una de estas áreas lo que denota que son terrenos extremadamente empinados. Este gradiente pronunciado conduce a un flujo de agua rápido, un alto potencial de erosión y un mayor riesgo de inundaciones. Todavía cabe señalar, que se conjeturó el tiempo de concentración para estas microcuencas, subcuencas y cuencas de la Subzona hidrográfica del Río Chicamocha para distinguir la duración requerida para que el agua se mueva desde la ubicación más distante de la cuenca hasta su salida. Es importante tener presente que entre menor sea este valor sugiere que se presenta una escorrentía rápida que podría provocar inundaciones y si por el contrario es más largo implica una escorrentía más lenta y un riesgo de inundación reducido, lo que le da a la cuenca más tiempo para atenuar y administrar el flujo de agua. Todos los datos obtenidos se aprecian en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Parámetros relativos a la red de hidrográfica del PNN El Cocuy, Boyacá.

Nombre	Nivel	Código	Parámetros relativos a la red hidrográfica								
			Relación de bifurcación (Horton)	Relación de longitud	Relación de elongación	Densidad de los cauces (Método de Horton)	Constante de estabilidad del río	Índice de Torrencialidad	Pendiente media del cauce (Método elevaciones extremas)	Tiempo de Concentración (Temez/Horas)	Sinuosidad del cauce
Río Nevado	1	240306	1.58	0.58	0.72	0.39	2.55	0.18	79.32	2.62	1.15
Río Cifuentes	2	24030602	1.95	0.94	0.43	0.33	3.01	0.08	90.91	1.72	1.28
Río Pantano Grande	2	24030603	1.71	0.54	0.72	0.40	2.50	0.18	85.08	1.08	1.06
Río El Mortiño	2	24030604	3.19	0.39	0.48	0.51	1.95	0.39	97.23	1.06	1.06
Río Cóncavo	2	24030605	1.88	0.55	0.65	0.41	2.41	0.21	111.23	1.54	1.12
Río Chiscano	2	24030606	2.94	0.50	0.69	0.39	2.57	2.57	91.48	1.52	1.17
Río Lagunillas	3	2403060503	2.00	2.75	0.41	0.45	2.20	0.06	115.86	0.98	1.09
Río Cóncavo	3	2403060504	2.00	0.92	0.51	0.42	2.40	0.25	131.33	0.98	1.04
Río San Pablín	3	2403060505	2.38	0.41	0.48	0.46	2.17	0.08	122.08	1.05	1.42
Río Mosco	3	2403060506	2.50	0.78	0.50	0.36	2.80	0.38	143.64	1.05	1.11
Río Casiano	3	2403060603	1.25	1.17	0.54	0.34	2.91	0.08	121.01	1.02	1.07

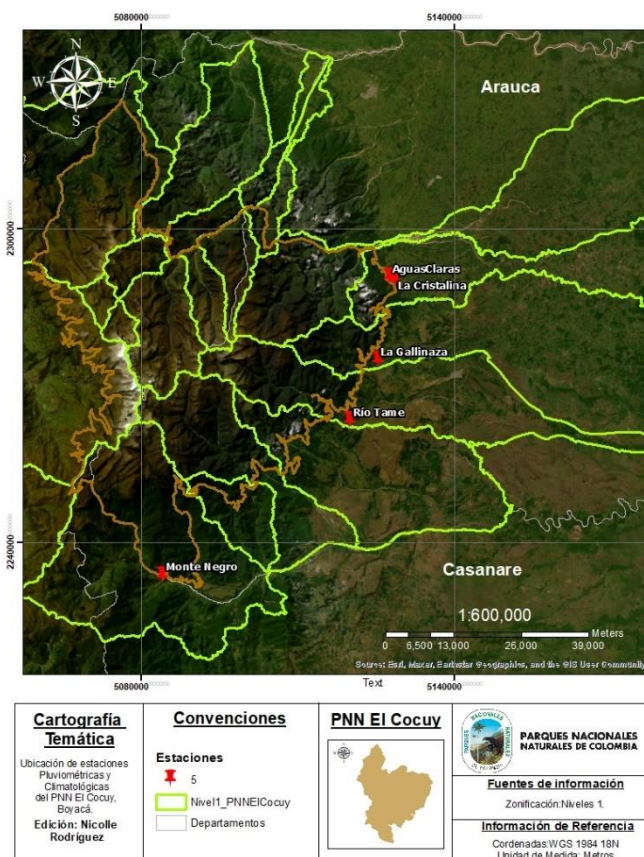
Nota: Elaboración propia.

Calcular los parámetros morfométricos de una cuenca es integral para comprender su comportamiento hidrológico y geomorfológico. La determinación precisa de estas características ayuda a predecir la respuesta de la cuenca a los eventos de lluvia, facilita la gestión eficiente de los recursos hídricos y respalda la planificación de infraestructura, especialmente en áreas propensas a inundaciones o deslizamientos de tierra. Además, guía las iniciativas de conservación al identificar regiones vulnerables a la degradación ambiental y ayuda a evaluar los impactos potenciales de los cambios en el uso de la tierra o los cambios climáticos en la hidrología de la cuenca.

5.3 Análisis de datos estaciones climáticas del PNN El Cocuy

Las estaciones usadas para el correspondiente análisis de datos se encuentran ubicadas en la parte oriental del parque más exactamente en las subzonas hidrográficas del Río Casanare (3602) y el Río Cravo Norte (2603) las cuales hacen parte de la región de conservación y su zona de amortiguamiento circundante. Estas estaciones reciben el nombre de La Cristalina, La Gallinaza, Río Tame, Aguas Claras y Montenegro, todas estas estaciones manejan datos de precipitación, pero solo las dos últimas presentaban datos de temperatura, humedad relativa y velocidad máxima del viento. La localización de estas se puede apreciar en el **Mapa 4**.

Mapa 4. Ubicación de estaciones pluviométricas y climatológicas en el costado oriental del PNN El Cocuy, Boyacá.



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos disponibles de estas estaciones y la fecha de su instalación se manejaron los años de 2017, 2018, 2019 y 2020 según correspondía, es trascendental destacar

que estas estaciones presentan ausencia de datos. A partir de esto, se generaron hidrogramas y gráficos de barras y líneas según el parámetro a estudiar y a su vez se calculó el índice de aridez mensual por el método de Martonne para evaluar el grado de sequedad, también se calculó el índice hidro ambiental para así poder proporcionar una medida más precisa de la aridez, lo que ayuda a comprender la disponibilidad de agua y su impacto en el ecosistema y por último se calculó el índice de sequía hidro ambiental esencial para informar decisiones en industrias como la agricultura, el cultivo de árboles y el suministro de agua.

Precipitación

Para el correspondiente análisis de estos datos pluviométricos, se tuvieron en cuentas los eventos climáticos denominados ‘Fenómeno del Niño y la Niña’, ya que se caracterizan por sus temperaturas oceánicas anormales en el Pacífico tropical, lo que genera impactos significativos en los patrones climáticos globales. Mediante el estudio de los patrones históricos de lluvia y la identificación de anomalías, se pudieron evidenciar y detectar el inicio de los eventos de El Niño y La Niña para los años mencionados anteriormente. Para este hallazgo se implementó la plataforma ‘National Weather Service’ (NWS) ya que es proporciona pronósticos meteorológicos precisos. En la siguiente **Ilustración 5** se pueden observar los años de estudio con los datos que registra esta plataforma.

Ilustración 5. Fenómeno de El Niño y La Niña.

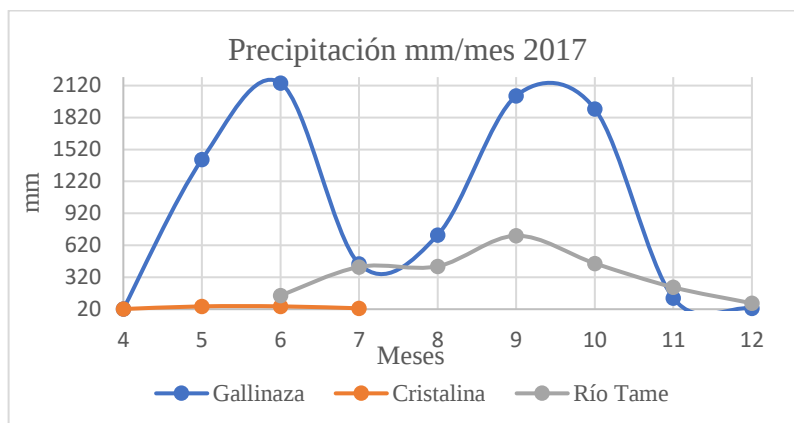
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

Nota: (Service, 2017)

A partir de lo mencionado anteriormente, se identificó mediante la plataforma ‘National Weather Service’ que para el año 2017 específicamente para los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentó el fenómeno de la niña y al realizar la respectiva comparación con los datos registrados por las estaciones del PNN El Cocuy como se observa en la **Gráfico 1**, estos coinciden solo con las estaciones La Gallinaza y Río Tame, debido a que La Cristalina no registro datos para esos meses. Sin embargo, la estación que

registro mayor precipitación para estos meses fue La Gallinaza, lo que indica que para esa época se presentaron precipitaciones sectorizadas y la zona en la que se encuentran esta estación fue donde se presentaron mayores súbitas.

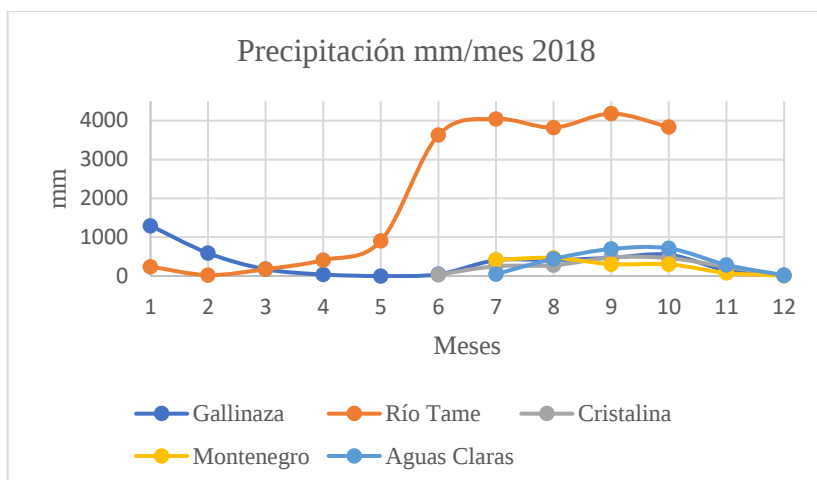
Gráfico 1. Precipitación 2017.



Nota: Elaboración propia.

Por otro lado, en el año 2018 se presentaron registro de las 5 estaciones, estas también fueron comparadas con los datos de la plataforma la cual indica que para este año en los meses de enero, febrero, marzo y abril se sigue presentado el fenómeno de la niña. Cabe resaltar que a pesar de que existen registro de todas las estaciones las únicas que presentan datos para estos meses fue La Gallinaza y Río Tame como se observa en el **Gráfico 2**. A pesar de que estas estaciones coinciden con este fenómeno, la estación del Río Tame registro hasta el mes de octubre un incremento de precipitaciones probablemente a la experimentación una combinación de la variabilidad climática natural y los patrones meteorológicos. La presencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sobre la región, combinada con la influencia de los eventos de El Niño o La Niña, podría haber llevado a una mayor humedad atmosférica y precipitación. Además, la topografía local y los cambios en el uso de la tierra podrían haber influido en la modificación de los patrones de lluvia. De igual manera, en la **Gráfico 2** se puede identificar que las estaciones La Gallinaza, La Cristalina, Montenegro y Aguas Claras para los meses de octubre, noviembre y diciembre presenta el fenómeno del niño coincidiendo con el comportamiento presentado por la plataforma. Es muy evidente en estos meses como disminuyen estas precipitaciones.

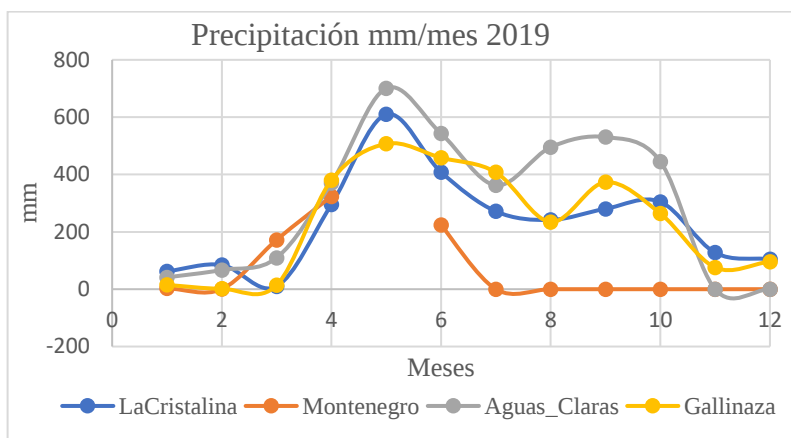
Gráfico 2. Precipitación 2018.



Nota: Elaboración propia.

En lo que respecta el año 2019 es donde se presenta un registro completo de las precipitaciones de todas las estaciones. Cabe resaltar que para la estación de Montenegro no se presentó registro para el mes de mayo debido a que realizó mantenimiento a la estación. De igual manera, se identificó el fenómeno del niño en los 6 primeros meses del año, en todas las estaciones, además se puede reconocer que posiblemente a finales del mes de abril inicia el aumento de las precipitaciones culminando con este fenómeno a finales del mes de junio. No obstante, la estación de Montenegro siguió sin presentar precipitaciones por el resto del año (**Gráfico 3**). Teniendo presente que este fue el año con mejor registro se pudo identificar que la estación que presentó mayor registro de precipitaciones fue la estación de Aguas Claras con un total de 3665 mm/año.

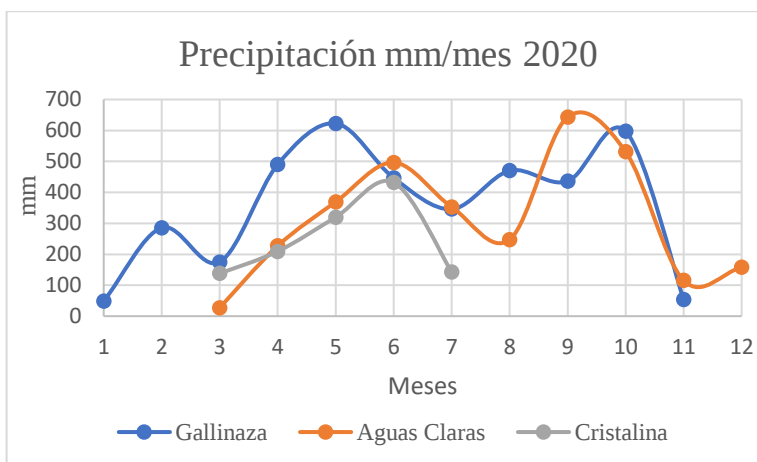
Gráfico 3. Precipitación 2019.



Nota: Elaboración propia.

Finalmente, para el año 2020 las estaciones La Gallinaza, La Cristalina y Aguas Claras son las estaciones que presentan registro de precipitaciones. En la **Gráfico 4** se puede contemplar el comportamiento de estas estaciones, donde se destaca La Gallinaza debido a que es la que presenta mayor cantidad de datos, seguida por Aguas Claras, además se logró realizar la respectiva comparación con la plataforma ‘National Weather Service’ la cual registro que en los últimos 5 meses del año se presentó el fenómeno de la niña, sin embargo estos datos no coinciden con los de las estaciones de PNN El Cocuy, porque durante los meses que presentan registro en su gran mayoría manifiestan altas precipitaciones.

Gráfico 4. Precipitación 2020.



Nota: Elaboración propia.

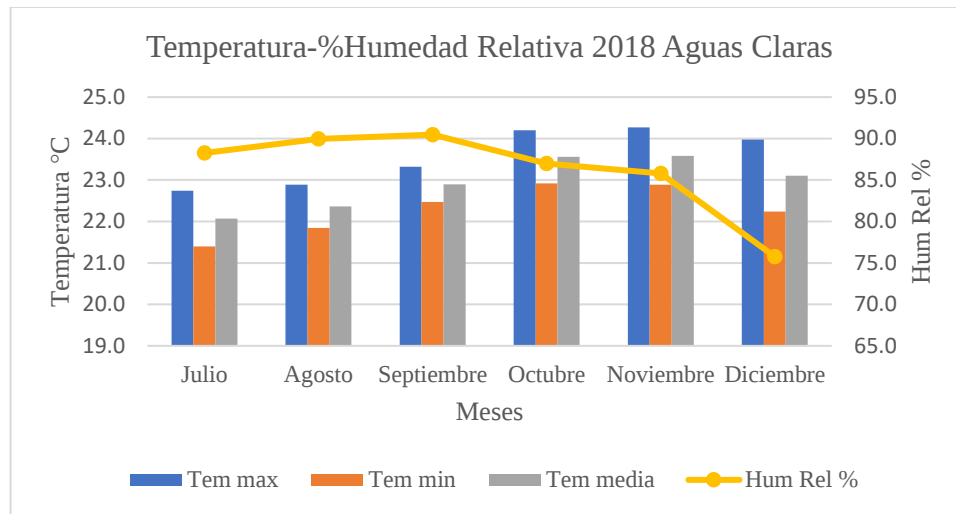
Poder comparar los datos de precipitación de una estación con la plataforma del Servicio Meteorológico Nacional (NWS) sirve para validar y mejorar la precisión de las mediciones locales. El NWS, como fuente reconocida y autorizada de datos meteorológicos, proporciona un punto de referencia con el que las estaciones individuales pueden evaluar la confiabilidad de sus datos. Al alinear las mediciones locales con las del NWS, se pueden identificar discrepancias, lo que podría señalar problemas de calibración o mal funcionamiento del equipo. Además, dichas comparaciones ofrecen una comprensión más amplia de los patrones climáticos regionales, apoyan la toma de decisiones para diversos sectores como la agricultura y los municipios, y contribuyen a la seguridad pública al reforzar las alertas tempranas y los esfuerzos de preparación para desastres.

Temperatura y humedad relativa

La temperatura y la humedad relativa son factores críticos que influyen en los patrones de lluvia. La relación entre estas variables está íntimamente ligada al concepto de humedad atmosférica y los procesos que conducen a la precipitación.

Por tal razón, a partir de estos parámetros se realizaron unas gráficas que permitieran observar su comportamiento y así poder identificar la importancia que estos tienen para la generación de las precipitaciones. Es importante aclarar que las estaciones de Montenegro y Aguas Claras presenta datos a partir del año 2018 debido a que este fue su año de instalación. Teniendo claro esto, en la siguiente **Gráfico 5** se pueden observar estos datos para el año 2018 con respecto a la estación de Aguas Claras.

Gráfico 5. Temperatura- Humedad Relativa 2018.



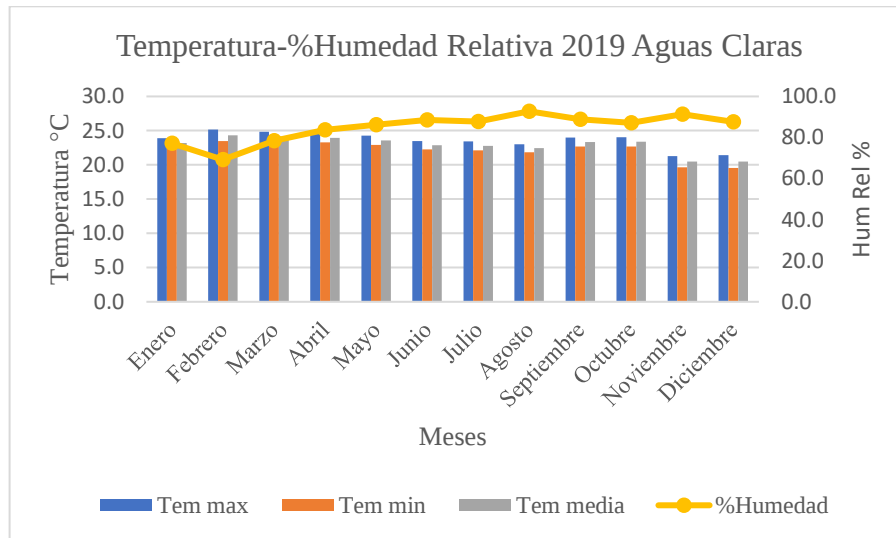
Nota: Elaboración propia.

La temperatura influye significativamente en la capacidad de retención de humedad de la atmósfera. El aire caliente puede contener más vapor de agua, mientras que su contraparte más fría contiene menos. Esto implica que cuando el aire cálido y húmedo sube, comienza a enfriarse en altitudes más altas. A medida que se enfría, su capacidad de retención de humedad disminuye, lo que hace que el vapor de agua se condense en pequeñas gotas de agua o formaciones de hielo, que se unen para crear nubes. Eventualmente, cuando el aire se satura con humedad y alcanza su punto de rocío, el enfriamiento adicional agranda las gotas de agua, lo que resulta en precipitaciones como lluvia o nieve. A medida que la humedad relativa se acerca al 100%, la atmósfera está casi en su límite de retención de humedad, lo que aumenta las posibilidades de precipitación. La humedad relativa elevada significa que el contenido de vapor de agua del aire es casi máximo, lo que favorece el desarrollo de nubes y posibles lluvias.

Con base en lo anterior, se logra apreciar la importancia de estas variables para conducir la lluvia y además se confirma que el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa coincide con el fenómeno del niño previsto para los últimos 3 meses (octubre, noviembre, diciembre) del año 2018. De igual forma, la estación de Montenegro permite apreciar el mismo comportamiento de la disminución de la humedad relativa con respecto al aumento de la temperatura para así predecirse el fenómeno del niño **Anexo 4**.

De forma similar, la **Gráfico 6** se observa el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa para el año 2019, coincidiendo en que los 4 primeros meses la humedad fue baja y la temperatura alta impidiendo que se presentaran precipitaciones intensas, esto también se puede confirmar con el **Anexo 5** que corresponde a los datos de la estación Montenegro.

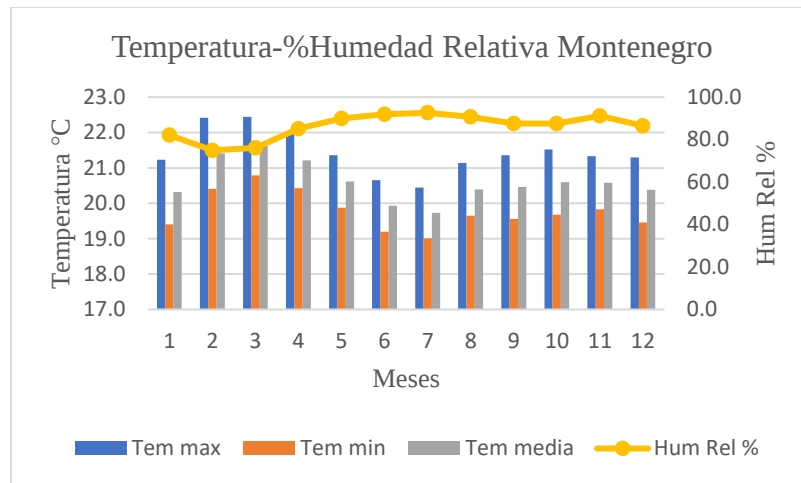
Gráfico 6. Temperatura- Humedad Relativa 2019.



Nota: Elaboración propia.

Por último, para el año 2020 para poder realizar dicha comparación se manejaron los datos de la estación de Montenegro debido a que la estación de Aguas Claras no presenta registros de humedad relativa lo que impide relación la información de manera correcta. Teniendo claro esto, la temperatura y la humedad relativa para este año aciertan en el comportamiento que registraron las estaciones de precipitación (La Gallinaza, La Cristalina, Aguas Claras), ya que confirman que a partir del mes de mayo inician las precipitaciones por la proporción de humedad en la atmósfera circundante **Gráfico 7**.

Gráfico 7. Temperatura-Humedad Relativa 2020.



Nota: Elaboración propia.

📊 Índice de Martonne, Índice hidro ambiental e Índice de sequía hidro ambiental.

Estos índices están interconectados y cada uno contribuye a una comprensión más completa del entorno hidrológico. El índice de Martonne mide la aridez en función de las condiciones pluviométricas y térmicas. El Índice hidro ambiental amplía esto, incorporando factores ambientales adicionales para una visión más completa de los recursos hídricos. El índice de sequía hidro ambiental refina aún más este enfoque al evaluar la gravedad de la sequía a través de la integración de datos hidrológicos, ambientales y climáticos. Juntos, estos índices brindan información crítica para la gestión de recursos hídricos, la predicción de sequías y la comprensión de los impactos ambientales en la disponibilidad de agua. Por tal razón, se calculó cada índice mensualmente para los años 2018, 2019 y 2020 de acuerdo con la disponibilidad de datos de las estaciones, posteriormente se obtuvo el promedio anual para proporcionar una visión general valiosa de las condiciones anuales relacionadas con la aridez, el estado hidro ambiental general y la severidad de la sequía.

Teniendo claro esto, el índice de aridez para el área correspondiente a la estación La Cristalina (2018,2019), Aguas Claras y la Gallinaza (2018,2019,2020), Montenegro y Río Tame (2018), obtuvieron índice per húmedo (**Tabla 14**), lo que indica que esta región recibe una precipitación significativamente alta. Esto sugiere que el costado oriental del parque se caracteriza por un ambiente húmedo y exuberante con abundante disponibilidad de agua

durante estos años. Así mismo, para el año 2020 (La Cristalina) y 2019 (Montenegro) se presentó un índice de aridez húmedo y subhúmedo correspondientemente (**Tabla 14**), revelando que generalmente tuvieron abundante agua tanto para las plantas como para los animales, aunque pudieron haber existido períodos de menor disponibilidad de agua en comparación con los años per húmedos.

Por otro lado, la zona de influencia de La Cristalina y La Gallinaza (2018,2019,2020), Aguas Claras (2019,2020) y Montenegro (2018) presentaron un índice de disponibilidad hidro ambiental bajo (**Tabla 14**), esto sugiere que el área para estos años presentó suficientes recursos hídricos para resistir varios estreses potenciales. Estas tensiones pueden deberse a factores como variaciones climáticas, cambios en la cubierta vegetal u otras perturbaciones ambientales. Esta clasificación de vulnerabilidad baja significaría que es probable que los ecosistemas locales sean bastante robustos, con flora y fauna bien adaptadas a la disponibilidad actual de agua. También podría sugerir que las actividades humanas dentro del parque, como el turismo o los usos del agua por parte de la comunidad local, son sostenibles dado la condición existente de los activos de agua.

En cuanto a al área de la estación de Montenegro para el año 2019, este índice presento vulnerabilidad media (**Tabla 14**), indica que los recursos hídricos del área alcanzaron a ser algo susceptibles a tensiones potenciales como cambios en el clima, cambios en la cubierta vegetal u otras perturbaciones ambientales. También podría sugerir cierto nivel de sensibilidad a los impactos humanos, ya sea de las comunidades locales o del turismo. De igual manera, para el espacio de la estación Aguas Claras en el año 2018, se obtuvo un índice de disponibilidad hidro ambiental alto (**Tabla 14**), esto que sugiere que el recurso hídrico del área fue vulnerable a varios factores estresantes potenciales, incluidas las fluctuaciones climáticas, las alteraciones en la cubierta vegetal u otros cambios ambientales. Además, pudo haber un grado de sensibilidad a las influencias humanas, derivadas de las actividades de la comunidad local o del turismo.

Finalmente, para el índice de déficit hidro ambiental correspondiente al área de las estaciones La Cristalina y Aguas Claras (2019,2020), La Gallinaza (2018,2019,2020), Montenegro y Río Tame (2018) una clasificación de zona húmeda (**Tabla 14**), lo que sugiere que la cantidad de precipitación, agua superficial y posiblemente agua subterránea para estos años satisface

o excede la demanda de agua creando un ambiente húmedo. Para el terreno de La Cristalina en el año 2018 presento una zona semiárida, lo que podría indicar que la disponibilidad de agua pudo ser limitada, debido a que los niveles de precipitación fueron bajos, especialmente durante los meses de verano, y la evapotranspiración potencial a menudo puede exceder la cantidad de lluvia entrante. Esto podría conducir a períodos de escasez de agua, afectando tanto el equilibrio ecológico como las actividades humanas dentro del área. De igual manera para el sector de las estaciones Aguas Claras (2018) y Montenegro (2019), presentaron una zona árida e hiperarido respectivamente, lo que insinúa que las precipitaciones fueron escasas. Ambas condiciones dan como resultado muy poca agua disponible, lo que a menudo conduce a condiciones desérticas.

Tabla 14. Índice de aridez, índice de disponibilidad hidro ambiental e índice de déficit hidro ambiental.

Estaciones	Años	Índice de Aridez	Clasificación	Índice de disponibilidad hidro ambiental	Vulnerabilidad	Índice de Déficit hidro ambiental	Clasificación de zona
La Cristalina	2018	94.9	Per húmeda	31.3	Bajo	2.5	Semiárido
	2019	305.6		100.9		-90.0	Húmedo
	2020	44.0	Húmeda	14.5		-1.7	
Aguas Claras	2018	114.1	Per húmeda	3.1	Alto	6.9	Árido
	2019	110.3		36.4	Bajo	-20.9	Húmedo
	2020	113.8		37.6		-24.4	
La Gallinaza	2018	305.6	Per húmeda	100.9	Bajo	-90.0	Húmedo
	2019	88.7		29.3		-13.2	
	2020	124.1		41.0		-22.8	
Montenegro	2018	106.1	Per húmeda	35.0	Bajo	-25.0	Húmedo
	2019	22.2	Subhúmeda	7.3	Medio	7.6	Hiperárido
Río Tame	2018	1326.1	Per húmeda	437.6	Bajo	-402.3	Húmedo

Nota: Elaboración propia.

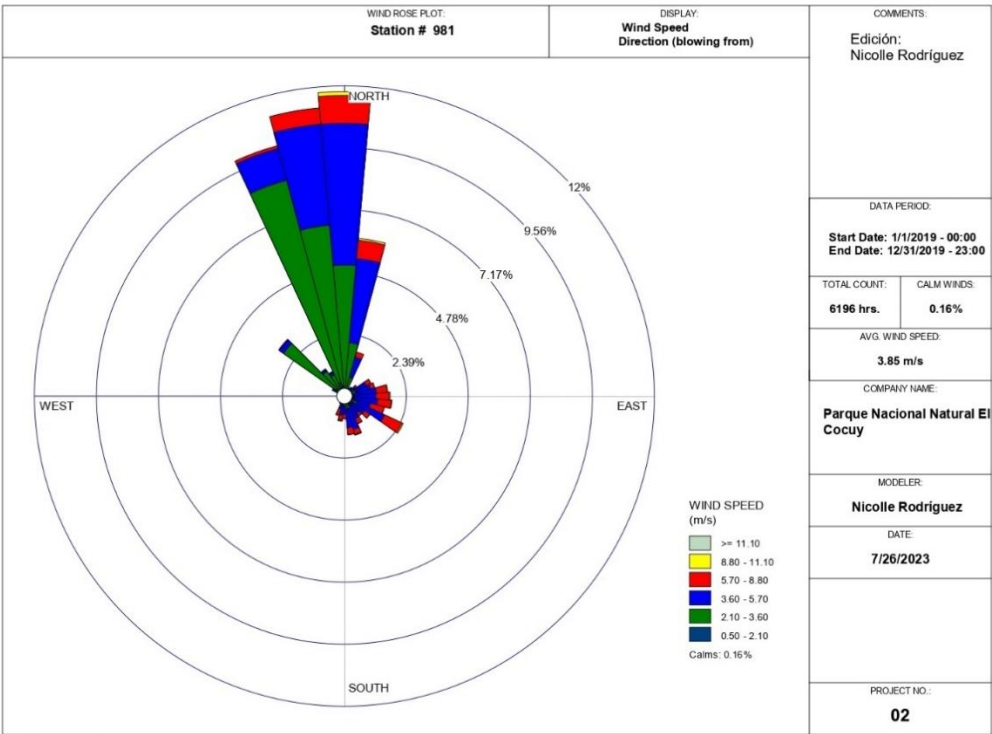
El propósito del cálculo del índice de aridez, del índice de disponibilidad hidroambiental y del índice de déficit hidroambiental es evaluar y caracterizar cuantitativamente las condiciones de humedad de la región. El índice de aridez ayudara a comprender el equilibrio entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, proporcionando información sobre el grado de sequedad de una región y su vulnerabilidad a la sequía. El índice de disponibilidad hidroambiental cuantifica los recursos hídricos disponibles de la región, lo que puede ayudar en la gestión, planificación y predicción de los posibles impactos del cambio climático. Por

otro lado, el índice de déficit hidroambiental destaca áreas donde la demanda de agua excede la disponibilidad, lo que indica una posible escasez de agua y orienta la toma de decisiones para el uso y la conservación sostenible del agua.

Velocidad máxima de los vientos

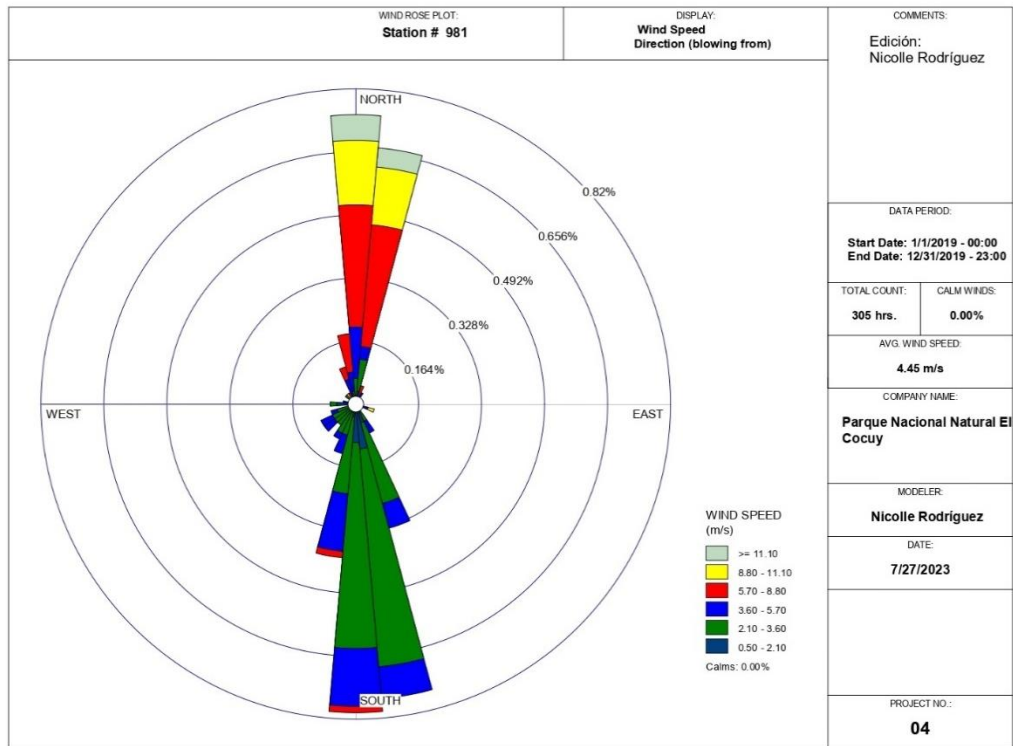
Por medio de una rosa de vientos se representó la velocidad y la dirección del viento de la parte Oriental del PNN El Cocuy, específicamente del año 2019 debido a que este era el único año que las estaciones Aguas Claras y Montenegro Presentaban información de este parámetro. Como se observa en la ***Imagen 1*** e ***Imagen 2*** en ambas rosas de vientos se aprecian las direcciones cardinales (norte, este, sur, oeste) de donde proviene el viento con mayor frecuencia. En el caso de la estación de Aguas Claras, los vientos máximos dominantes se evidencian en el pétalo de colores verde-azul- rojo y el de mayor velocidad del viento el amarillo, lo que ayuda a comprender que para el año 2019 la velocidad del viento estuvo entre los 2.10 m/s a los 11. 10 m/s sentido sur-norte. Por otro lado, para la estación de Montenegro se observa que el comportamiento de los pétalos predomina en dos direcciones (sur-norte,norte-sur), en este caso se puede evidenciar que en la dirección norte la velocidad de los vientos fue mayor a los 11.10 m/s.

Imagen 1. Rosa de Vientos Velocidad Máxima Estación Aguas claras 2019.



Nota: Elaboración propia.

Imagen 2, Rosa de Vientos Velocidad Máxima Estación Montenegro 2019.



Nota: Elaboración propia.

6. Conclusiones

Se ha logrado la recopilación de investigaciones sobre recursos hídricos y ecosistemas acuáticos dentro del PNN El Cocuy, y esta base de datos está lista para ofrecer múltiples ventajas para la administración, preservación y crecimiento sostenible del parque. Además, esta base de datos proporciona a los funcionarios del parque un método simplificado para la recuperación de información relacionada con dichos estudios. Esta reserva de información resultará invaluable para académicos, tomadores de decisiones y defensores ambientales.

A su vez, el lograr generar la zonificación hidrológica de los niveles II y II proporciona una comprensión completa y detallada de la distribución y dinámica del agua dentro del área de estudio. Al dividir la región en diferentes zonas hidrológicas dependiendo de características como el suministro de agua, las tendencias de flujo y la reposición de agua subterránea, la clasificación hidrológica ayuda a identificar regiones con potencial hídrico abundante o limitado, junto con áreas susceptibles.

Estos conocimientos son fundamentales para supervisar hábilmente los activos hídricos del PNN El Cocuy, que abarcan la distribución del agua, los enfoques de conservación y las estrategias de utilización del terreno. Las categorizaciones hidrológicas avanzadas también equipan a los encargados de formular políticas, a los supervisores del agua y a los planificadores ecológicos con las herramientas necesarias, lo que facilita elecciones informadas para garantizar la utilización duradera y la protección de los activos relacionados con el agua en las áreas designadas.

Cabe destacar que la obtención de esta zonificación no se realizó para dos subzonas hidrográficas, la primera fue la subzona hidrográfica del Río Cobugón - Río Cobaría, esto se debe que al momento de realizar el procesamiento del DEM de 12m este estaba generando los ríos como si fueran líneas, esto se pudo haber originado por varios factores como daños al paisaje, como la erosión, los deslizamientos de tierra o los cambios inducidos por el hombre, alteran los límites y las características originales de la cuenca, lo que dificulta capturar con precisión la configuración previa al daño. Los cambios en la topografía, los cursos de los ríos y el uso del suelo pueden generar imprecisiones en la representación digital de la cuenca, sin embargo, se aplicaron diferentes soluciones, una de ellas fue la de hacer uso de un DEM de menor o mayor resolución, pero todos presentaban el mismo inconveniente,

otra solución fue la de generar un nuevo DEM a partir de las curvas de nivel, pero tampoco se obtuvo el resultado que permitiera realizar esta zonificación.

La segunda subzona hidrográfica fue la del Río Cravo Norte, esta cuenca no se pudo realizar ya que presenta ríos muy dinámicos y trezados. Los ríos dinámicos con sus canales en constante cambio y patrones serpenteantes plantean dificultades para capturar y representar con precisión sus límites. Los continuos procesos de erosión y deposición en ríos dinámicos conducen a cambios frecuentes en los cursos de los ríos, lo que dificulta mantenerse al día con la información más actualizada.

De manera similar, los ríos entrelazados con sus múltiples canales interconectados y bancos de arena móviles agregan complejidad al proceso de digitalización. A medida que se forman nuevos canales y los antiguos desaparecen durante las inundaciones o los períodos de caudal alto, mantener una representación precisa se vuelve problemático. Las altas cargas de sedimentos y la variabilidad estacional de los ríos entrelazados complican aún más el proceso de digitalización. En consecuencia, la digitalización de cuencas con ríos dinámicos y trezados requiere un monitoreo continuo, actualizaciones frecuentes y técnicas de modelado sofisticadas para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos.

De igual manera, se logró calcular la morfometría de las microcuencas, subcuencas y cuenca hidrográficas teniendo presente que esta comprende las características físicas y propiedades de estas. Estos cálculos brindaran información valiosa sobre el comportamiento hidrológico de estas áreas de captación además de permitir identificar que los cauces perennes, los cuales son alimentados por el derretimiento de los glaciares y las lluvias constantes a mayor altura.

Al analizar los datos morfométricos, la entidad de PNN El Cocuy, Boyacá podrá evaluar el potencial de inundación, erosión y transporte de sedimentos de estas zonas, ya que esta información es crucial para la gestión eficaz de los recursos hídricos, el control de inundaciones y la conservación del medio ambiente. Además, el análisis morfométrico ayudara a identificar las características geológicas y geomorfológicas. En última instancia, el análisis morfométrico de las cuencas hidrográficas es esencial para la toma de decisiones informadas en la gestión del agua, la planificación del uso del suelo y la mitigación de los peligros potenciales relacionados con los recursos hídricos.

Por otro lado, la capacidad de analizar los datos mensuales sobre precipitación, temperatura, humedad relativa y vientos brindaron información valiosa sobre los patrones climáticos y las tendencias meteorológicas de la zona oriental del PNN El Cocuy.

De igual manera, este análisis permitió identificar los posibles patrones estacionales como el fenómeno de La Niña y El Niño, a pesar de presentar ausencia de datos que impidieron dar un mejor análisis del comportamiento de estos parámetros. Algunas de las razones por las que las estaciones presentaban ausencia de datos son que el datalogger estaba en revisión y esto impedía la verificación y descarga de datos, la estación no contaba con el de nivel, debido a que fue removido por una creciente del río y lo más destacable el deterioro ambiental que estas estaciones sufren.

En general, el análisis de los datos climáticos mensuales juega un papel crucial en la comprensión de la dinámica del clima local, orientando los procesos de toma de decisiones y fomentando la resiliencia frente a los desafíos relacionados con el clima. Finalmente, la clasificación obtenida en el índice de aridez (Martonne) en su gran mayoría fue per húmedo lo que puede sugerir que en estas subzonas hidrográficas se alberga una diversa gama de flora y fauna debido a los altos niveles de humedad. A su vez, el índice de déficit hidro ambiental afirma que estos terrenos podrían ser indicativa de una rica biodiversidad ya que las zonas húmedas a menudo albergan una amplia variedad de especies de plantas y animales. También es probable que influya en la ecología del área y los tipos de especies que puede sustentar, incluidas las plantas y los animales amantes del agua. Sin embargo, las estrategias de gestión deben tener esto en cuenta para garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos y la conservación de sus hábitats.

7. Recomendaciones

Algunas de las recomendaciones son:

- Para la zonificación hidrológica (Niveles II, II) de las subzonas hidrográficas Río Cobugón - Río Cobaría y Río Cravo Norte, se pide que el trabajo para esta zona sea asignado a personal con mayor dominio del tema y tiempo y atención adecuados para manejar su complejidad de manera efectiva, ya que esto permitirá garantizar una mejor gestión, una toma de decisiones precisa y una implementación exitosa de los proyectos, salvaguardando de esta área protegida.
- En cuanto a los datos obtenidos en las características morfométricas, se recomienda que se tomen medidas eficaces para el control de la erosión en la subcuenca del Río Chiscano, debido a que esta presenta un índice de torrencialidad mayor a uno, lo que indica que esto podría afectar la dinámica del río y las condiciones del ecosistema. Algunas estrategias de mitigación efectivas que pueden ser implementadas son la promoción de la reforestación, la promoción de la recolección de aguas lluvia y la práctica de la agricultura sostenible ya que estas podrían reducir efectivamente las tasas torrenciales (dirigidas a la comunidad). De igual manera, la educación y la concientización sobre hábitos resistentes al clima también pueden ayudar a controlar las inundaciones locales, manteniendo así el equilibrio ecológico.
- Por otro lado, los factores específicos de las fuertes lluvias en el sector del Río Tame en 2018 requerirían un análisis exhaustivo, este se podría realizar por medio de datos de observación y la implementación de modelos que permitan obtener explicaciones concluyentes de la anomalía de lluvia observada.
- Así mismo, se sugiere que se siga calculando los índices de aridez (Martonne), índice de disponibilidad hidro ambiental e índice de déficit hidro ambiental, con el fin de poder seguir identificando la vulnerabilidad que pueden llegar a tener las áreas en las que están ubicadas las estaciones, debido a que estas se encuentran en la zona de amortiguación del parque y allí aún se permiten realizar actividades como la agricultura sostenible, la pesca controlada, el desarrollo limitado y el ecoturismo, lo que podría alterar el recurso hídrico del suelo.

8. Referencias

- Javier Sánchez San Román. (2022). *Hidrología Superficial (II): Hidrogramas* . Obtenido de https://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_2.pdf
- Alarcón Hincapié, J. C., & Pabón Caicedo, J. D. (2013). EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FORMACIONES VEGETALES EN COLOMBIA. *Scielo*.
- Banco Mundial – Fondo GEF, P. N. (12 de 2009). PLAN DE MANEJO 2005 – 2009. Colombia.
- Castaño Uribe, C. (2002). *Colombia alto andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales :una aproximación a los efectos de un tensor adicional por el cambio climático global (Global Climatic Tensor)*. Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18921>
- Civil, R. N. (1999). *Decreto 1996 de 1999* . Obtenido de [http://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/Serviciosambientales/Colombia/\(Microsoft%20Word%20-%20Decreto1996de1999porelcualsereglamentanlosart.pdf](http://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/Serviciosambientales/Colombia/(Microsoft%20Word%20-%20Decreto1996de1999porelcualsereglamentanlosart.pdf)
- Colombia, P. N. (6 de 6 de 1977). *Parque Nacional Natural El Cocuy*. Obtenido de <https://www.parquesnacionales.gov.co/nuestros-parques/pnn-el-cocuy/>
- Colombia, P. N. (2023). *Dirección General*. Obtenido de <https://www.parquesnacionales.gov.co/entidad/direccion-general/>
- Colombia, R. d. (1974). *Decreto 2811 de 1974* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Decreto-2811-de-1974.pdf>
- Colombia, R. d. (1991). *Constitución Política de Colombia 1991*. Obtenido de <https://pdpa.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
- Colparques, O. (2015). *ORGANIZACIÓN COLPARQUES - Paraísos por descubrir en Colombia!* Obtenido de <http://www.colparques.net/COCUY#aceptar>
- Corpoboyacá, A. d. (2012). *Sistema Municipal de Áreas Protegidas Municipio De El Cocuy SIMAP-El Cocuy* . Obtenido de <https://www.corpoboyaca.gov.co/sirap/wp-content/uploads/2019/08/informe-simap-cocuy.pdf>
- Dombeck, M. (2021). *¿Qué es una cuenca hidrográfica?* Obtenido de https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5338930.pdf
- España, M. p. (2020). *Gobierno de España*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/cuencas-y-subcuencas.aspx>
- Fernández Prias, D. Y. (2015). *CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ARIDEZ COMO HERRAMIENTA PARA EL SEGUIMIENTO DE LA DESERTIFICACIÓN*. Obtenido

de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7709/1/C%C3%81LCULO%20DEL%20%C3%8DNDICE%20DE%20ARIDEZ%20COMO%20HERRAMIENTA%20PARA%20EL%20SEGUIMIENTO%20DE%20LA%20DESERTIFICACI%C3%93N.pdf>

Fernández, J. L. (2023). *Temperatura*. Obtenido de <https://www.fisicalab.com/apartado/temperatura>

FinalTest. (2023). *¿Que es un Datalogger?* Obtenido de <https://www.finaltest.com.mx/product-p/art-4.htm>

IDEAM. (2013). *Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrológicas de Colombia*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPA_ZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf

IDEAM. (12 de 11 de 2019). *DEFINICIONES DEL CATÁLOGO NACIONAL DE ESTACIONES*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/Definiciones+CNE.pdf/25e1cca5-ee47-4eaf-86c0-c4f5192a9937>

IDEAM. (2021). *SIERRA NEVADA DE EL COCUY O GÜICÁN*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/sierra-nevada-cocuy-guican>

Instituto de Hidrología, M. y.-I. (2023). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua>

Instituto de Hidrología, M. y.-I. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua/-/document_library_display/hWSQik0LFPrw/view/125687810?_110_INSTANCE_hWSQik0LFPrw_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Fagua%2Festudio-nacional-del-agua%3Fp_id%3D110_INSTANCE_hWSQik0LFP

León Monfregón, J., Martínez Ramírez, A., & Valderrama Vargas, L. (2018). *PÁRAMO DEL COCUY: UN PROBLEMA ECOLÓGICO Y MEDIOAMBIENTAL EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/325894496_PARAMO_DEL_COCUY_UN_PROBLEMA_ECOLOGICO_Y_MEDIOAMBIENTAL_EN_EL_DEPARTAMENTO_DE_BOYACA

Mercado Mancera, G., Troyo Diéguez, E., Aguirre Gómez, A., Murillo Amador, B., Beltrán Morales, L., & García Hernández, J. (2010). Calibration and application of the De Martonne aridity index for the analysis of hydric deficit as an estimator of aridity and desertification in arid areas. *Scielo*.

Morales Rivas, M., Otero García, J., Hammen, T. v., Torres Perdigón, A., Cadena Vargas, C. E., Pedraza Peñaloza, C. A., . . . Cárdenas Valencia, L. (2007). *Atlas de páramos*

de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.

Naturales, P. N. (1977). *Decreto 622 del 1977*. Obtenido de https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2018/07/Decreto_622_de_1977.pdf

País, C. (2022). *El Cocuy - Parque Nacional Natural*. Obtenido de <https://colombiapais.com/pagina-parques-nacionales-naturales/region-andina-andes-nororientales-parque-nacional-natural-el-cocuy.htm#:~:text=Este%20lugar%20constituye%20la%20mayor,%2C%20Pulpito%20del%20Diablo%2C%20Tote.>

Pérez, G. (2018). *Precipitación*. Obtenido de <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacion>

QUEST. (17 de 11 de 2020). *¿QUÉ ES LA HUMEDAD RELATIVA Y POR QUÉ ES IMPORTANTE?* Obtenido de <https://www.questclimate.com/es/%C2%BFQu%C3%A9-es-la-humedad-relativa-y-por-qu%C3%A9-es-importante%3F/>

Regional, S. d. (2021). *Parque Nacional Natural El Cocuy – Sistema de Información Turística de Boyacá*. Obtenido de <https://situr.boyaca.gov.co/attractivo-turistico/parque-nacional-natural-el-cocuy-2/>

República, C. d. (1986). *Ley 79 de 1986*. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col24254.pdf>

Reyes Trujillo, A., Ulises Barroso, F., & Carvajal Escobar, Y. (2010). *Guía Básica para la Caracterización Morfométrica de las Cuencas Hidrográficas*. Valle.

Rivera Ospina, D., & Rodríguez Murcia, C. E. (2011). *Guía de divulgación de criterios para la delimitación de páramos de Colombia*. Obtenido de http://www.humboldt.org.co/images/Atlas%20de%20paramos/Guia_delimitacion_paramos.pdf

Romero, L. F., & Díaz, S. Y. (2008). *Evaluación ambiental de la oferta y la demanda hídrica de la microcuenca del Río Lagunillas*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

S.A.S, P. (2018). *Zonificación Ambiental*. Obtenido de https://www.miga.org/sites/default/files/2020-01/Cap%206.%20Zonificaci%C3%B3n%20ambiental_V3.pdf

S.A.S, V. (2007). *Colombia Parques Naturales*. Obtenido de <https://www.100libroslibres.com/parques-naturales-de-colombia-parque-nacional-natural-el-cocuy#:~:text=Tiene%20alturas%20de%20entre%20600,de%20Boyac%C3%A1%2C%20Casanare%20y%20Arauca.>

- Service, N. W. (2017). *origin.cpc.ncep.noaa.gov*. Obtenido de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Sostenible, M. d. (1959). *Ley 2 DE 1959*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-2-1959.pdf>
- Sostenible, M. d. (1993). *Ley 99 de 1993*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>
- Sostenible, M. d. (1994). *Ley 165 de 1994* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Ley-165-de-1994.pdf>
- Sostenible, M. d. (1997). *Ley 373 de 1997* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-373-1997.pdf>
- Sostenible, M. d. (2010). *Decreto 2372 del 1 de julio de 2010* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/decreto-2372-2010.pdf>
- Sostenible, M. d. (2015). *Decreto Único 1076 del 2015*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Sostenible, M. d. (2019). *Microcuencas*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/#:~:text=Considerando%20el%20tama%C3%B1o%20se%20puede,y%20manejo%20de%20cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.>
- Wordpress. (2012). *Parque Nacional Natural El Cocuy*. Obtenido de Parque Nacional Natural El Cocuy
- Zulma Tellez Gómez, M. y. (2020). *Tamearauca-PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY*. Obtenido de <https://tamearauca.com/parque-nacional-natural-el-cocuy/>

9. Anexos

Anexo 1. Base de datos

[Base de datos.xlsx](#)

Nota: Elaboración propia.

Anexo 2. Codificación Nivel II Parque Nacional Natural El Cocuy, Boyacá.

[Codificación general II.pdf](#)

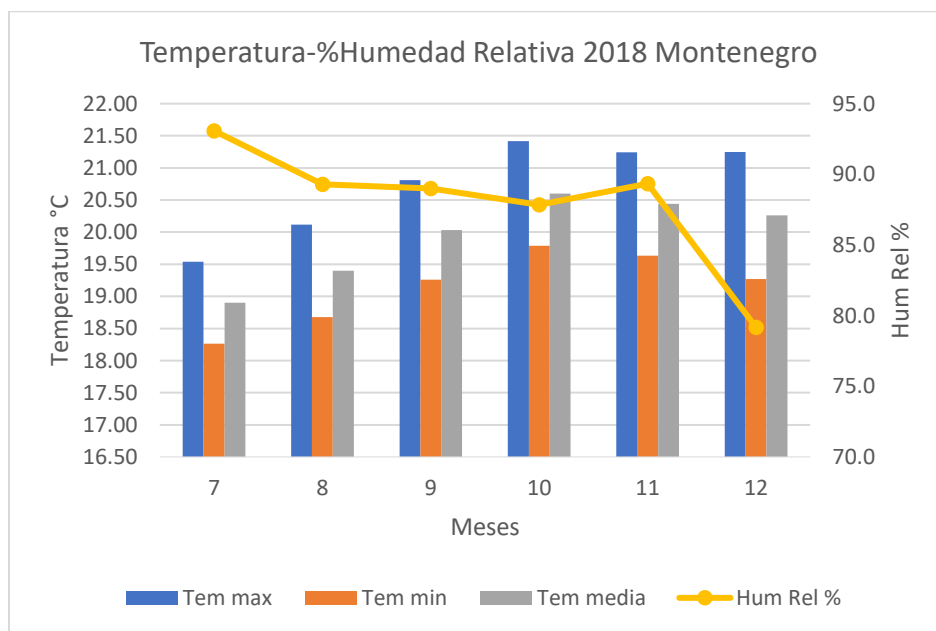
Nota: Elaboración propia

Anexo 3. Codificación Nivel III Parque Nacional Natural El Cocuy, Boyacá.

[Codificación general III.pdf](#)

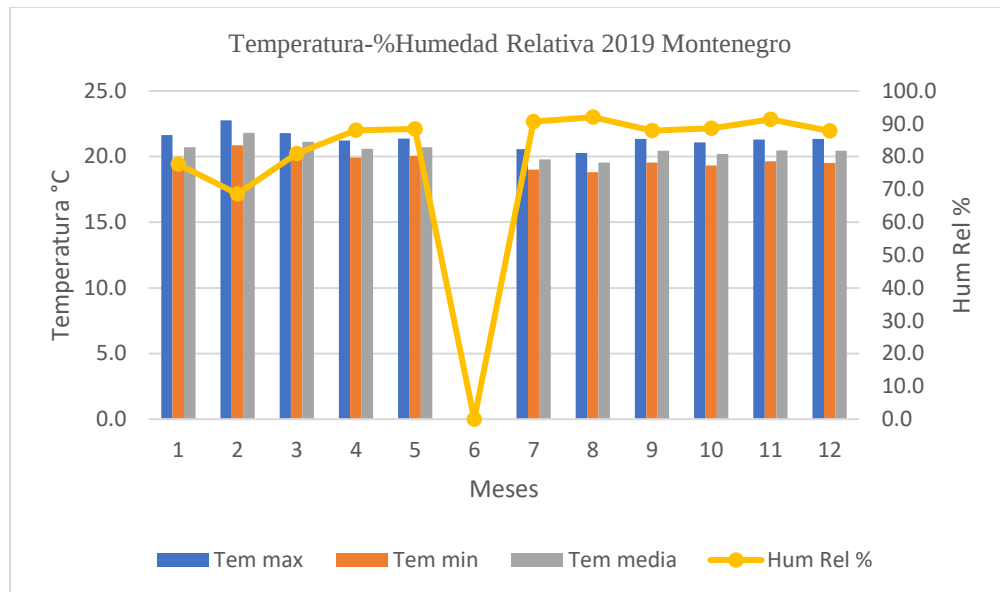
Nota: Elaboración propia

Anexo 4. Temperatura-Humedad Relativa 2018 Montenegro



Nota: Elaboración propia.

Anexo 5. Temperatuta-Humedad Relativa 2019 Montenegro



Nota: Elaboración propia.