

**CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAS SUBZONAS Y CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS DEL COMPLEJO DE PÁRAMOS DOÑA JUANA –  
CHIMAYOY.**

DANY ARBEY BENAVIDES BOLAÑOS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA  
SAN JUAN DE PASTO

2017

**CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAS SUBZONAS Y CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS DEL COMPLEJO DE PÁRAMOS DOÑA JUANA –  
CHIMAYOY.**

**DANY ARBEY BENAVIDES BOLAÑOS**

Trabajo de grado en modalidad de pasantía como práctica profesional para optar al Título  
de Geógrafo.

Asesor:

Esp. GERMAN EDMUNDO NARVAEZ  
Docente asistente  
Departamento de Geografía

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA  
SAN JUAN DE PASTO

2017

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**JULIÁN ALBERTO RENGIFO RENGIFO**

**Jurado**

---

**MIRIAM DEL ROSARIO GUAPUCAL CUASANCHIR**

**Jurado**

San Juan de Pasto, 25 de agosto de 2017.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios gracias por permitirme llegar a esta etapa de la vida con las muchas bendiciones que me ha dado.

A la Universidad de Nariño, el alma mater que me permitió formarme como persona y profesional desde el programa de Geografía que en la dirección del profesor Dr. Francisco Mora Córdoba y su mano derecha la señora Débora Chicaiza me colaboraron en los trámites para el desarrollo de la pasantía y para poder optar al Título.

Al grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA que con la coordinación del profesor asistente Germán Narvárez Bravo, me ha brindado la oportunidad de ganar experiencia y conocimientos en el área geográfica, con sus valiosos aportes, especialmente a Anderson Guzmán, gran amigo junto con Oscar Enríquez, Pedro García, Gabriela Guerrero, Ricardo Erazo y el resto de este gran equipo.

A mi familia, Esperanza Bolaños mi madre, Servio Benavides mi padre, mis hermanos Yamid Camilo y Angela Yurany y mis sobrinas Adriana y Nicole, por confiar en mí.

A la ingeniera agroindustrial Karen Pinta, quien es mi mano derecha, mi apoyo incondicional, que gracias a su comprensión, bondad y gran corazón ha sabido ganarse el mío.

Al resto de mis amigos y familia, que aunque no los nombre están en mi pensamiento y mis oraciones.

## DEDICATORIA

A la familia Benavides Bolaños,  
Benavides Bonilla, Benavides, Delgado y  
Toro.

A mis amigos, quienes están y  
quienes ya no, pero con cariño siempre  
recuerdo: Dra. Aura Alicia Delgado López,  
Felipe Solarte, Johana Sousa, Anyela Martínez  
y el profesor Mario Pantoja.

A mis primos, entre ellos a los que  
hemos perdido, Fredy, Johnny, Bismark y  
Luis, descansen en paz.

Y a quienes no nombré, pero que han  
hecho parte de este viaje conmigo, llamado  
vida.

## RESUMEN

El estudio de “caracterización morfométrica de las subzonas y cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy” fue desarrollado en el área de influencia del complejo, denominado así por el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt; tomando las subzonas y cuencas hidrográficas que tienen contacto directo con el complejo de páramos en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y la Corporación para el Desarrollo del Sur de La Amazonia (CORPOAMAZONIA); como parte del resultado de la pasantía en modalidad de práctica profesional, llevada a cabo en la Universidad de Nariño para optar al título de Geógrafo, mediante la participación en la macro investigación: “Caracterización socioeconómica y biofísica de los complejos de páramos Doña Juana – Chimayoy, Chiles – Cumbal y La Cocha – Patascoy”, del convenio de cooperación 14-13-014-166CE de 2014 suscrito entre la Universidad de Nariño y el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt.

El documento contiene la descripción de las características morfométricas encontradas en las subzonas y cuencas hidrográficas del complejo de páramos, a partir de la recolección de información relacionada con la hidrografía; y su procesamiento e interpretación direccionada a la determinación de la susceptibilidad a crecidas considerando variables morfológicas, tales como la compacidad, forma, alargamiento y pendientes en las cuencas del estudio.

Como resultado se muestra una zonificación que corresponde a los diferentes niveles de susceptibilidad a crecidas, integrando la información correspondiente a las clases de posibilidad de avenidas torrenciales por variable: de alta, media o baja susceptibilidad. Donde se destacó la cuenca de la quebrada El Mesón como la de mayor susceptibilidad a crecidas dentro del área de estudio.

## ABSTRACT

The study of Morphometric characterization of the subzones and watersheds of the Doña Juana - Chimayoy complex of paramos was developed in the area of influence of the complex, named by the Alexander von Humboldt Research Institute; taking the hydrographic subzones and watersheds that have direct contact with the paramo's complex in the jurisdiction of the Autonomus Regional Corporation of Nariño - CORPONARIÑO, the Autonomous Regional Corporation of Cauca – CRC and the Corporation for the Development of the South of Colombian Amazon - CORPOAMAZONIA; as a part of the result of the professional practice, carried out at the University of Nariño for getting a degree as a Geographer, through participation in the macro research: Socioeconomic and biophysical characterization of the complexes of paramos in Doña Juana-Chimayoy, Chiles-Cumbal and La Cocha-Patascoy, in the cooperation agreement 1413014166CE of 2014 subscribed between the University of Nariño and the Institute of Investigations Alexander von Humboldt.

The document contains the description of the morphometric characteristics found in the hydrographic subzones and watersheds of the complex of paramos, from the collection of information related to hydrography and cartography; its processing and interpretation towards the determination of the susceptibility to floods considering morphological variables, such as the compactness, form, elongation and slopes in the watersheds of the study.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. PROBLEMA .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Formulación del problema .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Descripción del problema .....</b>	<b>6</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Objetivo general .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>11</b>
<b>5. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 Áreas hidrográficas .....</b>	<b>16</b>
<b>5.2 Zonas hidrográficas.....</b>	<b>16</b>
<b>5.3 Subzonas hidrográficas .....</b>	<b>17</b>
<b>5.4 Cuenca hidrográfica.....</b>	<b>17</b>
<b>5.5 Morfometría de cuencas.....</b>	<b>18</b>
5.5.1. Área y Perímetro.....	19
5.5.2. Orden de corriente.....	19
5.5.3. Densidad de Drenaje.....	20
5.5.4. Longitudes.....	21
5.5.5. Factor de forma.....	22
5.5.6. Coeficiente de Compacidad.....	23
5.5.7. Índice de alargamiento.....	24

5.5.8.	Pendiente media de la cuenca .....	25
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1</b>	<b>Fase 1. Revisión de la información cartográfica y documental .....</b>	<b>28</b>
6.1.1.	Recopilación de información.....	28
6.1.2.	Revisión de la información cartográfica.....	30
<b>6.2</b>	<b>Fase 2. Edición de la información cartográfica en escalas 1:100.000 y 1:25.000.....</b>	<b>32</b>
6.2.1.	Proyección de sistema de coordenadas.....	32
6.2.2.	Generación de curvas de nivel y de hidrografía.....	34
6.2.3.	Corrección de la red de drenaje.....	34
6.2.4.	Selección de subzonas y cuencas hidrográficas..	34
6.2.5.	Ajuste de los límites de las zonificaciones hidrográficas.....	35
6.2.6.	Ajuste de las tablas de atributos.....	35
<b>6.3</b>	<b>Fase 3. Cálculo de los parámetros morfométricos .....</b>	<b>36</b>
6.3.1.	Asignación de órdenes de corriente.....	37
6.3.2.	Cálculo de longitudes en la red de drenaje.....	38
6.3.3.	Cálculo de área y perímetro.....	38
6.3.4.	Cálculo de la densidad de drenaje..	39
6.3.5.	Medición de la longitud máxima de la cuenca.....	39
6.3.6.	Cálculo del ancho de la cuenca.....	39
6.3.7.	Cálculo del factor de forma.....	39
6.3.8.	Cálculo del índice de alargamiento..	40
6.3.9.	Cálculo del coeficiente de compacidad..	40
6.3.10.	Cálculo del índice de sinuosidad..	40
6.3.11.	Obtención de alturas.....	40
6.3.12.	Obtención de pendientes.....	41

<b>6.4 Fase 4. Análisis de los parámetros morfométricos en las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio .....</b>	<b>42</b>
6.4.1.    Caracterización general de las subzonas y cuencas del área de estudio.....	42
6.4.2.    Identificación de la clasificación de los parámetros morfométricos.....	42
6.4.3.    Relación de la información con la susceptibilidad a crecidas según las características morfométricas.....	42
<b>7. INFORME DE ACTIVIDADES REALIZADAS .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1 Consulta y revisión de la información .....</b>	<b>43</b>
7.1.1    Consulta y Procesamiento de información .....	44
7.1.2    Revisión de la información.....	45
<b>7.2 Procesamiento cartográfico.....</b>	<b>45</b>
7.2.1    Conversiones de formatos.. .....	45
7.2.2    Proyección de coordenadas. ....	45
7.2.3    Georeferenciación de información (vectorial y ráster).....	46
7.2.4    Edición de la hidrografía.. .....	46
7.2.5    Edición de cartografía temática.. .....	46
<b>7.3 Actividades de interacción entre grupos de trabajo .....</b>	<b>47</b>
7.3.1    Capacitación en manejo de GPS (Dakota20 - Equipo Biología).....	47
7.3.3    Acompañamiento en campo.. .....	48
7.3.4    Asistencia a reuniones internas.. .....	48
7.3.5    Asistencia a reuniones generales.. .....	48
<b>7.4 Cálculo y análisis de parámetros morfométricos .....</b>	<b>48</b>
7.4.1    Generación y ajuste de curvas e hidrografía (Áreas faltantes).. .....	49
7.4.2    Cálculo de parámetros morfométricos.....	49
7.4.3    Análisis de las variables. ....	50
7.4.4    Inventario de Cuerpos de Agua. ....	50

<b>8. PRODUCTOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
<b>8.1 Morfometría de las subzonas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana - Chimayoy .....</b>	<b>51</b>
8.1.1 Subzona hidrográfica Alto Caquetá.....	55
8.1.2 Subzona hidrográfica río Guachicono. ....	56
8.1.3 Subzona hidrográfica rio Mayo.. ....	59
8.1.4. Subzona hidrográfica río Juanambú. ....	60
8.1.5. Subzona hidrográfica de Alto Putumayo.....	63
<b>8.2 Caracterización morfométrica de las cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana - Chimayoy .....</b>	<b>65</b>
8.2.1. Parámetros morfométricos.....	67
8.2.1.1. <i>Parámetros iniciales de las cuencas.</i> ....	68
8.2.1.2. <i>Red de drenaje</i> .....	70
8.2.1.3. <i>Alturas de las cuencas.</i> .....	71
8.2.1.4. <i>Pendientes.</i> .....	72
8.2.1.5 <i>Factor de Forma.</i> .....	74
8.2.1.6. <i>Coficiente de Compacidad.</i> .....	77
8.2.1.7. <i>Coficiente o Índice de alargamiento.</i> .....	79
8.2.1.8. <i>Susceptibilidad a crecidas.</i> .....	81
8.2.1.9. <i>Cuerpos de Agua.</i> .....	83
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Rangos de la forma de una Cuenca .....	22
Cuadro 2. Valores de Compacidad de una Cuenca.....	23
Cuadro 3. Rangos de Alargamiento.....	24
Cuadro 4. Reglas de topología aplicadas.....	31
Cuadro 5. Campos de las tablas de atributos.....	36
Cuadro 6. Parámetros morfométricos.....	37
Cuadro 7. Parámetros morfométricos de medición directa de las SZH.....	52
Cuadro 8. Parámetros morfométricos de medición indirecta de del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.....	54
Cuadro 9. Ordenes de corriente de la subzona hidrográfica del Alto Caquetá.....	56
Cuadro 10. Ordenes de corriente de la subzona hidrográfica del río Guachicono.....	58
Cuadro 11. Ordenes de corriente de la subzona hidrográfica del río Mayo.....	60
Cuadro 12. Ordenes de corriente en la subzona hidrográfica del río Juanambú.....	62
Cuadro 13. Ordenes de corriente en la subzona hidrográfica alto Putumayo.....	64
Cuadro 14. Parámetros morfométricos iniciales de las cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.....	69
Cuadro 15. Parámetros relativos a la red de drenaje.....	70
Cuadro 16. Alturas y pendientes de las cuencas CDJCH.....	73
Cuadro 17. Factor de forma de las cuencas del CDJCH.....	75
Cuadro 18. Coeficiente de compacidad en las cuencas del CDJCH.....	77
Cuadro 19. Índice de alargamiento en las cuencas del CDJCH.....	80

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy (CDJCH).....	12
Figura 1. Subzonas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy..	13
Figura 3. Cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy...	15
Figura 4. Órdenes de Corriente de Strahler.....	20
Figura 5. Metodología usada en este estudio .....	27
Figura 6. Cobertura de planchas en escala 1:25000 .....	29
Figura 7. Sistemas de coordenadas de las geodatabases.....	33
Figura 8. Cálculo de longitudes.....	38
Figura 8. Cálculo de longitudes.....	39
Figura 10. Estadísticas del MDE .....	41
Figura 11. Estadísticas del modelo de pendientes.....	41
Figura 12. Forma de las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.....	76
Figura 13. Compacidad de las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.....	78
Figura 14. Alargamiento de las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.....	81
Figura 15. Susceptibilidad a crecidas en las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy .....	82

## INTRODUCCIÓN

El presente documento se enmarcó en los requisitos para optar al Título de Geógrafo estipulados por el programa de Geografía de la Universidad de Nariño, por medio de la modalidad de pasantía (Práctica profesional), según el Acuerdo 001 de 2014, expedido por el Comité Curricular del departamento de Geografía. La línea de investigación es de Caracterización Biofísica y Ambiental del Espacio Geográfico, el enfoque es descriptivo y el tipo de investigación es cuanti-cualitativa.

El trabajo de Caracterización morfométrica de las subzonas y cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy tiene como sitio de estudio el área de influencia del complejo de páramos, el cual fue nombrado así por el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt (IAvH, 2012); retomando las zonificaciones hidrográficas delimitadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2013) a nivel nacional en su estudio hidrográfico donde se clasificó las unidades hidrográficas en las categorías de Área Hidrográfica, Zona y Subzona hidrográfica (SZH); de igual manera para las unidades de cuencas delimitadas por las Corporaciones Autónomas Regionales con jurisdicción en el complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy (CDJCH). De acuerdo a la relación espacial que ejerce el complejo de páramos con las cuencas y subzonas hidrográficas de los departamentos de Nariño, Cauca y Putumayo; es decir, las subzonas hidrográficas y cuencas que tienen contacto directo con el complejo delimitado por el IAvH en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y la Corporación para el Desarrollo del Sur de La Amazonia (CORPOAMAZONIA).

La investigación, surgió como parte del proceso de caracterización técnica socioeconómica y biofísica para la delimitación de los páramos de Colombia, realizada en Nariño mediante el estudio que fue encabezado por el IAvH, a partir de las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con recursos del Fondo de Adaptación. El cual se encargó de reunir los insumos técnicos necesarios para la delimitación de los ecosistemas de páramos y humedales en escala 1:25.000, entre ellos las características hidrográficas de los complejos de páramos definidos por el IAvH para Colombia.

El IAvH, mediante convenio de cooperación 14-13-014-166CE de 2014 con la Universidad de Nariño y la participación de las CAR con jurisdicción en el área de la

“Caracterización socioeconómica y biofísica de los complejos de páramos Doña Juana – Chimayoy, Chiles – Cumbal y La Cocha – Patascoy”, donde participaron diversos grupos de investigación de la Universidad de Nariño, entre ellos: Grupo de Investigación Biología de Páramos y Ecosistemas Andinos, Grupo Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA, Grupo de Investigación Coyuntura Social y Económica-CES y el Grupo de Investigación Cultura y Desarrollo, obtuvo los insumos técnicos necesarios para contribuir a la delimitación de los ecosistemas de páramo y humedales en escala 1:25.000; donde contó con la coordinación general de María Elena Solarte Cruz, y con las coordinaciones de los diferentes componentes dentro de la investigación del convenio: en el componente Geográfico y Cartográfico el profesor Germán Narvárez Bravo, para los temas económicos Edinson Ortíz Benavides, a nivel sociocultural Vicente Salas Salazar y en cuanto a los servicios ecosistémicos el encargado fue Hugo Ferney Leonel; quienes con un nutrido equipo de trabajo que incluyó profesionales, egresados y estudiantes de la universidad en cargos de investigadores, auxiliares y monitores desarrollaron el macroestudio, donde reposa la información de éste estudio.

Esta caracterización morfométrica de las SZH y cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy se llevó a cabo, por medio de cuatro fases metodológicas, a saber: (a) la revisión, luego (b) el ajuste de la información cartográfica, (c) el procesamiento y posterior (d) análisis con la producción de resultados entre los cuales se encuentran la cartografía temática respectiva y también los documentos técnicos descriptivos. La duración de la pasantía fue de doce meses, conforme a la reglamentación vigente para el trabajo de grado para optar al Título de Geógrafo de la Universidad de Nariño.

Es así como este estudio buscó darle solución a la interrogante ¿Cuáles son las características morfométricas de las subzonas hidrográficas (SZH) y cuencas asociadas al complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy CDJCH (IAvH, 2012)?, por medio del cálculo de los parámetros e índices morfométricos seleccionados de las subzonas y cuencas hidrográficas, como competencia del geógrafo (Congreso de la República, 1993), en la investigación y estudio del sistema terrestre como contribución científica dentro del quehacer geográfico. Así entonces, el documento reúne la información morfométrica de 5 subzonas hidrográficas, las cuales son de norte a sur: Guachicono, Mayo, Alto Caquetá,

Juanambú y Alto Putumayo y de 24 cuencas que tienen influencia directa del complejo de páramos CDJCH.

El estudio partió de la información cartográfica recopilada en escalas 1:100.000 y 1:25.000, con la cual se ajustó la información correspondiente principalmente a subzonas hidrográficas y cuencas hidrográficas del área de estudio, de las cuales adicionalmente se incluye la información topográfica e hidrográfica para la obtención de los parámetros morfométricos a través de dos categorías: los parámetros de medición directa y de medición indirecta, por medio de herramientas de sistemas de información geográfica y también de hojas de cálculo, con las cuales se realizó un análisis con el que se pudo establecer prioridad en relación con la susceptibilidad a crecidas para las subzonas y cuencas hidrográficas del complejo de páramos de Doña Juana – Chimayoy, de esta manera el aporte del trabajo en el desarrollo de investigaciones sobre las cuencas hidrográficas incluye el proceso de obtención de parámetros morfométricos y también su análisis para culminar con la priorización por variables de crecidas en dichas cuencas, lo cual puede ser de ayuda en los procesos de planificación y ordenamiento desde una perspectiva física de la geografía, que ajustada a la realidad permite establecer relaciones del estudio con las demás variables que se estimen convenientes a partir de la reglamentación vigente y también como parte del proceso de construcción de conocimiento dentro de la región sobre el recurso hídrico y la distribución espacial de las cuencas hidrográficas y sus principales abastecedores, los complejos de páramos que serían delimitados posteriormente por las corporaciones autónomas.

## **1. PROBLEMA**

### **1.1 Formulación del problema**

Desconocimiento de los parámetros morfométricos de las subzonas y cuencas hidrográficas asociadas al complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy, que permitan identificar su susceptibilidad a crecidas intempestivas.

### **1.2 Descripción del problema**

El comportamiento del caudal, según Gonzáles de Matauco (2004) puede verse modificado por una serie de propiedades físicas de las cuencas, como resultado de la influencia del relieve, distribución de la red de drenaje, las características del suelo, la cobertura de la tierra e incluso las condiciones climáticas a las que encierra la unidad sistémica “cuenca”. Existe una relación entre el relieve, el cual puede influenciar principalmente el comportamiento de la escorrentía superficial en las cuencas hidrográficas, y el modelado al que se somete la fisiografía del terreno por medio de las diferentes corrientes hídricas que irrigan dentro de cada una de ellas. Es así como los diferentes análisis morfométricos son de aplicación en estudios tales como los de susceptibilidad a crecidas, estudios de ingeniería e incluso para simulación en ejecución de proyectos de grandes represas o redes de acueducto, dentro de aspectos de planificación y ordenación del territorio ya que esta vía de análisis (Cobos et al., 2004) puede mejorar la descripción y clasificación de cuencas de diferentes características y dimensiones, para el caso del estudio se habla de subzonas y de cuencas hidrográficas, que además tienen relación directa con el complejo de páramos (IAvH, 2012) de Doña Juana – Chimayoy (CDJCH).

Este complejo de páramos constituye el nacimiento de muchas corrientes que tributan a las quebradas y ríos de las vertientes Amazónica y Pacífica, dentro de las cuales se encuentran las subzonas de los ríos Guachicono, Mayo, Juanambú, dentro del área hidrográfica del Pacífico, y Alto Caquetá, Alto Putumayo para el área hidrográfica del

Amazonas. Estas subzonas hidrográficas (SZH) contienen 24 cuencas que tienen influencia directa del complejo de páramos las cuales son: las corrientes directas de los ríos Caquetá, Juanambú y Mayo Alto, las quebradas El Mesón, Las Juntas, Los Molinos y San Gerardo, y los ríos Aponte, Cascabel (en la subzona hidrográfica del Alto Caquetá), Cascabel (SZH del río Juanambú), Granadillo, Grande, Janacatú, La Isla, Mocoa, Murallas, Pepino, Rumiyaco, Sambingo, San Francisco - Putumayo, San Jorge alto, San Pedro, Tajumbina y Ticuayanoy.

Por otro lado, es importante resaltar que hasta el momento no se ha elaborado un estudio o documento que integre el cálculo y análisis de los parámetros morfométricos de estas subzonas hidrográficas y las cuencas del sector de estudio. Aunque existen algunos documentos relacionados con las cuencas hidrográficas en ordenación, entre ellos de algunas del área de estudio que han sido priorizadas en términos de planificación y ordenamiento territorial, en esos casos sus documentos incluyen parcialmente la información relacionada a la morfometría de las cuencas en sus componentes de diagnóstico físico y biótico; mientras que no se ha tomado en cuenta la relación de la información directamente con la susceptibilidad a crecidas o avenidas torrenciales.

De esta manera, la falta de conocimiento técnico de las características morfométricas de las subzonas y cuencas hidrográficas trae como consecuencia falencias en la planificación y ordenación del territorio. Dado el caso como un insumo técnico para la delimitación de los ecosistemas de páramos CDJCH en una escala más detallada. Generando en parte falta de asertividad en la toma de decisiones y en la gestión integral del territorio, con esto las subzonas y cuencas hidrográficas puede asociarse este estudio de los parámetros e índices morfométricos con su comportamiento hidrológico apuntando específicamente a su susceptibilidad a crecidas, cuya carencia conlleva a la incertidumbre en cuanto es a cuál o cuáles cuencas serían las más afectadas por el incremento de las lluvias y de la misma forma la posibilidad a crecidas intempestivas que afecten a las comunidades asentadas dentro de las mismas, por ejemplo ante la presencia del fenómeno de la Niña.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El relieve condiciona la forma en que se desarrollan los ríos y quebradas dentro del ambiente, por lo que se puede decir que las características fisiográficas de la cuenca hidrográfica influyen notablemente sobre la respuesta de su red hídrica, mientras dicha red de drenaje modela el terreno de la cuenca que le circunda. Es bien sabido el cómo las unidades de paisaje que conforman una subzona o cuenca hidrográfica condicionan el establecimiento del sistema hídrico en la estructuración de un río principal y sus tributarios, al tiempo que las formas del relieve varían en el tiempo debido a la acción de los ríos y quebradas que descienden por acción de la gravedad en el terreno. El principal propósito del estudio fue el de generar conocimiento técnico relacionado a la morfometría de las subzonas y cuencas hidrográficas asociadas al complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy (IAvH, 2012) para identificar y reconocer algunas de las principales características morfométricas y su relación con la susceptibilidad a crecidas intempestivas. Aquí se puede recalcar esa relación del ecosistema de páramo como el principal abastecedor del agua que fluye dentro de las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio, razón por la cual se han incluido las 24 cuencas hidrográficas que espacialmente tienen relación directa con el complejo de páramos definido por el IAvH y 5 Subzonas hidrográficas de las vertientes a las que abastece el complejo de páramos.

Cabe anotar también que este proyecto surgió como parte de la iniciativa para delimitar los ecosistemas de páramos, por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), con el convenio interinstitucional (13-113) entre el MADS y el IAvH, que en conjunto con la Universidad de Nariño y la participación de las Corporaciones Autónomas Regionales del área de estudio en Nariño (CORPONARIÑO), Cauca (CRC) y para el sur de la Amazonia en Putumayo (CORPOAMAZONIA) dirigiendo esfuerzos para la consecución de los insumos técnicos para la futura delimitación de los complejos de páramos en escala 1:25.000 por medio del proyecto “Estudio Técnico Socioeconómico y Biofísico para la Delimitación de los Complejos de Páramos Doña Juana – Chimayoy, Chiles – Cumbal y La Cocha – Patascoy”. Ya que el conocimiento de aspectos

biogeofísicos permite identificar un límite congruente con las características ecosistémicas de la alta montaña (Rivera y Rodríguez, 2011), para lo cual el estudio aportó la información de morfometría de cuencas en el complejo de páramos de Doña Juana – Chimayoy, del componente físico y cartográfico, en su aparte de hidrografía.

De esta forma se pudo establecer la información de la pasantía como un insumo técnico de inclusión dentro del proceso de la planificación, como también del recurso hídrico, específicamente para el área de estudio en la zona de influencia del complejo de páramos de Doña Juana – Chimayoy, teniendo en cuenta que la información que se generó, actualmente hace parte de un proceso que lo ha encabezado una entidad oficial como lo es el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad Alexander von Humboldt con las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar los parámetros morfométricos de las subzonas y cuencas hidrográficas asociadas al complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy,

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Revisar la información cartográfica y documental relacionada con aspectos hidrográficos en escalas 1:100.000 y 1:25.000 para el área de estudio.
- Calcular los parámetros morfométricos de las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio.
- Interpretar los parámetros morfométricos en las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio retomó la delimitación realizada del “complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy” – CDJCH (ver figura 1) por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH, 2012) en conjunto con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Servicio Geológico Colombiano (antiguo INGEOMINAS), con la participación de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible. El límite fue usado para la comparación o comprobación de cuales subzonas hidrográficas y cuencas tienen relación directa con el complejo de páramos CDJCH.

El límite oficial del Complejo Doña Juana-Chimayoy (CDJCH) de la figura 1, fue establecido teniendo en cuenta factores físico-naturales y también socio-económicos, que en términos prácticos no corresponden exclusivamente a las coberturas naturales reconocidas como especies biológicas de páramo como lo son los frailejonales y pajonales, por dicha razón y de acuerdo a lo que Rivera y Ospina (2011) sugieren, incluye también zonas de ecosistemas como el bosque altoandino y también áreas intervenidas por el ser humano, considerando las diferentes relaciones entre el medio natural y lo social que es lo que se muestra dentro de las áreas definidas como complejos de páramos para Colombia. El CDJCH abarca 3 jurisdicciones de las Corporaciones Autónomas Regionales de Nariño, Cauca y Putumayo, cubriendo los municipios de San Pablo, La Cruz, San Bernardo, El Tablón y Buesaco en el norte y oriente del departamento de Nariño, en el sur caucano los municipios de Bolívar, San Sebastián y Santa Rosa; finalmente en Putumayo se ubica sobre los municipios de Colón, Sibundoy, San Francisco y Mocoa al oeste putumayense (ver Figura 1).

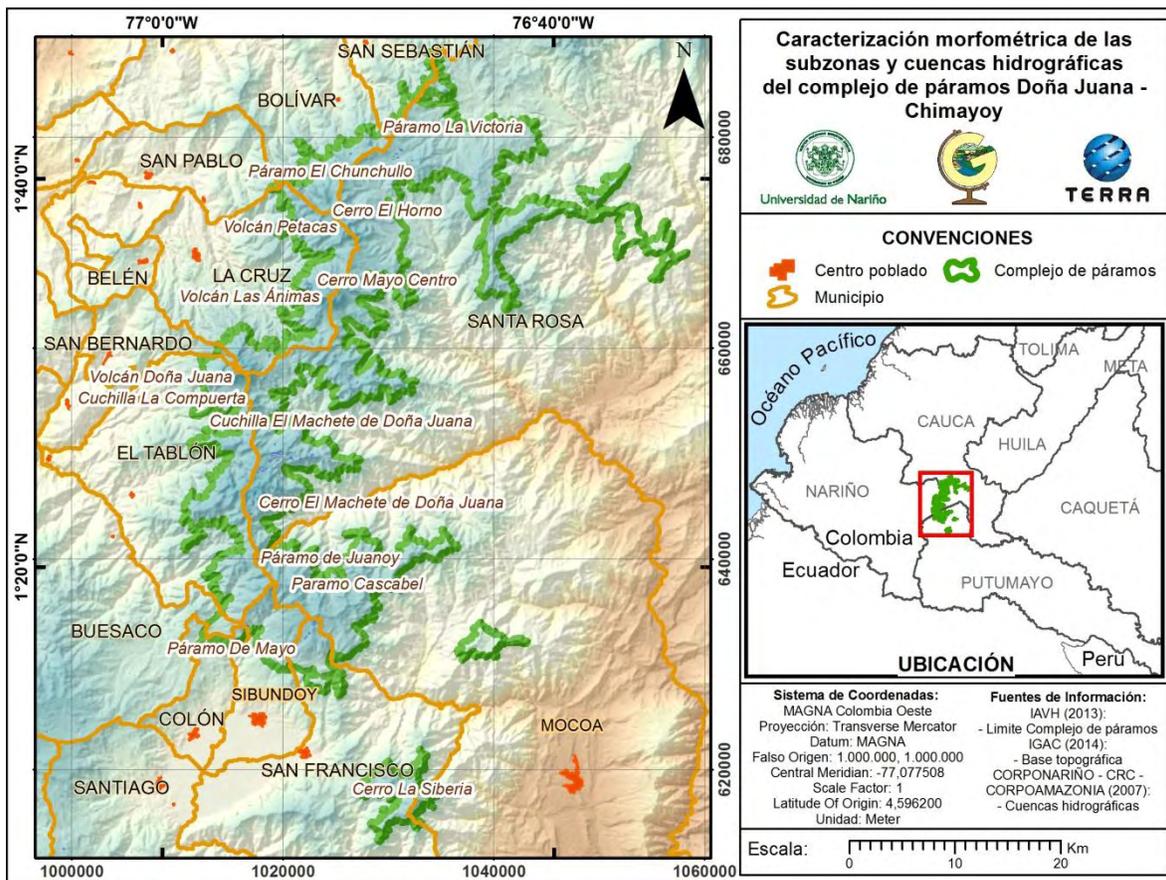
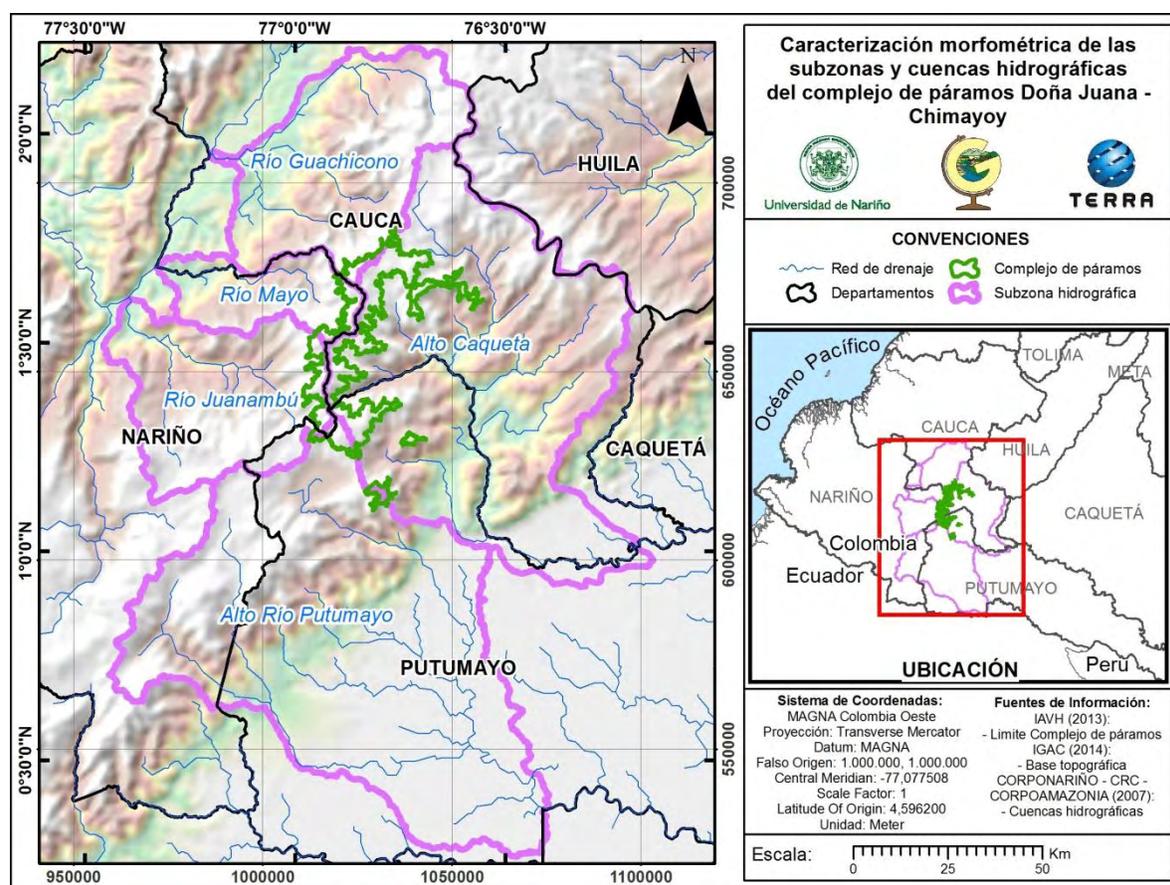


Figura 2. Complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy (CDJCH). Fuente: IAvH, 2012.

El área de estudio tuvo en cuenta las subzonas hidrográficas (ver figura 2), definidas por IDEAM (2013) que corresponde al tercer nivel de jerarquía en la zonificación hidrográfica oficial para Colombia, donde se identifican áreas, zonas y subzonas hidrográficas. Las áreas hidrográficas son entendidas como grandes vertientes o regiones hidrográficas, las cuales fueron delimitadas por el HIMAT (1978), junto con su sectorización la cual fue retomada por el IDEAM en el año 2013 para su zonificación y codificación, en total son cinco en Colombia. Subsecuentemente, existen 40 zonas hidrográficas en el territorio colombiano, las cuales son zonas que drenan sus aguas hacia las corrientes principales de las áreas hidrográficas.

Las Subzonas Hidrográficas (SZH), se definen como cuencas de menor jerarquía que las zonas hidrográficas, es decir, que son cuencas hidrográficas con un área de aguas

superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural, con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (MADS, 2012); el Decreto que reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones, especifica que las subzonas hidrográficas son objeto de ordenación por medio de sus planes de manejo conocidos como POMCAS.



**Figura 3.** Subzonas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy. Fuente: IDEAM (2013).

Es así como por medio de análisis espacial, desarrollado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se tomó como referencia para el área de estudio las subzonas

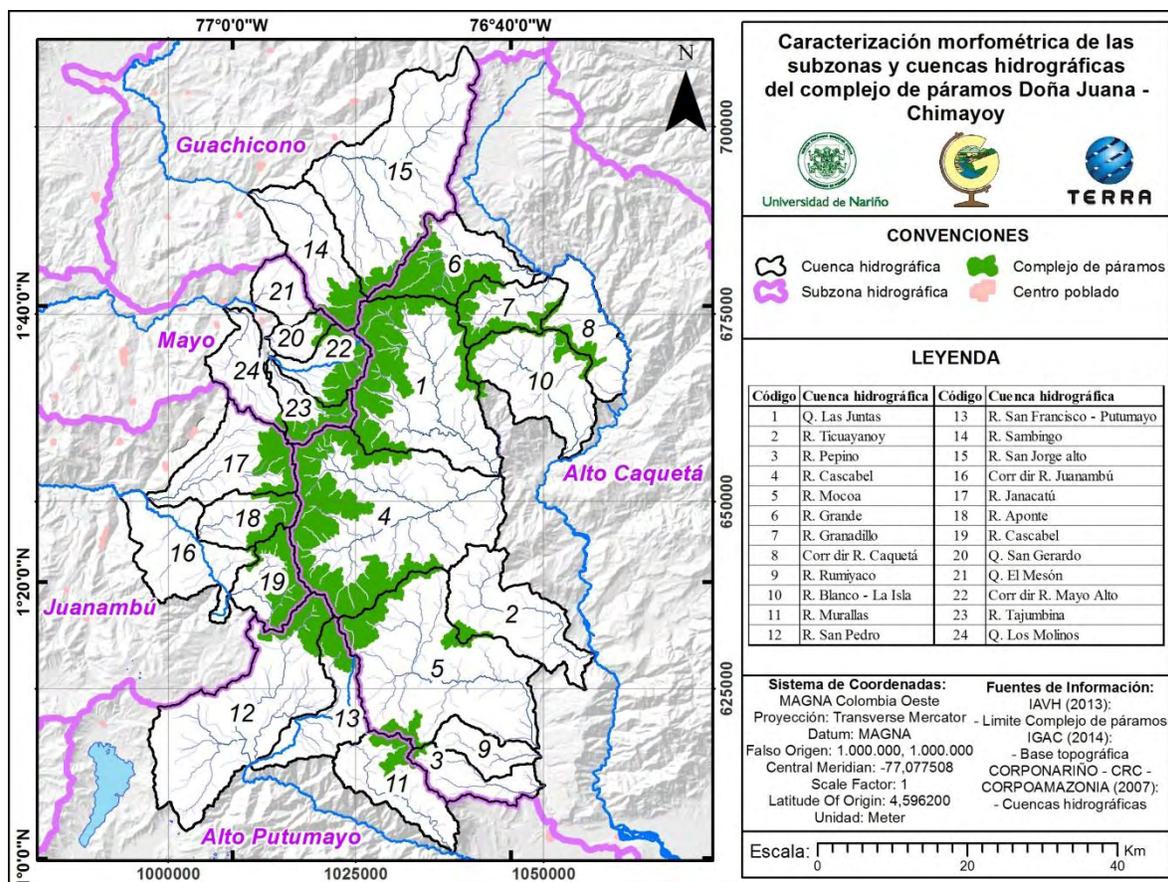
hidrográficas (SZH) delimitadas por IDEAM (2013), debido a la proximidad y superposición con el complejo de páramos de Doña Juana – Chimayoy (CDJCH), para su caracterización morfométrica en escala 1:100.000, definiendo las SZH de los ríos, Guachicono, Mayo, Juanambú, Alto Caquetá y Alto Putumayo (IDEAM, 2013) cuyos códigos oficiales son 5202, 5203, 5204, 4401 y 4701 respectivamente.

En la figura 2, es evidente la relación del CDJCH con las SZH que se ubican espacialmente en los departamentos de Nariño, Cauca y Putumayo; además con la inclusión del área de las subzonas hidrográficas con influencia directa del CDJCH, comprende los municipios de Potosí, Puerto Caicedo, Córdoba, Puerres, Orito, Bolívar, Sucre, La Vega, San Miguel (La Dorada), Funes, Puerto Guzmán, Villagarzón, Santiago, Tangua, San Francisco, Colón, La Sierra, Patía (El Bordo), Sotará (Paispamba), Sibundoy, Pasto, Nariño, La Florida, Buesaco, Mocoa, Albán (San José), El Tablón, Chachaguí, Arboleda (Berruecos), El Tambo, San Bernardo, Piamonte, San Pedro de Cartago, El Peñol, Belén, La Cruz, San Lorenzo, Colón (Génova), Taminango, La Unión, San Pablo, Valle del Guamués (La Hormiga), Santa Rosa, San Sebastián, Almaguer, Mercaderes, Puerto Asís y Florencia.

De la misma manera se seleccionó las cuencas hidrográficas relacionadas con el complejo de páramos CDJCH, para su trabajo en escala 1:25.000, ubicadas en los departamentos de Nariño, Cauca y Putumayo (figura 3), en las jurisdicciones de Las Corporaciones Autónomas Regionales de Nariño (CORPONARIÑO) y Cauca (CRC), y también de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA). Las 24 cuencas seleccionadas para su caracterización morfométrica son las de las corrientes directas de Cascabelito – Playón, del río Juanambú y Mayo Alto, las de las quebradas de El Mesón, El Tambillo, Las Juntas, Los Molinos, San Gerardo y los ríos Aponte, Cascabel (En la subzona hidrográfica del Alto Caquetá), Cascabel (En la subzona del río Juanambú), Granadillo, Grande, Janacatú, La Isla (Río Blanco), Mocoa, Murallas, Negro, Negro – San Jorge, Pepino, Rumiayaco, Sambingo, San Francisco – Putumayo, San Jorge Alto, San Pedro, Tajumbina, Ticuayanoy y Viginchoy –

Putumayo. Las cuales se obtuvieron desde fuentes secundarias y por medio de su delimitación directa sobre la base cartográfica.

Los municipios a los que hace alusión el cubrimiento de las cuencas hidrográficas del estudio corresponden en Nariño a Albán (San José), Belén, Buesaco, Colón (Génova), El Tablón, La Cruz, San Bernardo y San Pablo, en Cauca son Almaguer, Bolívar, San Sebastián y Santa Rosa y finalmente en Putumayo están Colón, Mocoa, San Francisco, Santiago y Sibundoy.



**Figura 4.** Cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy. Fuente: CORPONARIÑO (2007), CORPOAMAZONIA (s.f), CRC (s.f).

## 5. MARCO CONCEPTUAL

Según la zonificación hidrográfica e hidrogeológica realizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2013) retomada del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT (1978), en Colombia la delimitación de las cuencas hidrográficas tiene tres jerarquías: las áreas, zonas y subzonas hidrográficas. Las cuales se describen a continuación:

### 5.1 Áreas hidrográficas

Corresponden a las regiones o vertientes hidrográficas que son grandes áreas y agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en el mar, existiendo en Colombia cuatro vertientes, Orinoco, Amazonas, Atlántico y Pacífico, adicionalmente el HIMAT (1978) e IDEAM (2013) delimita la cuenca Magdalena-Cauca como una vertiente individual, si bien es cierto que ésta desemboca en el Atlántico, esta determinación se toma debido a su importancia socioeconómica para el país. De esta manera las áreas hidrográficas pertinentes con este trabajo son las del Pacífico y la del Amazonas debido a la ubicación del sector de estudio.

### 5.2 Zonas hidrográficas

Agrupan varias cuencas que desembocan sus aguas superficiales directamente en estas zonas y se presentan como un subsistema hídrico con características de relieve y drenaje homogéneo. Proporcionalmente, las cuencas de menor jerarquía que tributan sus aguas a las zonas hidrográficas se denominan *subzonas hidrográficas*. En Colombia el IDEAM (2013) definió 40 zonas hidrográficas, de las cuales se tienen en cuenta las de los ríos Patía, Caquetá y Putumayo de acuerdo a la localización del área de estudio.

### **5.3 Subzonas hidrográficas**

El MADS (2012), estableció que son áreas susceptibles de ordenación como se mencionó anteriormente, cuyas áreas según IDEAM (2013) son jerárquicamente de menor orden que las zonas hidrográficas. En el caso del estudio se usó la delimitación de las SZH de los ríos Guachicón, Mayo, Juanambú, Alto Caquetá y Alto Putumayo del total en Colombia que suma 311 unidades.

### **5.4 Cuenca hidrográfica**

Se puede decir que la cuenca hidrográfica es, como asegura Ojeda (2007), un sistema ambiental determinado territorialmente por una red hídrica que nos permite ordenar la ocupación y uso de las actividades humanas, conociendo las estructuras y funciones de los subsistemas que la conforman (físico, biótico y socioeconómico). Por su parte la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012) determinó que la cuenca hidrográfica es un área de drenaje de un curso de agua, río o lago que tiene una salida única para su escurrimiento superficial.

Partiendo de estos términos y acercándose un poco más al nivel nacional, el IDEAM (2013) ha definido a la cuenca hidrográfica como un espacio geográfico limitado por divisoria de agua donde se expresa el ciclo hidrológico en un volumen de control, y en un sentido más amplio se entiende que es una unidad de territorio donde las aguas fluyen mediante un sistema natural interconectado; en la cual pueden interactuar uno o varios elementos biofísicos, socioeconómicos y culturales. Por otra parte, y abordando esta temática desde la legislación nacional, se encuentra en el artículo 3° del Decreto 1640 (Minambiente, 2012) que la cuenca hidrográfica es “el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar”.

Entonces, se describe a la cuenca como la unidad territorial enmarcada en un sistema físico, biótico, social, económico y cultural delimitada por la distribución de una red de drenaje como resultado del ciclo hidrológico por una envolvente que la divide de otras cuencas cuya dinámica gira en torno a la escorrentía, fisiografía y demás aspectos socio-ambientales, es susceptible de planeación y ordenamiento. En este estudio se tomaron en cuenta 24 cuencas hidrográficas, en las jurisdicciones de los departamentos de Nariño, Cauca y Putumayo.

### **5.5 Morfometría de cuencas**

Se refiere al estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca hidrográfica (Delgadillo y Moreno, *s.f*) y se utiliza para analizar la red de drenaje, el relieve, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Un aspecto fundamental de estos estudios, es el hecho de que permiten inferir posibles picos de crecidas o avenidas en caso de tormentas.

La morfometría o morfología de cuencas se aborda a partir de los parámetros morfométricos, donde cada uno de ellos es la medida que involucra una variable, su función y sus rangos de variación. Es una serie de datos de naturaleza medible que permiten configurar un criterio para priorizar su ordenación, conteniendo su estudio para el reconocimiento de sus características principalmente físicas, dado el caso en las subzonas y cuencas hidrográficas. La cuantificación de estos parámetros permite interpretar y predecir, ciertos comportamientos hidrológicos y de torrencialidad en las cuencas hidrográficas, complementando esta información con otras características que identifican a cada cuenca como unidad independiente con elementos y factores que difieren entre una y otra, como el clima, la fisiografía del terreno y la presión sobre la oferta hídrica y de sus recursos que recibe.

Dentro del marco de este estudio los parámetros que se abordan para el estudio de las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio son los siguientes: área y perímetro, orden de corriente, densidad de drenaje, longitudes de cauce principal y de la

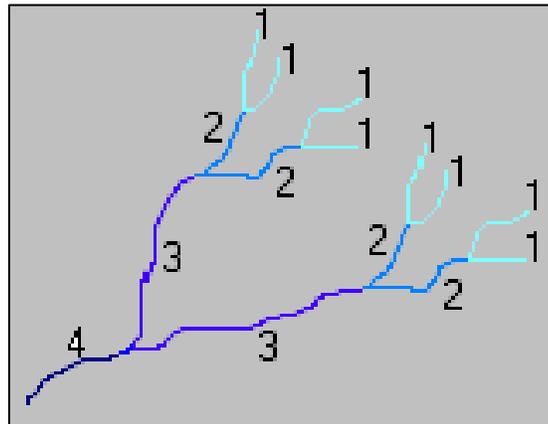
cuenca o axial, factor de forma, coeficiente de compacidad, coeficiente o índice de alargamiento, altura y pendiente. Las características de cada uno de estos parámetros se describen a continuación al igual que la forma de calcular cada uno:

**5.5.1. Área y Perímetro.** El área es el tamaño de la superficie de una cuenca en  $\text{Km}^2$  y permite determinar una clasificación de las cuencas dependiendo de su tamaño. El proceso por el cual se delimita una cuenca hidrográfica genera un modelo vectorial que abstrae esa realidad por medio de polígonos y por medio de mediciones topográficas que permiten aproximarse al dato de la superficie que ocupa realmente en el espacio, limitado por la divisoria de aguas (Daza, 2011), la que funciona como la línea envolvente del área.

El área de una cuenca en general, se encuentra relacionada con los procesos que en ella ocurren. También se ha comprobado, según el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004), que la relación de ésta con la longitud es proporcional y también que está inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el denominado relieve relativo.

**5.5.2. Orden de corriente.** El método de Strahler es uno de los más usados, debido a que es de fácil comprensión y aplicación, además de esto presenta una relación con otros parámetros morfométricos. El orden de corriente se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden es la que se forma de la confluencia de dos corrientes de orden uno, la de orden tres se obtiene de la sumatoria de dos corrientes hídricas de orden dos y así sucesivamente (figura 4).

El orden de corriente del afluente principal de una cuenca indica el grado de estructura de la red de drenaje, mientras más alto sea el orden de corriente, mayor será la red y tendrá una estructura más definida. Al mismo tiempo puede ser un factor importante para identificar la presencia de controles estructurales ejercidos por el relieve y una mayor posibilidad de erosión.



**Figura 4.** Órdenes de Corriente de Strahler. Fuente: Gregory and Walling, 1985

**5.5.3. Densidad de Drenaje.** Es uno de los parámetros más importantes dentro de los estudios morfométricos y se define por:

$$Dd = \frac{Ltc}{A}$$

Dónde: Dd: Densidad de drenaje (Km/Km<sup>2</sup>)  
 Ltc: Longitud total de todos los cauces (Km)  
 A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

En escala 1:25.000 los valores que se interpretan de la densidad de drenaje son los siguientes; valores menores a 1, se considera con una densidad baja, valores de 1 a 2 indican una densidad moderada, entre 2 y 3 se tiene una densidad alta y por último los valores superiores a 3 corresponden a densidades muy altas (Delgadillo & Páez, 2008).

Una densidad de drenaje alta se asocia con “materiales impermeables a nivel superficial, vegetación dispersa y relieves montañosos” (Strahler, 1964), una cuenca bien drenada generaría poco tiempo para que la escorrentía superficial pueda infiltrarse y percolar a nivel subterráneo, de allí que los acuíferos de estas zonas sean de bajos rendimientos o con un volumen de recarga muy pobre (Ruiz, 2001). Por su parte, Londoño

(2010) denota la importancia de este índice en el hecho de que “refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca”.

**5.5.4. Longitudes.** Del cauce principal se puede obtener al menos dos mediciones, la longitud axial y la longitud del cauce. El primero toma el punto inicial en el nacimiento del cauce principal, próximo al punto más lejano en la divisoria de aguas y termina en la desembocadura del mismo con una línea imaginaria que forma un eje. Mientras que el segundo sigue la corriente en su recorrido tomando los mismos puntos de referencia, por lo cual la longitud del cauce siempre va a ser mayor que la longitud axial, tomando en cuenta la sinuosidad que presenta el río o quebrada. A mayor longitud de cauce, menor tendencia a las crecidas, puesto que los tiempos de desplazamiento de las avenidas torrenciales serán mayores y por lo tanto atenuará las crecidas (Londoño, 2001) o lo que sería igual a decir que en un río corto los efectos de la precipitación se reflejan más rápidamente que en un río de mayor longitud (Klohn, 1970).

Con relación a la longitud de drenaje se toma en cuenta también la longitud total de todos los cauces, el cual es un insumo básico para la determinación de la densidad de drenaje en las cuencas hidrográficas que se menciona en el numeral 5.4.3.

En cuanto a la longitud de la cuenca, Jardí (1985) hace referencia a que éste parámetro tiene relación directa con la elongación de la cuenca, es decir con su alargamiento, cuyo dato se obtiene al medir por medio de una recta imaginaria desde el punto de desfogue o exutoria (Llamas, 1993) hasta el punto más alejado que intersecta con la divisoria de aguas o perímetro de la cuenca, este otro parámetro en sí teórico coincidiría con la longitud axial del cauce principal, razón por la cual se asimila la longitud máxima de la cuenca como equivalente a la longitud axial para la obtención de la información.

**5.5.5. Factor de forma.** Es una medida adimensional que indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca hidrográfica. Se denota como  $Rf$  y se expresa como la relación entre el Área de la cuenca y su longitud axial (Jardí, 1985) y (Henaó, 1988), manifiesta además la tendencia de la cuenca hacia las crecidas en función de su valor. Una forma tradicional de calcular este coeficiente es el expresado como “forma de la cuenca” o “relación de forma” de Horton, el cual se expresa por:

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

Dónde:  $Rf$ : Relación de forma (en este caso representa el Factor de forma)

$A$ : Área de la cuenca en  $Km^2$

$La$ : Longitud axial expresada en Km

Los valores obtenidos pueden interpretarse como se muestra en el cuadro 1; adicionalmente se puede decir que una cuenca con valores de  $Rf$  cercanos a 1 es más propensa a las crecidas, mientras que si éste es relativamente pequeño (entre 0 y 0.35 aproximadamente) la cuenca será menos propensa a las crecidas (Henaó, 1988) y (Londoño, 2001).

Cuadro 1

Rangos de la forma de una cuenca

Valores aproximados	Forma de la Cuenca
< 0,22	Muy Alargada
0,22 – 0,300	Alargada
0,300 – 0,37	Ligeramente Alargada
0,37 – 0,450	Ni alargada ni Ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente Ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,20	Muy Ensanchada
> 1,200	Redondeando el Desagüe

Fuente: Delgadillo & Moreno, s.f.

**5.5.6. Coeficiente de Compacidad.** Magette (1976) lo denominó “Compactness coefficient” y éste parámetro no tiene unidad de medida, se calcula como  $K_c$  y la relación que hace es la del perímetro en Km de la cuenca delimitada y el perímetro de un círculo de igual superficie (Londoño, 2001). Conforme al estudio de (Ibañez, Moreno, & Gisbert, 2011) se puede calcular por medio de la fórmula:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$$

Dónde:  $K_c$ : Coeficiente de compacidad  
 A: Área de la cuenca en  $\text{Km}^2$   
 P: Perímetro expresado en Km

Según el valor que tome este coeficiente la cuenca tendrá diferente forma (Cuadro 2), a medida que el parámetro va en aumento a partir de 1, desde la forma más redonda de cuenca hasta la rectangular oblonga o cuencas muy lobuladas, cuan más redonda es la cuenca, la tendencia a crecidas es mayor debido a la distancia al centro de todas las corrientes, lo cual implica menor tiempo de concentración, por lo que se entiende que se presenta mayor frecuencia en las crecidas.

Cuadro 2

Valores de Compacidad de una Cuenca

Coeficiente	Cuenca
1	Redonda
1,25	Oval redonda
1,5	Oblonga
$\geq 1,75$	Rectangular oblonga

Fuente: INE, 2004

Estos dos coeficientes, el de forma y el de compacidad, dan cuenta de la forma que en general caracteriza a una cuenca hidrográfica, acercándola a la forma de circulo o a una

forma más alargada, las cuencas más ensanchadas poseen una mayor susceptibilidad a las crecidas, debido a que el recorrido de una gota de agua de lluvia, a través de la cuenca, es mucho más corto, y por ende más rápido que en una cuenca más alargada.

**5.5.7. Índice de alargamiento.** Propuesto por Horton, también es conocido como coeficiente de alargamiento y relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho máximo medido perpendicularmente (INE, 2004); para este fin, el ancho promedio también puede ser obtenido mediante la relación entre la superficie y la longitud máxima de la cuenca ( $A/L_m$ ) como lo describe Ibañez et al. (2011). El índice de alargamiento se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Dónde:  $I_a$ : Índice de alargamiento

$L_m$ : Longitud máxima de la cuenca

$l$ : Ancho máximo de la cuenca (Se ajustó con el ancho promedio)

Cuando un valor de  $I_a$  es mayor a la unidad, la cuenca debería ser alargada o más rectangular, mientras que para valores cercanos a 1 la cuenca tendrá una red de drenaje en forma de abanico y puede que tenga un río principal corto (Londoño, 2001) que incrementa la posibilidad de avenidas torrenciales, en el siguiente cuadro (3) se relacionan los rangos de alargamiento:

Cuadro 3

Rangos de Alargamiento

Rangos	Clases de alargamiento
0,0 – 1,4	Poco alargado
1,5 – 2,8	Moderadamente alargada
2,9 – 4,2	Muy alargada

Fuente: INE, 2004

**5.5.8. Pendiente media de la cuenca.** Este parámetro define la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal, con lo cual se puede definir en cierto modo la susceptibilidad que una cuenca tiene a las crecidas. Esto se debe a que a mayor pendiente mayor será la velocidad del escurrimiento superficial, con lo cual la velocidad del cauce aumentara rápidamente y si a esto se suman las características de forma, más próxima a la redondez y ensanchamiento, se tendrá que una cuenca es de una alta torrencialidad. Esta variable puede ser calculada por el método de Alvord (Guevara & Cartaya, 1991) para el cual se aplica la siguiente formula:

$$Sc = \left( \frac{\sum Li * eq}{A} \right) * 100$$

Dónde Sc: Pendiente media de la cuenca

$\sum Li$ : Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel en Km

eq: Equidistancia entre curvas en Km. (A escala 1:25.000 este valor sería igual a 0.05Km; puesto que la separación de las curvas es de 50 metros)

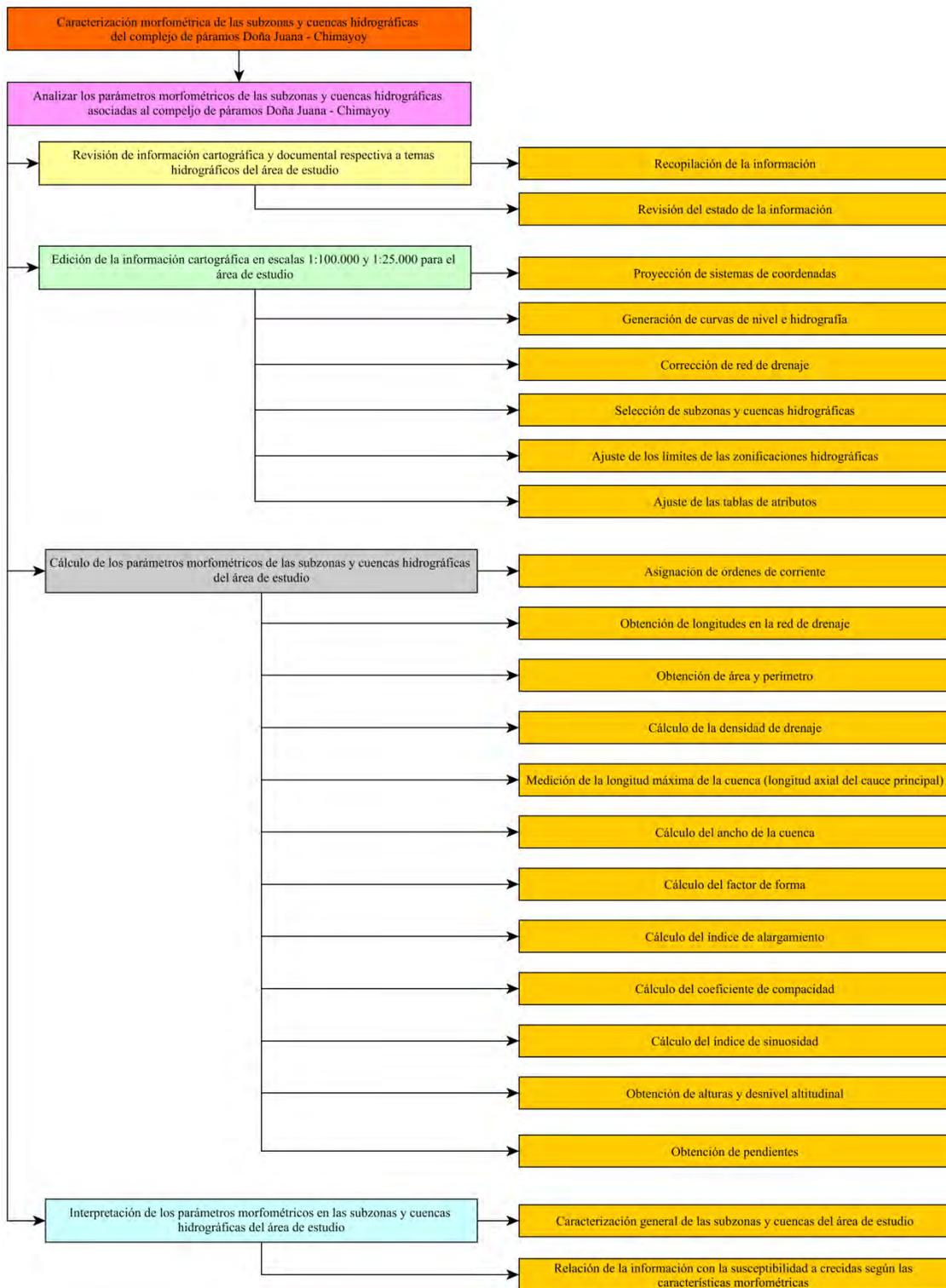
A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

## 6. METODOLOGÍA

La caracterización morfométrica de las subzonas y cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy se hizo por medio de la modalidad de pasantía como práctica profesional en la Universidad de Nariño (Udenar), conforme a lo establecido en el Acuerdo 001 de 2014 por el Comité Curricular del Departamento de Geografía como proyecto de grado para optar al Título de Geógrafo. La línea de investigación del trabajo es de Caracterización biofísica y ambiental del Espacio Geográfico, el enfoque es descriptivo y el tipo de investigación es cuanti-cualitativa.

La pasantía tuvo una duración de doce meses y se enmarcó, como se dijo anteriormente, en el convenio de cooperación 14-13-014-166CE de 2014 entre el Instituto de Investigación en Biodiversidad Alexander von Humboldt (IAvH) y la Udenar; el cual tuvo como objeto aunar esfuerzos para desarrollar la “Caracterización socioeconómica y biofísica de los complejos de páramos Doña Juana – Chimayoy, Chiles – Cumbal y La Cocha – Patascoy”, conforme a los términos de referencia establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, contribuyendo con información de base para la posterior delimitación de los ecosistemas de páramos y humedales en escala 1:25.000 por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales.

Durante la ejecución de la pasantía se llevó a cabo la siguiente metodología dividida en cuatro fases: en primera instancia se trata de una fase general la cual permitió la recopilación y la revisión de información documental y cartográfica tanto básica como temática considerando que ésta se obtuvo de diversas fuentes; en la segunda fase se realizó una edición de la información cartográfica por medio de herramientas de sistemas de información geográfica para que en la fase subsecuente se ejecuten los respectivos cálculos de los parámetros morfométricos para las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio; finalmente en la cuarta y última fase se describió de forma detallada los correspondientes productos y resultados del estudio, como se puede apreciar en la figura 5 del Esquema metodológico y se desglosa a continuación:



**Figura 5.** Metodología usada en este estudio.

## 6.1 Fase 1. Revisión de la información cartográfica y documental

La información cartográfica fue almacenada en formatos vectoriales y ráster, se consultó también documentos con relación a las características hidrográficas del área de estudio y tras realizar su revisión, se obtuvo información confiable para continuar con el proceso de trabajo en las escalas 1:100.000 y 1:25.000 respectivamente de las subzonas hidrográficas (SZH) y también de las cuencas hidrográficas del área de estudio, mediante el desarrollo de las siguientes actividades:

**6.1.1. Recopilación de información.** La mayor parte de la información tenida en cuenta fue adquirida de las principales entidades oficiales en el país como son; el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Servicio Geológico Colombiano, el Instituto de Investigación Biológica Alexander von Humboldt (IAvH) y las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos de Nariño, Cauca y Putumayo (CORPONARIÑO, CRC y CORPOAMAZONIA, respectivamente).

Para la cartografía en escala 1:100.000 se encontró con una cobertura del total del área de estudio que compila 15 planchas topográficas. Por su parte, en la escala 1:25000, se obtuvo un total de 29 planchas, que representan un 84% del total del área de estudio, dichas planchas corresponden a las nomenclaturas referenciadas en la figura 6. El faltante 16% de la cobertura en escala 1:25.000 fue generada a partir de un modelo digital de elevación (DEM o MDT) descargado de internet y procesado para aumentar la resolución espacial, de 30m a 10m y así generar curvas de nivel y la red hídrica respectiva, posteriormente editada en formato vectorial tipo línea, con la ayuda de imágenes satelitales de Google Earth® en el software ArcGIS®.

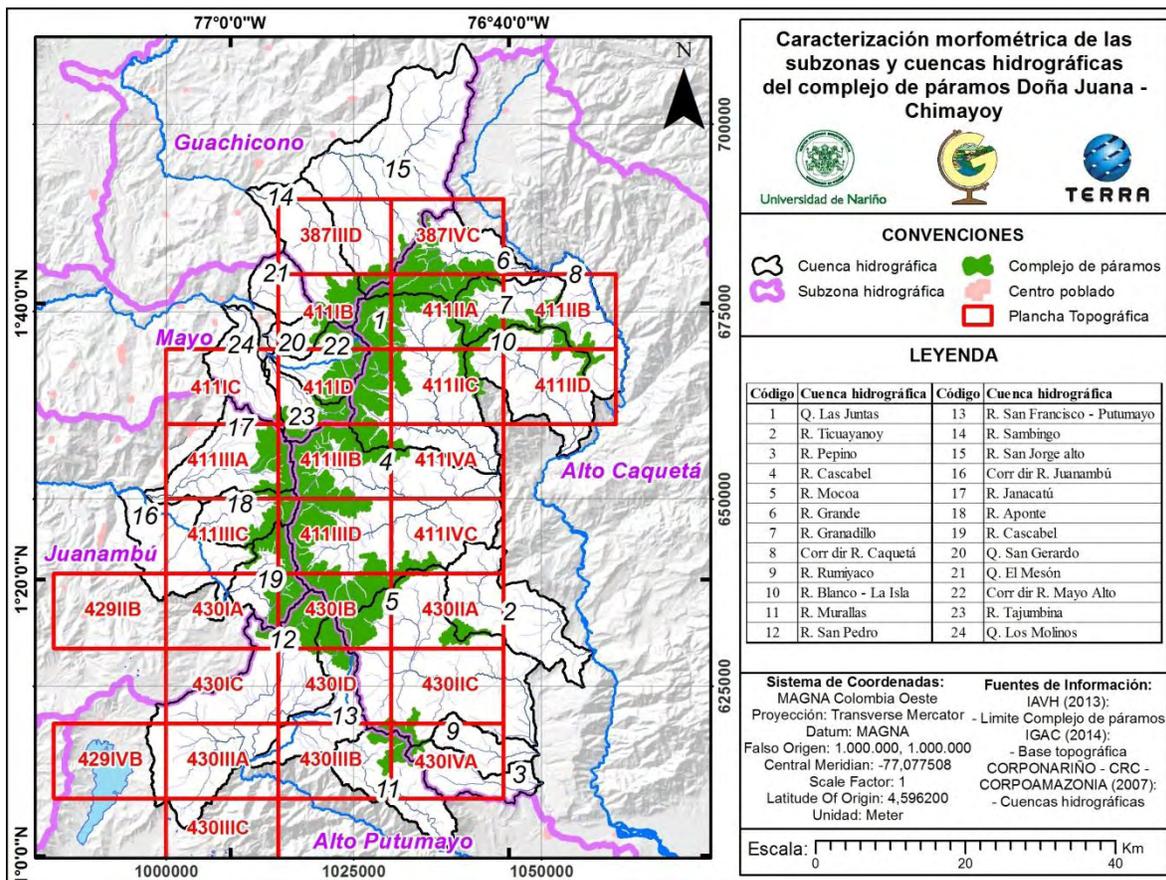


Figura 6. Cobertura de planchas en escala 1:25000.

Toda la información cartográfica se encuentra en formatos editables propios para su uso en el software ArcGIS® que permite su almacenamiento, edición, procesamiento y generación de productos principalmente cartográficos, contenidos en las denominadas geodatabases, las cuales son archivos digitales que pueden contener este tipo de información de forma funcional (ESRI, 2012), además que los datos contenidos en este tipo de formato cuentan con un modelo de información integral para representar y administrar información geográfica, dichos datos pueden estar en diferentes formatos como son el vectorial, ráster o bases de datos relacionales o tablas a los que se han denominado datasets (ESRI, 2013), los archivos de formato vectorial corresponden a las denominadas capas, features o entidades las cuales tienen la característica de contener la información espacial y alfanumérica

representadas en puntos, líneas y polígonos acompañadas con su respectiva tabla de atributos.

Por su parte los rásteres contienen información en forma de píxeles o celdas, las cuales contienen y representan valores determinados dentro de una imagen por ejemplo la altura en un modelo digital de elevación o niveles digitales (valores de pixel) que pueden representar información del espectro visible, colores de la superficie expuesta en el caso de las imágenes satelitales. Al tratarse de archivos geográficos estos están georeferenciados, es decir, ubicados espacialmente haciendo referencia además a su resolución espacial (tamaño mínimo de pixel).

**6.1.2. Revisión de la información cartográfica.** Ésta actividad se desarrolló por medio del software ArcGIS®, mediante la comparación de las capas entregadas en formato digital por el IAvH, IDEAM, IGAC, INGEOMINAS y las CAR, en escalas cartográficas 1:100.000 y 1:25.000. Entre muchos detalles de esta actividad se encuentra la verificación de formato de archivo, sistemas de coordenadas o proyección, topología, toponimia y modelos de datos, los cuales se describen a continuación.

El formato se refiere a la extensión de cada archivo inherente a la compatibilidad de software para ser usada dentro de este proceso. Entre otros, se revisa si se trata de shapefiles de extensión \*.shp, dibujos asistidos por computador de formato \*.dwg o \*.dxf, que son archivos compatibles con el software AutoCAD, en el caso de imágenes pueden ser \*.jpg, \*.tif, \*.img, entre otros. Al finalizar esta revisión se obtuvo una base de datos digitales homogénea para poder trabajar los diferentes archivos en geodatabases que no presentan inconvenientes de compatibilidad.

En cuanto al sistema de coordenadas, se trata de una forma de representación de la información ya que existen diversas formas de representar digitalmente la ubicación espacial de cada uno de los “feature clases” o entidades, así por ejemplo algunas capas pueden tener un sistema de referencia de coordenadas (SRC) geográficas, que también pueden estar representadas en formatos decimales o hexagesimales, es decir grados decimales o grados, minutos y segundos; por otro lado existen archivos que están

proyectados en coordenadas planas donde se debe identificar a que sistema pertenecen, ya que en Colombia el sistema de proyección oficial es el del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia del Sistema de Referencia geocéntrico de las Américas (MAGNA-SIRGAS), el cual también cuenta con diversos orígenes, que en el caso de la cartografía debe responder a la zona Colombia oeste que es muy similar al antiguo sistema de coordenadas denominado observatorio de Bogotá, del cual deben ser re proyectados al actual, por medio de algoritmos específicos en el software ArcGIS®.

La topología se revisó por medio del programa ArcGIS®, verificando algunas relaciones entre la geometría de distintas capas, también se descartó inconsistencias entre líneas y polígonos; dado que la topología es la base del análisis espacial (IGAC, 1995), que relaciona la geometría de los modelos vectoriales y permite el manejo de los objetos geográficos con funciones como la unión y la intersección (cruces geométricos), el realizar la revisión topológica asegura desde un inicio que no existan errores como la superposición, la redundancia o la existencia de huecos cartográficos (Gaps). Por ejemplo, las intersecciones de la red de drenaje respetando los nodos, es decir que el punto de unión entre una corriente y otra sea muy preciso, también que no haya sobreposiciones entre polígonos que representen los límites entre cuencas hidrográficas, que la red hídrica no debe salirse del área delimitada de cada cuenca, etc. A continuación, en el cuadro 4, se presentan las reglas utilizadas para dicha revisión:

#### Cuadro 4

Reglas de topología aplicadas.

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Capa de aplicación</b>
Must not overlap	Evita la superposición entre polígonos.	Subzonas y Cuencas
Must not have gaps	Elimina los vacíos existentes dentro de un polígono o entre polígonos adyacentes.	Subzonas y Cuencas
Must not have psudonodes	Las líneas de una misma entidad deben ser continuas, no deben sobreponerse nodos.	Ríos y Curvas de nivel

Cuadro 4

Reglas de topología aplicadas. (Continuación)

Nombre	Descripción	Capa de aplicación
Must not have dangles	El final de una línea debe estar conectado necesariamente a otra línea, no deben existir “nodos colgantes”.	Ríos y Curvas de nivel
Must not self overlap	Evita la superposición de una línea sobre sí misma.	Ríos y Curvas de nivel
Must not overlap	Evita la superposición entre líneas.	Ríos y Curvas de nivel

Fuente: Esri, 2010. Póster ArcGIS® Geodatabase Topology Rules.

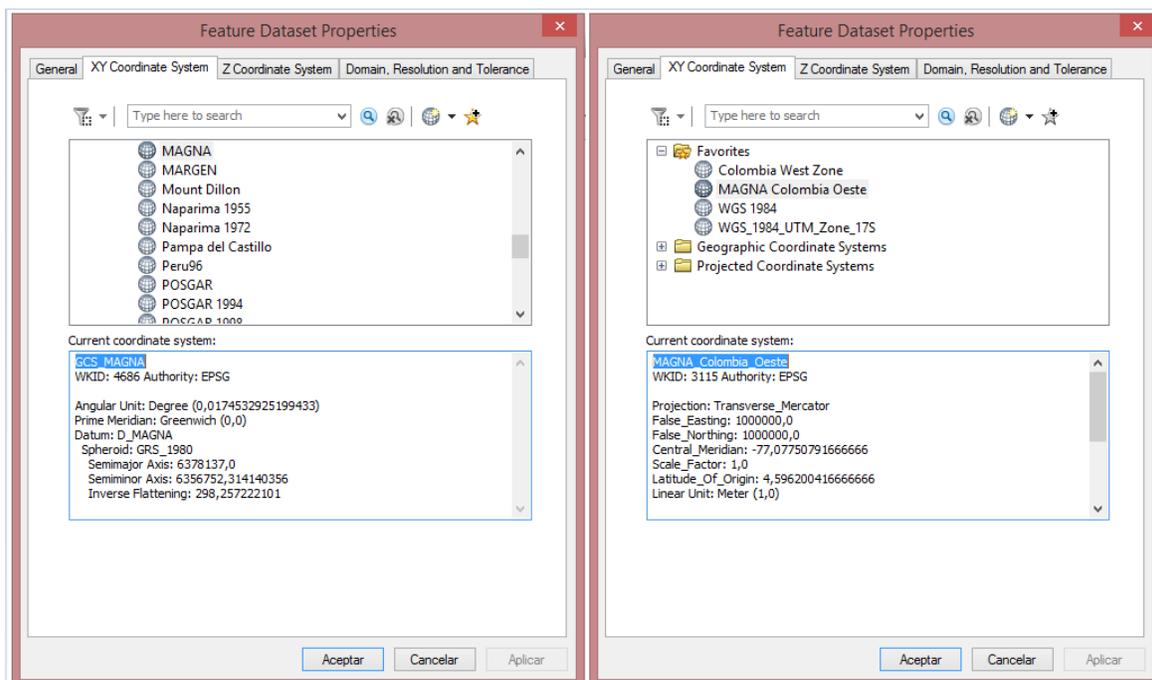
## 6.2 Fase 2. Edición de la información cartográfica en escalas 1:100.000 y 1:25.000

La revisión de la información permitió definir los trabajos necesarios con la información geográfica para mantener la consistencia y compatibilidad de los datos contenidos en los archivos, es así como se hizo las siguientes ediciones:

**6.2.1. Proyección de sistema de coordenadas.** En cuanto al sistema de coordenadas de las geodatabases y los diferentes archivos vectoriales y ráster, se hizo necesaria una reproyección para pasar del sistema de referencia espacial de origen al oficial establecido para el área de estudio, por ejemplo de MAGNA o de WGS84 a MAGNA SIRGAS Colombia Oeste, mediante el software ArcGIS®. Lo cual se puede evidenciar en la Figura 7 extraída del software GIS, donde se muestra las diferencias entre la proyección que tenía inicialmente la capa que representa a las subzonas hidrográficas en el margen izquierdo de la figura y la del sistema en el cual finalmente se encuentra representada, luego de procesar el archivo.

Cabe resaltar también que este proceso de proyección de coordenadas también hace alusión a que los nuevos archivos que se generan deben estar directamente proyectados en

el sistema de coordenadas oficial para el área de estudio. Por ejemplo cuando se genera nuevas capas, ya deben estar proyectadas en el sistema de proyección MAGNA – SIRGAS, especificando en el origen de la Zona Colombia Oeste.



**Figura 7.** Sistemas de coordenadas de las geodatabases. Fuente: ArcGIS®.

En cuanto a las revisiones de la toponimia, que hace referencia al conocimiento “in situ” de los elementos representados en la información geográfica y cartográfica, se hace a través de fuentes de información secundaria y en algunos casos con trabajo en campo, siendo posible finalmente plasmar los nombres de los sitios en los mapas y productos vectoriales para su representación en salidas gráficas.

Finalmente, los modelos hacen referencia a la forma lógica de cómo se almacena la información, es decir, a la estructura de cada una de las geodatabases, su funcionamiento es similar al de manejo de los directorios en las unidades de disco de cualquier computadora, ejemplo las carpetas que contienen archivos, los cuales pueden ser imágenes, textos, tablas, etc. En el caso de las geodatabases relacionadas con la cartografía base, se habla del modelo de datos del IGAC, el cual está preestablecido en la información recibida, pero

también aplica en la estructuración de las tablas de atributos de cada archivo vectorial. Ejemplo de ello es cuando se inserta campos o filas en las cuales se ingresan datos que pueden ser numéricos, textuales, binarios, etc.

**6.2.2. Generación de curvas de nivel y de hidrografía.** En esta actividad por medio del software ArcGIS® se procesó el Modelo Digital de Elevación (DEM) en dos sentidos, en primer lugar se recalculó el tamaño de cada pixel para que el detalle aumente, de esta forma se pasó de tener el DEM de resolución de 30m a 10m. La otra parte del proceso conllevó el uso de herramientas de análisis espacial específicas del programa sobre relieve para generar las curvas de nivel y así mismo de hidrología para la red de drenaje y también de algunas cuencas hidrográficas, por medio de algoritmos que incluyen modelos ráster de dirección de flujo y también de acumulación y condición, para su posterior vectorización.

**6.2.3. Corrección de la red de drenaje.** La red de drenaje generada por medio del DEM, presenta algunas inconsistencias inherentes a su resolución; es así como por medio de ArcGIS®, se editó los cursos de agua con referencia en imágenes de Google Earth®, de esta forma la cartografía se ajusta más a la realidad.

**6.2.4. Selección de subzonas y cuencas hidrográficas.** Con la información respectiva fue necesario realizar una serie de consultas que permitieron relacionar las capas de subzonas hidrográficas (SZH) y cuencas con la del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy (CDJCH), de esta manera mediante la interrelación de las geometrías es posible establecer con mucha certeza cuáles son las SZH y cuencas que tienen directa incidencia con el CDJCH.

En la escala cartográfica 1:100000, se retoma la zonificación hidrográfica e hidrogeológica de Colombia (IDEAM, 2013), de donde se hace una selección espacial por medio de la intersección geométrica de las subzonas hidrográficas con el CDJCH, con lo que se obtuvo el área de estudio definitiva de las subzonas hidrográficas (SZH), la cual

incluye las subzonas hidrográficas de los ríos Guachicono, Mayo, Juanambú, Alto Caquetá y Alto Putumayo (ver figura 2)

Para la escala 1:25000, se hizo el mismo cruce de información, en este caso con la capa temática de cuencas hidrográficas, dicha capa contiene información principalmente de la delimitación de cuencas de CORPONARIÑO (2007) y de algunas de los departamentos de Cauca y Putumayo que son las priorizadas por las CAR respectivas y principalmente son las que se encuentran en proceso de ordenación, además algunas cuencas se delimitaron específicamente, teniendo en cuenta órdenes de corriente de Strahler y el cubrimiento del CDJCH. Así entonces, para el estudio se definió que las cuencas hidrográficas a tomar en cuenta para su caracterización morfométrica en total son 24, las cuales se relacionan en la figura 3 y también en el Anexo 1.

**6.2.5. Ajuste de los límites de las zonificaciones hidrográficas.** En esta parte del estudio, teniendo en cuenta la topología de los archivos de SZH y cuencas hidrográficas, se editó la información ajustando a la base cartográfica por medio de del software GIS apoyado con la información topográfica de base y la visualización de imágenes satelitales y el MDE.

**6.2.6. Ajuste de las tablas de atributos.** Esta edición consistió en agregar campos en las tablas de atributos para poder incluir la información morfométrica en los archivos de capa o shapefiles, de las SZH y las cuencas hidrográficas, donde se guardan los datos de forma consistente. A continuación en el cuadro 5 se relaciona los campos agregados en las capas:

Cuadro 5

Campos de las tablas de atributos

Nombre	Capa	Tipo	Longitud	Contenido
Nom_geo		Texto	30,0	Nombre de cada cuenca
P		Doble	-	Perímetro (Km)
A		Doble	-	Area (Km <sup>2</sup> )
Lcp		Doble	-	Longitud del cauce principal (Km)
Lm		Doble	-	Longitud de la cuenca
Am		Doble	-	Ancho medio de la cuenca
RF		Doble	-	Factor de forma
Forma		Texto	50,0	Valor nominal de la forma
Kc		Doble	-	Coefficiente de compacidad
Compac	Cuencas Hidrográficas	Texto	50,0	Valor nominal de compacidad
Ia		Doble	-	Indice de Alargamiento
Alarg		Texto	50,0	Valor nominal de alargamiento
DD		Doble	-	Densidad de drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )
Ltc		Doble	-	Longitud de todos los cauces (Km)
Cant_Corr		Short Integer	-	Cantidad de corrientes
Alt_min		Doble	-	Altura mínima (msnm)
Alt_max		Doble	-	Altura máxima (msnm)
Alt_med		Doble	-	Altura media (msnm)
var_Alt		Doble	-	Variación altitudinal (m)
Pend_max		Doble	-	Pendiente máxima (%)
Pend_med		Doble	-	Pendiente media (%)
Suscept		Texto	50,00	Susceptibilidad a crecidas
Orden	Drenaje	Entero corto	-	Orden de corriente
Long		Doble	-	Longitud (Km)

### 6.3 Fase 3. Cálculo de los parámetros morfométricos

En esta etapa del estudio se procedió a obtener los datos relacionados con parámetros morfométricos de medición directa (cuadro 6) en las subzonas y cuencas que hacen parte de este trabajo, dichos parámetros se obtienen automáticamente de la información cartográfica y este procedimiento se realizó con la ayuda del software ArcGIS10. Posteriormente se

tabularon todos los datos obtenidos en una hoja de cálculo (formato \*.xls) en la que el manejo de la información es más sencilla de realizar y permite el cálculo de los parámetros de medición indirecta relacionándolos todos en el cuadro 6:

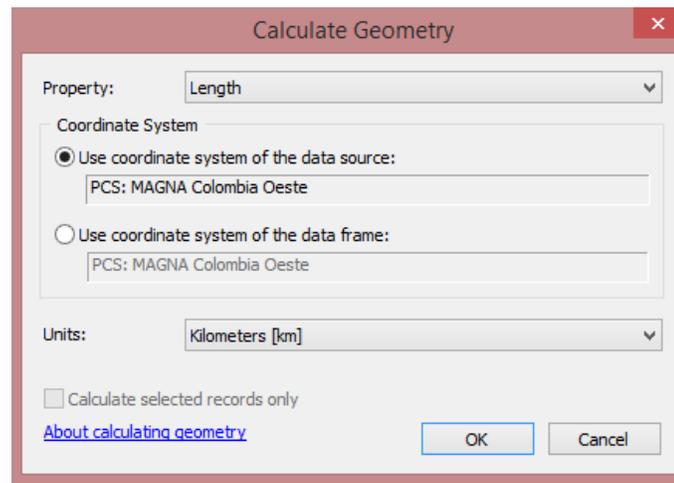
Cuadro 6

## Parámetros morfométricos

Tipo	Parámetro	Unidad de medida	Símbolo	Fórmula
<b>Medición directa</b>	Área	Km <sup>2</sup>	A	na
	Perímetro	Km	P	na
	Longitud axial o máxima de la cuenca	Km	La	na
	Longitud cauce principal	Km	L <sub>cp</sub>	na
	Longitud total de todos los cauces	Km	L <sub>tc</sub>	na
	Ordenes de corriente	Adimensional	na	na
	Pendiente de la cuenca	% o grados	na	na
	Alturas	m.s.n.m	H	na
<b>Medición indirecta</b>	Ancho promedio	Km	<i>l</i>	$l = \frac{A}{La}$
	Densidad de drenaje	Km/Km <sup>2</sup>	<i>Dd</i>	$Dd = \frac{L_t}{A}$
	Factor de forma	Adimensional	<i>Rf</i>	$Rf = \frac{A}{La^2}$
	Coefficiente de compacidad	Adimensional	<i>Kc</i>	$Kc = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}}$
	Índice de alargamiento	Adimensional	<i>Ia</i>	$Ia = \frac{La}{l}$

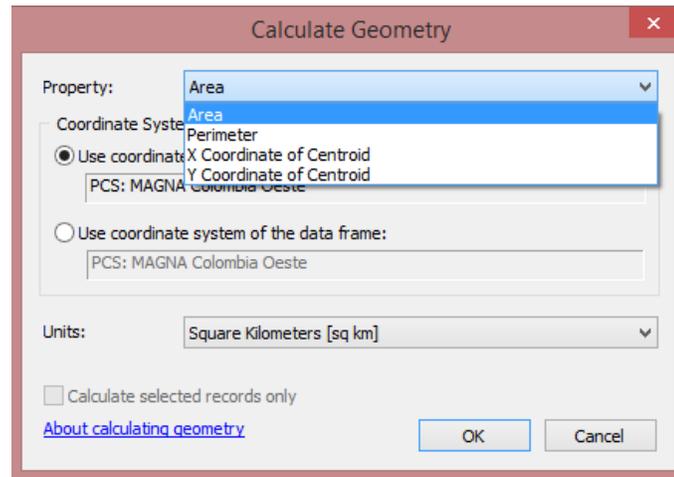
**6.3.1. Asignación de órdenes de corriente.** Este trabajo se desarrolló en la capa de la red hídrica, a través de la edición de las líneas en su tabla de atributos. Asignando a cada una de las corrientes el valor conforme a la metodología de Strahler (1964). De esta forma se pudo determinar también el número de corrientes por cada orden y también las longitudes parciales y totales en el software GIS.

**6.3.2. Cálculo de longitudes en la red de drenaje.** Debido a que la red de drenaje ya está totalmente editada, se recalculó las longitudes y de esta forma se obtuvo los datos sobre la longitud total de todos los cauces, como también la longitud del cauce principal. Ellos son datos relevantes para la determinación de datos como la densidad de drenaje, sinuosidad, entre otros. En la figura 8, del cálculo de longitudes, se puede evidenciar el proceso:



**Figura 8.** Cálculo de longitudes. Fuente: ArcGIS®.

**6.3.3. Cálculo de área y perímetro.** Dado que la geometría de los archivos vectoriales de las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio es poligonal, se procedió por medio de ArcGIS® a computar los datos respectivos a la superficie y la longitud de su línea envolvente en  $\text{Km}^2$  y  $\text{Km}$  respectivamente, los cuales se encuentran consignados en las tablas de atributos de los feature classes, como se muestra en la figura 9:



**Figura 9.** Cálculo de área y perímetro. Fuente: ArcGIS®.

**6.3.4. Cálculo de la densidad de drenaje.** En la tabla de atributos se realizó el cálculo que relaciona las áreas para cada SZH y cuenca con las longitudes de todos sus cauces, expresados en  $\text{Km}/\text{Km}^2$ . Haciendo uso de las bondades del software ArcGIS 10®, por medio de sus herramientas de calculadora.

**6.3.5. Medición de la longitud máxima de la cuenca.** Este dato corresponde con la longitud axial de la cuenca, de esta forma se hizo la medición de la distancia entre el punto de desfogue para cada SZH y cuenca hasta el punto más alejado de las mismas, en Km y cuyos datos están incluidos en las respectivas tablas de atributos.

**6.3.6. Cálculo del ancho de la cuenca.** El ancho de cada SZH y cuenca, fue obtenido por medio de la relación de sus áreas con su longitud máxima, de esta manera se cuenta con el dato promedio para cada una de ellas, de forma que el ancho que es medido perpendicularmente al eje axial de la cuenca tiene valores lógicamente consistentes.

**6.3.7. Cálculo del factor de forma.** La relación entre el área y la longitud máxima de cada SZH y cada cuenca, se realizó para incluir el dato respectivo pero de la misma

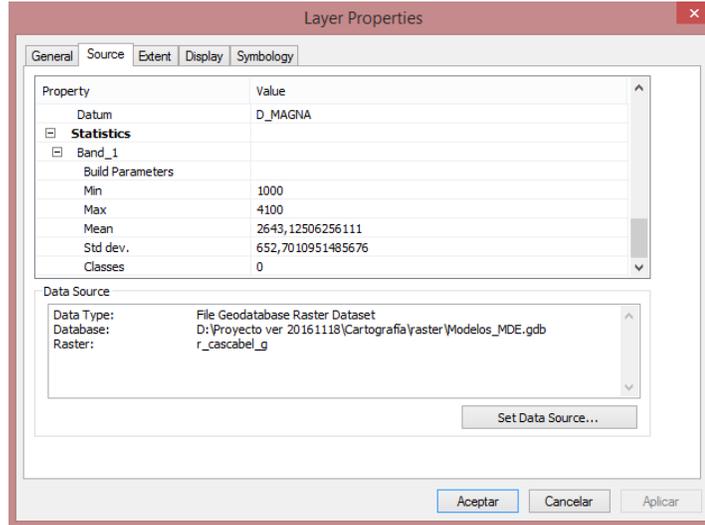
manera se incluye también la asignación nominal de la forma inferida de cada una de ellas que se encuentra finalmente dentro de las tablas de atributos.

**6.3.8. Cálculo del índice de alargamiento.** Cada dato relacionado en la tabla de atributos, corresponde al computado mediante la información de la longitud máxima de las SZH y cuencas con su ancho promedio, lo que en términos prácticos se obtiene de la información inicialmente tabulada complementando también con el orden nominal del alargamiento para cada cuenca del estudio.

**6.3.9. Cálculo del coeficiente de compacidad.** Según su fórmula se obtuvo este parámetro con su respectivo valor nominal para insertarlos en las tablas de atributos, desde archivos de hojas de cálculo estableciendo la relación a manera de bases de datos con funciones como la inserción y copia para la tabla de atributos.

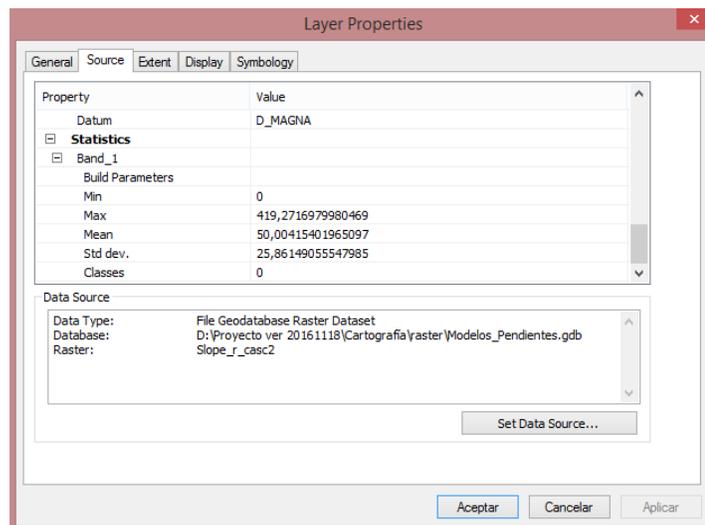
**6.3.10. Cálculo del índice de sinuosidad.** La relación de las longitudes del cauce principal y axial, está inmersa en la tabla de atributos de cada SZH y cuenca que fue calculado directamente en la tabla de atributos con la calculadora del programa ArcGIS®.

**6.3.11. Obtención de alturas.** Mediante el software ArcGIS® con el archivo ráster del modelo digital de elevación (DEM), se obtuvo por medio de la revisión de la información estadística los datos de elevación máxima, media y mínima, de modo que representa los puntos de extremos de altura que tiene en sí la cuenca expresado en metros en relación al nivel medio sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Como se muestra en la figura 10, además estos datos permitieron calcular el desnivel altitudinal por medio de su diferencia aritmética en metros que equivale a la altura real de cada cuenca desde su base en el punto de desfogue hasta su cima más alta.



**Figura 10.** Estadísticas del MDE. Fuente: ArcGIS®

**6.3.12. Obtención de pendientes.** Al igual que los datos de alturas, las pendientes para cada SZH y cuenca, fueron colectadas en porcentajes (%) desde las propiedades estadísticas del modelo ráster. Una muestra está en la figura que se encuentra a continuación:



**Figura 11.** Estadísticas del modelo de pendientes. Fuente: ArcGIS®

#### **6.4 Fase 4. Análisis de los parámetros morfométricos en las subzonas y cuencas hidrográficas del área de estudio**

Una vez se organizó la información de acuerdo al proceso planteado en la metodología, se procedió a revisar y analizar los datos de acuerdo a los referentes conceptuales que se abordaron durante este trabajo, mediante las siguientes actividades:

##### **6.4.1. Caracterización general de las subzonas y cuencas del área de estudio.**

En el primer paso del proceso de consolidación de información se hizo necesaria una identificación de las características principales de cada una de las unidades de análisis, subzonas y cuencas hidrográficas, centrándose en este punto en todo lo referente a ubicación, orientación y cualidades generales para entrar en contexto del área de estudio y los temas a tratar.

**6.4.2. Identificación de la clasificación de los parámetros morfométricos.** Una vez obtenidos los principales datos, relacionados con las características morfométricas para las subzonas y las cuencas hidrográficas objeto de estudio, se procedió a clasificarlos definiendo las particularidades morfométricas inherentes a su forma, compacidad y alargamiento, permitiendo un posterior análisis de dichos elementos.

**6.4.3. Relación de la información con la susceptibilidad a crecidas según las características morfométricas.** Siendo esta la actividad final de la última fase metodológica, permitió ejecutar el último paso del estudio, un trabajo de consociación de la información obtenida para cada una de las unidades de estudio (subzonas y cuencas hidrográficas) y cada uno de los elementos analizados (parámetros morfométricos de medición directa e indirecta) desarrollados en actividades anteriores, definiendo así la susceptibilidad ante fenómenos de crecidas intempestivas y estableciendo diferentes categorías, alta, media y baja.

## **7. INFORME DE ACTIVIDADES REALIZADAS**

Conforme al Acuerdo 001 de 2014 del departamento de Geografía de la Universidad de Nariño, este trabajo de pasantía como práctica profesional para optar al Título de Geógrafo, se llevó a cabo en la Universidad de Nariño, dentro de la Investigación encaminada a la recopilación de insumos técnicos para una posterior delimitación de ecosistemas estratégicos, como son los páramos, siendo el caso del estudio los denominados complejos de páramos de Doña Juana – Chimayoy, La Cocha – Patascoy y Chiles Cumbal definidos por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH, 2012), mediante el convenio interadministrativo 14-13-014-166CE del 2014, suscrito entre la Universidad de Nariño y el Instituto Alexander von Humboldt.

El Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA, bajo la coordinación del docente Germán Narváez Bravo, participó en la investigación del convenio interadministrativo, dentro del componente físico y cartográfico, el estudio hidrográfico e hidrológico hizo parte de los quehaceres del grupo de investigación, como parte temática del estudio, respondiendo a los términos de referencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la posterior delimitación de los páramos en escala 1:25.000 para los tres complejos de páramos. En ese sentido para el trabajo desarrollado en la pasantía, y del trabajo de grado denominado “Caracterización Morfométrica de las Subzonas y Cuencas Hidrográficas del Complejo de Páramos Doña Juana – Chimayoy” tuvo como referencia dos niveles de detalle, los cuales son a nivel de subzona hidrográfica, la escala 1:100.000 y con relación a las cuencas hidrográficas del área de estudio, en escala 1:25.000, por medio de las siguientes actividades:

### **7.1 Consulta y revisión de la información**

Debido a las necesidades de las instituciones implicadas en el convenio 14-13-014-166CE del 2014, relacionado anteriormente, encaminadas a desarrollar la mayor parte de los procesos del componente físico y cartográfico, a través de las fuentes de información

oficiales (entidades estatales encargadas de procesos relacionados con la investigación y ordenación del territorio principalmente en aspectos ambientales), se hizo preciso generar un proceso de búsqueda, consulta y revisión de la información disponible en dichas entidades, describiendo a continuación los principales aspectos de las actividades encaminadas a satisfacer dicha necesidad.

**7.1.1 Consulta y Procesamiento de información:** A partir de la información cartográfica entregada por parte del IAvH, recopilada de diversas fuentes oficiales, tales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), del mismo IAvH, la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), entre otros. Se buscó los archivos compatibles con Sistemas de Información Geográfica (SIG) que sirvieran de insumo para la obtención de los parámetros morfométricos de las subzonas y cuencas hidrográficas de los tres complejos, en escala 1:100.000 se tiene un total cubrimiento de información cartográfica, mientras que en escala 1:25.000 se presentó un vacío de información, error que fue corregido posteriormente.

La información temática referente a capas y documentos relacionados con la delimitación y zonificación hidrográfica, oficializada en Colombia por el IDEAM (2013), se obtuvo en formato shapefile (zonas y subzonas hidrográficas). Por su parte para el departamento de Nariño la información de cuencas se obtuvo por medio de CORPONARIÑO (2007), mientras que para los departamentos de Cauca y Putumayo se consultaron los Planes Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas realizados por la CRC y CORPOAMAZONIA, respectivamente.

Durante este proceso, se obtuvo las imágenes satelitales suministradas por el IAvH, cuyo proveedor principal es el Banco Nacional de Imágenes (BNI) del IGAC, además de adquirir imágenes descargadas de Google Earth®, mediante el software S.A.S. Planet en formato \*.ecw, siendo todas estas imágenes muy útiles para la revisión y ajuste de la red hídrica y los cuerpos de agua.

**7.1.2 Revisión de la información.** Se hizo necesaria una revisión preliminar de la información, para cerciorarse del estado de la base topográfica y temática, obteniendo en primer lugar una geodatabase estandarizada de la base topográfica en escala 1:100.000 del área de estudio, la zonificación hidrográfica de Colombia (IDEAM, 2013) y la delimitación de páramos actualizada en el año 2012 por el IAvH; después se adquirieron la mayoría de planchas topográficas en escala 1:25.000 que tienen relación con los complejos de páramos de Doña Juana – Chimayoy, Chiles – Cumbal y La Cocha – Patascoy en formato de geodatabase, junto con la delimitación de las cuencas para la jurisdicción de CORPONARIÑO. En esta parte del trabajo se identificó el sistema de coordenadas, formato y contenido general de dicha información.

## **7.2 Procesamiento cartográfico**

Con la finalidad de obtener una cartografía homogénea y confiable, se hizo necesario desarrollar diferentes procedimientos encaminados a modificar algunas características de los archivos originales obtenidos en las actividades anteriores, relacionadas principalmente con el formato, las coordenadas y ediciones necesarias que se describen a continuación:

**7.2.1 Conversiones de formatos.** Debido a la variedad de entidades que otorgaron la información pertinente, se encontró que existían distintos sistemas de coordenadas, inherentes a los programas informáticos donde se generó y procesó dicha información, con lo cual se hizo necesario homogeneizar dichos datos y posteriormente agruparlos en geodatabases, como archivos de capa o features, imágenes de tipo raster, todas con extensión \*.gdb o \*.mdb (ESRI, 2010) las cuales contienen los archivos dentro (de forma similar a un archivo comprimido) de la extensión \*.shp (shapefile) o en imágenes \*.img o \*.tif.

**7.2.2 Proyección de coordenadas.** La actividad anteriormente descrita permite agrupar toda la información en un formato, que a su vez debe integrarse en un solo sistema

de coordenadas, eligiendo en esta ocasión la reproyección al sistema de referencia espacial local MAGNA SIRGAS Colombia Oeste. Conforme a la Resolución 68 de 2005 del IGAC, que establece el sistema de referencia oficial en Colombia. Esa reproyección del sistema de coordenadas se realizó por medio del software ArcGIS® en las geodatabases y capas (\*.shp) que se tomaron en cuenta para el estudio considerando que la mayor parte del área de estudio es cubierta por la franja que cubre espacialmente la proyección del sistema de coordenadas.

**7.2.3 Georeferenciación de información (vectorial y ráster).** La información relacionada con los muestreos de especies biológicas fue tabulada en formatos de hojas de cálculo (\*.xls), para mapificar dicha información se hizo necesaria la georeferenciación de los puntos que fueron entregados en forma de tablas, esto por medio del software ArcGIS®. Tras hacer ediciones específicas en las tablas con la información, con el fin de darles un manejo de bases de datos relacionales, como apoyo en el trabajo con el equipo de cartografía del Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA.

**7.2.4 Edición de la hidrografía.** Las corrientes hídricas, pueden ser representadas como líneas o polígonos, en el software ArcGIS® 10 se hizo una edición en la geometría lineal de la red de drenaje que fue una de las más extensas debido a que se complementó la red en aquellos lugares donde la hidrografía en la base topográfica es de tipo polígono y todo este trabajo fue minuciosamente realizado para todas las subzonas y cuencas hidrográficas de todos los complejos de páramos; es decir que dicha tarea fue replicada en la escala 1:100.000 en las SZH de los complejos de páramos de Doña Juana - Chimayoy, Chiles – Cumbal y La Cocha – Patascoy, y en el caso de las cuencas con la cartografía en escala 1:25.000.

**7.2.5 Edición de cartografía temática.** Con la información de la hidrografía de las subzonas y cuencas hidrográficas totalmente revisada y corregida se procedió a editar la

delimitación de dichas unidades, teniendo en cuenta la topología para que los límites entre estas no tuvieran errores y correspondan a la base topográfica 1:100.000 y 1:25.000. Es decir que en base a la red hídrica y principalmente a la variación altitudinal representada por las curvas de nivel se rectificó la delimitación hidrográfica para el estudio.

### **7.3 Actividades de interacción entre grupos de trabajo**

Para el desarrollo del convenio de cooperación 14-13-014-166CE de 2014 que enmarca los aspectos fundamentales del presente trabajo, se hizo necesaria la interacción de diferentes grupos de investigación, encargados cada uno de los diferentes aspectos a desarrollar durante dicho convenio. Este aparte del documento hace referencia a la descripción de las principales actividades de interacción de los diferentes equipos de trabajo, siendo en algunos casos encabezadas por el grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA.

**7.3.1 Capacitación en manejo de GPS (Dakota20 - Equipo Biología).** Para el desarrollo de esta actividad, el grupo TERRA realizó distintas sesiones de trabajo con el equipo encargado de realizar el levantamiento de la información en campo sobre especies biológicas, con el fin de asesorar sobre la teoría y la práctica para el uso del dispositivo GPS de la referencia GARMIN Dakota 20, enfocada en la captura de datos en formato de puntos y líneas, conocidos como waypoints y tracks, dicho procedimiento se complementó con la realización de un taller en el cual se entregó algunos programas compatibles con Windows y otras plataformas, junto con ejemplos prácticos relacionados con la descarga de datos obtenidos en campo para el óptimo uso de los mismos.

**7.3.2 Elaboración de mapas para GPS.** Por medio de un programa informático se procesó información referente a los denominados “Transectos”, los cuales sirvieron de insumo para el equipo de biología en los muestreos de especies por medio de la geolocalización en campo por medio de los equipos GPS, con mapas que muestran en

tiempo real dónde se ubican los sitios de interés, dichos mapas fueron creados con GPSMapEdit y consecuentemente cargados en cada uno de los GPS del equipo encargado de realizar las diferentes visitas del trabajo de campo.

**7.3.3 Acompañamiento en campo.** Las salidas de campo fueron una estrategia fundamental para el levantamiento de información primaria, especialmente para la verificación de la cobertura de la tierra. En dicha actividad se visitaron lugares de interés donde se apoyó el proceso de zonificación de las coberturas de la tierra en el área de estudio, recopilando datos con GPS y registro fotográfico, siendo de gran importancia para el desarrollo del presente trabajo las coberturas relacionadas con los cuerpos de agua, lagunas, zonas de pantanos y turberas.

**7.3.4 Asistencia a reuniones internas.** Con el fin de coordinar el trabajo dentro del Grupo de Investigación TERRA, se realizaron algunas reuniones donde se elaboró el plan de trabajo general y de la misma manera se presentaron periódicamente avances en el desarrollo de la pasantía y desde los diferentes temas de la investigación del convenio macro.

**7.3.5 Asistencia a reuniones generales.** Desde la coordinación general de la investigación se convocó a diferentes reuniones donde se realizaron aportes en cuanto a las características biofísicas para la determinación de zonas de interés para la investigación. Por ejemplo, para determinar los entornos regionales y locales con los cuales se trabajó la macro investigación.

## **7.4 Cálculo y análisis de parámetros morfométricos**

Una vez obtenidos todos los insumos necesarios para el desarrollo del objetivo principal de este trabajo, se procedió a dar los últimos pasos para la generación insumos finales requeridos, realizando dichos insumos a través de las siguientes actividades:

**7.4.1 Generación y ajuste de curvas e hidrografía (Áreas faltantes).** Debido a la falta de información en algunos sectores del área de estudio, como se dijo anteriormente, se hizo necesario el generar los datos topográficos para posteriormente desarrollar el cálculo y análisis de los parámetros morfométricos. Para dicho procedimiento se recurrió a el Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de 30m de resolución, con el que se generó las curvas de nivel y la red hídrica con diferentes herramientas del software ArcGIS®, principalmente las encontradas en el módulo de Spatial Analyst. Una vez generada la información, se procedió a la revisión de la misma, encontrando en la red hídrica algunas inconsistencias inherentes a la resolución del DEM, por lo cual se realizaron las correcciones correspondientes, esto con la ayuda de las imágenes satelitales especialmente de Google Earth® editando la capa (shapefile) para que exista una coherencia entre lo que se puede apreciar en la imagen y la forma de la red hídrica, generando un producto más adecuado.

**7.4.2 Cálculo de parámetros morfométricos.** Una vez se contó con la información de base para el procesamiento de los shapefiles de subzonas y cuencas hidrográficas, se calculó inicialmente la geometría de los polígonos para obtener los datos de Área (Km<sup>2</sup>) y Perímetro (Km), con los cuales, en las respectivas tablas de atributos, se siguió completando información como por ejemplo la longitud axial, longitud del cauce principal, longitud total de todos los cauces, etc.

Con la información en las tablas de atributos se facilitó el cálculo de algunos parámetros por medio de hojas de cálculo, complementando los datos de compacidad, alargamiento y forma que se integraron de la misma forma en la tabla de atributos utilizando la función denominada “join”, que permite relacionar las bases de datos, tanto de hojas de cálculo (manejadas en Excel) y las de geodatabases de formato \*.dbf (tablas de atributos).

Para obtener los datos de alturas máxima, mínima y media; se realizaron cortes sucesivos al DEM en base a los contornos de cada una de las subzonas y cuencas hidrográficas de obteniendo la información diligenciada posteriormente en la tabla de

atributos. También se hizo un procedimiento similar a partir del modelamiento de pendientes con ArcGIS® de las SZH y cuencas hidrográficas con lo que se pudo ingresar los datos de pendiente máxima y media.

**7.4.3 Análisis de las variables.** Una vez tabulada la información de los parámetros morfométricos, se pudo describir las características principales para cada subzona en función de cada variable, enfatizando en la susceptibilidad de crecidas determinada por cada uno de los parámetros, desarrollando el mismo procedimiento para las cuencas del estudio.

**7.4.4 Inventario de Cuerpos de Agua.** Para el desarrollo de esta actividad se hizo necesario retomar la información concerniente a la cobertura de la tierra, con el fin de obtener los datos principales de los cuerpos de agua inmersos en el área de estudio, dando prioridad a lo relacionado con la superficie y la ubicación, como producto se tiene una base de datos que contiene su coordenada, nombre cuando se ha identificado, municipio y dentro de cual SZH se encontró, además del área y altura sobre el nivel medio del mar.

## 8. PRODUCTOS Y RESULTADOS

### 8.1 Morfometría de las subzonas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana - Chimayoy

De las cinco subzonas hidrográficas (SZH) del estudio, se encontró que la de mayor área de influencia sobre el complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy (CDJCH) es Alto Caquetá, que corresponde al 61.8% del complejo de páramos, mientras que la SZH del río Guachicono, con apenas un 5.1%, es la de menor cobertura en el CDJCH; sin embargo, el cálculo y análisis de los parámetros morfométricos se realizó para el total de las subzonas dando mayor preponderancia a las características generales de las subzonas y relacionándolo luego con el CDJCH, con fines de ampliación de la información y para futura consulta y corroboración, se dispuso el anexo 2 que contiene la cartografía base del estudio en tamaño pliego y escala 1:100000.

También se identificó que la SZH de mayor tamaño es la de Alto Putumayo y la más pequeña es la del río Mayo. Y sus perímetros están proporcionalmente relacionados con las áreas de las cuencas, puesto que se observa que la menor longitud corresponde al río Mayo que es a su vez la SZH de menor área, y las mayores longitudes están en el río Alto putumayo y en el Alto Caquetá, que presentan las mayores superficies entre las subzonas estudiadas.

La variación altitudinal tiene grandes diferencias en todas las SZH, mostrando la mayor altura en la cuenca del río Guachicono en el volcán Sotará (Parte del complejo de páramos de Sotará, en el macizo colombiano del sector de la cordillera central a 4300 m.s.n.m.), por fuera del área de influencia directa del CDJCH, mientras que la mínima altura (500 m.s.n.m.) se identifica en el punto de desfogue de los tramos más bajos de los ríos Caquetá y Putumayo en las subzonas del área de estudio, en el sector de Mangalpa a unos cinco kilómetros del asentamiento y también aguas abajo de la población de Puerto Asís, en la zona de confluencia de las quebradas Los Cristales, Agua Blanca, Luzón y La Piña en el río Putumayo (ver cuadro 7).

Por otro lado, al observar los valores de pendiente se identifica que está relacionada con la gran variación altitudinal existente, debido a la ubicación del área de estudio en la cordillera de los Andes, además de la presencia de la vertiente oriental (de influencia amazónica), y de la vertiente intra-andina, caracterizada por formas relacionadas con la disección de importantes ríos (zonas de valles y encañonadas).

En el cuadro 7 se identifican los parámetros morfométricos medidos directamente sobre la base topográfica y los diferentes modelos y productos procesados con base en la información topográfica de las cinco subzonas hidrográficas, que permiten reconocer las principales características del área de estudio.

Cuadro 7

Parámetros morfométricos de medición directa de las subzonas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

<b>Subzona hidrográfica</b>	<b>Alto Caqueta</b>	<b>Alto Putumayo</b>	<b>Río Guachicono</b>	<b>Río Mayo</b>	<b>Río Juanambú</b>
Área (Km <sup>2</sup> )	5836,4	6978,7	2468,4	875,5	2090,9
Perímetro (Km)	439,8	479,2	268,8	168,8	240,9
Longitud cauce principal (Km)	226,0	186,1	111,9	86,7	82,5
Longitud Axial (Km)	114,4	107,5	70,1	55,0	55,3
Longitud máxima (Km)	122,8	128,1	53,9	55,5	62,4
Ancho (Km)	47,5	54,5	45,8	15,8	33,5
Pendiente máxima (%)	79,7	78,3	68,5	68,0	87,4
Pendiente media (%)	15,2	8,8	14,9	13,7	15,7
Altura máxima (m.s.n.m)	4100,0	3900,0	4300,0	4100,0	4200,0
Altura media (m.s.n.m)	1834,0	1294,6	1925,9	2058,0	2341,9
Altura mínima (m.s.n.m)	300,0	300,0	600,0	500,0	500,0
Zona hidrográfica	Caquetá	Putumayo		Patía	
Área hidrográfica	Amazonas			Pacífico	

De los parámetros de medición indirecta, identificados en el cuadro 8, se destaca que en la densidad de drenaje, que representa la cantidad de corrientes en cada subzona hidrográfica, está asociada con el tipo de suelo, tal como lo indica Anaya (2012) “es un

parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos”. En el caso de las subzonas tenidas en cuenta para este estudio se encontraron valores entre  $1.2 \text{ Km/Km}^2$  y  $1.6 \text{ Km/Km}^2$ , que indican suelos caracterizados por un drenaje regular, compuestos por materiales medianamente permeables, que representan altos niveles de infiltración, que permiten procesos de percolación e infiltración que finalmente alimentarían los acuíferos. Por otro lado y relacionando esto a la susceptibilidad de crecidas se puede decir que, partiendo de los datos obtenidos en este parámetro, existe una baja probabilidad a que se presenten fenómenos de este tipo en la mayoría de estas subzonas hidrográficas.

Por otra parte en el factor de forma (cuadro 8) al relacionar el área y el largo de cada subzona, se caracterizan en rangos de alargadas a ensanchadas, observando una relación estrecha con el índice de alargamiento. Para este parámetro se encontraron valores entre 0.3 y 0.7 que indican formas, según Montserrat (1985), entre alargadas y ensanchadas, siendo las más anchas las subzonas del río Juanambú y Guachicono, mientras que la de mayor alargamiento es la SZH del río Mayo, siendo estos rangos típicos en cuencas con probabilidades de crecidas medias y bajas.

El Coeficiente de Compacidad que representa la semejanza existente entre la forma que tiene la subzona y un círculo hipotético que tendría la misma área (Anaya, 2012), entre más redonda sea ésta, tendrá una probabilidad de crecidas mayor y si es de tendencia más alargada esta probabilidad disminuye. Para las subzonas del área de estudio, se identifican en el cuadro 8 valores entre 1.5 y 1.6 indicando formas entre ovals redondeadas y oblongas, definiendo esto que las crecidas súbitas son, en general de una tendencia media, pero de mayor probabilidad de ocurrencia en las SZH de los ríos Guachicono y Juanambú.

Finalmente, el cuadro 8 contiene los datos del índice de alargamiento que se distinguen en tres rangos principales como lo muestra INE (2004), que varían entre poco alargadas a muy alargadas, la premisa es que cuanto más alargadas sean las cuencas o subzonas hidrográficas, menor es la probabilidad a crecidas considerando que el tiempo en el que se concentra el agua entrante en la cuenca es mayor, las subzonas tenidas en cuenta se caracterizan por formas alargadas con coeficientes entre 1.2 y 3.5, destacando la subzona río Mayo como la más alargada, mientras que para las demás subzonas este parámetro

presenta valores que indican formas moderadamente alargadas, destacándose las SZH del río Juanambú y Guachicono donde la tendencia a crecidas es relativamente mayor.

#### Cuadro 8

Parámetros morfométricos de medición indirecta de las subzonas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

<b>Subzona hidrográfica</b>	<b>Alto Caquetá</b>	<b>Alto putumayo</b>	<b>Río Guachicono</b>	<b>Río Mayo</b>	<b>Río Juanambú</b>
Ancho promedio (Km)	51,0	64,9	35,2	15,9	37,8
Densidad de Drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	1,4	1,1	1,6	1,5	1,3
Factor de Forma	0,4	0,6	0,5	0,3	0,7
Coefficiente de Compacidad	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5
Índice de Alargamiento	2,6	2,4	1,2	3,5	1,9
Zona hidrográfica	Caquetá	Putumayo		Patía	
Área hidrográfica	Amazonas			Pacífico	

El análisis realizado a los datos arrojados por los parámetros morfométricos permite determinar condiciones específicas en cada subzona hidrográfica, y relacionando dicha información con las redes de drenaje, como órdenes de corriente de Strahler y las longitudes de los cauces es posible obtener una caracterización más detallada apoyada por la información de la cartografía en el anexo 2. A continuación se describe de esta manera cada una de las subzonas hidrográficas:

**8.1.1 Subzona hidrográfica Alto Caquetá.** Ubicada entre los departamentos del Cauca y Putumayo, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y la Corporación para el Desarrollo Sostenible para el Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA), la SZH del alto Caquetá, abarca los municipios de Santa Rosa, San Sebastián, Piamonte (Cauca), Mocoa y San Francisco (Putumayo). Limita con las SZH de Guachicono, Alto Magdalena, Mayo, Juanambú, Alto y Medio Putumayo, Mecaya y Caquetá medio. Además, los páramos Cascabel, Juanoy, Doña Juana (hacia la divisoria con la SZH del río Juanambú), Animas, Petacas (divisoria con el río Mayo), La Victoria, Granadillo y Chunchullo (entre los cerros Santa Bárbara, El salado y Tajumbina) ubicados al norte de la SZH, son muy importantes, puesto que en ellos nacen algunos de los tributarios más importantes del Caquetá como son, el río Curiaco, río Grande y las quebradas las Juntas y el Oso.

Por otro lado, la corriente principal de esta SZH, nace en el cerro Pelado (páramo El Letrero) límites con la subzona de Guachicono, a una altura superior a los 3400 m.s.n.m., que obtiene un recorrido total de 226Km en su punto de salida ubicado en la coordenada 76°12'10,381" Longitud W y 1°1'3,844" Latitud N, donde pasa a llamarse Caquetá Medio, y que posteriormente desemboca en el río Amazonas (ver Anexo 2). La dirección del flujo de su cauce principal muestra una orientación de la cuenca de norte a sur con una leve desviación al oriente en su desembocadura.

Según su área (cuadro 7), esta SZH es la segunda más extensa después de la del Alto Putumayo. Además de ello, la diferencia altitudinal presentada es de 3800m, donde el punto más alto se encuentra a 4100m.s.n.m. permitiendo identificar los diferentes pisos bioclimáticos desde el cálido hasta llegar al muy frío. La longitud del cauce de esta SZH, por ser la más alta entre las demás SZH asociadas al CDJCH, permite inferir que la SZH del Alto Caquetá tiene una baja susceptibilidad ante la ocurrencia de crecidas debido a que “este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía” (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2011), pero su pendiente al ser la segunda más alta, es más susceptible a presentar procesos erosivos más fuertes que modelan el relieve y de establecer la capacidad de arrastre de las corrientes, que al descender provoca que sus diferentes corrientes principales

en su parte baja tome formas sinuosas y trezadas, que es el contraste que se presenta entre la parte andina y el piedemonte amazónico que abarca.

Las ordenes de drenaje de la subzona hidrográfica (Cuadro 9), presentan siete categorías y la máxima jerarquía la alcanza el río Caquetá, luego de captar agua de sus muchos tributarios, muy rápidamente. El número de corrientes alcanza los 2558 cuerpos de agua, que supera los 8000Km de recorrido en total y representa una estructura del sistema hídrico muy definida, proporcional a la superficie de esta SZH.

Cuadro 9

Ordenes de corriente de la subzona hidrográfica del Alto Caquetá.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total de recorrido (Km)	Longitud Mínima (Km)	Longitud Máxima (Km)
1	4272,0	5057,3	0,07	11,1
2	997,0	1510,2	0,03	16,9
3	239,0	834,0	0,06	24,6
4	54,0	356,5	0,1	38,7
5	17,0	272,1	0,3	52,4
6	5,0	99,2	6,4	54,0
7	1,0	119,9	119,9	119,9

Finalmente, es posible definir que la SZH del alto Caquetá, posee una densidad de drenaje de aproximadamente  $1,5\text{Km}/\text{Km}^2$ , lo cual indica que tiene una densidad de corrientes moderada en comparación con las demás SZH, con baja susceptibilidad ante la ocurrencia de crecidas torrenciales, favorecida por la forma del relieve así como la estructura de los suelos y las características de la cobertura, lo que repercute en una mayor infiltración y percolación en este sector, puesto que este fenómeno regula la escorrentía superficial y por ende disminuye la probabilidad ante crecidas intempestivas.

**8.1.2 Subzona hidrográfica río Guachicóno.** La subzona hidrográfica del río Guachicóno se encuentra ubicada en su totalidad en el departamento del Cauca en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), con influencia sobre

los municipios de Bolívar, Almaguer, San Sebastián, Mercaderes, Patía y la Sierra, entre las SZH del Patía Alto, del río Mayo, Alto Caquetá y el Alto Magdalena, como se puede apreciar en el anexo 2.

La corriente principal que da nombre a esta subzona es el río Guachicono, la cual nace en el páramo de Sotará (Pertenece al complejo de páramos del mismo nombre) a una altura superior a los 4000 m.s.n.m., dicha corriente tiene un recorrido total de 111,9 km hasta su desembocadura en el río Patía, el cual da nombre a la zona hidrográfica dentro de la gran área hidrográfica del Pacífico, en la coordenada 1°57'14,7" de latitud norte y 77°12'3,9" de longitud oeste, punto en el que limitan los municipios de Balboa, Patía, Mercaderes (departamento del Cauca) y Leiva (departamento de Nariño), como se puede apreciar en el anexo 2. La dirección predominante de la SZH es de Noreste al Oeste, de acuerdo al flujo de su río principal a través de su superficie.

Cada uno de los parámetros morfométricos medidos directamente con antelación en la SZH y que se muestran en el cuadro 7, permiten interpretar que en superficie, esta SZH posee una extensión media entre las demás que han sido tomadas como referencia dentro del complejo Doña Juana - Chimayoy (CDJCH), junto con la SZH Juanambú, siendo más extensa que la del río Mayo pero menor que la del Alto Caquetá o Alto Putumayo, además tiene una tendencia media-alta hacia las crecidas torrenciales ya que la longitud de su cauce no es tan larga, tomando en consideración lo que menciona el Instituto Nacional de Ecología INE (2004) “a mayor longitud, mayor tiempo de concentración”, es decir que la proporción de la longitud de cauce con el nivel de susceptibilidad a crecidas es inversa.

Entre tanto, la red de drenaje indicada en el cuadro 10 de órdenes de corriente de la subzona del río Guachicono, nos dice que posee un número alto de corrientes con una distribución que llega hasta el nivel 7, con un total de 2623 corrientes de longitudes muy variadas, lo cual permite identificar su susceptibilidad a problemas de erosión, en comparación con otras SZH con menor orden de Strahler.

Por otro lado, el parámetro de la densidad de drenaje denota que la subzona tiene un valor medio con tendencia a alto, que principalmente significa gran variabilidad fisiográfica, con atenuantes en el condicionamiento de los flujos de agua como es el caso de

la cobertura o el tipo de suelo dentro de la subzona hidrográfica del río Guachicono.

Esta SZH tras poseer una pendiente significativa y muy variada y que al disminuir encuentra corrientes con mayor sinuosidad, tiene un terreno propenso a presentar fenómenos de remoción en masa en sus partes más altas, debido a la afectación de la torrencialidad por parte de las altas pendientes, de lo que tiene una importancia directa en relación a las crecidas, que confirma la teoría expuesta por Anaya (2012).

Finalmente, la variación altitudinal que es de 3800m, encontrando su punto más alto en el volcán Sotará a una elevación de 4300m.s.n.m., permite identificar hacia el sector del complejo Doña Juana-Chimayoy una variedad de pisos bioclimáticos, encontrando desde el cálido hasta el muy frío, además la elevación máxima de esta SZH no es muy diferente de las demás subzonas lo cual permite interpretar que existen similitudes con las demás en cuanto a este parámetro morfométrico, como lo es el establecimiento del CDJCH como el vínculo espacial del estudio.

Cuadro 10

Ordenes de corriente de la subzona hidrográfica del río Guachicono.

<b>Orden</b>	<b>Cantidad de corrientes</b>	<b>Longitud total de recorrido (Km)</b>	<b>Longitud Mínima (Km)</b>	<b>Longitud Máxima (Km)</b>
1	1986,0	2533,0	0,2	7,1
2	462,0	597,8	0,1	9,9
3	131,0	409,5	0,1	27,9
4	30,0	151,2	1,1	21,0
5	10,0	161,7	1,1	45,5
6	3,0	61,4	0,4	53,1
7	1,0	9,7	9,7	9,7

**8.1.3 Subzona hidrográfica río Mayo.** La subzona hidrográfica del río Mayo se ubica en límites entre los departamentos de Nariño y Cauca (jurisdicciones de las Corporaciones Autónomas Regionales de Nariño y Cauca- CORPONARIÑO y CRC); en el anexo 2 se puede apreciar que abarca los municipios de Belén, Colón (Génova), La Cruz, La Unión, San Lorenzo, San Pablo, Taminango y San Pedro de Cartago (municipios del sector norte de Nariño), Mercaderes y Florencia (al Sur caucano).

En la parte alta de esta subzona, se encuentran los páramos de Doña Juana, Ánimas y Petacas (en el flanco oriental de la subzona), la SZH tiene una dirección predominante de este al oeste. La corriente principal de esta subzona nace entre el volcán Las Ánimas y el volcán Petacas, a una altura aproximada de 3700 m.s.n.m., en el municipio de La Cruz y alcanza una longitud máxima de casi 87Km. Las subzonas que le rodean son: la del río Guachicono, Alto Patía, alto Caquetá, alto Putumayo y Juanambú (ver anexo 2).

La ubicación del desfogue de esta SZH está en la coordenada  $77^{\circ}19'49,205''$  de longitud oeste y  $1^{\circ}40'55,253''$  de latitud norte, en medio de los municipios de Mercaderes, Taminango y El Rosario, punto donde desemboca el río Mayo en el río Patía, perteneciente al área hidrográfica del Pacífico. Los principales tributarios del río Mayo son: Quebrada la Honda, Quebrada la Pradera, el río Tajumbina, Quebrada Peña blanca, Quebrada Charguayaco, Quebrada Cerro Negro, entre otros, se encontró que existen ordenes de corriente desde el nivel uno hasta el orden de corriente cinco (ver cuadro 10), variando estas en longitud, importancia de caudal y por ende variando la capacidad de modelamiento del relieve.

Cuadro 11

Ordenes de corriente de la subzona hidrográfica del río Mayo.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total de recorrido (Km)	Longitud Mínima (Km)	Longitud máxima (Km)
1	595,0	810,0	0,1	5,7
2	132,0	237,0	0,1	8,8
3	37,0	127,0	0,3	12,7
4	8,0	43,7	0,2	9,7
5	1,0	82,2	82,2	82,2

Según los datos recopilados para la subzona, la variación altitudinal es de 3600 metros, debido a esto, dentro del área se encuentra una alta variedad de pisos bioclimáticos, con una altura media de aproximadamente de 2060 m.s.n.m., que también denota la capacidad de arrastre de las corrientes de agua y ayuda a comprender los procesos erosivos y modeladores del relieve. En relación con el área de la subzona que tiene un valor aproximado de 876Km<sup>2</sup> y un perímetro de casi 169Km (cuadro 7) se puede afirmar que su tamaño es pequeño, en relación con las Subzonas hidrográficas que le circundan.

Con los parámetros anteriores, se podría decir que la densidad de drenaje es de 1,5Km/Km<sup>2</sup>, lo cual indica (Cuadro 8) que la densidad de corrientes es moderada, principalmente por la influencia del relieve, así como también por las características de los suelos y de su cobertura, lo que repercute en los niveles de infiltración y percolación, que pueden ayudarnos a entender los grados de susceptibilidad ante crecidas repentinas en las fuentes hídricas, siendo también un indicador de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, que para el caso de la SZH río Mayo representa una cuenca bien drenada y con pocas probabilidades de presentar crecidas súbitas.

**8.1.4. Subzona hidrográfica río Juanambú.** Esta subzona se encuentra ubicada, en su totalidad, en el departamento de Nariño, con área de influencia sobre los municipios de Taminango, El Peñol, El Tambo, Chachagüí, San Lorenzo, La Florida, Nariño, Arboleda, San José, San Bernardo, El Tablón, Buesaco y San Juan de Pasto (En

jurisdicción de CORPONARIÑO). Las subzonas del Patía Alto, Mayo, Alto Caquetá y Alto Putumayo colindan con esta SZH. En su parte más alta, se encuentran los páramos Doña Juana, Juanoy y Cascabel (en la divisoria con el Alto Caquetá), donde nacen los ríos Cascabel, Aponte, Janacatú y Quiña, los cuales son tributarios de la corriente principal que da nombre a esta subzona, el río Juanambú, que inicia a una altura superior a los 2700m.s.n.m., con un recorrido total de 82,4Km hasta su desembocadura en el río Patía, en las coordenadas 77° 23' 46,1" longitud Occidental y 1° 36' 19" al Norte del Ecuador, punto en el que limitan los municipios de Policarpa, Taminango y El Peñol. También se encuentran los páramos del volcán Galeras, del Morasurco, y Bordoncillo, dentro y alrededor de la SZH (ver anexo 2).

Del valor del área del cuadro 7 se puede interpretar que dentro de las subzonas tenidas en cuenta en el contexto regional Doña Juana – Chimayoy, esta SZH es de una extensión media, junto con la del río Guachicono, que se asocia con los procesos endógenos de la SZH (INE,2004). La altura máxima es de 4270 m.s.n.m. en los volcanes Doña Juana y Galeras, en la divisoria de aguas con el Mayo, Caquetá, Putumayo y Guáitara, se destacan el cerro Machete de Doña Juana con una altura superior a los 3800 m.s.n.m. y el Bordoncillo con 3600 m.s.n.m., que se evidencia en el anexo 2.

La dirección de la subzona es de sureste a noroeste, con una forma ensanchada lo que quiere decir que presenta mayor susceptibilidad a crecidas súbitas. Según el dato relacionado en el cuadro 8, donde se establece la relación de la forma con la susceptibilidad a crecidas a medida que presentan mayor ensanchamiento.

En cuanto a las órdenes de corriente que se encuentran en la subzona (relacionadas en el cuadro 12), cabe resaltar que el nivel más alto es de sexto orden, el cual se encuentra en la corriente principal, río Juanambú, que a través de su recorrido se encuentra con diversas pendientes, notándose estas características en otros ríos de orden cinco (río Pasto, río Negro entre otros). Además de esto y debido a la naturaleza del terreno que es de origen predominantemente volcánico, se da lugar a las formaciones encañonadas a partir de terrazas volcánicas disectadas por la red de drenaje. Demostrando la torrencialidad de estos ríos y de igual forma el poder modelador y erosivo de estos cuerpos de agua, asociada

también a fenómenos de remoción en masa, “ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal (...) se incrementa en aquellas cuencas que presenten valores altos de pendientes” según Delgadillo y Moreno (2012).

Por otro lado, el desnivel altitudinal que presenta la SZH es de 3700 metros, que corresponde al gradiente altitudinal suficiente para encontrar diversos pisos térmicos y hábitats dentro de la superficie de la subzona. Partiendo de las zonas bajas de características cálidas y secas hasta llegar a las condiciones opuestas de frío extremo, principalmente en los ecosistemas de páramo presentes en la zona.

#### Cuadro 12

Ordenes de corriente en la subzona hidrográfica del río Juanambú.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total de recorrido (Km)	Longitud Mínima (Km)	Longitud Máxima (Km)
1	1146	1775,5	0,02	7,5
2	269	485,4	0,03	11,5
3	70	244,3	0,11	13,9
4	18	127,2	0,04	26,7
5	7	71,2	0,60	45,7
6	1	77,6	77,57	77,6

Finalmente, se encontró que la densidad de drenaje en el cuadro 8 es moderada, razón por la cual se puede inferir que los suelos presentan una escorrentía superficial que obedece a la tendencia del relieve montañoso, con influencia de la geología del sector y además de la cobertura de la tierra, la frecuencia y volumen de precipitación que alimentan a los cuerpos de agua presentes en la SZH.

**8.1.5. Subzona hidrográfica de Alto Putumayo.** Ésta se ubica en límites entre los departamentos de Nariño y Putumayo (Jurisdicciones de CORPONARIÑO y CORPOAMAZONIA), abarca los municipios de Córdoba, Potosí, Puerres, Funes y Pasto (del sector oriental de Nariño), San Miguel (La Dorada), Puerto Asís, Puerto Caicedo, Orito, Villagarzón, Santiago, Colón, Sibundoy, Mocoa, Valle del Guamués (La Hormiga) al oeste de Putumayo.

En la parte alta de esta subzona, según la cartografía del Anexo 2 se encuentran los páramos de Doña Juana, Palacios, Buenavista, Ovejas, Bordoncillo, Mayo, Cascabel y San Francisco, la SZH tiene una dirección del norte hacia el sureste. La corriente principal de esta subzona nace en San Francisco, a una altura aproximada de 2900m.s.n.m., y alcanza una longitud máxima que supera los 185Km, siguiendo su curso en otras subzonas asociadas al curso medio y bajo del río Putumayo. La subzona limita, partiendo del norte en sentido de las manecillas del reloj, con las SZH de los ríos Juanambú, Alto Caquetá, Mecaya, Putumayo Medio, San Miguel, Chingual y Guaitara.

La desembocadura de la subzona está en la coordenada  $76^{\circ}24'38,231''$  W y  $0^{\circ}22'54,916''$  N, en zona limítrofe entre los municipios de Puerto Asís y Puerto Leguízamo, punto donde tributa sus aguas a la subzona media del mismo río Putumayo, nombre que se le da también a la zona hidrográfica de la que hace parte la subzona del Alto Putumayo según la zonificación hidrográfica del IDEAM (2013), siendo la unidad mayor el área hidrográfica del Amazonas.

Los principales tributarios del canal principal en la SZH del Alto Putumayo son: los ríos Orito, Guamués, Acaé, San Juan, Guineo, Blanco, Alguacil, Hidráulica, quebrada La Ruidosa, río San Pedro, entre otros (ver anexo 2). El orden de corriente más alto según la metodología de clasificación de Strahler dentro de la subzona es el 7, que corresponde a su corriente principal, que recorre toda la subzona y en términos generales los órdenes se distribuyen como se presenta en el cuadro 13, con longitudes variables y que muestran una gran distribución de corrientes dentro de la subzona hidrográfica:

Cuadro 13

Ordenes de corriente en la subzona hidrográfica alto Putumayo.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total de recorrido (Km)	Longitud Mínima (Km)	Longitud Máxima (Km)
1	3148,0	4437,7	0,0	13,7
2	744,0	1569,5	0,0	18,9
3	180,0	827,0	0,0	26,6
4	43,0	424,5	0,0	50,1
5	12,0	298,1	0,3	77,6
6	2,0	225,2	110,8	114,5
7	1,0	47,9	47,9	47,9

Según los datos recopilados en el cuadro 7 para la subzona, el desnivel altitudinal es de 3600m, lo que quiere decir que por la diferencia de alturas, su área encuentra variedad de pisos bioclimáticos y de diversidad de hábitats, con una elevación media de aproximadamente 1295m.s.n.m., y supone zonas de mayor posibilidad de inundación y encharcamiento, razón por la cual también se presenta gran sinuosidad de las corrientes principales, con un drenaje trezado formando meándros, condicionado por las pendientes y terrenos planos y ondulados favoreciendo el arrastre y el depósito de sedimentos a lo largo de sus cauces en pendientes con inclinaciones leves. Tal es el caso de los diferentes valles que se ubican en la SZH (valle de Sibundoy y el valle del Guamués).

En relación con el área, pone a esta SZH como la de mayor tamaño dentro del CDJCH y que se asocia a la forma de la subzona (Anaya, 2012). Además, la comparación con una circunferencia de la misma superficie, muestra que la subzona tiene un perímetro mayor en cuestión, y que se trata de una forma lejana de un círculo perfecto y de esa manera se puede afirmar que en general no presenta tendencia a crecidas repentinas, independientemente de las crecidas a lo largo y ancho de sus cauces.

## **8.2 Caracterización morfométrica de las cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana - Chimayoy**

Teniendo en cuenta la delimitación del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy CDJCH, se encontraron 24 cuencas hidrográficas (Figura 3) con las cuales existe una relación directa, es decir, en las que traslapan o coinciden el área del CDJCH y el de dichas cuencas, además se identifica en la mayoría de éstas el nacimiento de muchas corrientes directamente en las zonas de páramos, resaltando los páramos de Cascabel donde nacen corrientes de las cuencas Cascabel (existen dos con este nombre, una drenando hacia Juanambú y otra hacia el Alto Caquetá) al igual que algunas corrientes del río San Pedro, San Francisco y Mocoa en la vertiente amazónica; de la misma forma se destacan los páramos de Doña Juana y Animas en los cuales nacen drenajes hacia el río Tajumbina, el río Mayo Alto, la quebrada San Gerardo y las Juntas; tributarios del área hidrográfica del Pacífico; mapificado en el anexo 1 que contiene la base topográfica y la delimitación de cuencas del estudio.

Esta delimitación se realizó partiendo de la información cartográfica suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de las diferentes Corporaciones Autónomas Regionales. En el departamento de Nariño se cuenta con la “Zonificación y codificación de las cuencas hidrográficas para el departamento de Nariño” (CORPONARIÑO, 2007), mientras que para el área del departamento del Putumayo se contó con la información de algunos planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas realizados por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA), aclarando que no se encontró la totalidad de los planes de manejo necesarios para el presente estudio, por lo cual y al igual que en el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), se optó por realizar una delimitación basada en la jerarquía de las cuencas, siguiendo el método de órdenes de corriente de Strahler, para las corrientes que presentan nacimientos directamente en las zonas de páramos y las que tienen una gran área de influencia en dichas zonas por medio de herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

Es importante resaltar que 21 de las 24 cuencas relacionadas en la figura 3 son completas, es decir, que cumplen estrictamente con el requerimiento técnico y delimitan el área de influencia de quebradas o ríos que tributan sus aguas a las corrientes principales o de mayor jerarquía de esta región (subzonas hidrográficas) como: el río Juanambú, el Mayo, el Alto Caquetá, el Alto Putumayo e incluso el río Guachicono en la parte septentrional del CDJCH, las restantes tres cuencas son en realidad parte de cuencas mucho mayores, como las del río Caquetá, Mayo y Juanambú y están identificadas como corrientes directas de dichas subzonas hidrográficas (figura 3 y anexo 1). Siendo ésta la principal razón de que no se tenga en cuenta para el cálculo y descripción de los parámetros morfométricos las tres relacionadas con las corrientes directas de los ríos Juanambú, Caquetá y Mayo en el área de estudio, debido a que no se puede expresar de manera correcta los diferentes índices y coeficientes, puesto que no son áreas de drenaje con un punto de desfogue en común ni tampoco con una corriente principal propiamente dicha, ya que el drenaje termina en un río cuya extensión sobrepasa el área delimitada para las corrientes directas.

De las cuencas de la figura 3 se puede decir que las que tienen una mayor área dentro del complejo de páramos son; las del río Cascabel (en la subzona hidrográfica del Alto Caquetá), quebrada Las Juntas y el río Grande, seguidas por las del río Cascabel (SZH del río Juanambú), Mocoa y las corrientes directas del río Mayo Alto en similares proporciones, las cuencas de los ríos San Pedro, Janacatú, Ganadillo y Tajumbina presentan las coberturas medias sobre el área del complejo (cuadro 14). Por otra parte, entre las de menor extensión dentro del complejo de páramos están (en orden ascendente de superficie sobre el CDJCH) el río Rumiayaco, la quebrada el Mesón, las corrientes directas del río Juanambú, el río Pepino, quebrada Los Molinos, río Ticuayanoy, quebrada San Gerardo, corrientes directas del río Caquetá, río Murallas y finalmente de los ríos Murallas, San Jorge Alto, Blanco - La Isla, San Francisco-Putumayo, Aponte y Sambingo (cuadro 14).

Otros aspectos relevantes de la ubicación de las cuencas hidrográficas, tales como sitios de interés, orografía del sector de estudio, desembocadura de las corrientes principales y límites, se relacionan en el anexo 4 para facilitar la interpretación de la

morfometría de las mismas, además se recomienda consultar el anexo 1 que se trata de un recurso cartográfico que tiene información más detallada que la consignada en la figura 3. La morfometría de las cuencas se describe a continuación:

**8.2.1. Parámetros morfométricos.** Los parámetros morfométricos tenidos en cuenta en este estudio se encuentran distribuidos en los cuadros subsiguientes, pero es de resaltar que los principales dentro de su interpretación para este estudio son en primer lugar el factor de forma, que expresa “la relación entre el área de la cuenca y su longitud” (Anaya Fernandez & Rengifo Trigozo, 2012) cuyos valores indican si la corriente principal es relativamente corta o lo que representaría a una cuenca con tendencia a concentrar el escurrimiento superficial de manera rápida infiriendo alta tendencia a crecidas torrenciales (INE, 2004); como segundo parámetro se tiene el coeficiente de compacidad, que por su parte compara la forma de la cuenca con una circunferencia de la misma área (INE, 2004) donde los índices muestran una tendencia a concentrar volúmenes en la medida que la cuenca sea muy similar a un círculo. Finalmente, se encuentra el coeficiente o índice de alargamiento que permite establecer si la cuenca en cuestión es muy larga o muy corta (Corporación SUNA HISCA, 2003) cuyo comportamiento hidrológico tendría mayor susceptibilidad a crecidas intempestivas. La descripción de todos estos parámetros, así como el análisis comparativo entre estos y con otros elementos del territorio, principalmente la pendiente, permiten establecer finalmente la tendencia que tienen las cuencas a presentar o no fenómenos de tipo torrencial, es decir, que se puede evidenciar cuales tienen mayor probabilidad ante crecidas súbitas.

**8.2.1.1. Parámetros iniciales de las cuencas.** Para su interpretación se presenta en el cuadro 14 un compendio de los datos obtenidos inicialmente en el proceso de caracterización de las cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy, donde se evidencia que el mayor número de cuencas están inmersas en la subzona del río Alto Caquetá, que a su vez representan la mayor superficie del área de estudio, seguidas por las cuencas de las SZH del Alto Putumayo, Guachicono, Juanambú y Mayo. Las de áreas más representativas son las cuencas de los ríos Cascabel (SZH Alto Caquetá), Mocoa, San Jorge alto, San Pedro y la quebrada Las Juntas, cuyas superficies en orden descendente desde los 480Km<sup>2</sup> hasta los 300Km<sup>2</sup>. Las cuencas de los ríos Blanco o La Isla, Ticuayanoy, las corrientes directas del río Juanambú, Janacatú, Sambingo, Grande, Murallas, San Francisco y las corrientes directas del Alto Caquetá se presentan como de tamaño medio con respecto a los valores de área, siendo la de menor extensión un poco superior a los 100Km<sup>2</sup>. En un último grupo de cuencas estarían las de menor superficie, donde las más pequeñas son las de la quebrada San Gerardo, El Mesón, río Tajumbina y Rumiayaco, oscilando entre los 34,9 Km<sup>2</sup> y 57,4Km<sup>2</sup>; respectivamente (cuadro 14).

En cuanto a la medición del perímetro, se identifica que éste varía proporcionalmente en función del área (cuadro 14), dato que más adelante toma valor en el sentido de determinar la relación entre la longitud de la línea divisoria de la cuenca y el terreno que abarca. Por otro lado, y resaltando ahora las características de las corrientes, se encuentra que la mayor longitud de cauce principal la presenta el río Mocoa que en proporción con la cuenca de mayor superficie demuestra más sinuosidad, asociada posiblemente a la fisiografía, sus suelos y también a la cobertura de la tierra en el sector. En contraposición, las cuencas con cauces muy cortos como en el caso de los ríos Aponte, Granadillo, Rumiayaco, Cascabel, quebrada El Mesón, río Tajumbina y la quebrada San Gerardo pueden estar condicionados por formas redondeadas de sus cuencas o lo que ello significa, mayor susceptibilidad a crecidas intempestivas.

Cuadro 14

Parámetros morfométricos iniciales de las cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

Subzona hidrográfica	Cuenca hidrográfica	Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	Longitud cauce principal (Km)	Longitud Axial (Km)
<b>Alto Caquetá</b>	Q. Las Juntas	331,5	89,4	34,8	24,2
	R. Blanco - La Isla	175,2	67,5	28,2	15,6
	R. Cascabel	480,3	105,6	35,6	29,4
	R. Granadillo	87,0	47,5	17,2	13,7
	R. Grande	133,7	68,1	31,3	23,3
	R. Mocoa	394,3	106,9	43,0	31,8
	R. Pepino	72,7	51,7	21,6	18,5
	R. Rumiayaco	57,4	39,9	15,8	14,1
	R. Ticuayanoy	163,9	80,0	31,5	22,4
	R. Caquetá*	106,3	67,7	na	na
<b>Alto Putumayo</b>	R. Murallas	124,2	60,3	30,4	20,3
	R. San Francisco - Putumayo	112,1	70,5	31,7	22,8
	R. San Pedro	357,9	109,8	30,5	24,2
<b>Río Guachicono</b>	R. Sambingo	139,8	60,7	25,6	21,3
	R. San Jorge alto	371,2	103,9	33,5	22,9
<b>Río Juanambú</b>	R. Aponte	77,8	40,5	17,6	14,5
	R. Cascabel	85,1	46,4	12,1	9,7
	R. Janacatú	146,3	64,7	24,0	20,1
	R. Juanambú*	152,4	77,6	na	na
<b>Río Mayo</b>	Q. El Mesón	53,2	30,3	12,1	8,9
	Q. Los Molinos	82,8	52,8	24,9	18,8
	Q. San Gerardo	34,9	27,1	11,2	9,5
	R. Tajumbina	56,7	45,9	11,2	11,9
	R. Mayo Alto*	75,3	42,1	na	na

\* Se trata de corrientes directas de las SZH de estos ríos.

En seguida se muestra el cuadro con la información sobre la red de drenaje de las cuencas del CDJCH, obtenida con herramientas de Sistemas de Información Geográfica:

Cuadro 15

Parámetros relativos a la red de drenaje.

<b>Cuenca hidrográfica</b>	<b>Longitud todos los cauces (Km)</b>	<b>Densidad de Drenaje (Km/Km<sup>2</sup>)</b>
Q. El Mesón	85,0	1,6
Q. Las Juntas	1369,0	4,1
Q. Los Molinos	361,1	4,4
Q. San Gerardo	133,7	3,8
R. Aponte	328,6	4,2
R. Blanco - La Isla	600,0	3,4
R. Cascabel (SZH Alto Caquetá)	1700,6	3,5
R. Cascabel	296,3	3,5
R. Granadillo	328,2	3,8
R. Grande	487,9	3,6
R. Janacatú	596,5	4,1
R. Mocoa	1030,8	2,6
R. Murallas	456,9	3,7
R. Pepino	251,6	3,5
R. Rumiyo	200,8	3,5
R. Sambingo	492,9	3,5
R. San Francisco - Putumayo	289,2	2,6
R. San Jorge alto	746,8	2,0
R. San Pedro	1088,7	3,0
R. Tajumbina	283,4	5,0
R. Ticuayanoy	293,9	1,8

**8.2.1.2 Red de drenaje.** Continuando con la descripción de los parámetros se presenta en el cuadro 15 datos relativos a la distribución de la red de drenaje, en donde se percibe que las menores densidades de drenaje presentan índices por debajo o iguales a 3, incluyendo entonces las cuencas de los ríos San Pedro, Mocoa, San Francisco – Putumayo, San Jorge alto, Ticuayanoy y la quebrada El Mesón; cuyas particularidades espaciales las ubican en zonas de piedemonte, donde el cambio abrupto de pendiente establece zonas de disposición de sedimentos arrastrados por la hidrografía del sector, pero que también

influye en una mayor susceptibilidad de encharcamiento condicionado también por la naturaleza de los suelos y de la cobertura vegetal que se pueda presentar. Contrastando los datos de las cuencas, con los índices de densidad de drenaje mayores a  $3,5\text{Km}/\text{Km}^2$  se encuentran las cuencas de río Tajumbina, quebrada Los Molinos, río Aponte, quebrada Las Juntas, río Janacatú, quebrada San Gerardo y los ríos Granadillo, Murallas y Grande; donde la influencia sobre la red de drenaje de parte del relieve, sugiere mayores efectos de los fenómenos de remoción en masa correspondientes a la zona montañosa interandina, influyendo potencialmente en la torrencialidad de sus cauces dado que “a mayor densidad de escurrimientos mayor estructuración de la red fluvial o mayor potencial erosivo” (Londoño Arango, 2001). Finalmente, las cuencas restantes con valores medios, deben tenerse en cuenta en el sentido que si bien no se han categorizado en las dos primeras categorías, los efectos de la red de drenaje podrían verse sectorizados dada su localización espacial, en contexto con el área de estudio

**8.2.1.3. Alturas de las cuencas.** Los datos de elevación sobre el nivel medio del mar de todas las cuencas del estudio están disponibles en el cuadro 16 y para revisar dicha información se puede acceder al anexo 1 donde se encuentra la base topográfica. Los datos de altura fueron computados por medio de Modelos Digitales de Elevación recortados, que permitieron obtener el listado de valores que se presentan de altura máxima de la cuenca, mínima, la media estadística en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y el cálculo de la variación altitudinal (m), desde las propiedades de los archivos digitales de la elevación del terreno.

Las cuencas del complejo de páramos Doña Juana - Chimayoy, presentan variaciones de altura destacadas como los 3150m en la cuenca de la quebrada Las Juntas, en cuya extensión se identifican alturas entre los 1000m.s.n.m., hasta los 4150m.s.n.m., dando como resultado la presencia de diversidad en pisos bioclimáticos a través del área que ocupa. En el mismo orden se encuentran las cuencas de los ríos Cascabel (SZH Alto Caquetá), Mocoa, Pepino, Janacatú, Murallas, Blanco - La Isla y Sambingo, que superan los 2500m de altura entre su base y la parte más alta (cuadro 16).

Por su parte, la mínima diferencia altitudinal es de casi 1500m en las cuencas de la

quebrada El Mesón (entre los 1850m.s.n.m. – 3350m.s.n.m) y el río San Francisco (2100m.s.n.m. – 3600m.s.n.m), respectivamente en las subzonas hidrográficas del río Mayo y del alto Putumayo; sumándose también las cuencas Cascabel (en la SZH del río Juanambú), quebrada San Gerardo, los ríos Grande, San Pedro y Granadillo (cuadro 16).

La elevación mínima registrada a nivel general en las cuencas del CDJCH está entre los 500 m.s.n.m. y 550 m.s.n.m., en las cuencas de los ríos Pepino, Mocoa, Rumiayaco y Ticuayanoy en el sector Sur-oriental del complejo de páramos (en la subzona hidrográfica del Alto Caquetá); mientras que las máximas alturas dentro del estudio se registraron entre las subzonas hidrográficas del Alto Caquetá, Juanambú y Mayo en las cuencas de la quebrada Las Juntas y el río Cascabel (SZH del Alto Caquetá), como también en las de los ríos Janacatú y Tajumbina con registros que oscilan entre los 4100 m.s.n.m. y 4150 m.s.n.m. en su cota máxima (cuadro 16). Gracias a esta información se puede inferir que las cuencas del área de estudio ocupan diferentes sectores que diversifican la oferta ecosistémica en sus territorios a partir de la ocupación de zonas de diferentes pisos térmicos como los definidos por Caldas, que van desde zonas cálidas hasta los pisos fríos correspondientes a la zona del complejo de páramos, que además presenta diferencias en cuanto se refiere a las vertientes que ocupan, bien sea hacia la zona amazónica o la franja interandina.

**8.2.1.4. Pendientes.** En las cuencas hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy, las pendientes tienen características variadas dada la fisiografía del terreno, correspondientes a unidades geomorfológicas diversas, delimitadas en ambientes morfogénicos y morfodinámicos propios de las formaciones montañosas y piedemontes de la zona andina y andina-amazónica del sector de estudio.

En términos generales se identificaron tres rangos de pendiente media para las 24 cuencas los cuales agrupan según su porcentaje, en primer lugar aquellas que tienen una pendiente media con valores menores o iguales al 30% las cuales son cinco; ríos San Pedro y San Francisco, que ocupan el altiplano de Sibundoy y las de las quebradas de El Mesón, Los Molinos y del río Grande en el norte del área de estudio. Al segundo rango, que oscila

entre el 30% y el 45%, pertenecen 14 cuencas. Por último, se encuentran en el rango más alto, superiores a 45%, un total de cinco cuencas hidrográficas las cuales son las corrientes directas del Caquetá, ríos Blanco o La Isla, Cascabel (Alto Caquetá), Mocoa, y Murallas, que drenan sus aguas hacia la vertiente oriental de la cordillera centro-oriental desde el complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

Cuadro 16

Alturas y pendientes de las cuencas CDJCH.

<b>Cuenca hidrográfica</b>	<b>Altura máxima (m.s.n.m)</b>	<b>Altura media (m.s.n.m)</b>	<b>Altura mínima (m.s.n.m)</b>	<b>Pendiente máxima (%)</b>	<b>Pendiente media (%)</b>
R. Blanco - La Isla	3500,0	2068,1	800,0	278,8	48,9
Q. Las Juntas	4150,0	2812,0	1000,0	360,5	43,0
R. Cascabel (Alto Caquetá)	4100,0	2643,1	1000,0	419,3	50,0
R. Granadillo	3450,0	2799,4	1900,0	361,8	39,5
R. Mocoa	3600,0	2028,3	550,0	632,7	46,1
R. Ticuayanoy	2876,0	1702,5	550,0	236,2	37,8
R. Rumiyaco	3000,0	1213,4	550,0	502,9	36,1
R. Grande	3600,0	2991,0	1950,0	219,1	21,6
R. Pepino	3450,0	1481,0	500,0	501,2	40,5
Corrientes directas R. Caquetá	3236,3	2064,0	1100,0	265,0	46,8
R. San Pedro	3700,0	2629,7	2100,0	192,8	19,1
R. Murallas	3500,0	2372,9	719,6	523,5	53,3
R. San Francisco - Putumayo	3600,0	2583,1	2100,0	123,6	25,2
R. San Jorge alto	3600,0	2489,7	1300,0	324,0	39,0
R. Sambingo	3800,0	2605,4	1200,0	292,5	42,8
R. Cascabel	3900,0	3073,2	2150,0	348,6	40,6
R. Aponte	3900,0	2860,1	1700,0	291,7	43,0
R. Janacatú	4150,0	2621,6	1350,0	271,9	37,1
Corrientes directas R. Juanambú*	3450,0	2283,4	1350,0	274,0	44,1
Q. El Mesón	3350,0	2578,2	1850,0	166,1	19,5
R. Tajumbina	4150,0	3092,1	2100,0	262,3	35,3

Cuadro 16

Alturas y pendientes de las cuencas CDJCH. (Continuación)

<b>Cuenca hidrográfica</b>	<b>Altura máxima (m.s.n.m)</b>	<b>Altura media (m.s.n.m)</b>	<b>Altura mínima (m.s.n.m)</b>	<b>Pendiente máxima (%)</b>	<b>Pendiente media (%)</b>
Q. San Gerardo	3700,0	2830,4	2000,0	173,1	41,1
Q. Los Molinos	3900,0	2545,2	1700,0	224,7	28,9
Corrientes directas R. Mayo Alto	4150,0	3183,9	2100,0	240,7	40,0

De forma complementaria se identificó valores de pendiente máxima en las cuencas en función del modelo generado, con lo que se encontró que los menores valores se presentan en cuatro cuencas las cuales son las del río San Francisco – Putumayo, la quebrada El Mesón, San Gerardo y el río San Pedro que posiblemente se asocie a las cuencas con bajos procesos erosivos de tipo principalmente coluvial. En un término medio se encuentran la mayoría de cuencas, once en total donde probablemente dado el incremento exponencial de los porcentajes en la pendiente se encuentren zonas donde los procesos erosivos muestren mayor importancia; finalmente es de mencionar que las cuencas con los mayores registros son nueve, correspondientes a los ríos y quebradas de San Jorge alto, Cascabel (SZH Alto Caquetá y Juanambú), Las Juntas, Granadillo, Pepino, Rumiyaco, Murallas y Mocoa, con zonas que sobrepasan 300% en sus pendientes, donde los fenómenos de remoción en masa se verían reforzados; claro está sin tener en cuenta factores influyentes como lo son la climatología del sector, las características de sus suelos y además la cobertura de la tierra.

**8.2.1.5. Factor de Forma.** Los datos de factor de forma en las cuencas del CDJCH se presentan en el cuadro 17 donde se puede apreciar que de las 21/24 cuencas que se tuvo en cuenta para el cálculo de los parámetros morfométricos en el cuadro 14 de los datos básicos; se encontró que existen diez cuencas dentro del rango de cuencas más alargadas según sus valores (0,2 - 0,4) en el cuadro 17 y la figura 12 se muestra que estas cuencas tienen cauces relativamente largos, con lo cual el escurrimiento superficial tarda

más tiempo en llegar al punto de desfogue de la cuenca, además se observa que en éstas la susceptibilidad a crecidas es relativamente baja. En un segundo rango se identifican tres cuencas con un índice intermedio, lo cual muestra formas que son de nivel moderado, ni alargadas ni ensanchadas, con cauces de tipo medio y una susceptibilidad media a crecidas conforme al criterio de forma. Finalmente se identificó ocho cuencas con un índice cercano a 1 (entre 0,6 y 0,9) el cual es característico de cuencas con cauces relativamente cortos, que permiten un tiempo de concentración más bajo y por ende una tendencia mayor a presentar avenidas torrenciales intempestivas.

Cuadro 17

Factor de forma de las cuencas del CDJCH

<b>Cuenca hidrográfica</b>	<b>Factor de Forma</b>	<b>Forma</b>
R. Blanco - La Isla	0,7	Ensanchada
Q. Las Juntas	0,6	Ligeramente ensanchada
R. Cascabel (Alto Caquetá)	0,6	Ligeramente ensanchada
R. Granadillo	0,5	Ligeramente ensanchada
R. Mocoa	0,4	Ni alargada ni ensanchada
R. Ticuayanoy	0,3	Ligeramente alargada
R. Rumiyaco	0,3	Alargada
R. Grande	0,2	Alargada
R. Pepino	0,2	Muy alargada
R. San Pedro	0,6	Ensanchada
R. Murallas	0,3	Ligeramente alargada
R. San Francisco - Putumayo	0,2	Muy alargada
R. San Jorge alto	0,7	Ensanchada
R. Sambingo	0,3	Ligeramente alargada
R. Cascabel	0,9	Muy ensanchada
R. Aponte	0,4	Ligeramente alargada
R. Janacatú	0,4	Ligeramente alargada
Q. El Mesón	0,7	Ensanchada
R. Tajumbina	0,4	Ni alargada ni ensanchada
Q. San Gerardo	0,4	Ni alargada ni ensanchada
Q. Los Molinos	0,2	Alargada

Con ayuda de la información del cuadro 17, se pudo espacializar en la figura 12 los niveles de susceptibilidad ante crecidas intempestivas, considerando la variable factor forma; donde se diferenciaron las formas para cada cuenca hidrográfica y a la vez se muestran en tonos verdes las zonas de baja susceptibilidad hasta mostrar en colores naranja y rojo las áreas de mayor susceptibilidad.

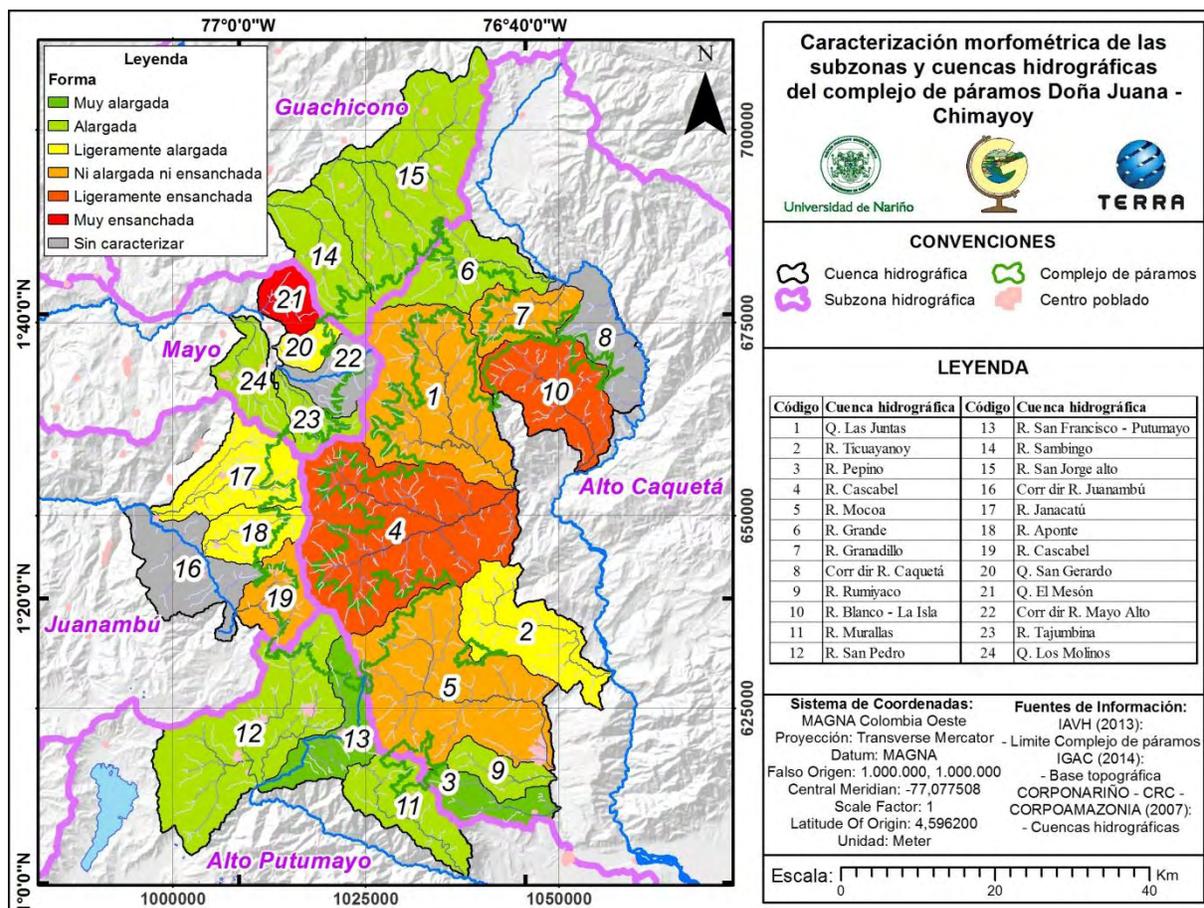


Figura 12. Forma de las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

Teniendo en cuenta la figura 12, es evidente que la mayor susceptibilidad a crecidas se presenta en la cuenca del río Cascabel en la subzona hidrográfica del río Juanambú, seguida por las cuencas de norte a sur de los ríos y quebradas San Jorge alto, El Mesón, Blanco – La Isla y San Pedro; donde se conserva una alta tendencia a las crecidas. Seguidas por las

cuencas del río Granadillo, la quebrada Las Juntas y el río Cascabel cuya susceptibilidad representativamente sería de media – alta ante el fenómeno de crecientes súbitas. Para las demás cuencas se cuenta con zonas menos propensas a las inundaciones repentinas, desde media hasta los más bajos niveles ante estos fenómenos.

**8.2.1.6. Coeficiente de Compacidad.** Mediante las herramientas ofimáticas y de Sistemas de Información Geográfica se obtuvo la información correspondiente al coeficiente de compacidad cuyos valores numéricos y nominales se presentan en el cuadro 18. Estos datos se describen a continuación:

Cuadro 18

Coeficiente de compacidad en las cuencas del CDJCH.

<b>Cuenca hidrográfica</b>	<b>Coeficiente de Compacidad</b>	<b>Compacidad</b>
R. Blanco - La Isla	1,4	Oval redonda - Oval oblonga
Q. Las Juntas	1,4	Oval redonda - Oval oblonga
R. Cascabel	1,4	Oval redonda - Oval oblonga
R. Granadillo	1,4	Oval redonda - Oval oblonga
R. Mocoa	1,5	Oval oblonga - Rectangular oblonga
R. Ticuayanoy	1,8	Rectangular oblonga
R. Rumiayaco	1,5	Oval redonda - Oval oblonga
R. Grande	1,7	Oval oblonga - Rectangular oblonga
R. Pepino	1,7	Oval oblonga - Rectangular oblonga
R. San Pedro	1,6	Oval oblonga - Rectangular oblonga
R. Murallas	1,5	Oval oblonga - Rectangular oblonga
R. San Francisco - Putumayo	1,9	Rectangular oblonga
R. San Jorge alto	1,5	Oval oblonga - Rectangular oblonga
R. Sambingo	1,4	Oval redonda - Oval oblonga
R. Cascabel	1,4	Oval redonda - Oval oblonga
R. Aponte	1,3	Oval redonda - Oval oblonga
R. Janacatú	1,5	Oval oblonga - Rectangular oblonga
Q. El Mesón	1,2	Redonda - Oval redonda
R. Tajumbina	1,7	Oval oblonga - Rectangular oblonga
Q. San Gerardo	1,3	Oval redonda - Oval oblonga
Q. Los Molinos	1,6	Oval oblonga - Rectangular oblonga

En el cuadro 18 y la figura 13 se aprecia que, de las cuencas estudiadas se identificaron doce cuencas en las que éste coeficiente es mayor que 1,5; valores característicos de cuencas ovales - oblongas a rectangulares - oblongas que según (Londoño Arango, 2001) presentan menor torrencialidad. Ocho de las cuencas registraron valores entre 1,3 y 1,5 lo cual demuestra que tienen formas entre oval - redonda y oval - alargada típicas de cuencas con tendencias moderadas a las crecidas. Finalmente, se identificó solamente una cuenca (de la quebrada el Mesón) con un valor en el coeficiente de compacidad menor a 1,25, que muestra una forma entre redonda y oval redonda, que según (Anaya Fernandez & Rengifo Trigozo, 2012) es típico de cuencas muy susceptibles a crecidas torrenciales.

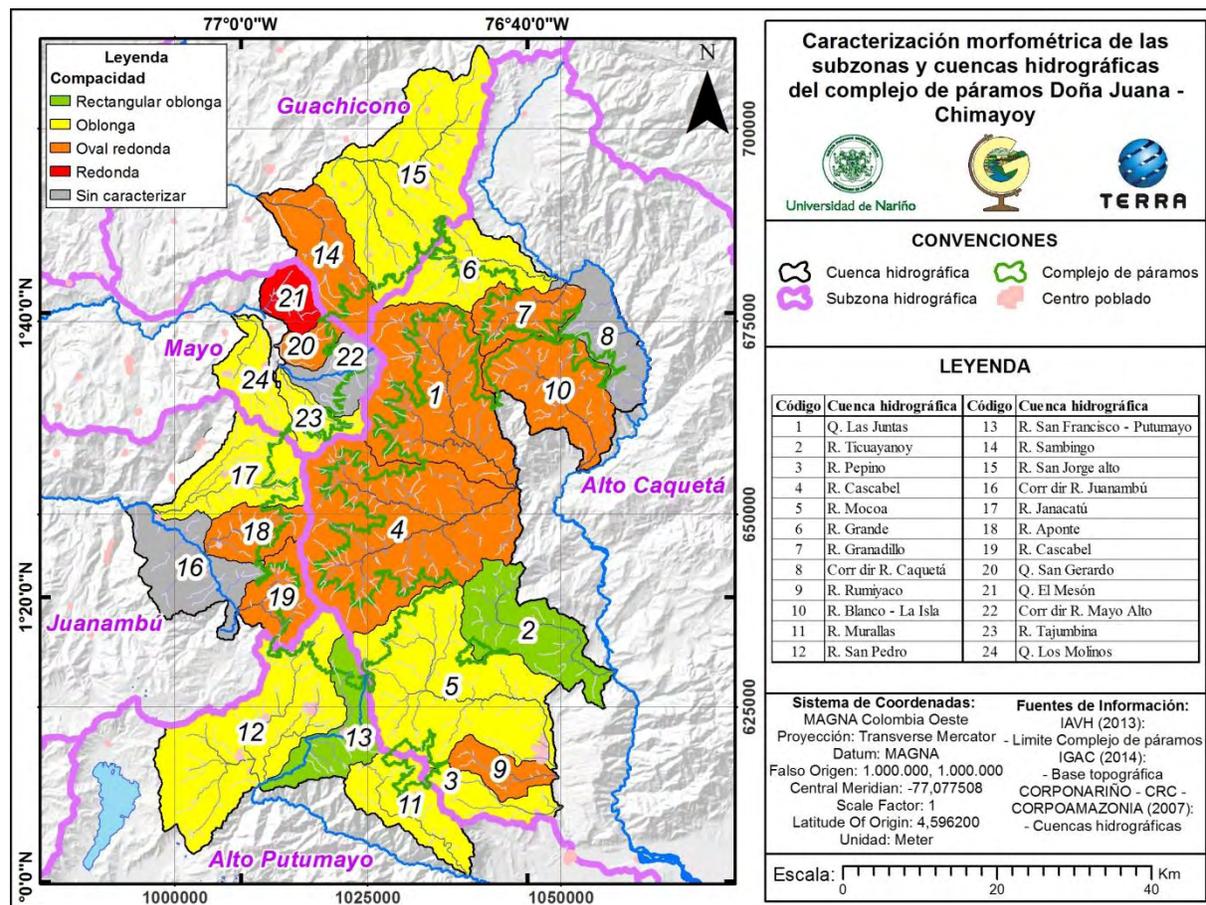


Figura 13. Compacidad de las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

Igualmente en la figura 13 se encuentra de forma gráfica cuáles son las cuencas que tienen los diferentes niveles de susceptibilidad a crecidas en función de la compacidad que presentan, es así como la cuenca de la quebrada El Mesón, tiene la máxima probabilidad ante estos fenómenos, siguiendo con las cuencas del río Sambingo, Granadillo, quebrada San Gerardo, Las Juntas, río Granadillo, Blanco – La Isla, Aponte, Cascabel (en Juanambú y Alto Caquetá) y Rumiayaco que se suman a las zonas donde la probabilidad de crecidas es levemente más alta que en las demás cuencas hidrográficas del área de estudio, las cuales muestran media y baja susceptibilidad ante estos fenómenos.

**8.2.1.7. Coeficiente o Índice de alargamiento.** El cuadro 19, presenta la distribución de las cuencas con sus respectivas connotaciones sobre este índice morfométrico, en él se puede apreciar que de los tres rangos tipificados por Horton (INE, 2004) y que además se muestran en la figura 14 se encuentra que de las 21 cuencas de 24 tenidas en cuenta para este estudio, ocho están dentro del rango de las más alargadas (con valores superiores a 3), en las que se identifican formas más ovales - rectangulares con redes de drenajes longitudinales y que concentran los volúmenes de escorrentía superficial de manera más lenta. En el segundo rango, valores de 1,5 a 2,8, hay nueve cuencas, con lo que se determinan formas moderadamente alargadas las cuales presentan una tendencia media hacia el ensanchamiento de la cuenca y por ende las crecidas súbitas. Finalmente, se presentan cuatro cuencas (pertenecientes a los ríos Cascabel, Blanco - La Isla y San Jorge Alto, junto con la quebrada El Mesón) con índices menores a 1,4 o de tipo poco alargado, con una red de drenaje en forma de abanico y probablemente con un cauce principal corto, por ende la captación del agua superficial será relativamente rápida, al mismo tiempo que disminuye el tiempo de concentración, dando así una cuenca más propensa a las avenidas torrenciales.

Al representar sobre cartografía la información de alargamiento de las cuencas del CDJCH en la figura 14, se puede evidenciar que la mayor susceptibilidad ante fenómenos de crecidas se encuentra en las cuencas del río San Jorge Alto, quebrada El Mesón, río

Blanco – La Isla y del río Cascabel en la SZH del río Juanambú. En un nivel menor se ubican las cuencas de niveles relativamente moderados ante crecidas súbitas, como lo son las cuencas de los ríos y quebradas Granadillo, Las Juntas, San Gerardo, Tajumbina, Janacatú, Aponte, Cascabel (Alto Caquetá), San Pedro y Mocoa; entre las cuales Tajumbina, Mocoa, San Gerardo, Aponte y Janacatú muestran índices más cercanos a la tendencia mayor por lo que deben tenerse en cuenta para estudios más detallados.

Cuadro 19

Índice de alargamiento en las cuencas del CDJCH.

<b>Cuenca hidrográfica</b>	<b>Índice de Alargamiento</b>	<b>Alargamiento</b>
R. Blanco - La Isla	1,4	Poco alargada
Q. Las Juntas	1,8	Moderadamente alargada
R. Cascabel (SZH Alto Caquetá)	1,8	Moderadamente alargada
R. Granadillo	2,2	Moderadamente alargada
R. Mocoa	2,6	Moderadamente alargada
R. Ticuayanoy	3,0	Muy alargada
R. Rumiayaco	3,4	Muy alargada
R. Grande	4,1	Muy alargada
R. Pepino	4,7	Muy alargada
R. San Pedro	1,6	Moderadamente alargada
R. Murallas	3,3	Muy alargada
R. San Francisco - Putumayo	4,7	Muy alargada
R. San Jorge alto	1,4	Poco alargada
R. Sambingo	3,2	Muy alargada
R. Cascabel	1,1	Poco alargada
R. Aponte	2,7	Moderadamente alargada
R. Janacatú	2,8	Moderadamente alargada
Q. El Mesón	1,5	Poco alargada
R. Tajumbina	2,5	Moderadamente alargada
Q. San Gerardo	2,6	Moderadamente alargada
Q. Los Molinos	4,3	Muy alargada

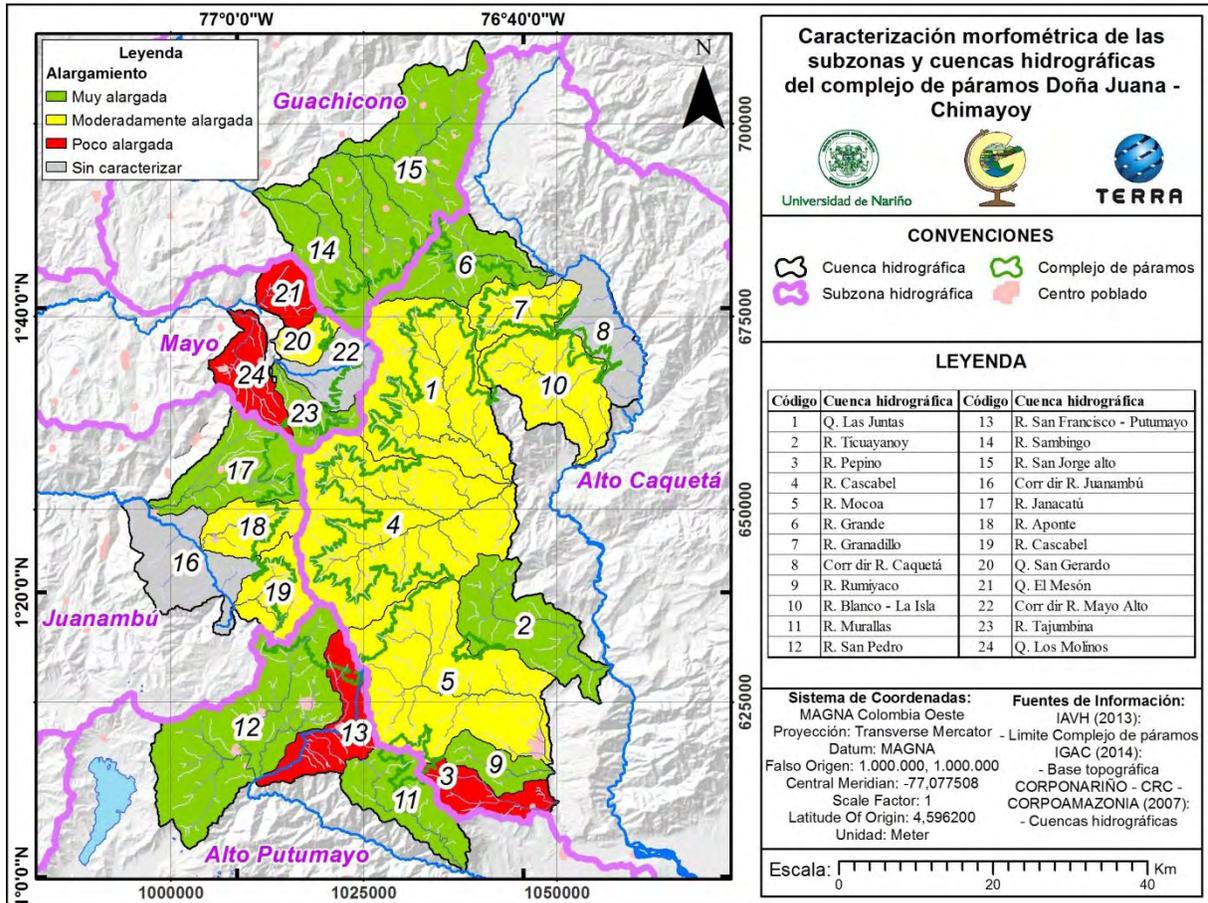
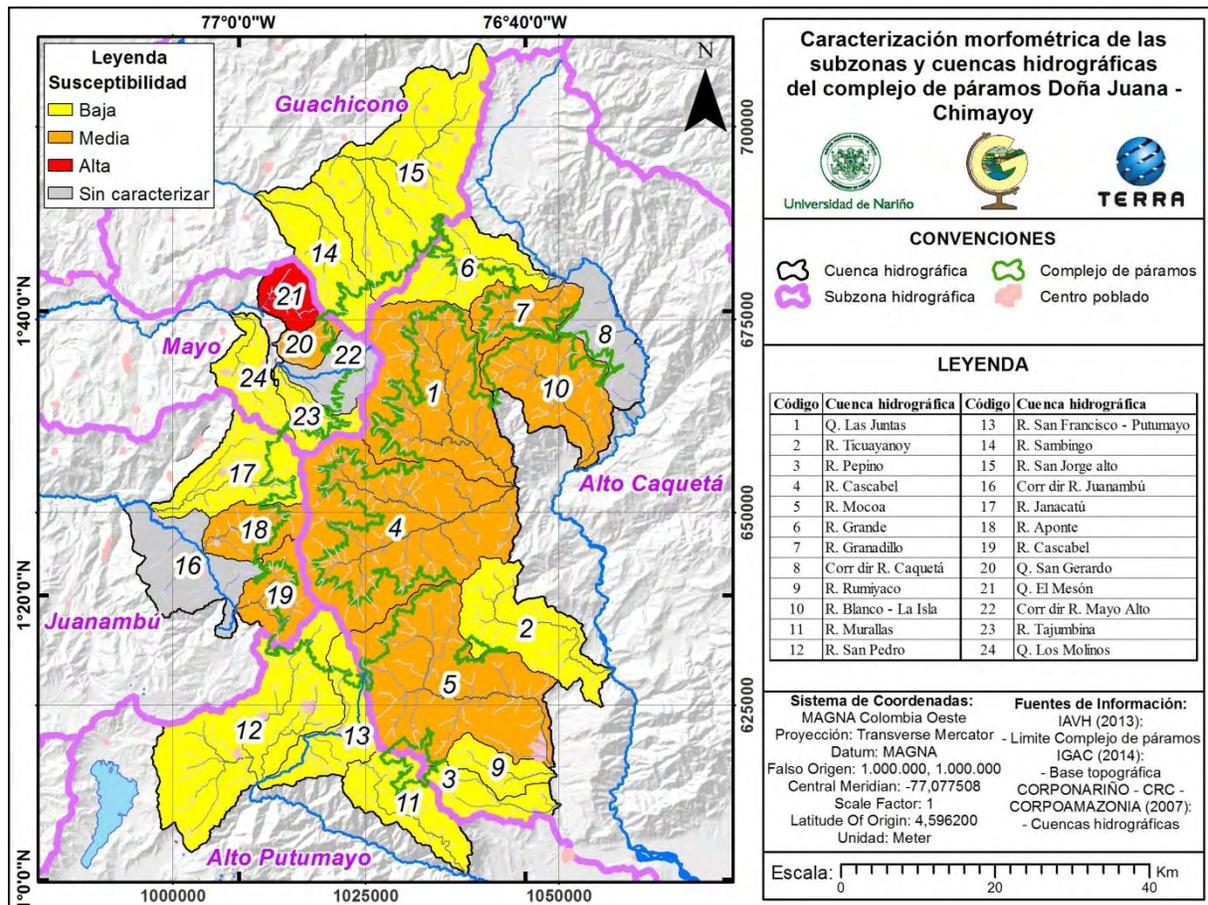


Figura 14. Alargamiento de las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

8.2.1.8. **Susceptibilidad a crecidas.** Con los insumos que se procesaron y se trataron en el estudio, se pudo generar un mapa de zonificación de susceptibilidad a crecidas, representado en la figura 15, donde se puede apreciar claramente que cinco cuencas, teniendo en cuenta los criterios morfométricos del estudio presentan mayor vulnerabilidad en cuanto es a las posibles inundaciones. Nueve cuencas presentan una tendencia media a las inundaciones repentinas mientras que los más bajos niveles de susceptibilidad se presentan en siete cuencas. De esta forma, la zonificación como herramienta de planificación es un insumo relevante para la priorización de las cuencas

donde se encuentran los mayores índices de vulnerabilidad frente a los fenómenos de inundación considerando las variables que los autores crean convenientes.



**Figura 15.** Susceptibilidad a crecidas en las cuencas Hidrográficas del complejo de páramos Doña Juana – Chimayoy.

Nuevamente en la figura 15 están reflejadas las cuencas con mayor susceptibilidad frente a inundaciones o crecidas intempestivas, esta vez considerando la unificación de las principales variables morfométricas del estudio, las cuales son las de la quebrada El Mesón y de los ríos Cascabel (En la subzona hidrográfica del río Juanambú), La Isla o Blanco, San Jorge Alto y San Pedro; que se caracterizan por formas ensanchadas, con compacidades redondeadas a ovas oblongas y de bajo alargamiento, cuya pendiente media no supera el

45%, lo que influye directamente en zonas de mayor encharcamiento debido a las bajas pendientes que como consecuencia ante cambios abruptos puede mostrar valles de inundación que son propios de zonas de piedemonte, especialmente en la vertiente andino-amazónica y si se consideran cursos cortos de los ríos principales como resultado las avenidas torrenciales tienen mayor potencial.

Contrastando los menores niveles de posibilidad a eventos de inundación súbita se presentan en las cuencas del río Grande, quebrada Los Molinos, los ríos Ticuayanoy, San Francisco – Putumayo, Murallas, Rumiayaco y Pepino; cuyas características de forma están entre formas ligeramente alargadas a muy alargadas, su compacidad oscila entre ovals oblongas a rectangulares y el alargamiento coincide en su máximo nivel. Todo ello indica que en estas cuencas la distribución del drenaje con cursos principales extendidos contribuyen en el aumento del tiempo de concentración disminuyendo la probabilidad de crecidas intempestivas, es de reconocer que se pueden presentar eventos alternos relacionados con fenómenos de remoción de masa en zonas de alta pendiente, por lo que se podría tener en cuenta este factor en cuencas como las de la del río Rumiayaco, donde el valor medio sobrepasa el 45% en esta variable. Por otro lado las demás cuencas se incluyen dentro de zonas de afectación media por las crecidas súbitas, considerando los diferentes parámetros tomados en cuenta en el trabajo.

**8.2.1.9. Cuerpos de Agua.** Además de las características descritas anteriormente, dentro de las cuencas hidrográficas analizadas en la pasantía; se encontró las unidades del entorno natural como lo son las lagunas y los pantanos, definidos en el producto final del convenio de cooperación 14-13-014-166CE de 2014 como parte del componente de cobertura de la tierra el cual se encargó de clasificarlas por medio del procesamiento de imágenes satelitales y el de hidrografía, donde se elaboró un inventario.

En términos generales, sobre las lagunas y los pantanos (ver anexo 5), se encontraron un total de 67 elementos, la gran mayoría de estos (63 en total) sin un nombre otorgado en la cartografía oficial y con áreas menores a  $1\text{Km}^2$  oscilando entre los  $0.0005\text{Km}^2$  y los  $0.2060\text{Km}^2$ .

La mayoría de los cuerpos de agua se encuentran ubicados dentro de la subzona Alto Caquetá donde se distribuyen 41 lagunas en las cuencas de la quebrada Las Juntas y de los ríos Cascabel, Grande y Mocoa, mientras que la subzona con menos cuerpos de agua identificados es la del río Guachicono en la cual se encontraron apenas 4 (ver anexo 5).

En cuanto a la distribución altitudinal de dichos cuerpos de agua, se observa que éstos se encuentran entre las cotas de 2500m.s.n.m. hasta los 3800m.s.n.m., existiendo apenas tres lagunas por debajo de los 3100m.s.n.m. (ubicadas en las cuencas de los ríos San Jorge, Sambingo y San Pedro), mientras que las 64 están sobre dicho rango; se podría destacar que en la cuenca del río Cascabel (subzona Alto Caqueta), existen ocho lagunas sobre los 3500m.s.n.m., relacionadas en el anexo 5. Estas características denotan la importante interacción que existe entre los ecosistemas de páramo, que se encuentra generalmente sobre la cota de los 3000m.s.n.m., y la regulación hídrica de las cuencas con sus reservorios.

## 9. CONCLUSIONES

- Al definir y agrupar los datos que sobre susceptibilidad a crecidas torrenciales arroja cada uno de los índices y coeficientes del presente estudio, se posibilitó el análisis fiable sobre la susceptibilidad en 21 de las 24 cuencas del estudio, aunque éstas sean bastante heterogéneas.
- Las condiciones de densidad de drenaje permiten observar que existen seis cuencas con valores menores a los  $3\text{Km}/\text{Km}^2$ , que presentan una baja susceptibilidad ante crecidas torrenciales. En el mismo orden de ideas existen en el área de estudio cinco cuencas con una densidad superior a  $4\text{Km}/\text{Km}^2$  que implica mayor posibilidad de crecidas intempestivas.
- La variación altitudinal en las cuencas analizadas muestra diferencias muy importantes, pasando de zonas con alturas de 500 m.s.n.m. llegando hasta aproximadamente los 4250 m.s.n.m., condición que permite la existencia de un gran número de pisos climáticos, pasando de zonas cálidas y húmedas (en las partes más bajas de la vertiente amazónica) llegando hasta zonas muy frías y superhúmedas (en las partes más altas de la cordillera), incluyendo además, climas de tipo templado y frío seco, húmedo y superhúmedo, Esta heterogeneidad climática es quizás la principal causa de la enorme diversidad ecosistémica existente en el área de estudio.
- Según la clasificación de las cuencas hidrográficas del área de estudio en función del factor de forma se encontró que las de mayor susceptibilidad a crecidas son las del río Cascabel, con forma muy ensanchada, seguida por las del río San Jorge Alto, quebrada El Mesón, de los ríos Blanco o La Isla y San Pedro de formas ensanchadas. En contraposición se determinó que las cuencas de los ríos Grande, quebrada Los Molinos, ríos Pepino, Murallas y Rumiayaco poseen formas alargadas mientras que San Francisco – Putumayo y Ticuayanoy tienen mayor alargamiento, por ende la menor susceptibilidad.

- Según la clasificación del coeficiente de compacidad se estableció que la cuenca de la quebrada El Mesón tiene mayor susceptibilidad a crecidas torrenciales ya que presenta compacidad redondeada. Por otra parte las cuencas de los ríos San Francisco – Putumayo y Ticuayanoy poseen compacidades rectangulares oblongas razón por la cual tienen una baja posibilidad de presentar crecidas intempestivas.
- Los índices de alargamiento muestran alta susceptibilidad a crecidas en las cuencas de los ríos San Jorge alto, Cascabel (en la subzona hidrográfica del río Juanambú), Blanco - La Isla y la quebrada El Mesón las cuales son poco alargadas; mientras que el caso contrario se presenta en las cuencas del río Grande, la quebrada Los Molinos y de los ríos Pepino, San Francisco – Putumayo, Ticuayanoy, Murallas, Rumiayaco, Tajumbina, Mocoa, Janacatú y Sambingo que son muy alargadas.
- Al realizar el análisis multivariable se concluye que la cuenca de la quebrada El Mesón tiene la mayor susceptibilidad a crecidas en el área de estudio, ya que se encontró que sus características morfométricas corresponden a formas redondeadas, de densidad alta en su red de drenaje y notable ensanchamiento.
- Al llevar a cabo el análisis de susceptibilidad a crecidas torrenciales, centrándose en cada uno de los parámetros morfométricos, se concluyó que (en función del factor de forma) la mayor cantidad de cuencas presentarían una susceptibilidad baja ante este tipo de fenómeno. Por otro lado, el análisis basado en el índice de alargamiento muestra que la respuesta es similar, mientras que para el coeficiente de compacidad presenta una influencia media, mostrando así una tendencia clara a que las cuencas analizadas presentarían en su mayoría una susceptibilidad media a baja, pero al cruzar los datos obtenidos en cada uno de estos parámetros, más las variaciones altitudinales, de pendiente y de densidad de drenaje, se obtiene que la susceptibilidad a crecidas torrenciales es mayor, siendo predominante un rango medio de probabilidad, demostrando la importancia de que

un análisis de este tipo tenga en cuenta la interacción que existe entre los diferentes parámetros y condiciones de las cuencas.

- Con el inventario de cuerpos de agua realizado en este trabajo, se encontró que existe una gran cantidad de estos, ubicándose la mayoría (64 de 67) en zonas de alturas superiores a los 3100m.s.n.m., lo cual coincide con la ubicación de ecosistemas estratégicos como son los páramos y denotando así la importancia de dichos ecosistemas en la regulación hídrica de las cuencas hidrográficas, cuyas partes altas se encuentran en este corredor paramuno.

## BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo 001 de 2014. [Departamento de Geografía. Universidad de Nariño]. Por el cual se adopta la reglamentación del Trabajo de Grado en el Programa de Geografía. (Febrero 18 de 2014). Pasto – Colombia.

Cobos Rodríguez, A., Andreo Navarro, B., & Perles Roselló, M. J. (2004). Análisis Cuantitativo Preliminar de la Cuenca Hidrográfica del Río Grande (Málaga) Mediante la Utilización de Sistemas de Información Geográfica. *Geogaceta* 36, 135-138.

CORPONARIÑO. (2007). Zonificación y codificación de las cuencas hidrográficas en el departamento de Nariño. Pasto, Colombia.

\_\_\_\_\_. (2008). Clasificación y priorización de cuencas hidrográficas en el departamento de Nariño. Pasto, Colombia.

Daza, S. (2011). Formulación del Plan de Manejo de la Microcuenca Los Molinos Municipio de La Cruz, Departamento de Nariño. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Decreto 1640. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Minambiente. Por el cual se reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. Agosto 2 de 2012. DO. N° 48510.

Decreto 3570. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Minambiente. Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Septiembre 27 de 2011. DO. N° 48205.

Decreto – Ley 2811. Presidencia de la República de Colombia. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diciembre 18 1974. DO. N° 34243.

Delgadillo, A., & Páez, G. (2008). Aspectos Hidrológicos: Subcuencas Susceptibles a Crecidas, Escenarios de Riesgo por Crecidas. Mérida, Venezuela.

Delgadillo, A., & Moreno, A. (s.f). Hidrología. Morfometría de Cuencas. Venezuela. Inédito.

ESRI. (10 de julio de 2012). ArcGIS Resources. Recuperado el 1 de Mayo de 2015, de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//003n00000001000000>

\_\_\_\_\_ (11 de septiembre de 2013). ArcGIS Resources. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//003n00000002000000>

González de Matauco, A. I. (2004). Análisis Morfométrico de la Cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus Afluentes Aplicado a la Peligrosidad de Crecidas. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N° 38, 311-329.

Gregory, J., & Walling, E. (1985). Drainage Bassyn Analysis. The Bath Press. Victoria, Australia.

Guevara, E., & Cartaya, H. (1991). Hidrología: Una Introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada. Valencia, Venezuela.

Henao, J. (1988). Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá D.C.

Hernández, D. (2006) Hidrología. Módulo Topografía. Medellín - Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. Trans Amer Geophys Union, 13, 350 – 362.

IAvH. (2012). Proyecto: Actualización del Atlas de Páramos de Colombia. Convenio Interadministrativo de Asociación (11-103). Esc 1:100.000. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C, Colombia.

IAvH. (2013). Atlas de Páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C, Colombia.

Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Morfología de las Cuencas Hidrográficas. Repositorio Institucional Universidad Politécnica de Valencia, 12.

IDEAM. (2013). Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá D.C.

IGAC. (Agosto de 1995). Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones en Latino América. Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones en Latino América. Santafé de Bogotá, D.C, Colombia: Subdirección de Cartografía.

INE. (2004). Análisis morfométrico de cuencas. Caso de estudio del Parque Nacional de Pico Tancítaro. Michoacán, México: Instituto Nacional de Ecología.

INEGI. (s.f.). Modelos Digitales de Elevación (MDE). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de:

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

Jardí, M. (1985). Forma de una Cuenca de Drenaje. Análisis de las Variables Morfométricas que nos la Definen. *Revista de Geografía*, 41-68.

Ley 78 de 1993. Congreso de la República de Colombia. Por la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión del Geógrafo y se dictan otras disposiciones. Octubre 19 de 1993. DO. N° 41081.

Ley 99 de 1993. Congreso de la República de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Diciembre 22 de 1993. DO. N° 41146.

Londoño, C. (2001). *Cuencas Hidrográficas: Bases conceptuales, caracterización, planificación, administración*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.

Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain área. Virginia Tennessee: Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report 3. Columbia University.

Montoya, Y., & Montoya, B. (2009). Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia. *Revista de Ingenierías*, Universidad de Medellín, 31 – 38.

Moreno, L. F., & Romero, M. A. (2015). Correlación entre las características de los parámetros morfométricos y variables del drenaje superficial de las cuencas que desembocan en la Ciénaga Grande del Magdalena. Cartagena: Universidad de Cartagena.

OMM. (2012). Glosario hidrológico internacional. Organización Meteorológica Mundial - WMO No. 385. Ginebra, Suiza.

Quijano, J. E. (2014). Parámetros morfométricos, geomorfológicos y correlación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la cuenca Amagá. Medellín: Universidad EAFIT.

Rivera, D. y Rodríguez, C. 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. 2011. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 68 págs.

Ruiz, J. (2001). Hidrología, Evolución y visión Sistémica, la Morfometría de Cuencas como Aplicación. Barinas, Venezuela.

Salomón, M., & Soria, D. (2010). Estudio hidrográfico e hidrológico de las cuencas Chacras de Coria y Tejo. Mendoza, Argentina. CONICET, 109 – 115.

Santos, C. E. (2005). Análisis de las propuestas existentes para el ordenamiento ambiental de la ciudad de La Habana, Cuba. Gestión y Ambiente. Vol 8, 7 – 17.

Sarmiento, C., C. Cadena, M. Sarmiento, J. Zapata y O. León. 2013. Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia

Schreidegger, A. E. (1968). Horton's law of stream numbers. *Water Resources Research* 3, 655 – 658.

Schumm, S. A. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in bablands at Perth Amboy, New Jersey. *Geology, Sociology Amer. Bull.* 67, 597 – 646.

Shreve, R. L. (1967). Infinite topologically random channel Works. *Journal of Geology*, 75, 178 – 186.

Strahler, A. (1964). *Quantitative Geomorphology of Drainaje Basins and Channel Networks.*

Suárez Sarria, J. T. (s.f.). *Cálculo de Parámetros Morfométricos y Propuesta de Ordenación Agroforestal en la Subcuenca El Cacao Provincia Ciudad de La Habana.*

UNAD. (2013). Datateca. Obtenido de Módulo Hidrología:  
<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/index.htm>

Resolución 0337. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT. Por la cual se adopta un sistema de codificación para las estaciones Hidrometeorológicas. Abril 4 de 1978.

Vásquez, C., Herrera, D., & Gutierrez, Y. (2014). *Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada Catamo, del municipio de Villavieja del departamento del Huila, mediante el uso de herramientas HEC-GEOHMS.* Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

## **ANEXOS**