

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO
CUMBAL (NARIÑO – COLOMBIA).

ANGELA MILENA PORTILLA ERAZO
JAIME FERNANDO PIZARRO JURADO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2016

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO
CUMBAL (NARIÑO – COLOMBIA).

ANGELA MILENA PORTILLA ERAZO
JAIME FERNANDO PIZARRO JURADO

Trabajo de grado (Modalidad Monografía) presentado como requisito parcial para
optar al título de Geógrafo con énfasis en Planificación Regional.

Asesor:
Geógrafo. GERMAN NARVÁEZ BRAVO
Esp. Ecología con énfasis en Gestión Ambiental

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2016

“Las ideas y conclusiones aportadas en el Trabajo de Grado son responsabilidad del autor”

Artículo 1 del Acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto 5 de diciembre de 2016

Este trabajo está dedicado a las personas que me rodean día a día y me han dado la oportunidad de conocerlos y aprender de ellos y así hacer de la vida un momento feliz ante las dificultades. Este esfuerzo va dedicado a mis padres Zoila y Jaime por su acompañamiento, confianza y paciencia, también a mi hermana Ingrid y a los del alma: mis amigos, como Linder, Lorena, Luis, J.K. Giovanni, William y el grupo Caminos quienes también hacen parte de mi familia.

Fernando Pizarro Jurado.

Este trabajo está dedicado para todas aquellas personas a quienes les apasiona la ciencia geográfica esperando que este pequeño aporte a la geomorfología despierte mayor interés por tratar de entender el comportamiento de nuestro planeta tierra y para caso específico de la alta montaña nariñense. Al igual por su amor, paciencia y apoyo incondicional a mis padres Laura Erazo Paz y Walter Portilla Rúaless, a mis hermanos Laura Vanessa y Walter David, a mis tías Liliana E. P. y Animaría E. P. y a mi abuelita Laura Erazo Paz.

Angela Portilla Erazo

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado del aprendizaje que adquirimos durante la carrera de geografía en la Universidad de Nariño, como también durante nuestra permanencia en el grupo de investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA. En este sentido agradecemos a todos nuestros profesores y compañeros de pregrado quienes de alguna u otra manera hicieron parte de nuestra formación profesional y personal, también agradecemos a nuestro asesor y amigo German Narváez Bravo por su tiempo, dedicación e interés en formar geógrafos investigadores, lo cual se hace esencial para el desarrollo de nuestra ciencia.

De igual manera es de gratitud la oportunidad brindada por el grupo TERRA para participar en el componente de geomorfología del “Estudio técnico, económico, social y Ambiental para la, identificación de los Complejos de Páramos Chiles – Cumbal, La Cocha – Patascoy y Doña Juana – Juanoy.” realizado entre la Universidad de Nariño y el IAvH, el cual nos permitió aplicar y ampliar nuestros conocimientos en geomorfología de alta montaña y tener mayores insumos para esta investigación.

Por ultimo agradecemos a los jurados evaluadores por sus valiosos aportes y su tiempo.

RESUMEN

Esta investigación se desarrolla en torno al Complejo Volcánico Cumbal localizado al suroccidente del Departamento de Nariño, tomando como eje temático principal a la ciencia geomorfológica. De acuerdo a las características físicas del área de estudio una buena parte de este trabajo se aborda desde la geomorfología glaciar y volcánica, analizando sus interacciones y sus resultados sobre el relieve. La escala de este trabajo es de 1:25.000 y toma como unidad cartografiada a las unidades geomorfológicas o landforms las cuales fueron clasificadas mediante sistemas morfogénicos.

La metodología estuvo estructurada en tres fases dentro de las que se encuentran las actividades de: recopilación y análisis de información secundaria, zonificación y procesamiento cartográfico y la elaboración del documento final. La zonificación e identificación de unidades geomorfológicas fue resultado de un proceso de fotointerpretación sobre aerofotografías análogas e imágenes satelitales, lo cual contó con una corroboración mediante trabajo de campo selectivo.

Como productos finales de la investigación se tiene el Mapa de Unidades Geomorfológicas del C. V. Cumbal el cual muestra la zonificación y la propuesta de clasificación mediante Sistemas Morfogénicos, en tanto que dentro de la caracterización se incluyen aspectos geológicos, edafológicos, cobertura del suelo así como la morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica de cada unidad.

Palabras clave: Geomorfología, Geomorfología Glaciar, Geomorfología Volcánica, unidades geomorfológicas.

ABSTRACT

This investigation develops towards the Cumbal volcanic complex located on the department of Nariño southwest, taking as core topic the geomorphologic science. According to the physical characteristic of the study area a large proportion of this work addresses from glacier and volcanic geomorphology, analysing its interactions and its results relating to the relief. The scale of this work is 1:25.000 and takes as mapping unit the geomorphologic unit or landforms which were classified through morphogenetic systems.

The methodology was structured in three stages within the following activities: recompilation and analysis of the secondary information, zonation and cartographical process and the production of the final document. The zonation and identification of geomorphologic unit was the result of a photo-interpretation of the, analogue aerial photography and satellite images which were corroborated by selective fieldwork.

As final products of the investigation are obtained the geomorphology unit map of the Cumbal volcanic complex that shows the zonation and the classification by means of morphogenetic systems proposal, as the characterisation includes geological and pedological aspects, land-covers as well as morphogenesis, morphology, morphometry and morphodynamic of each unit.

Keywords: Geomorphology, Glacier geomorphology, volcanic geomorphology, geomorphological unit.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PROBLEMA	14
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. ANTECEDENTES	17
4.1 CONTEXTO INTERNACIONAL	17
4.2 CONTEXTO NACIONAL	19
4.3 CONTEXTO REGIONAL	20
5. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
6. MARCO CONCEPTUAL	25
6.1 SISTEMAS Y PROCESOS MORFOGÉNICOS	25
6.2 MORFOLOGÍA PERIGLACIAR	28
6.3 EROSIÓN GLACIAR Y MODELADO GLACIAR HEREDADO	29

6.4 GEOMORFOLOGÍA VOLCÁNICA	33
7. METODOLOGÍA	36
7.1. FASE UNO: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENTORNO FÍSICO – BIÓTICO	36
7.2 FASE DOS: ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y PROCESAMIENTO CARTOGRÁFICO	39
7.3 FASE TRES: CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.	47
8. CARACTERIZACIÓN FÍSICO – BIÓTICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL	49
8.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS	49
8.1.1 Estratigrafía y evolución	49
8.1.2 Geología estructural y sismicidad	56
8.1.3 Geología económica	59
8.2 COBERTURA DE LA TIERRA	59
8.2.1 Distribución de la cobertura respecto a algunas unidades geomorfológicas	63
8.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	67
8.3.1 Descripción de las consociaciones de los suelos del C.V. Cumbal	69
8.3.1.1 Suelos en paisajes de montaña y clima extremadamente frío húmedo, muy húmedo	70
8.3.1.2 Suelos en paisajes de montaña y clima muy frío muy húmedo	72
9. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y MORFODINÁMICA DEL C.V. CUMBAL	76
9.1 ASPECTOS GENERALES	76

9.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL C.V. CUMBAL	82
9.2.1 Altiplanos y sus bordes	82
9.2.1.1 Altiplano en ambientes volcánicos	82
9.2.2 Los lagos y embalses con bordes de sedimentación	84
9.2.2.1 Áreas de sedimentación fluvio-lacustre	85
9.2.2.2 Lagunas en calderas volcánicas	88
9.2.2.3 Lagunas en flujos piroclásticos	89
9.2.2.4 Lagunas glaciares	90
9.2.3 Modelado glaciar heredado	90
9.2.3.1 Modelado glaciar heredado en ambientes volcánicos activos	91
9.2.4 Morfodinámica volcánica	100
9.2.4.1 Morfodinámica volcánica antigua - Cumbal antiguo	100
9.2.4.2 Morfodinámica volcánica antigua - Cumbal moderno	102
9.2.4.3 Morfodinámica volcánica subreciente - Cumbal moderno	105
9.2.4.4 Morfodinámica volcánica reciente - Cumbal moderno	107
9.2.5 Montaña alto andina inestable	108
9.2.5.1 Modelado de disección	109
10. CONCLUSIONES	110
11. BIBLIOGRAFÍA.	112

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Productos cartográficos y de sensores remotos	38
Tabla 2. Esquema de jerarquización geomorfológica	42
Tabla 3. Clasificación de unidades geomorfológicas para el área de estudio	42
Tabla 4. Sistemas morfogénicos	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Área de estudio	23
Figura 2. Esquema de un glaciar como sistema de flujo y energía	30
Figura 3. El piso geomorfológico del MGH	32
Figura 4. Principales tipos de volcanes relacionados con la tectónica de placas	34
Figura 5. Líneas de vuelo del IGAC empleadas	37
Figura 6. Estereoscopios de espejos	40
Figura 7. La Alta Montaña y sus pisos bioclimáticos y morfogénicos	44
Figura 8. Aplicación Web	47
Figura 9. Sector occidental caldera Cumbal Antiguo y la laguna de Cumbal localizada en su base	51
Figura 10. Sector occidental caldera Colimba	52
Figura 11. Sección transversal flanco nororiental C.V. Cumbal	54
Figura 12. Sección transversal Quebrada Pistejo	55
Figura 13. Elementos estructurales del altiplano Tuquerres – Cumbal y del C.V. Cumbal.	57
Figura 14. Distribución de los sismos registrados en el periodo 1993 – 2014 por la RSNC	58
Figura 15. Arado sobre vegetación de páramo sector Las Huertas y quemas en el valle del Rio Negro	61
Figura 16. Mosaico de pastos y cultivos	62
Figura 17. Sección transversal valle glaciar de la quebrada London	64
Figura 18. Sección transversal valle glaciar de la quebrada Pistejo	64

Figura 19. Sección transversal caldera del Cumbal antiguo	65
Figura 20. Cobertura del suelo	66
Figura 21. Formaciones de hielo y bloques de lava en el C.V. Cumbal	68
Figura 22. Distribución altitudinal de los principales suelos del C.V. Cumbal	69 75
Figura 23. Consociaciones de suelos	78
Figura 24. Distribución espacial de la T°. C.V. Cumbal	80
Figura 25. Subgrupos de sistemas morfogénicos	81
Figura 26. Sistemas morfogénicos	84
Figura 27. Altiplano Tuquerres – Cumbal	85
Figura 28. Altiplano laguna de La Bolsa	86
Figura 29. Canales en el altiplano de la laguna de La Bolsa	87
Figura 30. Depósitos lacustres laguna de La Bolsa	88
Figura 31. Laguna de La Bolsa	90
Figura 32. Lagunas en sistema de colinas (flujos piroclásticos)	94
Figura 33. Morrenas lateral y de fondo de un valle glaciar	95
Figura 34 Morrena medial	95
Figura 35. Morrena retroceso	100
Figura 36. Valle glaciar	102
Figura 37. Corte altiplano en caldera	104
Figura 38. Cráter Mundo Nuevo	105
Figura 39 Cráter plazuelas y domo volcánico	
Figura 40 Sistema de colinas	106

Figura 41. Sección transversal sistema de colinas (flujos piroclásticos)

107

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Jerarquización de los sistemas morfogénicos de la montaña alta y la montaña media	27
Cuadro 2. Principales procesos morfodinámicos del piso periglacial	29
Cuadro 3. Principales unidades de la morfología glaciar alpina	31
Cuadro 4. Correlación de geoformas volcánicas y composición	35

LISTA DEL ANEXO CARTOGRÁFICO

Anexo 1: Mapa de Unidades Geomorfológicas del C.V.Cumbal.

Anexo 2: Leyenda Unidades Geomorfológicas C.V. Cumbal.

INTRODUCCIÓN

En este documento se desarrollan los resultados y componentes de la caracterización geomorfológica del complejo volcánico (C.V.) Cumbal, con el fin de dar a conocer los aspectos conceptuales, contextuales y metodológicos así como los resultados de esta investigación.

Teniendo en cuenta que los estudios geomorfológicos que se han llevado a cabo en el departamento de Nariño son escasos y a elaborados en escalas muy generales, se consideró pertinente realizar esta investigación con el fin de aportar en esta rama del conocimiento y en la ciencia geográfica.

Mediante la elaboración de este trabajo, se alcanzó a describir los procesos morfodinámicos en el complejo volcánico Cumbal, localizado al suroccidente del departamento de Nariño, así como zonificar y caracterizar las geoformas asociadas a los sistemas morfogénicos: periglaciario, modelado glaciario heredado en ambientes volcánicos y la montaña altoandina inestable; con el fin de generar información geomorfológica a escala 1:25000, necesaria para la elaboración de estudios en gestión del riesgo, planificación y ordenamiento territorial.

Esta investigación se inscribió dentro de la línea de investigación de estudios físico naturales del departamento de Geografía de la Universidad de Nariño, y fue realizada por integrantes del grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA.

1. PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las características geomorfológicas del Complejo Volcánico Cumbal en el departamento de Nariño?

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La investigación geomorfológica en el relieve del departamento de Nariño y en particular de la alta montaña, es una temática que se ha visto descuidada, tanto por el campo institucional como académico, repercutiendo en la falta de información que permita conocer la dinámica del relieve en estas áreas.

Teniendo en cuenta que una parte significativa de la región andina nariñense, presenta estructuras volcánicas activas afectadas por erosión glacial, en los cuales se evidencian interrelaciones entre los procesos morfodinámicos de origen volcánico y aquellos asociados al modelado periglacial y glacial heredado; los cuales hasta el momento no se han caracterizado ni documentado, tampoco se encuentra una metodología para la zonificación y clasificación de los procesos morfogénicos y de las unidades geomorfológicas a escalas detalladas.

En la región andina nariñense, los estudios que presentan información de tipo geomorfológico correspondiente a la alta montaña, son los realizados en el corredor paramuno Ovejas – Tauso, y en los complejos volcánicos de Galeras y Doña Juana, mientras que para las demás áreas de páramo y cadenas volcánicas del departamento, la investigación realizada sobre este tema a escalas detalladas es insuficiente.

No obstante lo anterior, vale la pena mencionar que los resultados de esta investigación fueron empleados para la realización del “Estudio técnico, económico, social y Ambiental para la, identificación de los Complejos de Páramos Chiles – Cumbal, La Cocha – Patascoy y Doña Juana – Juanoy”¹ el cual dentro de sus productos existe una zonificación geomorfológica basada en ambientes morfogenéticos a escalas 1:100000 y 1:25000.

¹INSTITUTO ALEXANDR VON HUMBOLDT – UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Estudio técnico, económico, social y Ambiental para la, identificación de los Complejos de Páramos Chiles – Cumbal, La Cocha – Patascoy y Doña Juana – Juanoy. San Juan de Pasto, 2015.

2. JUSTIFICACIÓN

El ser humano a lo largo de su historia se ha interesado por conocer y entender la dinámica de la tierra, lo que ha permitido su supervivencia. De ahí radica la importancia de la ciencia geomorfológica, a través de la cual, se ha logrado estudiar la evolución y las formas del relieve, facilitado así, la comprensión de algunos de los fenómenos naturales, que de alguna u otra manera se ven inmersos en el desarrollo de las actividades socio-económicas y de la vida en general de las poblaciones.

Considerando lo anterior, los estudios geomorfológicos han permitido descifrar las leyes que rigen el comportamiento del relieve, proporcionando información necesaria para el estudio de las problemáticas ambientales y los posibles escenarios de amenaza, riesgo y vulnerabilidad. A si mismo constituyen una base fundamental para los procesos de planificación y ordenamiento territorial, desde el análisis de algunos factores que inciden en la definición adecuada del uso del suelo.

En este sentido, se reconoce la necesidad de realizar la caracterización geomorfológica del Complejo Volcánico Cumbal, el cual es de gran interés ya que representa una fuente importante de recursos para las poblaciones cercanas, teniendo en cuenta que dentro de éste, se encuentran ecosistemas estratégicos como lo son los páramos, donde los estudios de tipo geomorfológico son fundaménteles para entender su comportamiento, tal y como se recomienda en las memorias del Congreso Mundial de Páramos y a nivel regional CORPONARIÑO².

Finalmente, partiendo de que en Colombia la alta montaña ha sido estudiada de manera muy general, este estudio contribuye al análisis de los procesos morfodinámicos de ésta, adaptando una metodología para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas mediante **sistemas morfogénicos**, que facilite el análisis de los procesos que les dieron origen.

²CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO – UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Proyecto estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. San Juan de Pasto, 2007 tomo 4 p. 135.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar la caracterización geomorfológica del Complejo Volcánico Cumbal en el departamento de Nariño - Colombia

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el entorno físico - biótico existente en el área de estudio, a partir del análisis de información secundaria.
- Zonificar las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.
- Analizar los procesos morfodinámicos presentes en el área de estudio.

4. ANTECEDENTES

La realización de estudios geomorfológicos cobra mayor relevancia en el mundo con la aparición de la Geomorfología de Procesos en los siglos XIX y XX. Posteriormente, los antecedentes sobre este tipo de estudios pueden encontrarse en varios lugares del globo con diversas escalas y enfoques. A continuación se describen a nivel internacional, nacional y regional, algunas de las principales iniciativas teóricas y metodológicas relacionadas con el estudio de la evolución del relieve y la zonificación de unidades geomorfológicas.

4.1 CONTEXTO INTERNACIONAL

A nivel internacional se encuentran gran variedad de estudios geomorfológicos, sin embargo, para este aparte del documento se ha tomado principalmente estudios y publicaciones referentes a la geomorfología de la alta montaña, ya sea mediante aportes teóricos o metodológicos.

En este sentido, en cuanto aportes teóricos se encuentran los trabajos realizados por Jean Tricart y Max Derruau, a través de publicaciones como *La epidermis de la Tierra* y *Principios de Geomorfología* respectivamente. Entre otros autores, también es importante destacar los estudios realizados por Gutiérrez Elorza frente a la geomorfología climática, así como las investigaciones de Richard J. Chorley que han contribuido con la interpretación y aplicación de la teoría de sistemas a la Geomorfología.

En cuanto a investigaciones más puntuales, se puede decir que uno de los países que más ha aportado con estudios a la geomorfología es España, por ejemplo Pardo et al³, desarrolla una metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca, en la cual incorpora además del manejo de datos espaciales y la generación de DEM's, el análisis sistémico de perfiles transversales del terreno, estableciendo relaciones morfológicas y morfométricas.

También se encuentran importantes revistas Españolas como: Cuaternario y Geomorfología o la revista Serie Geográfica de Madrid, donde Palacios⁴ describe los diferentes tipos y metodologías para la elaboración de cartografía de riesgos geomorfológicos para la alta montaña, aplicándola para el caso concreto de los estratovolcanes Popocatepetl y Citlaltépetl de México.

³ PARDO PASCUAL, José. Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca mediante perfiles transversales. Universidad Politécnica de Valencia. [online]. Disponible en: http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc1_6.pdf.

⁴ PALACIOS, David. La elaboración de la cartografía de riesgos geomorfológicos y su aplicación en áreas de alta montaña. En: Serie Geográfica, 1996, no. 6, p. 59-97.

De igual forma Úbeda⁵ presenta un análisis de las implicaciones geomorfológicas y paleoclimáticas de los glaciares del sector NE del Nevado Coropuna en Perú, realizando un estudio de la edad de exposición de bloques de morrenas a través de técnicas de datación por exposición de superficies (SED), representándolas en perfiles topográficos acordes a las edades de exposición.

Por otra parte, se tienen estudios que abarcan extensos territorios que atraviesan todo un continente, como el realizado por Dullfus⁶ el cual desarrolla un análisis de los problemas geomorfológicos que se presentan en la cordillera de los Andes, teniendo en cuenta las eras geológicas y los diferentes sistemas morfogénicos; contrario a éste, a una escala más detallada, Migon et al⁷ en Polonia centra su estudio en el circo glaciar Wielki Śnieżny Kocioł, realizando una caracterización geomorfológica detallada de la evolución de los taludes.

En Latinoamérica existen varios estudios publicados en revistas científicas, por ejemplo en la revista Norte Grande de Chile, Soto et al⁸ realiza una caracterización geomorfológica donde se identifica el dominio periglacial y los procesos dinámicos en ambientes de alta montaña, analizando también características de fallamiento, estratificación y plegamiento. En la misma revista se encuentra los aportes de Inturraspe⁹, quien realiza un análisis del retroceso glaciar, en el campo de hielo patagónico sur, a través de un estudio multitemporal, mostrando la intensidad de los procesos de fusión y las geoformas resultantes de los mismos.

Finalmente, en Brasil, se tienen estudios como el de Olivera¹⁰, quien desarrolla una caracterización y zonificación geomorfológica en la ecoregión del Raso da Catarina, en donde mediante el empleo de herramientas SIG se delimitaron las unidades morfoestructurales del área de estudio.

4.2 CONTEXTO NACIONAL

⁵ÚBEDA, José. Cronologías glaciales del sector NE del nevado Coropuna (Perú): Implicaciones geomorfológicas y paleoclimáticas, En: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 2013, no. 62. p. 213-236.

⁶DULLFUS, O. La cordillera de los Andes presentación de los problemas geomorfológicos. En: Instituto Francés de Estudios Andinos París 1974, no. 4. p. 1-36.

⁷MIGON, Piotr, et al. Contemporary evolution of talus slopes in the Wielki Śnieżny Kocioł glacial cirque. En: Opera Corcontica. Republica Checa. 2010, no. 47. p 63-74.

⁸SOTO, María; et al. Caracterización geomorfológica del corredor de comercio Las Leñas, valle del Río Cachapoal, Andes de Chile central, En: Norte Grande, 2004, no. 31. P. 85 – 98.

⁹INTURRASPE, Rodolfo. Dinámica de procesos y geoformas vinculadas al retroceso del glaciar O'Higgins campo de hielo patagónico sur. En: Anales Instituto Patagonia. 2002 no. 30. p. 13-24.

¹⁰MOURA OLIVERA, Joao. Mapeamento e caracterização geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e entorno NE da Bahia. En: Mercator - Revista de Geografia da UFC [online] septiembre-diciembre 2010, vol. 9, núm. 20, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273619430015>.

En Colombia, se pueden encontrar varios estudios geomorfológicos, sin embargo se destacan aquellos trabajos que tienen una cobertura nacional, los cuales se han realizado a partir de un enfoque interinstitucional entre la academia y las instituciones gubernamentales, quienes han hecho contribuciones al campo conceptual y metodológico de esta ciencia, desarrollando diferentes clasificaciones del relieve del País a diversas escalas.

Haciendo alusión a lo anterior, en el año 2010, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en un trabajo en conjunto con la Universidad Nacional, publicaron el documento: “Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano”¹¹, donde se entrega una zonificación a escala 1:500.000 basada en el concepto de **sistemas morfogénicos**, donde finalmente se presentan los resultados, como una propuesta metodológica jerárquica y sistémica adaptable a estudios geomorfológicos a escalas más detalladas.

Similarmente, otros trabajos en Colombia son los realizados por Antonio Flórez, destacándose la publicación: “Colombia: evolución de sus relieves”¹², donde se describe las diferentes etapas de formación del relieve del país, incorporando los aportes conceptuales de autores como Scheidegger, Tricart y Chorley. Además presenta una zonificación geomorfológica a escala 1: 3´400.000, clasificando las grandes **unidades morfoestructurales** como: la alta Montaña, la montaña media, la montaña baja, las depresiones tectónicas, los litorales, el dominio amazónico - orinoqués y el sistema insular.

Considerando la importancia de la información geomorfológica en los estudios de gestión del riesgo, el Servicio Geológico Colombiano, publicó el “Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, insumo para el mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000”¹³, el cual brinda información sobre: clasificación geomorfológica; tipos y atributos de los mapas geomorfológicos; lineamientos cartográficos y estándares gráficos como simbología y nomenclatura. Cabe resaltar, que esta misma entidad dentro de las memorias explicativas de las planchas geológicas a escala 1:100.000, brinda información de tipo geomorfológico generalizada.

Así mismo se destacan las publicaciones realizadas por Kim Robertson, entre ellas se encuentran: “Morfortectónica y dataciones del fallamiento activo del piedemonte

¹¹ IDEAM. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Bogotá. 2010. 252.p 2 anexos, 26 Planchas DVD.

¹² FLÓREZ, Antonio. Colombia: evolución de sus relieves. Bogotá: Ed. Unibiblos, 2003. 240 p.

¹³ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, para la generación del mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá. 2012. 86 p.

llanero, Colombia, Sudamérica”¹⁴, donde se describen las evidencias morfotectónicas en el relieve, empleando herramientas de datación y fotointerpretación; y “Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia”¹⁵ en la cual se realiza una clasificación actualizada de los volcanes colombianos, a partir del análisis geomorfológico de las estructuras y los depósitos volcánicos.

4.3 CONTEXTO REGIONAL

En el departamento de Nariño, el desarrollo y publicación de caracterizaciones geomorfológicas es escaso, sin embargo existen algunas desarrolladas especialmente en áreas volcánicas y costeras. Una parte significativa de la información geomorfológica regional, se encuentra disponible en caracterizaciones geográficas y planes de manejo ambiental.

Haciendo alusión a lo anterior, el trabajo: “Estudio geográfico del volcán Doña Juana y su área adyacente. Una perspectiva ambiental”¹⁶, describe las principales características del relieve, categorizándolas con base a la morfología y los procesos que les dieron origen. Adicionalmente, en este mismo complejo volcánico, el Ministerio del Medio Ambiente y la Corporación Autónoma Regional de Nariño y Cauca, formularon el “Plan de ordenamiento y manejo ambiental del complejo volcánico Doña Juana, cerro Juanoy y su área de influencia”¹⁷, en el cual se incluye una detallada descripción geomorfológica basada en el concepto de **sistemas morfogénicos**, haciendo conjuntamente énfasis en la identificación de procesos morfodinámicos.

Otro documento en el cual se encuentra información y cartografía geomorfológica de la alta montaña, es el “Estudio del estado actual del páramo Las Ovejas – Tauso y apoyo al proceso de declaratoria como área protegida”¹⁸, donde dentro de la caracterización geomorfológica se realizaron trabajos de revisión de información secundaria, fotointerpretación, trabajo de campo y mapificación. Los resultados se describen y clasifican de acuerdo al tipo de modelado, destacándose un gran número de unidades geomorfológicas pertenecientes al modelado glaciar heredado.

¹⁴ ROBERTSON, Kim. Morfotectónica y dataciones del fallamiento activo del piedemonte llanero, Colombia, Sudamérica. En: Cuadernos de Geografía. 2007. Nº 16. p. 109 – 107.

¹⁵ ROBERTSON, K; FLÓREZ, A; CEBALLOS, J. Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. En: Rev. Cuadernos de Geografía. 2002. Vol. XI nº 1-2 p. 38-76.

¹⁶ NARVÁEZ, Germán. Estudio geográfico del volcán Doña Juana y su área adyacente: Una perspectiva ambiental. Tesis de pregrado en Geografía. Universidad Nacional de Colombia. 1998. 122p.

¹⁷ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Plan de ordenamiento y manejo ambiental del complejo volcánico Doña Juana, Cerro Juanoy y su área de influencia. Bogotá. 2003

¹⁸ CORPONARIÑO & UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Estudio del estado actual del páramo Las Ovejas – Tauso y apoyo al proceso de declaratoria como área protegida. Pasto. 2010.

Por otra parte, si bien no se trata específicamente de una caracterización geomorfológica, es importante mencionar el “Estudio general de suelos y zonificación de tierras”¹⁹, donde en el campo de la geomorfología se presentan algunas características geomorfopedológicas, tipos de relieve, litología y sedimentos presentes en el departamento de Nariño, a una escala 1:100.000.

El mayor referente a nivel regional que se tiene de estudios geomorfológicos, es el realizado en el año 2015 por la Universidad de Nariño en convenio con el IAvH²⁰, el cual brinda insumos técnicos para la delimitación de los tres complejos de páramos que existen en el departamento de Nariño y el sur del Cauca (Chiles – Cumbal; La Cocha – Patascoy y Doña Juana – Juanoy). En este estudio se encuentra una zonificación geomorfológica a nivel regional (1:100.000) la cual abarca una buena parte de la región andina nariñense extendiéndose desde el piedemonte amazónico hasta la vertiente oeste de la cordillera occidental. Similarmente presenta una zonificación de carácter local (1:25.000) la cual incluye todas las áreas de páramo del departamento desde aproximadamente los 2.700 m.s.n.m. en adelante.

En lo referente a planes y esquemas de ordenamiento territorial, la información geomorfológica se centra en la descripción y clasificación de pendientes, por lo cual puede afirmarse que ésta, parte de procedimientos poco rigurosos y brindan información muy general, en otros casos se emplea fuentes de información secundaria, como por ejemplo el estudio mencionado en el párrafo anterior.

¹⁹ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. San Juan de Pasto. 2004.

²⁰ INSTITUTO ALEXANDR VON HUMBOLDT – UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Op Cit.

5. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Complejo Volcánico Cumbal, se sitúa al suroccidente del departamento de Nariño sobre la cordillera occidental. Hace parte de una cadena volcánica en la cual se encuentran otras estructuras volcánicas como Chiles, Cerro Negro de Mayasquer, Cerro Crespo y Azufra. Político – administrativamente pertenece a los municipios de Cumbal, Guachucal y Mallama.

La extensión total del área de estudio es de 11.102 ha distribuidas altitudinalmente en un rango que oscila entre 3400 y 4764 msnm. Para la delimitación de la zona, se tomaron en cuenta criterios como la disponibilidad y cubrimiento de productos de sensores remotos (especialmente aerofotografías), y aspectos geomorfológicos y geológicos de interés, como por ejemplo, la extensión del actual volcán Cumbal y la caldera volcánica donde se localiza la laguna de La Bolsa.

Así entonces, los límites del área de estudio corresponden a los siguientes: al **norte**: el límite toma la divisoria de aguas de la caldera del antiguo volcán Cumbal sobre la cota de 3800 msnm, posteriormente toma un transepto del río Tambillo y la quebrada Pistejo hasta la cota de 3400 msnm, al **oeste**: se toma como referencia la cota altitudinal de 3600 y 3800 msnm, hasta encontrar el nacimiento del río Blanco en el sur de la zona, al **sur**: el límite continúa por el río Blanco hasta la cota de 3400 msnm en el sitio llamado Puerta Vieja y finalmente, al **este**: el límite continúa por la divisoria de aguas de la caldera del antiguo volcán Cumbal rodeando la laguna de la Bolsa por la cota de 3600 msnm. (Ver figura 1).

De acuerdo a la clasificación geomorfológica propuesta por Robertson et al²¹, se considera como un estratovolcán activo histórico, el cual ha presentado erupciones en los últimos 500 años y morfológicamente tiene un edificio bien conservado, con baja erosión por agentes exógenos. El C.V. Cumbal geológicamente se encuentra conformado por lavas andesíticas y flujos piroclásticos, presentando dos cuellos volcánicos, un cráter abierto hacia el sur y la asociación de su actividad a otro estratovolcán denominado Mundo Nuevo.

²¹ROBERTSON, Kim; FLÓREZ, Antonio; CEBALLOS, Jorge. Op. cit., p. 41,73.

En términos generales, según INGEOMINAS²², la actividad volcánica en el área de estudio tuvo su origen en el Plioceno, periodo donde se formó el Volcán Cumbal Antiguo. Posteriormente, actividad de tipo sísmico y explosivo hizo colapsar la anterior estructura, formando una caldera volcánica sobre la cual se localiza la Laguna Cumbal. Finalmente se dio un periodo de reactivación durante el Pleistoceno superior hace ± 200.000 años, época en la cual comienza a formarse el actual volcán Cumbal.

Además de las características geológicas antes mencionadas, según IDEAM²³, debido a la ocurrencia de un pronunciado descenso térmico hace 70.000 años, una parte de este edificio volcánico se vio cubierta por masas glaciares hasta aproximadamente los 3200 msnm. Con el inicio del periodo interglaciar actual (periodo en el cual la temperatura promedio del planeta aumenta), la mayoría de la cobertura glacial desapareció para el año 1985, por lo cual actualmente en la zona solo existen pequeños fragmentos de este hielo.

En cuanto a la cobertura y vegetación del área de estudio, considerando a Rangel y Garzón citados por CORPONARIÑO²⁴, los principales tipos de vegetación están asociados a la franja altoandina, la región paramuna o páramo propiamente dicho y el superpáramo. Similarmente se destacan las coberturas que hacen parte de los Territorios Agrícolas (pastos y áreas agrícolas heterogéneas), bosques y áreas seminaturales (bosques, áreas abiertas sin vegetación, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva), Áreas Húmedas y Superficies de Agua. Portilla & Coral²⁵

²² INGEOMINAS. Memoria explicativa geología de la plancha 447 – Ipiales – 447BIS – Tallambí. Escala 1:100000. Medellín. 2002. p. 88

²³ IDEAM. Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. p3. Disponible en: <http://www.glaciologia.cl/textos/IDEAM.pdf>.

²⁴ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO – UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Op. Cit., Tomo 2 p.219.

²⁵ PORTILLA, Natalia; CORAL, Germán. Análisis del cambio de la cobertura del suelo en la selva altoandina y el páramo del volcán Cumbal, departamento de Nariño – Colombia en el periodo comprendido entre 1987 – 2009. Tesis de Pregrado en Geografía con Énfasis en Planificación Regional. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Humanas. 2012. p. 67 – 80.

6. MARCO CONCEPTUAL

La geomorfología a lo largo de la historia ha presentado permanentes avances, pasando de la descripción de las formas del relieve, a la indagación y análisis de los procesos formadores de las mismas. A finales del siglo XIX los modelos propuestos por Davis, Penck y King permitieron tener una concepción sistémica y dinámica del relieve; posteriormente durante la segunda mitad del siglo XX, Strahler, Tricart, Budel entre otros autores, desarrollaron los principales preceptos de la geomorfología climática y de procesos, que actualmente conforman lo que se conoce como *geomorfología moderna*.

Considerando los aportes teóricos y metodológicos de las anteriores líneas de la geomorfología, reseñados con mayor profundidad por Gutiérrez, en este capítulo se desarrollan los principales conceptos que hacen parte del análisis geomorfológico de la montaña alta, con los cuales se regirá el desarrollo de este trabajo de investigación y los que resultan fundamentales teniendo en cuenta que el relieve del área de estudio es el resultado de la interacción entre el vulcanismo y la erosión y sedimentación glacial.

6.1 SISTEMAS Y PROCESOS MORFOGÉNICOS

La caracterización geomorfológica se compone básicamente de dos elementos, uno inherente a los procedimientos para la identificación, clasificación y zonificación de las geoformas, y un segundo relacionado a la indagación del porqué de las características de las mismas. En este sentido, se hace necesario poseer una base conceptual que permita sustentar la clasificación geomorfológica del relieve, así como el análisis de los procesos subcientes y actuales que actúan sobre el mismo; así entonces se considera pertinente detallar en los siguientes conceptos:

- **Los procesos morfogénicos:** son considerados como aquellos eventos en los cuales existe un intercambio de energía y materia, que traen como resultado la alteración del relieve y nuevas geoformas. De acuerdo al IDEAM, “son las acciones relacionadas con la dinámica externa principalmente y secundariamente con la dinámica interna de la tierra, procesos capaces de movilizar, transferir y depositar materiales, generando formas específicas.”²⁶.

Los procesos morfogénicos se entienden como la interacción de fuerzas internas y agentes exógenos que modifican el relieve, generando diferentes modelados. Según Moreno²⁷, la mayoría de éstos se componen de otros subprocesos que

²⁶IDEAM. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Op. cit., p. 20.

²⁷ MORENO OSORIO, Camilo. Fundamentos de geomorfología. 2 ed. Editorial Trillas. México. 1992. p. 34 – 44

pueden agruparse bajo los conceptos del diastrofismo, la degradación y la agradación.

El **diastrofismo** se asocia a las fuerzas endógenas del planeta, se compone de los procesos de carácter global como los epirogénicos y orogénicos, formadores de importantes cadenas montañosas como la cordillera de los Andes y el Himalaya. Dentro de este mismo concepto, se incluye la actividad volcánica, que en el caso de los andes colombianos está asociada a diferentes pulsos orogénicos.

Por otro lado, los procesos de **degradación**, se asocian a la acción de denudación sobre el relieve y se relacionan con las fuerzas exógenas del planeta. Según el IDEAM²⁸, estos procesos se presentan por la acción de agentes erosivos como el agua, el hielo y el viento, desencadenando una serie de procesos capaces de modelar el relieve a diferentes magnitudes. Algunos subprocesos son la meteorización de las rocas, fenómenos de remoción en masa y el transporte aluvial de sedimentos.

Mientras tanto, la **agradación** o acumulación, se basa en la relación de la pérdida de energía cinética (gracias a la cual se transporta materia) y el lugar y forma de depositación de los materiales transportados. Así como los agentes exógenos degradan el relieve, los materiales transportados por los mismos consiguen un lugar donde ubicarse, así entonces; la red hídrica en las partes bajas forma depósitos aluviales; el viento arrastra pequeñas partículas trasladándolas hasta varios kilómetros del lugar de origen; y el hielo forma grandes depósitos compuestos por detritos heterométricos.

La magnitud en que los procesos morfogénicos pueden modificar el relieve de los sistemas montañosos, según Flórez²⁹, está asociada a la tecto-orogénesis, el potencial hidrogravitatorio, las características de las regiones bioclimáticas y a los paleoclimas. En términos generales los principales procesos morfogénicos para la alta montaña, obedecen a la interacción de: la actividad volcánica, la erosión de las masas glaciares de la última glaciación y los procesos denudacionales y deposicionales recientes.

- **Sistemas morfogénicos:** Tricart y Summerfield, desarrollan el concepto de sistemas morfogénicos, posteriormente adaptado por Antonio Flórez para el territorio colombiano, “entendido como el conjunto de procesos interdependientes, que generan un modelado específico en un espacio determinado”³⁰.

²⁸ IDEAM. Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global. Op. Cit. p. 25

²⁹FLÓREZ, Antonio. Tecto-orogénesis, disección e inestabilidad de vertientes “en los Andes colombianos” En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. 1995. p. 527 – 534.

³⁰ FLÓREZ, Antonio. Colombia: Evolución de sus Relieves. Op. Cit., p. 218.

Los sistemas morfogénicos están condicionados por las características internas y externas de las cuales depende la morfodinámica de la Tierra, cobran importancia: la estructura geológica (litología y tectónica), la pendiente, el bioclima, las herencias morfoclimáticas y el uso que el hombre hace del espacio. Ver figura 3.

Basándose en el concepto y los factores que integran al sistema morfogénico, el IDEAM³¹ planteó una propuesta metodológica y jerárquica para la caracterización de unidades geomorfológicas a escala 1:500.000. El primer nivel de la clasificación, se asocia a las unidades morfoestructurales, los tipos de modelado y algunos criterios biogeográficos; en el siguiente nivel se encuentran las unidades cartografiadas denominadas **sistemas morfogénicos**, que corresponden al conjunto de formas, formaciones y procesos que tienen una morfogénesis común y procesos relativamente homogéneos.

Para el caso específico de esta investigación, cobran importancia los sistemas morfogénicos que corresponden a las unidades morfoestructurales de la montaña alta y la montaña media; estos sistemas pueden observarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Jerarquización de los sistemas morfogénicos de la montaña alta y la montaña media.

UNIDAD MORFOESTRUCTURAL	SISTEMAS MORFOGÉNICOS	
LA MONTAÑA ALTA	El Sistema Morfogénico Glaciar	Sobre estructuras volcánicas activas
		Sobre estructuras no volcánicas
	El sistema Morfogénico Periglaciar	
	El Modelado Glaciar Heredado	En Ambientes Volcánicos
		En Ambientes no Volcánicos
	La Montaña Altoandina Inestable	
LA MONTAÑA MEDIA	Los Conos Fluvioglaciares	
	Los Altiplanos y sus Bordes	
	Las Divisorias Cordilleranas	
	Lagos y Embalses con Bordes de Sedimentación	

Fuente: IDEAM, 2010.

Finalmente, los sistemas y procesos morfogénicos se entienden como el conjunto de acciones y reacciones que se producen sobre el relieve, como consecuencia de la interacción de los agentes endógenos y exógenos que modifican, en diferentes

³¹ IDEAM. Sistemas morfo génicos del territorio colombiano Op. Cit., p. 17.

magnitudes, al mismo. Las características de la dinámica a la cual conducen dichos agentes, puede analizarse de manera sistémica incorporando otros factores ambientales como la cobertura del suelo y la intervención antrópica, permitiendo asociar los procesos y unidades geomorfológicas en diferentes sistemas.

6.2 MORFOLOGÍA PERIGLACIAR

El concepto **periglaciario** fue empleado desde 1909 por Lozinski³². Éste hace referencia a las zonas periféricas de las masas glaciares y es la zona en la cual los principales procesos climáticos y geomorfológicos que se presentan son los relacionados con los ciclos de hielo y deshielo en diferentes periodos de tiempo. Usualmente estas zonas también son reconocidas como el **Dominio Periglaciario**

Actualmente este concepto no se relaciona únicamente al borde glaciar, según Gutiérrez³³ también se asocia a las áreas donde los materiales, el sustrato y la vegetación, están expuestos a temperaturas por debajo de los 0° C, independientemente si existe o no una masa glaciar propiamente dicha. Por las características climáticas que se presentan en las áreas periglaciares, es común la presencia de heladas temporales así como la conservación y generación de permafrost o pergelisuelo, este último con presencia discontinua en las zonas templadas.

Alrededor del mundo también se pueden distinguir varios climas dentro de las áreas periglaciares, de acuerdo a French³⁴, para Suramérica se encuentra un **clima con débil amplitud anual de temperatura**, lo cual representa la existencia de numerosos ciclos de congelación y descongelación, asociados a variaciones térmicas estacionales diurnas.

El ambiente periglaciario, de acuerdo a Derruau³⁵, hace parte de los sistemas de erosión bioclimáticos, en este sentido, aunque su acción erosiva no se compara con la glaciar, ésta sí tiene importantes manifestaciones sobre la roca y el suelo. Debido a que en este ambiente es común la presencia de algunos eventos atmosféricos como nevadas y granizadas, los mecanismos de erosión se basan principalmente en la alteración de las rocas y del suelo durante la ocurrencia de los mismos. Estos procesos traen consigo la generación de una morfología de carácter local, la cual agrupa varios procesos y formas. Los procesos morfogénicos característicos del dominio periglaciario, pueden observarse en el siguiente cuadro.

³² LOZINSKI, W. Die periglaziale fazies der mechanischen Verwitterung. Comptes Rendus, En: XI Congrès Internationale Géologie, Stockholm 1910, 1039–1053.

³³ GUTIÉRREZ ELORZA, Mateo. Geomorfología. Ed Pearson Educación. Madrid, 2008 p. 518.

³⁴ FRENCH, Hugh. The periglaciario environment. Ed. John Wiley and Sons Ltd. London, 2007. p. 39.

³⁵ DERRUAU, Max. Geomorfología. 2 Edición. Editorial Ariel. Barcelona, 1991. p. 176.

Cuadro 2. Principales procesos morfodinámicos del piso periglacial.

PROCESOS PERIGLACIARES	
Procesos Dominantes	Subprocesos Implicados
Acción de Helada	Levantamiento por Helada
	Desplazamientos de Masas
	Agrietamiento por Helada
Movimientos de Masas	Desprendimientos de rocas
	Soliflucción / Geliflucción
	Coladas de Barro
	Bloques de Arrastre
Procesos Nivales	Aludes / Avalanchas
	Nivación
Acción del Viento	Deflación
Meteorización Química	

Fuente: Elorza, 2008.

Para Colombia, de acuerdo al IDEAM³⁶, la franja sobre la cual se establece el dominio periglacial, corresponde al borde de las masas glaciares cuando existen, o desde los 3800 ± 100 msnm, en un intervalo térmico que varía entre los 0°C y los 4.5°C. Debido al aumento de la temperatura, el piso periglacial cada vez aumenta su cota altitudinal, lo anterior hace que los procesos morfogénicos señalados en el cuadro 2, sean cada vez más activos sobre las formaciones superficiales y el sustrato rocoso de las partes más altas de las montañas.

6.3 EROSIÓN GLACIAR Y MODELADO GLACIAR HEREDADO

Para comprender el concepto y las características del modelado glaciar heredado, inicialmente se puede decir, que la morfodinámica en la alta montaña es el resultado de una serie de procesos geológicos y climáticos que se han presentado en el planeta a lo largo del tiempo. De acuerdo a Lobo-Guerrero³⁷, el sistema cordillerano colombiano fue levantándose desde la era Paleozoica, más sin embargo el mayor pulso orogénico se presentó durante el Plioceno, periodo donde además se reportó intensa actividad volcánica. Posteriormente, en el Cuaternario se fijó la altura actual de las cordilleras y también se hizo notable el cubrimiento de la montaña por masas glaciares desde los 3200 msnm aproximadamente.

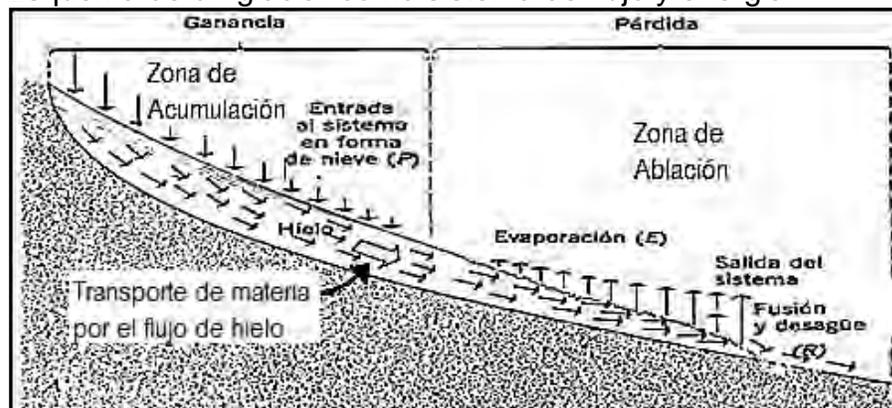
³⁶ IDEAM. Sistemas morfogénicos Op. Cit., p 8.

³⁷ LOBO GUERRERO Alberto. La Geología de Colombia. 1987.p_

La extensión de las masas glaciares estuvo asociada al descenso de la temperatura media del planeta; según Van der Hammen, citado por el IDEAM³⁸, la última vez que esto comenzó a presentarse fue hace 116.000 A.P. En nuestro medio, a 35.000 A.P. se dio la máxima extensión de los glaciares, la cual en Colombia alcanzó a cubrir un área de 17.109 km².

Así mismo, considerando a Strahler & Strahler³⁹, el hielo glaciar juega un importante papel en la evolución morfológica, es considerado como uno de los agentes con mayor capacidad de erosión del relieve y comprende un sistema abierto de flujo de materia y energía, ya que está sujeto a incorporaciones de materia en forma de precipitación sólida, así como también a la pérdida y transporte de materiales hacia las zonas más bajas.

Figura 2. Esquema de un glaciar como sistema de flujo y energía.



Fuente: Strahler, 1987.

Teniendo en cuenta que los glaciares están mezclados con materiales detríticos, durante su desplazamiento son capaces de llevar a cabo una importante acción erosiva denominada **abrasión glaciar**. Este proceso comprende el desprendimiento de fragmentos rocosos de diversos tamaños de las paredes de los valles y del lecho rocoso. Los materiales arrancados y a veces desmenuzados por la recristalización del hielo, componen los derrubios, los cuales son transportados a la zona de ablación, donde se hacen visibles una vez se fusiona el hielo. La intensidad de la erosión depende de factores internos y externos a la masa glaciar, como por ejemplo el volumen y las características geológicas del lugar donde se encuentran.

Los anteriores procesos hacen parte del sistema de erosión glaciar descrito a mayor profundidad por Derruau⁴⁰, son los principales causantes de la morfodinámica en

³⁸ IDEAM. Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global. Op. Cit., p 3.

³⁹ STRAHLER, Arthur & STRAHLER, Alan. Geografía Física. Editorial Omega. Barcelona. 1989. p 357.

⁴⁰ DERRUAU, Max. Op. Cit. p 145.

los ambientes glaciares y de la morfología glacial alpina en especial. Los procesos de **abrasión, fracturación y evacuación de detritos** suponen la presencia de un tipo de modelado, compuesto y clasificado en diferentes tratados como: formas menores y mayores; clasificación que aún está en discusión y puede observarse en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Principales unidades de la morfología glacial alpina.

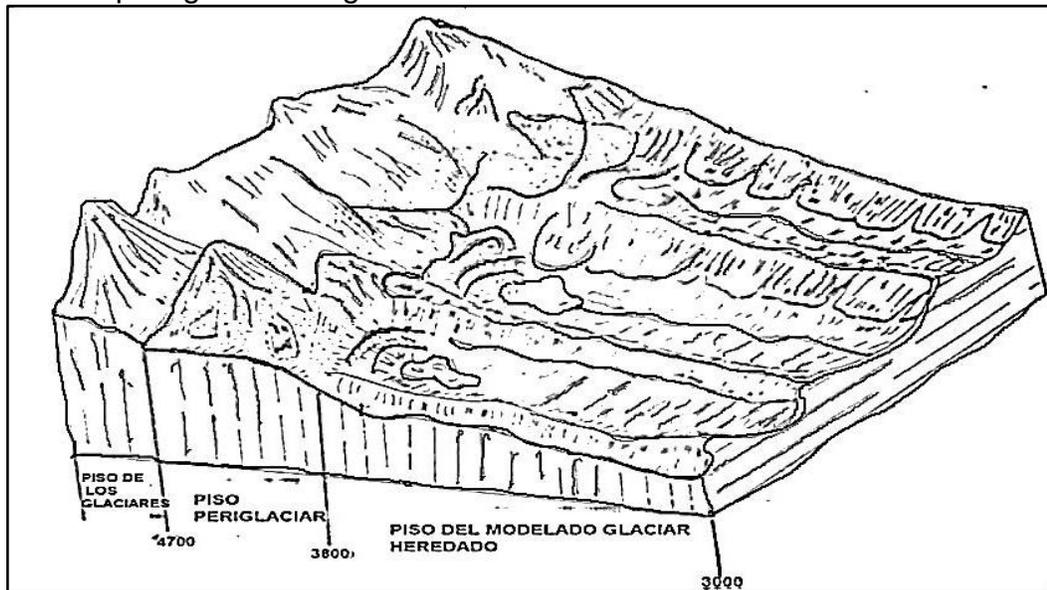
	GEOFORMA	COMPONENTES	FORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS GENERALES
Formas Mayores	Valle Glaciar	Umbral, cubetas de sobreexcavación Crestas, Artesas	Abrasión	Valles en U o en V, más anchos que profundos
	Circo Glaciar	Fondo plano inclinado, escarpes y paredes abruptas	Abrasión	Depresión semicircular en forma de anfiteatro
	Depósitos Glaciares	Mantos de Till	Acumulación	Se presentan como esker's, drumlins, morrenas, kames etc.
Formas Menores	Estrías	-	Fricción en la roca	Finos Surcos, menores a 1 mt de Longitud
	Acanaladuras	-		Grandes surcos, de hasta 12km de Longitud; 30 mt de profundidad y 100 mt de ancho
	Pulido	-		Explanación en la roca
	Hendiduras	-	Fracturación	Fracturas en forma de media luna, de pocos metros de Long y pocos centímetros de profundidad

Fuente: tomado de Gutiérrez, 2008.

Además de los principales mecanismos de erosión glacial y su resultado en el relieve, es importante mencionar que en las latitudes bajas, la mayor parte de las masas glaciares presentaron un proceso de fusión y actualmente se encuentran pequeños relictos en las cimas de las montañas (la desaparición de las masas glaciares se asocia al comienzo del periodo interglaciar actual hace 10.000 A.P.). Con lo anterior, la morfología de erosión glacial se hizo más evidente sobre la superficie, quedando expuesta a otros agentes morfodinámicos. El conjunto de unidades geomorfológicas que hacen parte de dicha morfología componen lo que se conoce como el **modelado glacial heredado (MGH)** ver cuadro 3.

Teniendo en cuenta que el **modelado** se define como el grupo de geformas y de formaciones superficiales resultantes de los procesos asociados a la dinámica externa, el MGH corresponde a un piso geomorfológico localizado altitudinalmente por debajo de la zona periglaciaria actual, el cual se entiende “como el espacio ocupado por la mayor extensión del hielo durante la última Glaciación y anterior a 10.000 años con un máximo hacia los 35.000 años A.P. y se encuentra en altitudes entre los 3.800 ± 100 metros hasta los $3.000 \pm 200\text{m}$ ”⁴¹ Ver figura 3.

Figura 3. El piso geomorfológico del MGH.



Fuente: Flórez, 1989.

El MGH es un sistema morfogénico, que se diferencia de otros a razones como: el suavizamiento del relieve por el paso de los glaciares, el desarrollo de los suelos durante el Holoceno, la colonización vegetal y el establecimiento de los ecosistemas de páramo. Según el IDEAM⁴², la dinámica morfogénica actual del MGH es discreta, la red de drenaje no permite tallar profundos valles y formar escarpes y los principales procesos morfogénicos se relacionan con sufusión, disección moderada, solifluxión y condiciones de inestabilidad real en el límite inferior del MGH.

Finalmente, el MGH en el sentido geomorfológico, se considera como el conjunto de las formas del relieve resultantes de los procesos de erosión glaciaria, especialmente de la última glaciación, son formas que varían en sus características teniendo en cuenta la intensidad de los procesos. Este tipo de modelado

⁴¹ IDEAM. Unidades geomorfológicas del territorio colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Santa Fe de Bogotá. Disponible en: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=800&conID=1239>. p 8.

⁴² IDEAM. Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano. Op. Cit p.47

actualmente se encuentra en interacción con otros agentes morfodinámicos y el vulcanismo, los cuales dominan en gran parte la morfología de la alta montaña.

6.4 GEOMORFOLOGÍA VOLCÁNICA

Teniendo en cuenta que el Cumbal es un volcán activo, resulta importante tener una aproximación a los aspectos relacionados con la geomorfología volcánica, la cual se refiere a todas las formas del relieve resultantes de la actividad volcánica, Según Strahler⁴³ los relieves producidos directamente por procesos internos de la tierra se conocen como relieves iniciales, los cuales incluyen los volcanes y las corrientes de lava, los valles hundidos y las cadenas alpinas elevadas en zonas de reciente deformación de la corteza.

La actividad volcánica es un proceso endógeno, asociado a la expulsión de materiales magmáticos a través de un cráter o una fisura, los cuales crean nuevos relieves superficiales pero al mismo tiempo alteran o hasta puede destruir los existentes, para Derruau⁴⁴ aunque los fenómenos volcánicos tengan un carácter superficial, como superpuestos en un relieve ya existente, al hablar de estructuras volcánicas no siempre se trata de una construcción postiza. El alto dinamismo que presenta le da una resistencia a los procesos erosivos consolidando nuevas estructuras geomorfológicas, lo que no impide que se integren a la evolución morfológica general.

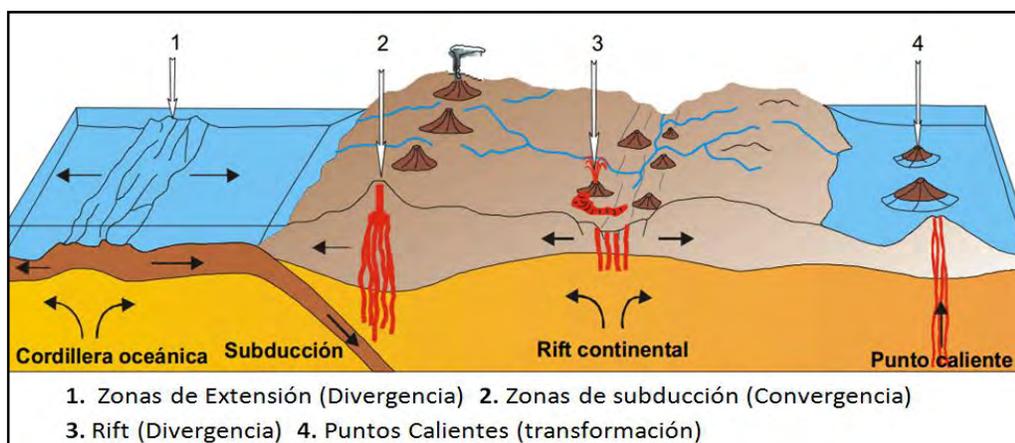
Por otra parte, el vulcanismo tiene su origen en la tectónica de placas, que según Gutiérrez⁴⁵ es una consecuencia de la pérdida de energía del planeta, donde la convección de materiales es el principal mecanismo de transferencia de energía. En este sentido, se encuentra que los movimientos de las placas tectónicas pueden clasificarse en divergentes, convergentes y de transformación (Ver figura 4), los cuales influyen en el tipo de geofomas volcánicas resultantes y las características de los materiales que expulsan.

Figura 4. Principales tipos de volcanes relacionados con la tectónica de placas.

⁴³ STRAHLER, Arthur & STRAHLER, Alan. Op. Cit. p. 249.

⁴⁴ DERRUAU, Max. Op. Cit. p. 317.

⁴⁵ GUTIÉRREZ ELORZA, Mateo. Op. Cit p. 87.



Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2003.

De acuerdo a Perfit y Davison (2000) citados por Gutiérrez⁴⁶, los procesos divergentes son constructores de corteza, mientras los bordes convergentes como los de subducción se conocen como destructivos, zona en la cual se encuentra el 80% de volcanes activos, lo que se denomina por varios autores como el cinturón de fuego del pacifico. En este sentido, Según Florez⁴⁷ el volcanismo reciente y actual o de las eras terciaria y cuaternaria está principalmente ubicado en esta zona, de la cual hacen parte los Andes Colombianos que resulta de la subducción de la placa del pacifico con la placa suramericana.

Como se mencionó anteriormente, los tipos de actividad volcánica están relacionados con la génesis de la estructura volcánica, en este sentido distintos autores proponen varias clasificaciones de esta actividad, la más conocida la desarrolla Holmes (1944) citado por Gutiérrez⁴⁸, la cual se basa en los grados de violencia eruptiva, clasificándolos en siete tipos de erupciones. En Colombia las erupciones volcánicas más comunes son de carácter Vulcaniano, que se caracterizan por su actividad explosiva, con materiales volcánicos como cenizas, lapillis, bombas y gases acompañados de lavas riolíticas, traquíticas o andesíticas correspondientes a magmas de gran viscosidad.

Por último, teniendo en cuenta que la morfología de las estructuras volcánicas está relacionada con la composición de las lavas (de acuerdo al grado de viscosidad) y el tipo de erupción volcánica ya sea efusiva (se caracterizan por presentar depósitos en forma de coladas de lava, con alta fluidez del magma y bajo contenido de gas) o explosiva (predominan los flujos piroclásticos, con mayor contenido de gas y su magma es más viscoso), en el cuadro 4 se clasifican las principales geoformas propias de la zona de subducción.

⁴⁶ *Ibíd.*, p 88.

⁴⁷ FLOREZ, Antonio. Colombia evolución y sus relieves. Op. Cit. p. 65.

⁴⁸ GUTIÉRREZ ELORZA, Mateo. Op. Cit., p. 93.

Cuadro 4. Correlación de geofomas volcánicas con la actividad y la composición, y viscosidad del magma.

GEOFORMA	COMPOSICIÓN	VISCOSIDAD	ACTIVIDAD
Estratovolcán o volcán compuesto	Andesíticas	Intermedia	Efusivo – explosivo, Piroclastos y lavas
Caldera	Riolita	Muy viscoso	Explosiva, Ignimbrita
Domo	Dacita	Viscoso	Intrusiva
Cono de Escoria	Variable	NA	Variable
Cráter	Variable	NA	Explosiva

Fuente: Robertson, et al., 2002.

7. METODOLOGÍA

El presente trabajo de grado se inscribe en la modalidad de monografía y corresponde a una investigación de tipo descriptiva, la cual se enmarca en la línea de investigación de Estudios Físico - Naturales. El esquema metodológico se diseñó en tres fases con sus respectivas actividades. A continuación se da a conocer el desarrollo del mismo, lo cual condujo al cumplimiento de los objetivos planteados y a la elaboración del documento final.

7.1. FASE UNO: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENTORNO FÍSICO – BIÓTICO

Las actividades que conformaron esta fase fueron las siguientes:

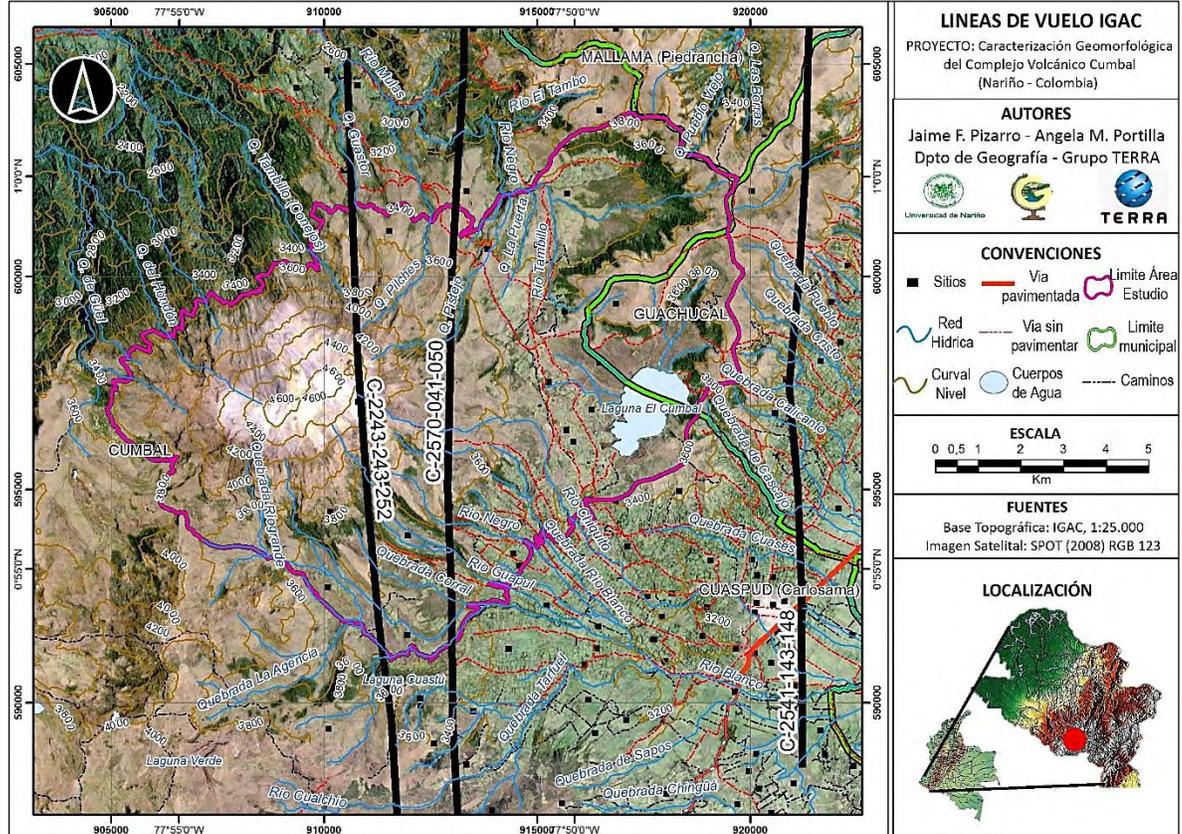
- Recopilación de información teórica-conceptual: esta actividad consistió inicialmente en la selección y análisis de material bibliográfico relacionado con la ciencia geomorfológica a partir del cual se obtuvieron criterios técnicos y científicos para la estructuración del marco conceptual, antecedentes, metodología y análisis de los resultados de la presente investigación.

Para la elaboración del marco conceptual se emplearon materiales bibliográficos consultados en la biblioteca de la Universidad de Nariño y en el departamento de Geografía de los cuales se tomó con mayor profundidad los textos de Antonio Flórez, Jean Tricart y el IDEAM, sin embargo una buena parte de los referentes tenidos en cuenta para tal fin fueron consultados en sitios web y en bibliotecas personales.

- Recopilación y selección de productos de sensores remotos y cartográficos: dentro de esta actividad se obtuvieron los diferentes insumos de sensores remotos (aerofotografías e imágenes satelitales) y cartográficos con los cuales se generó la información geomorfológica y se elaboró la cartografía base topográfica.

Se tuvieron en cuenta principalmente las aerofotografías del IGAC de los años de 1994 y 1995, las cuales brindan cubrimiento de una buena parte del área de estudio y fue el principal insumo para la zonificación geomorfológica, ver figura 5. Por otra parte, también se realizó una búsqueda de imágenes satelitales en la plataforma virtual del BNI del IGAC (Banco Nacional de Imágenes), de donde se seleccionaron dos imágenes del sensor RapidEye compuestas por 5 bandas y una imagen del sensor SPOT, las que fueron empleadas para el proceso zonificación y de digitalización de unidades geomorfológicas. La solicitud de las imágenes se hizo ante la Subdirección de Geografía y Cartografía del IGAC y los productos fueron puestos a servicio de la investigación en el mes de diciembre de 2015.

Figura 5. Líneas de vuelo del IGAC empleadas.



Fuente: este estudio.

Para la cartografía base se empleó la geodatabase 1:25.000 oficial del IGAC⁴⁹ la cual fue obtenida mediante colaboración del proyecto: Estudio técnico socioeconómico y ambiental de los complejos de paramaos Chiles-Cumbal, La Cocha-Patascoy y Doña Juana-Chimayoy como insumo para su delimitación, esta cartografía fue revisada con las imágenes satelitales ortorectificadas y en algunos casos se vio la necesidad de hacer ajustes de geometría, digitalización y topología.

Por otra parte, a partir de las curvas de nivel con intervalos de 50 metros, fue generado un modelo digital de elevación DEM con una resolución espacial de 15 metros, para esa actividad el software utilizado fue ArcGIS 10.2 y el procedimiento fue inicialmente generar un TIN (red irregular de triángulos) el cual posteriormente se exporto al formato raster. El DEM fue empleado para generar modelos de sombras y principalmente para medir los aspectos morfométricos de las unidades geomorfológicas.

⁴⁹ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Base topográfica 1: 25.000. Convenio Universidad de Nariño – Instituto Alexander Von Humboldt. 2015.

En la siguiente tabla se sintetizan los diferentes productos cartográficos y de sensores remotos que se emplearon para la investigación:

Tabla 1. Productos cartográficos y de sensores remotos

No.	Producto	Año	Resolución espacial o Escala	Resolución espectral	Proveedor
10	Aerofotografías 243 a 252 Vuelo: C-2243	-	-	Pancromática	IGAC
10	Aerofotografías 041 a 050 Línea de Vuelo: C-2570	1995		Pancromática	IGAC
6	Aerofotografías 143 a 148 Línea de Vuelo: C-2541	1994		Pancromática	IGAC
2	Imagen Satelital RapidEye Ortorectificada	2010	7 y 6 metros	5 bandas	IGAC
1	Imagen Satelital SPOT Ortorectificada	2007	10 m en multiespectral 5 m en pancromática	4 bandas 1 pancromática	IGAC
1	Geodatabase Información Base Topográfica	-	1:25.000	-	IGAC
1	Modelo digital de elevación	2015	15 metros	-	Subproducto
1	Modelo de Sombras	2015	15 metros	-	Subproducto
1	Modelo digital de Elevación - SRTM	-	30 metros	-	NASA

Fuente: este estudio.

- Recopilación y análisis de información físico – biótica: esta actividad estuvo asociada inicialmente con la obtención de información secundaria a partir de la cual se realizó el diagnóstico físico – biótico en las temáticas de geología, cobertura del suelo, suelos y clima.

Para la información geológica se consultó la información disponible en el centro de documentación del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto – OVSP, la plataforma virtual del SICAT, la Red Sismológica Nacional de Colombia y la Agencia Nacional Minera, dando como resultado la obtención de 10 documentos clave que fueron empleados para describir los aspectos geológicos del área de estudio. La

referencia exacta de dichos documentos se encuentra en el subcapítulo de *aspectos geológicos*.

La información de cobertura de la tierra se consultó en el EOT del municipio de Cumbal y en la biblioteca de la Universidad de Nariño. De esa búsqueda se seleccionó el estudio: “Análisis del cambio de la cobertura del suelo en la selva altoandina y el páramo del volcán Cumbal, Departamento de Nariño – Colombia en el periodo comprendido entre 1987 – 2009”⁵⁰, el cual por su escala de trabajo (1:50.000) y por sus características técnicas en la elaboración de resultados y su cartografía fue el más adecuado. En cuanto a la información de suelos se tomó la información el estudio a escala 1:25000 realizado recientemente por el IGAC, el cual también fue adquirido gracias al proyecto “Estudio técnico socioeconómico y ambiental de los complejos de paramaos Chiles-Cumbal, La Cocha-Patascoy y Doña Juana-Chimayoy como insumo para su delimitación”.

Similarmente para los aspectos climáticos, especialmente lo relacionado con el gradiente altitudinal de la temperatura para la identificación del *sistema periglacial*, se acudió a la utilización de los resultados obtenidos durante la realización del mismo estudio citado anteriormente.

7.2 FASE DOS: ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y PROCESAMIENTO CARTOGRÁFICO.

Esta fase metodológica tuvo como meta la identificación, zonificación y clasificación de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio, empleando y procesando los productos de sensores remotos y realizando recorridos y levantamiento de información en campo. Esta fase se conformó por las siguientes actividades:

- **Fotointerpretación:** en esta actividad es importante tener en cuenta que en Colombia los documentos metodológicos relacionados con la zonificación geomorfológica son escasos. Para esta investigación se tuvo como referencia el documento borrador del trabajo “Guía y Catálogo de Unidades Geomorfológicas en Colombia por Sensores Remotos”⁵¹ elaborado por German Vargas, el cual se enfatiza en la aplicación de productos de sensores remotos en estudios geomorfológicos, sin embargo, en este documento no se desarrollan parámetros claros de delimitación geoformas ya que únicamente se muestra sobre imágenes

⁵⁰ CORAL, Germán; PORTILLA, Natalia. Análisis del cambio de la cobertura del suelo en la selva altoandina y el páramo del volcán Cumbal, Departamento de Nariño – Colombia en el periodo comprendido entre 1987 – 2009. Tesis de pregrado en Geografía. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Humanas, 2012. (paginas)

⁵¹ Vargas Cuervo Germán. Guía y catálogo de unidades Geomorfológicas en Colombia por sensores remotos. 2013. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 161 p.

satelitales el límite de algunas unidades y en otros casos se emplea una nomenclatura para identificarlas sin dar criterios claves de zonificación.

Otra publicación que se tuvo en cuenta en esta fase fue el libro de Naranjo Henao: "FOTOGEOLOGÍA PRÁCTICA"⁵², en el cual el autor brinda al lector herramientas metodológicas y claves de fotointerpretación desarrollando modelos explicativos, estereogramas, diagramas ilustrativos y mapas fotogeológicos indicando de manera más ilustrativa las características de las unidades geomorfológicas para su identificación y zonificación.

Además de las dos anteriores publicaciones, los principales insumos para esta actividad fueron las aerofotografías análogas de las líneas de vuelo señaladas en la tabla 5 y un estereoscopio de espejos con lo cual se aseguró una adecuada visión estereoscópica del área de estudio. Inicialmente se realizó un proceso de reconocimiento del área cubierta por las aerofotos que consistió en la identificación de centros poblados, vías, caminos y de la red hídrica principalmente.

Figura 6. Estereoscopios de espejos.



Fuente: este estudio.

Una vez realizada la fotolectura se procedió a una primera identificación de las unidades geomorfológicas de mayor extensión (valles glaciares, colinas, laderas) y posteriormente con los binoculares de ampliación del estereoscopio MS-27 suministrado por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, se realizó una delimitación más detallada a partir de la cual se comenzaron a distinguir unidades como umbrales, morrenas laterales, terminales, de retroceso y drumlins.

- **Trabajo de campo:** esta fase contempló la realización de salidas en varias zonas del área de estudio programadas en diferentes periodos. Inicialmente se hizo un recorrido de reconocimiento en el flanco oriental del complejo con el objetivo de

⁵² NARANJO HENAO, José. Fotogeología práctica. 1 edición. Editorial Universidad de Caldas. Manizales: 2015, 502 p.

tener información de accesibilidad. Posteriormente a la fotointerpretación descrita en el párrafo anterior, nuevamente se procedió a realizar otra salida la cual tuvo como objetivo corroborar las unidades delimitadas y levantar información geomorfológica relacionada principalmente con conocer el componente geológico de varias de las unidades geomorfológicas.

La segunda salida de campo se realizó: en el norte del área de estudio en la quebrada Pistejo; en el oriente en el sector de Las Huertas y en la Laguna de La Bolsa; y en el suroriente y sur en los valles de la Quebrada London y el Rio Blanco. Durante esta salida se emplearon las aerofotografías del IGAC, espacio mapas y dispositivos GPS y cámaras fotográficas para el registro de la información.

Con la información que se logró capturar, nuevamente se procedió a ajustar la fotointerpretación final de acuerdo a lo observado en campo. En algunos casos fue necesario redefinir los límites geomorfológicos de algunas unidades y en otros casos se modificó la identificación de la unidad geomorfológica.

• **Clasificación de las unidades geomorfológicas y de la leyenda cartográfica:** a partir de la revisión de información se encontraron algunas publicaciones que brindan importantes aportes en cuanto a la sistematización y clasificación de las unidades geomorfológicas. Vargas⁵³ define tres criterios de clasificación relacionados con: la finalidad del estudio geomorfológico (ambiental, económico, cronológico); los componentes geomorfológicos (morfogénesis, morfología, morfodinámica y morfometría) y las categorías geomorfológicas (macrorelieve, unidad de relieve, unidad geomorfológica y componente geomorfológico).

Por otra parte el SGC⁵⁴ propone la clasificación de geoformas mediante la aplicación del concepto de Ambientes Morfogenéticos, mediante el cual se clasifica las unidades geomorfológicas con base al proceso que las formó, asociándolas a un ambiente *fluvial, marino, volcánico, glaciario* etc. A su vez en el mismo documento se plantea la sistematización mediante la jerarquía geomorfológica la cual obedece a la escala de trabajo. De menor a mayor escala se tiene la siguiente jerarquía:

Tabla 2. Esquema de jerarquización geomorfológica.

Escala	Jerarquía	Ejemplos
< 1: 2.500.000 1: 1.500.000	Geomorfoestructura	Cratones y escudos

⁵³ Vargas Cuervo Germán. Op. cit., 161p.

⁵⁴SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, para la generación del mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá. 2012. 86 p.

1: 1.500.000 1: 1.000.000	Provincia	Llanuras, cordilleras y serranías
1: 500.000 1: 250.000	Región	Vertientes
1: 100.000 1: 50.000	Unidad	Estratovolcán
1: 25.000 1: 10.000	Subunidad	Flujos de lava
> :10.000	Componente	Escarpes, crestas

Fuente: adaptado de Carvajal, 2008.

Sin embargo, para esta investigación el proceso de clasificación y sistematización se fundamentó en parte a través de la adaptación de los *sistemas morfogénicos* desarrollados por el IDEAM en el año 2010 (explicados anteriormente en el marco conceptual), y en mayor medida a la zonificación y clasificación jerárquica propuesta por Antonio Flórez⁵⁵ en el 2003 organizada mediante Grupos de sistemas morfogénicos, subgrupos de sistemas morfogénicos y sistemas morfogénicos.

Vale la pena mencionar que la zonificación realizada por el IDEAM presenta una escala de 1:500.000, mientras que la de Flórez es aún más inferior, por lo cual fue necesario incorporar nuevos subgrupos y sistemas morfogénicos dadas las características del área de estudio y la escala de trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, la estructura de la clasificación de unidades geomorfológicas fue la siguiente:

Tabla 3. Clasificación de unidades geomorfológicas para el área de estudio.

Grupo de Sistemas Morfogénicos	Subgrupo de Sistemas Morfogénicos	Sistemas Morfogénicos	Unidad Geomorfológica
Montaña alta	Altiplano y sus bordes	Altiplano en ambientes volcánicos	Altiplano
	Los lagos y embalses con bordes en sedimentación	Áreas de sedimentación fluvio lacustre	Altiplano
			depósitos fluviolacustres
			depósitos lacustres
			Sistema meándrico no encajonado
	Laguna en calderas volcánicas	Lagunas	

⁵⁵ FLÓREZ, Antonio. Colombia: Evolución de sus relieves. Op cit. 240 p.

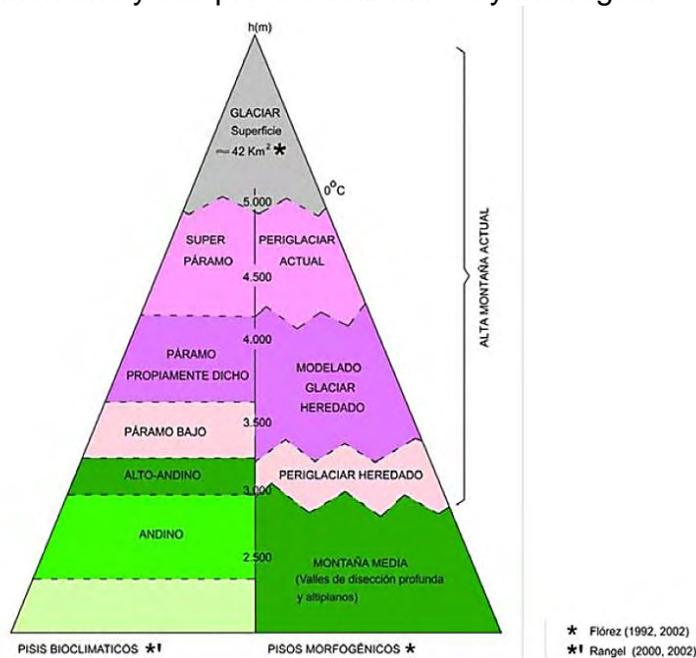
Montaña alta		Lagunas en flujos piroclásticos	Lagunas	
		Lagunas glaciares	Lagunas	
	Modelado glaciar heredado	MGH en ambientes volcánicos activos		Circo glaciar suspendido
				Cubeta de sobreexcavación
				depósitos glaciovolcánicos
				Drumlins
				Garganta postglaciar
				Morrena de fondo
				Morrena de retroceso
				Morrena frontal
				Morrena lateral
				Morrena medial
				Plano Residual
				Valle glaciar
		Valle glaciar parcialmente sepultado		
	Valle glaciar suspendido			
Montaña alto andina inestable	Modelado de disección	Escarpes de disección		
Morfodinámica volcánica	Morfodinámica volcánica antigua-Cumbal Moderno	Cráter		
		Domo		
		Flujos de lavas antiguos		
	Morfodinámica volcánica reciente-Cumbal Moderno	Cráter		
		Flujos de lavas recientes		
		Lahar		
	Morfodinámica volcánica subreciente-Cumbal Moderno	Lavas cordadas		
		Colinas aisladas		
		Flujos de lavas subrecientes		
		Lavas cordadas		
		Lomeríos		
	Morfodinámica volcánica	Sistema de colinas		
Terraza glaciovolcánica				
Morfodinámica volcánica	Altiplano en caldera			
	Laderas fuertemente escarpadas			

		antigua-Cumbal Antiguo	Laderas levemente escarpadas
			Laderas moderadamente escarpadas

Fuente: este estudio.

De acuerdo a Flórez⁵⁶, el **primer nivel** de clasificación corresponde al *Grupo de Sistemas Morfogénicos (G-SM)*, entendido como unidades morfoestructurales que conforman grandes áreas del relieve formadas por procesos endógenos, principalmente diastróficos, mediante los cuales se formaron las cadenas montañosas del planeta, logrando subdividirse en: montaña alta, media y baja. Este nivel se relaciona además con macrounidades como los litorales y los sistemas insulares. Para esta investigación, la totalidad del área de estudio hace parte de la *Montaña Alta* la cual según IDEAM⁵⁷ corresponde a espacios localizados por encima de los 2.700 m.s.n.m. (teniendo en cuenta que esta cota altitudinal marca el límite de los procesos crionivales del pasado).

Figura 7. La Alta Montaña y sus pisos bioclimáticos y morfogénicos.



Fuente: IDEAM, 2010

La zonificación de la *montaña alta* también toma en cuenta criterios bioclimáticos y de zonificación de vegetación natural, por ejemplo el límite inferior de la montaña alta corresponde con el páramo bajo y su transición con la selva altoandina. El G-

⁵⁶ FLÓREZ, Antonio. Colombia: Evolución de sus relieves Op. Cit., p. 219.

⁵⁷ IDEAM. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano Op. Cit., p. 17.

SM denominado como *montaña alta* podría ser una unidad cartográfica que represente información a escalas pequeñas (inferiores a 1:500.000).

El **segundo nivel** de clasificación es el *Subgrupo de Sistemas Morfogénicos (SG-SM)* que se refiere a modelados del relieve que conforman otros sistemas morfogénicos o unidades geomorfológicas con morfogénesis y morfodinámica similar. Dentro de este nivel se incluye como por ejemplo, el modelado glaciar heredado, los glaciares y los piedemontes.

Considerando a Flórez y al IDEAM, en sus propuestas de zonificación y jerarquización, dentro de la *montaña alta* no toman en cuenta sistemas morfogénicos y unidades geomorfológicas asociadas al vulcanismo, en este orden de ideas, teniendo en cuenta las características del área de estudio fue necesario incorporar el SG-SM que se denominó como *morfodinámica volcánica*, para lo cual se tuvo en cuenta los conceptos desarrollados por Robertson et al⁵⁸ en sus estudios geomorfológicos de los volcanes de Colombia.

El **tercer nivel** corresponde a los *Sistemas Morfogénicos (SM)*, que como se mencionó en el marco conceptual, fueron inicialmente estudiados por Tricart y Summerfield y definidos como un conjunto de procesos interdependientes formadores de un tipo de modelado. Según Flórez⁵⁹ los *sistemas morfogénicos* pueden zonificarse teniendo en cuenta factores como la morfoestructura, las formaciones superficiales, pendiente, bioclima y uso del suelo.

La escala que representa este nivel de información es de 1:200.000 a 1:100.000, por lo que teniendo en cuenta las características del área de estudio y la disponibilidad de información también fue necesario adicionar los sistemas denominados: *áreas de sedimentación fluvio-lacustre, modelado de disección, morfodinámica volcánica antigua, subreciente y reciente*.

Finalmente, el **último nivel** corresponde a la *unidad geomorfológica* entendida como formas específicas cartografiables del relieve, conocidas también como geoformas o landforms. Ejemplos de este nivel son los valles glaciares que hacen parte del modelado glaciar heredado. Desde otro enfoque geomorfológico las unidades podrían considerarse como *subsistemas de sistemas morfogénicos*, sin embargo aquí no se denominan de esa manera ya que las unidades fueron delimitadas teniendo en cuenta principalmente aspectos morfológicos.

Las características detalladas de cada uno de los niveles de clasificación se explican en el capítulo de resultados dentro de la caracterización geomorfológica.

⁵⁸ ROBERTSON, Kim; FLÓREZ, Antonio; CEBALLOS, Jorge. Op. cit., p. 40 - 44.

⁵⁹ FLÓREZ, Antonio. Colombia: Evolución de sus relieves Op. Cit., p. 218 - 219.

- **Elaboración del mapa de pendientes:** la pendiente corresponde a un atributo de carácter cuantitativo de las unidades geomorfológicas, el cual muestra las variaciones de la inclinación del relieve. Para esta investigación, el anterior atributo fue medido en porcentajes de inclinación siguiendo la clasificación que sugiere el IGAC. De esta manera se empleó el DEM del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA el cual consiste en un sistema de radar que cuenta con una resolución de 30 metros. El proceso consistió en corregir y rellenar los sumideros del DEM mediante la herramienta *Fill* en el software ArcGIS 10.2 para posteriormente generar el mapa de pendientes y clasificarlos en siete clases mediante la ejecución de la herramienta *Reclassify*.

Debido a que el anterior procesamiento se hizo sobre archivos en formato raster, fue necesario vectorizar dicha información para luego unificar los polígonos que representan cada tipo de pendiente y eliminar los polígonos inferiores a 1.6 hectáreas, la cual se considera la Unidad Mínima de Mapeo para escalas 1:25.000.

- **Mapificación:** la mapificación de las unidades geomorfológicas, así como de la totalidad de la cartografía derivada de este trabajo, se realizó en programa ArcGIS 10.2. Para la zonificación, como se mencionó anteriormente, se emplearon los modelos de sombras y las imágenes satelitales adquiridas en el BNI del IGAC, especialmente la imagen satelital SPOT pancromática con resolución espacial de 5 metros.
- **Publicación en un Web Map Service (WMS) mediante ArcGIS Online:** Los productos cartográficos relacionados con la zonificación y clasificación de las unidades geomorfológicas fueron cargados a la plataforma de ArcGIS Online la cual se destaca por las funcionalidades de: administrador de bases de datos, ejecutor de análisis espacial, creación de aplicaciones web y visualización en tiempo real de información geográfica.

Para la publicación, fue necesario crear una cuenta de desarrollador de Arcgis Online a la cual inicialmente fueron vinculados los shapefiles de unidades geomorfológicas (poligonales y lineales) creando además sus respectivos metadatos y permisos de uso. Posteriormente se creó el WebMap en donde a cada una de las dos capas se les atribuyó la simbología y el etiquetado adecuado para su publicación.

Finalmente, mediante el Web AppBuilder for ArcGIS fue creada la aplicación que permite el libre acceso a la consulta de información de esta investigación. Para lo anterior se tuvo en cuenta que el desarrollo de la misma estaba enfocado a un público en general, por lo que se le atribuyeron características y herramientas de consulta y filtrado de información, como por ejemplo, manejo de capas, leyenda, tabla de atributos, posición (coordenadas) entre otras. Una vez realizado el diseño

de la App está fue nombrada como “Geomorfología C.V. Cumbal” y se obtuvo su enlace para visualización y empleo. Simbología

La aplicación web puede consultarse desde cualquier teléfono celular con navegación web y computadora mediante el siguiente enlace, en la figura 8 pueden verse las herramientas de la aplicación. <http://arcg.is/2q5XnMs>

Figura 8. Aplicación web Geomorfología C.V. Cumbal.



Fuente: este estudio.

7.3 FASE TRES: CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.

Esta última fase tiene como meta describir las características de las unidades geomorfológicas, así como los procesos que dieron origen. Se compone de las siguientes actividades:

- Descripción de las unidades geomorfológicas: en esta actividad se describen los aspectos como origen, localización, composición, estado de conservación, morfología y morfometría de las geoformas. Para lo anterior fueron necesarios los productos cartográficos finales, así como la descripción geológica general, los modelos digitales de elevación, el mapa de pendientes y el registro fotográfico obtenido en las salidas de campo.

- Análisis de los procesos morfodinámicos: esta actividad constituye el análisis de los resultados obtenidos en las fases metodológicas anteriores, con el fin de analizar los principales procesos morfodinámicos, empleando perfiles y modelos explicativos que faciliten la comprensión de la evolución del relieve en el área de estudio. Vale la pena resaltar que los datos morfométricos estuvieron supeditados al DEM SRTM (30 m.) por lo cual deben considerarse como aproximados.

8. CARACTERIZACIÓN FÍSICO – BIÓTICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL

8.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS.

El complejo volcánico Cumbal se localiza al suroccidente del departamento de Nariño en la cordillera occidental y hace parte de un importante corredor volcánico que de norte a sur incluye a los estratovolcanes de Gualcalá, Azufral, Cumbal, cerro Crespo, cerro Nazate, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer (también se localizan otras estructuras pero no se referencian como aparatos volcánicos en las planchas geológicas del SGC⁶⁰)

La información de las características de las rocas y de la evolución geológica de este complejo volcánico se aborda desde el ámbito de la plancha geológica 447 - Ipiales y 447bis- Tallambí desarrollada en el año 2002 por el antiguo INGEOMINAS⁶¹, así como mediante la información recolectada durante los recorridos en campo al interior del área de estudio y actividades de fotointerpretación.

A partir de la información del SGC se describen los diferentes eventos y unidades cronoestratigráficas a partir de las cuales se formó el C.V. Cumbal y sus lineamientos estructurales como fallas y pliegues que condicionan el relieve e hidrografía de la zona. Complementariamente a partir de recorridos en campo, se corroboró la información secundaria y se observó la variedad litológica existente, la cual puede observarse gracias a la existencia de buenos afloramientos localizados en el *camino del Padre Eterno – Sector Camur*, en la vía que conduce de Cumbal a Miraflores y en varios cortes realizados por las quebradas y ríos que drenan el complejo volcánico.

Como se verá al abordar el contenido de este documento, el nombre de *complejo volcánico* está dado por la existencia de dos conos volcánicos activos: Mundo Nuevo y Plazuelas y también por la relación existente con una estructura caldérica denominada Cumbal Antiguo sobre la cual se localiza la laguna de La Bolsa.

8.1.1 Estratigrafía y evolución. Para el área de estudio y especialmente para el C.V. Cumbal no existen estudios litoestratigráficos detallados como se encuentran en otros estratovolcanes como Galeras donde se mencionan las diferentes etapas

⁶⁰ INGEOMINAS. Plancha 447 – Ipiales – 447BIS – Tallambí. Escala 1:100000. Medellín. 2002.

⁶¹ INGEOMINAS. Memoria explicativa geología de la plancha 447 – Ipiales – 447BIS – Tallambí. Escala 1:100000. Medellín. 2002.

de desarrollo de la “Formación Los Pastos”⁶². El anterior limitante de información dificulta el conocimiento y análisis y evolutivo de este volcán (El Cumbal), sin embargo en la memoria explicativa de la plancha 447 existe información que da a conocer los principales procesos geológicos que se presentaron desde el periodo cretácico hasta la época holocénica, abarcando las dos principales formaciones que conforman el basamento de la zona como lo son el *Grupo Diabásico* y el *Grupo Dagua*.

El *Grupo Diabásico y Dagua* corresponde a dos grandes formaciones de edad cretácica cuyos afloramientos fueron identificados en Cali y en la costa pacífica del Valle del Cauca por Nelson⁶³. Son formaciones las cuales se desarrollaron a partir de procesos simultáneos entre la sedimentación marina cuando gran parte del departamento de Nariño estaba ocupada por mares antes de la acreción de los terrenos continentales, y la actividad volcánica de carácter efusiva representada en la emisión de diabasas y basaltos.

Considerando al INGEOMINAS⁶⁴ el *Grupo Diabásico* tiene una edad perteneciente al Coniaciano inferior, es decir aproximadamente 89 m.a. Litológicamente se conforma por coladas de lavas basálticas y diabásicas caracterizadas por tener un bajo contenido de sílice y ser muy fluidas. Se encuentran intercaladas con algunas rocas sedimentarias como los cherts y también por flujos piroclásticos consolidados, lo cual hace suponer la existencia de varios aparatos eruptivos. Esta formación constituye el basamento de una buena parte de la cordillera occidental, y dentro del área de estudio y en los demás edificios volcánicos del sur de Nariño no se encuentran afloramientos, lo anterior debido a que fueron sepultados por los materiales volcánicos plio-pleistocénicos.

Por otra parte, el *Grupo Dagua* tiene una naturaleza asociada a la presencia de metamorfismo de bajo grado y procesos diagenéticos de materiales sedimentarios. Se compone de pizarras, filitas, limolitas y areniscas cuya edad pertenece al Turoniano superior y Coniaciano inferior. De ésta formación en el área de estudio tampoco existen afloramientos, los pocos que existen se hayan en la vertiente occidental de la cordillera occidental en San Juan de Mayasquer. En conjunto con el Grupo Diabásico, estas dos formaciones contienen las rocas más antiguas de la zona y aproximadamente hace 30 y 26 m.a. en el Oligoceno fueron intruidos por cuerpos hipoabisales localizados por fuera del área de estudio.

Posteriormente, de acuerdo a Lobo Guerrero⁶⁵, durante el terciario se retiró el mayor volumen de las aguas marinas que ocupaban el actual territorio continental

⁶² CALVACHE, Marta y CORTÉS, Gloria. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia: Formación Los Pastos. INGEOMINAS. 1998. 45p.

⁶³ NELSON, W. Contribución al Conocimiento de la Cordillera Occidental. Sección carretera Cali – Buenaventura. Bogotá. En: Boletín Geológico. 1962. No 10, p. 81 – 108.

⁶⁴ INGEOMINAS. Op. Cit., p. 28-30.

⁶⁵ LOBO GUERRERO Alberto. La Geología de Colombia. 1987.

colombiano, lo anterior implicó la consolidación de los sedimentos los cuales comenzaron a plegarse y a formar anticlinales y sinclinales, indicando el comienzo de la orogenia de la cordillera occidental y de los respectivos sistemas de fallas que la condicionan, permitiendo también la formación del valle del río Cauca.

Con el comienzo de la orogénesis cobran importancia en ocurrencia los fenómenos de carácter volcánico, haciendo que el *Grupo Dagua* y el *Grupo Diabásico* comenzarán a verse cubiertos estratigráficamente por materiales más recientes. El recubrimiento de las formaciones cretácicas se dio por rocas volcánicas extrusivas, siendo los registros de los cuales más afloramientos pueden observarse en el C.V. Cumbal.

Según el INGEOMINAS⁶⁶, las rocas extrusivas del C.V. Cumbal y de la cordillera occidental en general tienen una edad que oscila entre los 4 y 5 m.a. Pueden clasificarse en tres fases o etapas de formación que fueron identificadas mediante criterios geomorfológicos como la extensión y grado de erosión de los flujos lávicos que en su conjunto conforman los estratovolcanes del suroccidente de Nariño.

La fase inicial del C.V. Cumbal hace parte de los *edificios volcánicos pliocénicos* caracterizados por ser fuertemente erosionados y en algunos casos destruidos debido a explosiones laterales o por la formación de calderas volcánicas. Se destacan las lavas andesíticas del denominado Cumbal Antiguo que conforman una estructura caldérica abierta hacia el occidente datada con una edad de 4.6 m.a. que en su fondo contiene a la laguna de Cumbal. Tiene una forma semicircular con una diferencia altitudinal de 260 metros conformada por la intercalación de lavas y flujos piroclásticos en donde puede observarse efectos erosivos del hielo (Ver figura 9). Los productos resultantes de la destrucción así como sus depósitos de avalancha fueron transportados hacia la vertiente pacífica por el drenaje tributario del río Mulas.

Figura 9. Sector occidental caldera Cumbal Antiguo y la laguna de Cumbal localizada en su base



Fuente: Pizarro, Fernando 2015.

⁶⁶ INGEOMINAS. Op. Cit., p. 44 – 82.

Por otra parte Icel citado por Monsalve⁶⁷ se refiere a la existencia de la caldera Colimba originada hace 5.1 m.a., la cual al parecer corresponde a otra estructura caldérica localizada al norte de la Laguna de Cumbal que también tiene una abertura semicircular hacia el occidente sobre la cual dreña la quebrada Tambillo y sus tributarios. (Ver figura 10). Sin embargo puede presentarse una confusión con la caldera indicada en la figura 8, ya que el anterior autor afirma que la caldera Colimba está asociada a la evolución del C.V. Cumbal y podría estar relacionada a una estructura volcánica diferente.

Figura 10. Sector occidental caldera Colimba.



Fuente: Pizarro, Fernando 2015

La segunda etapa de formación según Monsalve y Bechon⁶⁸, fue denominada como “Estadio Pleistoceno Medio” en la cual comenzó a originarse la estructura volcánica actual de Cumbal. Inicialmente el cono volcánico que se formó tuvo un diámetro de 1 Km. La actividad volcánica al parecer fue principalmente efusiva ya que se identifican varias coladas de lava que desde la parte más alta descendieron distancias de 9 Km hacia el flanco norte y occidental y de las cuales aún puede observarse varios “escalones” que representan los diferentes frentes de lava y su acordonamiento.

La fase más reciente del C.V. Cumbal hace parte de los *edificios volcánicos del pleistoceno superior* dentro de la cual también se encuentran los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer. La unidad geológica tomó el nombre de “Andesitas del Cumbal Moderno (Q1acm)” la cual a su vez también se subdivide en tres etapas diferentes. Respecto a esta subdivisión Gorman⁶⁹ establece que la etapa uno tuvo

⁶⁷ MONSALVE, M y BECHON, France. Aspectos vulcanológicos y geoquímicos del Volcán Cumbal. En: VI Congreso Colombiano de Geología [online], [citado 22, octubre, 2015]. Disponible en: www.sgc.gov.co.

⁶⁸ *Ibíd.*, p. 3.

⁶⁹ GORMAN, C. The constructive history and petrology of volcan Cumbal, Southern, Colombia. Tesis de Maestría. Arizona: State Univ Arizona. 1997. p 116.

su comienzo hace 194.000 años y estuvo asociada principalmente al cráter norte conocido como Punta Vieja. Los depósitos y lavas andesíticas de esta etapa son lo más extensos en el área de estudio y a partir desde aproximadamente los 3.400 m.s.n.m. se ven afectados por erosión glaciar.

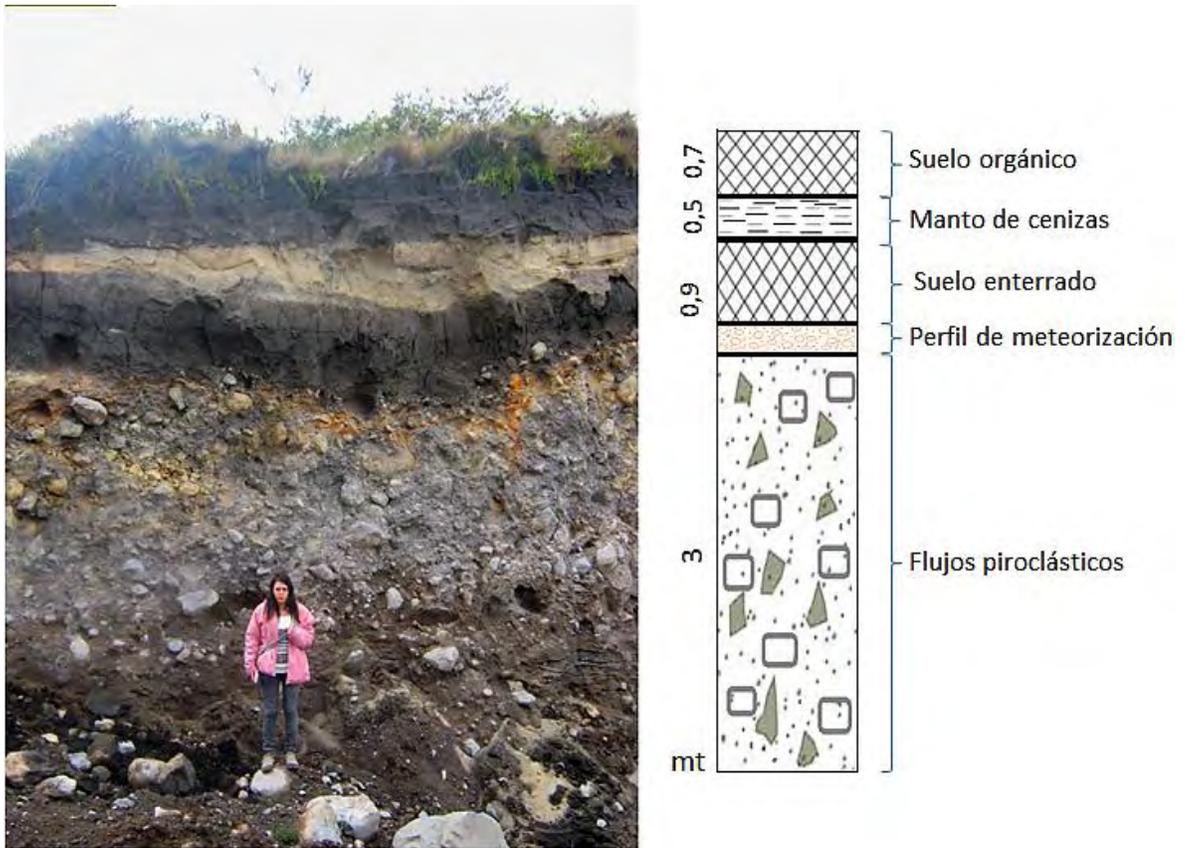
La segunda etapa tuvo comienzo hace 100.000 años presentando actividad principalmente efusiva, cuyos materiales fueron expulsados por los cráteres Cumbal y Mundo Nuevo en dirección sur y suroeste hacia el valle del río Blanco. Finalmente la tercera etapa de formación tiene una edad aproximada de 25.000 años y estuvo asociada principalmente al cráter Mundo Nuevo por el cual se expulsaron lavas que presentan formas lobuladas y cordadas que rellenaron o sepultaron algunos valles.

Por otra parte, teniendo en cuenta a Van der Hammen citado por el IDEAM⁷⁰, el establecimiento de las masas glaciares en las cimas de las montañas colombianas se dio hace 70.000 años y el pleniglacial (máxima extensión de las masas glaciares) ocurrió hace 35.000 años, puede afirmarse que durante la segunda y tercera etapa de formación del C.V. Cumbal se presentó una importante interacción entre la actividad volcánica y glaciar. Como resultado de esta interacción algunas lavas presentaron erosión glaciar, pero también se formaron dentro del C.V. Cumbal importantes cuerpos morrénicos, flujos laháricos y piroclásticos que no se encuentran referenciados en la memoria explicativa 447. En términos generales la interacción entre los dos anteriores procesos (vulcanismo y glaciación) conforma la morfodinámica y es la principal razón de los rasgos geomorfológicos actuales de este complejo volcánico.

Afloramientos de algunos de los materiales transportados por el hielo (morrenas) y de los flujos piroclásticos pueden observarse en la vía que conduce de Cumbal al sector de Camur, conocida por los habitantes de la zona como camino del padre eterno (esta vía bordea el flanco oriental y nororiental del C.V. Cumbal). El corte que se muestra en la figura 11 tiene una altura aproximada de 5 metros y desde su base hacia el techo pueden observarse depósitos volcánicos caracterizados por rocas heterométricas con aristas subangulosas soportados en una matriz de cenizas (en algunas áreas la pérdida de la matriz hace que se desprendan las rocas y queden en el perfil espacios vacíos) seguido por una pequeña franja que presenta un color anaranjado producto de los procesos de oxidación de hierro, un paleosuelo de color oscuro cubierto por una capa angosta de cenizas volcánicas y en el techo un suelo oscuro propio de los Histosoles sobre el cual se establece vegetación de páramo.

Figura 11. Sección transversal flanco nororiental C.V. Cumbal.

⁷⁰ IDEAM [online]. Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global. [citado 22, octubre, 2015] p3. Disponible en: <http://www.glaciologia.cl/textos/IDEAM.pdf>.



Fuente: esta estudio.

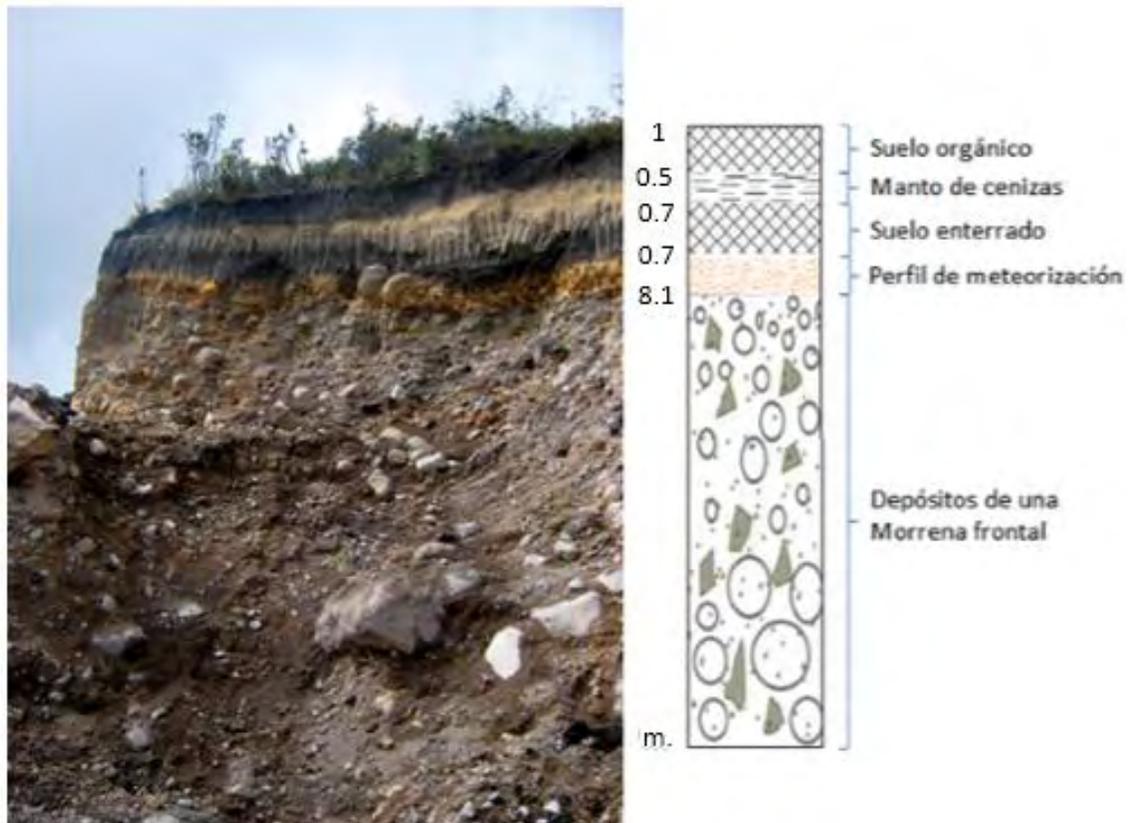
De la anterior sección transversal puede señalarse que en una buena parte del flanco oriental del C.V. Cumbal se presentaron varios episodios eruptivos que aportaron importantes volúmenes de materiales piroclásticos, los cuales formaron un relieve que varía entre plano-inclinado y colinado. Los flujos piroclásticos mostraron procesos de meteorización en la capa suprayacente y partir de éstos y del aporte de materia orgánica se evidencian procesos edafogenéticos cuyo producto se ve recubierto por cenizas volcánicas. A este respecto Monsalve y Méndez⁷¹, en el mapa preliminar de amenaza volcánica del C.V. Cumbal, señalan que “en los últimos 15.000 años se han producido 21 episodios de caída volcánica, los cuales se han convertido en paleosuelos muy bien desarrollados. Su distribución preferencial es hacia el Noreste”, además señalan de acuerdo a autores como Icel y Hantke que en los últimos 3800 años la actividad ha sido predominantemente explosiva y fumarólica.

⁷¹ MONSALVE, M y MÉNDEZ, R. Mapa preliminar de amenaza volcánica del complejo volcánico Cumbal. En: III Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. [online], [citado 22, octubre, 2015]. Disponible en: www.sgc.gov.co.

Con relación a la evidencia estratigráfica del till glaciar en el complejo volcánico Cumbal, dentro de los recorridos realizados se logró observar dos perfiles que dan cuenta de la evolución y de la interacción entre el transporte glaciar y la actividad volcánica. El primero de los perfiles se localiza en la quebrada Pistejo a una altura de 3.400 m.s.n.m. Tiene un corte de aproximadamente de 11 metros en el cual logra observarse desde su base hacia el techo materiales heterométricos subredondeados y subangulosos (los detritos de mayor tamaño se localizan en el fondo, mientras que los de menor tamaño los suprayacen), posteriormente se distingue un perfil de meteorización de color anaranjado y dos secuencias de suelos oscuros separados por una pequeña capa de cenizas volcánicas.

Tanto la capa de cenizas como los suelos, recubren el material morrénico en un mismo ángulo, dirección y espesor, lo que hace suponer que las cenizas se depositaron a partir de una misma erupción y los suelos se formaron en un mismo tiempo. (Ver figura 12). El segundo perfil corresponde a una morrena de retroceso localizada en el valle glaciar del Rio Blanco, observándose que los materiales llevados por el estadio glaciar que la formó, transportó detritos pequeños con cantos redondeados.

Figura 12. Sección transversal Quebrada Pistejo



Fuente: este estudio.

En síntesis, la evolución geológica del área de estudio tiene como inicio el periodo cretácico en el cual se formaron los grupos Dagua y Diabásico, que posteriormente se acrecieron al continente y continuaron plegándose y levantándose hasta el mioceno. Posteriormente durante el plioceno cobra mayor importancia el vulcanismo formándose el Cumbal Antiguo cuyos materiales fosilizaron el paleorelieve. La actividad volcánica fue efusiva y explosiva por lo cual se formó la caldera del volcán Cumbal Antiguo hace 4.6 m.a., mientras que durante el pleistoceno el punto de efusión de lavas y demás materiales asociados migro hacia el occidente y así se comenzó a formar el actual C.V. Cumbal. Hace 35.000 años se presentó el pleniglacial y se formaron valles y circos glaciares especialmente en el flanco oriental del complejo volcánico, con el comienzo del periodo interglaciar actual los hielos retrocedieron hasta su extinción. Recientemente la actividad volcánica ha continuado y mantos de cenizas han recubierto el till glaciar y flujos de lava han ido rellenando los valles glaciares.

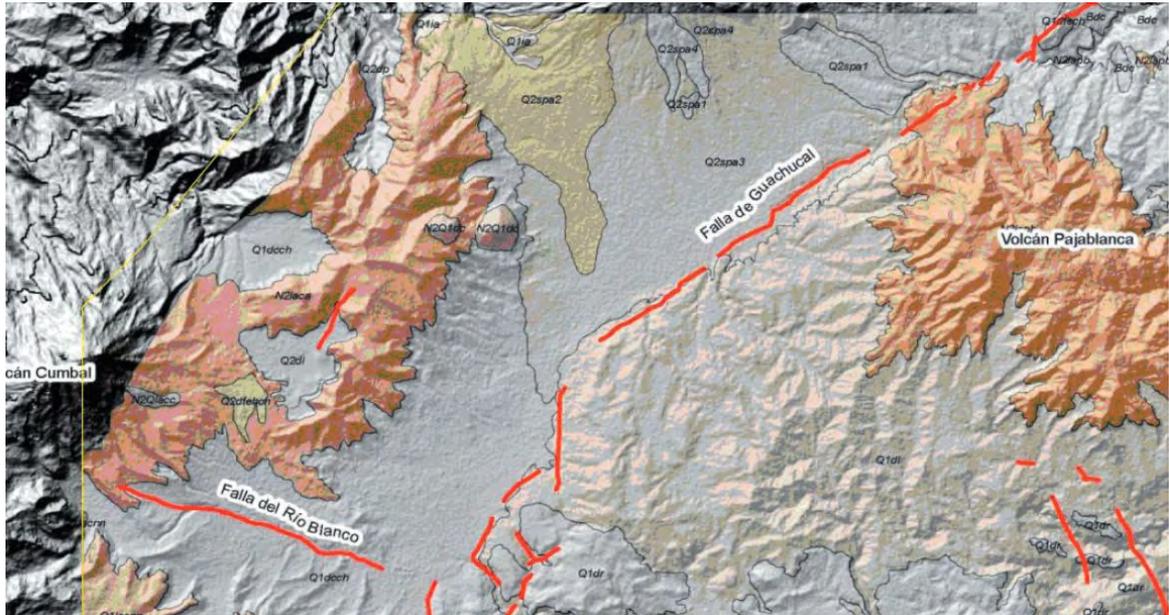
8.1.2 Geología estructural y sismicidad. De acuerdo al INGEOMINAS⁷² dentro del C.V. Cumbal y en general en toda la extensión de la plancha 447 no existen evidencias determinantes que brinden información respecto a la tectónica y a la identificación de fallas que controlen las rocas más recientes. Sin embargo, a partir del “Proyecto de Investigación Geológica, Sísmica y Geotérmica en el Altiplano Nariñense”⁷³ realizado por la Universidad Nacional e INGEOMINAS en 1992, puede observarse dentro del modelo estructural del altiplano Tuquerres – Cumbal, la existencia de la falla de Guachucal que tiene dirección suroeste – noreste y la falla del Rio Blanco con dirección Oeste – Este. (Ver figura 13) las cuales representarían parcialmente un control estructural en la zona.

Por otra parte cobra relevancia dentro del área de estudio el diaclasamiento producido durante el enfriamiento y consolidación de las lavas recientes y subrecientes, así como otros procesos que afectan la estructura y disposición de las rocas, especialmente los relacionados con los procesos criogénicos, causantes de efectos abrasivos como la crioclastia y el pulido glaciar.

⁷²INGEOMINAS. Op. cit., p. 83.

⁷³PINILLA OCAMPO, Alejandro, et al. El Neógeno Volcánico en el Altiplano Nariñense, suroccidente Colombiano. En: Geología Colombiana. Diciembre, 2008. no. 33. p. 69 – 78.

Figura 13. Elementos estructurales del altiplano Tuquerres – Cumbal y del C.V. Cumbal



Fuente: Pinilla et al, 2008.

No obstante a la falta de evidencias de fallamiento, cobra interés el registro de sismos de la Red Sismológica Nacional de Colombia así como el reporte de otros eventos ocurridos al comienzo del siglo XIX que ocasionaron la destrucción del centro poblado de Cumbal, lo cual obligó a su reubicación. Respecto a los sismos históricos de mayor intensidad Gil⁷⁴ mencionó la confusión que puede existir entre la ocurrencia de erupciones volcánicas y episodios sísmicos como el ocurrido el 14 de Diciembre de 1923 y el 18 de Diciembre de 1926 que acabaron con el centro poblado de Cumbal y afectaron las poblaciones de Carlosama, Aldana, Chiles, Tuquerres e Ipiales.

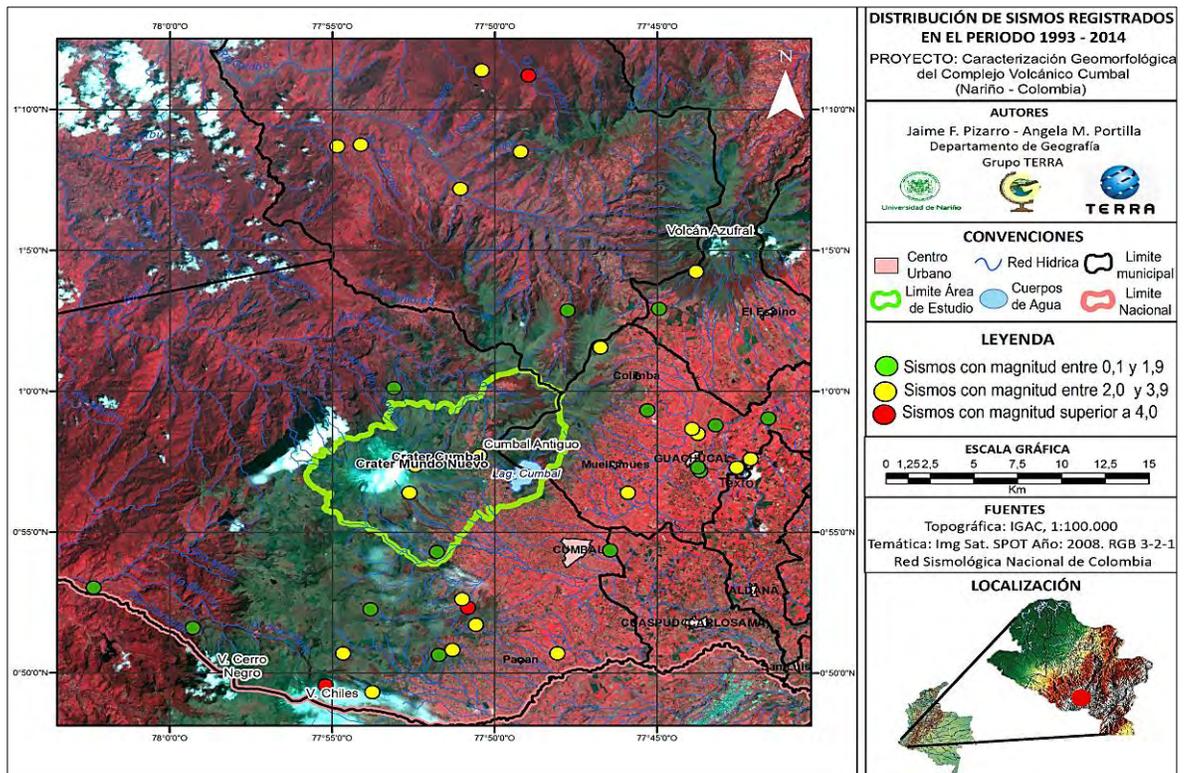
En la figura 13 puede observarse la localización de los epicentros de los sismos registrados en el periodo de 1993 a 2014 por la RSNC. De acuerdo a esta misma fuente de información, durante ese periodo en el departamento de Nariño se tienen registrados 2036 eventos, sin embargo para este caso específico se observan únicamente los que se originaron en los municipios de Mallama (Piedrancha), Cumbal y Guachucal, municipios que tienen una parte de su territorio dentro del área de estudio. Así entonces se tiene un registro de 38 sismos principalmente superficiales de los cuales 14 tuvieron una magnitud entre 0,7 y 1,9 en la escala de Richter, 21 tuvieron una magnitud entre 2 y 3,5 y finalmente 3 sismos tuvieron una magnitud superior a 4,0.

⁷⁴GIL CRUZ, Fernando. Informe sobre la sismicidad observada en el volcán Cumbal en el periodo comprendido entre el 30 de Marzo y el 29 de Mayo de 1988. INS. NAL. INV. GEOL. MIN. Manizales. 1988. p 4.

Como puede observarse en la figura 14, la distribución de los anteriores sismos es dispersa y coincidiendo con el INGEOMINAS puede mencionarse que éstos no representan o dan cuenta de algún indicio de control estructural o fallamiento, además es importante tener en cuenta que el año de comienzo de los registros de la RSNC es relativamente reciente y se pueden presentar inconsistencias con la localización.

Finalmente, de acuerdo al OVSP⁷⁵ vale la pena resaltar un periodo con presencia de sismos identificados gracias al registro de una señal de tremor la cual está asociada a cambios en la dinámica de flujos volcánicos del Volcán Chiles. Otros eventos de sismos cerca al área de estudio estuvieron relacionados con el fracturamiento de material cortical la cual continuó por varios días a finales del año 2014.

Figura 14. Distribución de los sismos registrados en el periodo 1993 – 2014 por la RSNC.



Fuente: este estudio.

⁷⁵ OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO. Boletín extraordinario de actividad de los Volcanes Chiles y Cerro Negro. San Juan de Pasto, Noviembre 20 del 2014.

8.1.3 Geología económica. Teniendo en cuenta la información disponible en la memoria explicativa de la plancha geológica 447, dentro del área de estudio no existen áreas significativas de explotación de recursos minerales. Se destaca una actividad no continua de extracción de Azufre en la parte alta del C.V. Cumbal la cual se realiza esporádicamente y de manera artesanal por parte de algunos campesinos e indígenas de la zona de la cual no se han encontrado mayores registros. La alta pendiente que hay por encima del modelado glaciar heredado (3.900 ± 100 m.s.n.m.) y la ausencia de vías, podrían ser la principal razón para que no se extraiga el azufre de una manera más intensiva por parte de la comunidad local

En el oriente del C.V. Cumbal se encuentra localizada una cantera en la cual puede observarse un flujo de lava probablemente asociado al Cumbal Antiguo a partir de la cual se extrae gravilla y materiales para la construcción. Por otra parte de acuerdo a la información suministrada por la Agencia Nacional Minera, actualmente no existen títulos mineros y solicitudes mineras dentro del área de estudio, sin embargo al norte del municipio de Cumbal y al sur de Mallama existe una solicitud vigente de 3.177 ha para la explotación del mineral de cobre y sus concentrados.

8.2 COBERTURA DE LA TIERRA.

Teniendo en cuenta que el área de estudio presenta una diferencia altitudinal de aproximadamente 1500 metros distribuidos entre los 3.250 y 4.764 m.s.n.m., podría afirmarse que dentro de ella se encuentran las coberturas naturales asociadas los pisos bioclimáticos del páramo bajo, el páramo propiamente dicho y el superpáramo definidas previamente por Rangel⁷⁶. No obstante lo anterior, dada la intervención antrópica ligada a la ocupación histórica que se ha presentado, actualmente la vegetación y cobertura natural de las franjas mencionadas en algunas partes se ha transformado interactuando con coberturas de carácter antrópico como los pastos y los cultivos.

A partir de lo anterior, la cobertura de la tierra (entendida como los diferentes tipos de cubierta que están sobre la superficie de la tierra) del C.V Cumbal es el resultado de la interacción de procesos naturales como: el establecimiento y movilidad de las comunidades vegetales pertenecientes al ecosistema de páramo y los procesos de ampliación de la frontera agrícola los cuales modifican los procesos morfodinámicos, la cobertura natural y las propiedades físico-químicas de los suelos. Vale la pena mencionar que no solo la ocupación antrópica genera cambios en las coberturas naturales, de acuerdo a Flórez⁷⁷, cambios climáticos globales

⁷⁶RANGEL, Orlando, Biodiversidad en la Región del Páramo: con Especial Referencia a Colombia. En: Congreso Mundial de Páramos. Paipa. 2002 tomo 1. p. 83

⁷⁷FLÓREZ, Antonio. Movilidad altitudinal de páramos y glaciares en los andes colombianos. En: Congreso Mundial de Páramos. Paipa. 2002 p. 184.

como las glaciaciones trajeron consigo el descenso altitudinal de los ecosistemas y posteriormente el ascenso de los mismos debido al comienzo del interglaciar.

Para el C.V. Cumbal existen fundamentalmente dos estudios detallados y semidetallados que brindan información de la cobertura de la tierra. El más reciente hace referencia a uno de los productos generados en el Estudio técnico, económico, social y Ambiental para la, identificación de los Complejos de Páramos Chiles – Cumbal, La Cocha – Patascoy y Doña Juana – Juanoy en donde se encuentra información de cobertura a escalas 1:100.000 y 1:25.000. No obstante, para este estudio se tomó en cuenta el trabajo denominado “Análisis del cambio de la cobertura del suelo en la selva altoandina y el páramo del volcán Cumbal, Departamento de Nariño – Colombia en el periodo comprendido entre 1987 – 2009”⁷⁸ en el cual se analizan las causas de los cambios de la cobertura en varios periodos de tiempo, teniendo en cuenta la adaptación de la metodología CORINE Land Cover para Colombia. De acuerdo al anterior estudio, dentro del área de estudio se encuentran coberturas asociadas a los territorios agrícolas, los bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y las superficies de agua.

Teniendo en cuenta la metodología propuesta dentro del estudio en mención, es importante señalar que la unidad mínima de mapeo fue de 6 hectáreas, es decir toda cobertura que era inferior a esta área fue generalizada o asociada a otra de mayor extensión. En la figura 19 se muestra el mapa de cobertura de la tierra para el año 2009 en el C.V. Cumbal, como puede observarse predominan las coberturas denominadas: *vegetación de páramo*, *bosque natural fragmentado*, *afloramientos rocosos*, *turberas* y *mosaico de pastos y cultivos*. A continuación se realiza la descripción de estas coberturas ordenadas de mayor a menor extensión.

La *vegetación de páramo* se ubica o coincide parcialmente con el piso bioclimático del páramo propiamente dicho y del subpáramo en donde se encuentran las asociaciones vegetales pajonal – frailejonal o frailejonal – arbustal, principalmente conformadas por los géneros *Espelletia* y *Calamagrostis*. Esta cobertura representa el 53% del área de estudio con una extensión de 5.880 hectáreas las cuales se distribuyen entre los 3.400 y 4.100 ± 100 m.s.n.m. Se localiza principalmente sobre dos zonas: la primera sobre las laderas y geoformas del Cumbal Moderno y la segunda en las laderas de la caldera del Cumbal Antiguo. Durante los recorridos en campo realizados en el año 2014 y 2015 logró observarse que existen algunos sectores dentro de esta cobertura en los cuales los habitantes realizan actividades agropecuarias, tal como se presenta en el valle de la quebrada London, mientras que en el norte de la Laguna de La Bolsa se desarrollan labores de arado sobre laderas con tractores de discos (Ver Figura 15).

⁷⁸ CORAL, Germán; PORTILLA, Natalia. Op cit. 147 p.

Figura 15. Arado sobre vegetación de páramo sector Las Huertas y quemas en el valle del Rio Negro.



Fuente: Pizarro, Fernando 2015.

Teniendo en cuenta la extensión, la siguiente cobertura en importancia es el *mosaico de pastos y cultivos* la cual abarca un total de 2369 ha. De acuerdo a Portilla & Coral⁷⁹ esta cobertura corresponde a un conjunto de áreas de pastos y de diferentes cultivos que se encuentran loteados por cercas vivas u otro mecanismo donde la extensión de cada lote no representa la unidad mínima de mapeo o el 70% del área total del mosaico. En el área de estudio esta unidad tiene una extensión de 2369 hectáreas, se localiza en el flanco oriental y sur oriental del edificio volcánico del Cumbal Moderno y también en la base de la caldera Colimba y en las veredas de Guan y Gualcatu, distribuida desde los 3.350 hasta los 3.650 m.s.n.m. En el flanco oriental de Cumbal Moderno contrasta con la vegetación de páramo y no se distingue una franja de ecotonía entre la franja altoandina, el subpáramo y el páramo propiamente dicho, lo cual está asociado a la expansión de la frontera agrícola. De acuerdo al relato oral de algunos habitantes, los cultivos de papa y de otros productos se han ido reemplazando por los pastos con el fin de desarrollar actividades ganaderas, para ese fin se realizan constantes quemas.

Figura 16. Mosaico de pastos y cultivos.

⁷⁹Ibíd., p.69



Fuente: Pizarro, Fernando 2015.

La siguiente cobertura son los *afloramientos rocosos* con 864 ha, los cuales en el área de estudio están asociados a las partes más elevadas y frías, representando zonas en donde existe discontinuidad natural de la vegetación y predomina el suelo desnudo y el afloramiento del sustrato rocoso. Por las anteriores razones esta cobertura únicamente se localiza en la cima del Cumbal Moderno desde los 4.200 m.s.n.m. a excepción del NNW donde desciende hasta los 3.750 m.s.n.m. debido a acumulaciones de mantos de cenizas y lavas recientes en las cuales aún no se presenta desarrollo de vegetación. Dentro de esta unidad se encuentran los conos volcánicos Cumbal y Mundo Nuevo, así como también el domo de lava conocido por los habitantes como Punta Vieja conformado por dacitas principalmente. Esta unidad tiene una extensión de 864 hectáreas que representan un 7.8 % del total del área de estudio.

A la anterior unidad se encuentra asociada la *vegetación rupícola* que corresponde a una cobertura que está altitudinalmente por debajo de los afloramientos rocosos formando parte del superpáramo. En relación con esta unidad, es característica fundamental que las especies vegetales se encuentren a ras de piso con un porte muy bajo, lo cual está condicionado por las bajas temperaturas que existen en las partes más elevadas. Vale la pena mencionar que no hay desarrollo de suelos profundos y son constantes los contactos líticos generalmente conformados por materiales gruesos de flujos piroclásticos y flujos de lava.

Por otra parte, asociado al subpáramo, a la franja altoandina y a los procesos de ocupación del páramo se tiene la cobertura del *bosque natural fragmentado*, la cual en el área de estudio se manifiesta a través de los bosques naturales que han perdido su continuidad espacial debido a procesos antrópicos como la deforestación y la adaptación de áreas para actividades agropecuarias. Se ven distribuidos como parches y se localizan principalmente en áreas de pendiente como en el valle de la quebrada London y en la caldera de Colimba. Esta unidad tiene una extensión de 520 hectáreas que representa un 4.7% del área total. También se destaca la cobertura denominada *bosque achaparrado* la cual se compone por especies arbustales propias del subpáramo con tamaño menor a 5 metros y localizándose en la caldera del Cumbal Antiguo.

Las últimas dos coberturas corresponden a *lagunas y turberas* ocupando un área de 225 ha, de las cuales sobresale la laguna de La Bolsa que se localiza en la base de la caldera del antiguo Cumbal, a la cual también están asociados los bordes sedimentados cartografiados como *turberas* las cuales también se encuentran también en el flanco oriental del Cumbal Moderno.

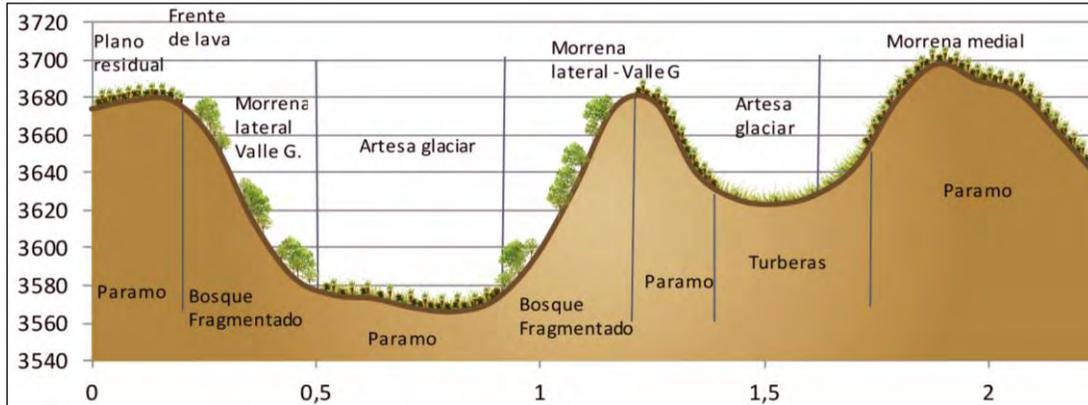
8.2.1 Distribución de la cobertura respecto a algunas unidades geomorfológicas. La montaña alta del departamento de Nariño como se mencionó en el marco conceptual de esta investigación, tuvo su origen asociado al levantamiento de rocas de diferente composición y recientemente al vulcanismo y a la acción erosiva de las masas glaciares del plio-pleistoceno. Esas condiciones trajeron consigo la movilidad altitudinal de las comunidades vegetales y tuvieron incidencia en su distribución actual.

A partir de otros estudios realizados en el Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA en el cual se abordó la temática de Geomorfología y cobertura vegetal, Calvache & Pizarro⁸⁰ observaron en algunas áreas de páramo que la distribución de coberturas naturales como la vegetación de páramo y los bosques naturales se localizan específicamente sobre unidades geomorfológicas del modelado glaciar heredado como morrenas de fondo y laterales. La anterior situación también puede observarse en el C.V. Cumbal, especialmente en algunos sectores del modelado glaciar heredado. A continuación se describen algunas características de la localización de la cobertura empleando perfiles explicativos en tres secciones transversales.

La primer sección se trazó en dirección SO – NE sobre los valles glaciares por los cuales drenan las quebradas London y Rio Negro (Ver figura 17). En el valle glaciar de la quebrada London puede observarse que sobre las morrenas laterales se encuentra la cobertura de bosque fragmentado, lo cual puede estar relacionado con el alta pendiente y con una mayor capacidad de enraizamiento a la de otras especies, mientras que en las morrenas de fondo se localiza la vegetación de páramo propiamente dicho. Por otro lado en las morrenas mediales de la quebrada Rio Negro predomina la vegetación de páramo y en su artesa existen turberas que se caracterizan por tener suelos con un alto nivel freático y estar permanentemente saturados.

⁸⁰ CALVACHE, Juan; PIZARRO, Fernando. Determinación de las características comunes entre suelos y vegetación frailejona en las áreas de páramo de la zona centro del departamento de Nariño. Investigación estudiantil. Universidad de Nariño. Sistema de Investigaciones, 2013. 136 p.

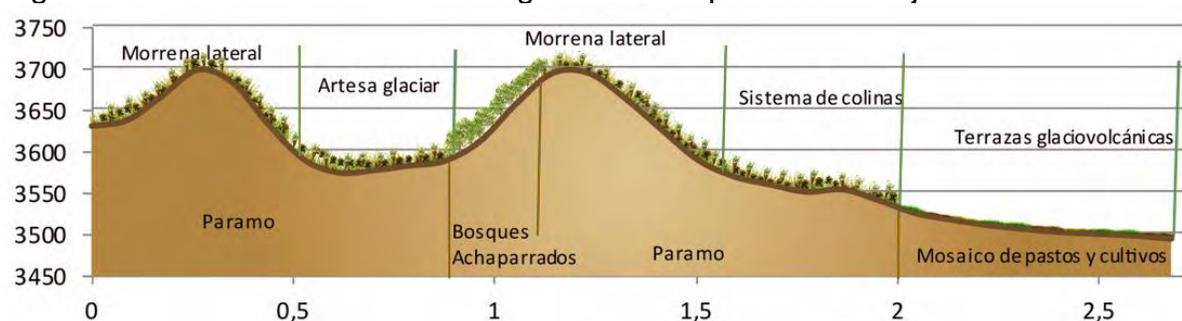
Figura 17. Sección transversal valle glaciar de la quebrada London.



Fuente: este estudio

El segundo corte transversal se hizo en el valle glaciar de la quebrada Pistejo en dirección NO – SE. Similarmente al valle glaciar de la quebrada London en la parte interna de la morrena lateral derecha se encuentran coberturas boscosas (bosques achaparrados), a excepción de la morrena lateral izquierda donde se encuentra vegetación de páramo. En las partes externas de las morrenas también existe vegetación de páramo la cual se extiende hasta un relieve colinado que tiene pendientes suaves y se conforma por mantos de cenizas y flujos piroclásticos. Al final del perfil pueden observarse terrazas glaciovolcánicas en donde se desarrollan actividades agropecuarias.

Figura 18. Sección transversal valle glaciar de la quebrada Pistejo.

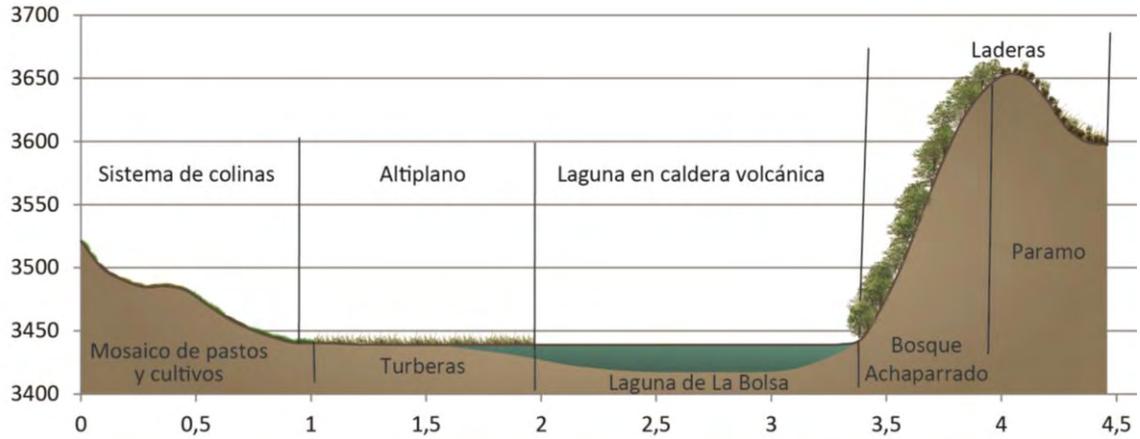


Fuente: este estudio

El último corte se trazó en dirección O – NE sobre la base de la caldera del Cumbal Antiguo. Puede observarse como las áreas de cultivos y pastos se extienden por los sistemas de colinas del flanco oriental del Cumbal Moderno justo hasta la base del altiplano de La Bolsa, lo anterior debido a que la parte plana se encuentra permanentemente sobresaturada por agua e impide el desarrollo de estas actividades, aunque se han trazado varios canales para facilitar el drenaje. Sobre la base de la misma caldera volcánica se encuentra el cuerpo lenticóide de la laguna de

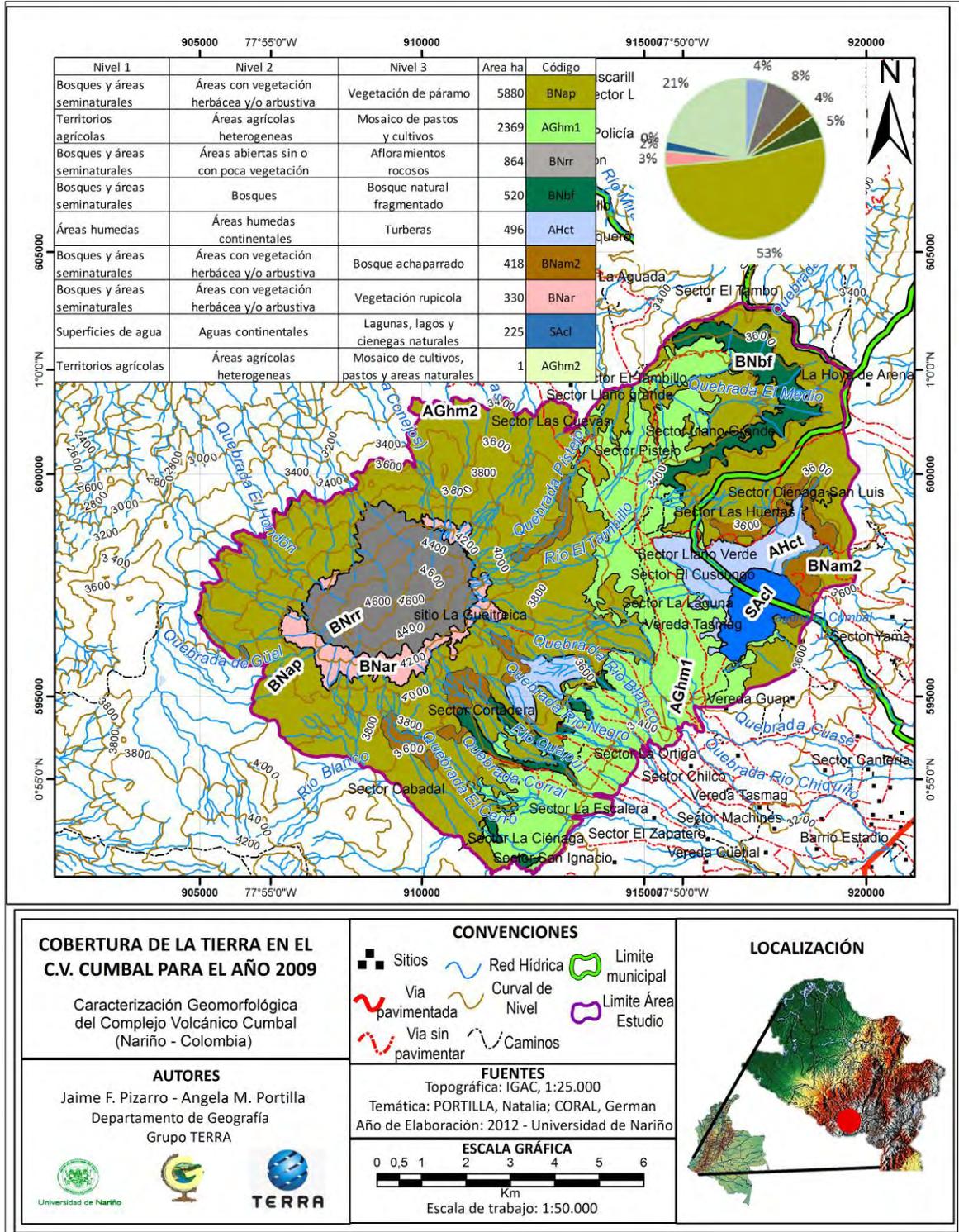
La Bolsa y sobre sus laderas moderadamente escarpadas se encuentran bosques achaparrados, mientras que en la cima la pendiente es más suave y predomina la vegetación de páramo.

Figura 19. Sección transversal caldera del Cumbal antiguo.



Fuente: este estudio

Figura 20. Cobertura del suelo.



Fuente: este estudio

8.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

Las relaciones más directas entre la geomorfología y los suelos están representadas durante la génesis y evolución de las formaciones superficiales. De acuerdo a Jenny citada por Porta et al⁸¹ los factores clásicos que hacen parte de la formación del suelo son: la roca madre, el clima, los organismos vivos (flora y fauna), la geomorfología y el tiempo de acción, los cuales influyen en el direccionamiento y la duración del proceso formador del suelo. Similarmente, desde un punto de vista enfocado en la cartografía de suelos, las unidades geomorfológicas brindan un referente espacial para la delimitación de suelos y son insumos necesarios para la elaboración de mapas pedométricos y geopedológicos.

Como se observó anteriormente en la descripción de las unidades de cobertura del suelo, una buena parte del área de estudio está conformada por áreas naturales relacionadas con los páramos, no obstante, los suelos de la zona también son el soporte de vida de algunos cultivos como la papa y de los pastos, que sobrellevan el sector agropecuario de la economía local.

Si se tiene en cuenta que los suelos de los páramos cumplen una significativa función ecológica, hidrológica y de oferta de bienes y servicios ecosistémicos, es importante tener en cuenta que éstos presentan unas propiedades físico-químicas especiales que permiten el cumplimiento de dichas funciones, y son estas propiedades, las cuales los pobladores han tenido que adaptar o modificar para desarrollar sus sistemas económicos.

De acuerdo a Malagón⁸², los suelos de los páramos pueden distribuirse altitudinalmente en tres regiones morfobioclimáticas como lo son la periglacial, el páramo propiamente dicho y el páramo bajo, no obstante, el páramo bajo en el área de estudio no es representativo. Las anteriores subregiones están condicionadas por aspectos ambientales como el clima, la geomorfología, el vulcanismo, el régimen de humedad (vertientes de barlovento y sotavento), los organismos y la intervención antrópica.

En el Complejo Volcánico Cumbal, los suelos de las zonas periglaciares (superiores a los 4.000 m.s.n.m.) representan abundantes afloramientos rocosos conformados por materiales volcánicos de origen explosivo (bloques, bombas pumitas y lapilli), sobre los cuales dependiendo de condiciones atmosféricas, pueden formarse agujas de hielo que estimulan procesos de gelifración y crioclastia. Taxonómicamente estos suelos principalmente pertenecen al orden de los Entisoles (Cryorthents) y Andisoles, y en menor proporción a los Histosoles.

⁸¹ PORTA, Jaime, LÓPEZ, Marta, ROQUERO, Carlos. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa. Madrid 1994.p. 471

⁸² MALAGÓN, Castro Dimas. Los suelos de las regiones paramunas de Colombia y Venezuela. en: congreso mundial de páramos. Paipa. 2002. Tomo 1 p.208 – 210.

Figura 21. Formaciones de hielo y bloques de lava en el C.V. Cumbal.



Fuente: Narváez, German 2007.

En la subregión del páramo propiamente dicho, de acuerdo a Malagón “los suelos dominantes son los Entisoles (Cryorthents) y los Inceptisoles (Dystrocryepts); se incrementan los Histosoles (diferentes Fibrists, Hemists y Saprists críicos) y, adicionalmente en Colombia, los Andisoles (Cryands)”⁸³. En contraste, para el C.V. Cumbal según IGAC⁸⁴ se destacan las órdenes de los Andisoles y de los Inceptisoles caracterizados por desarrollarse sobre ceniza volcánica y flujos de lava.

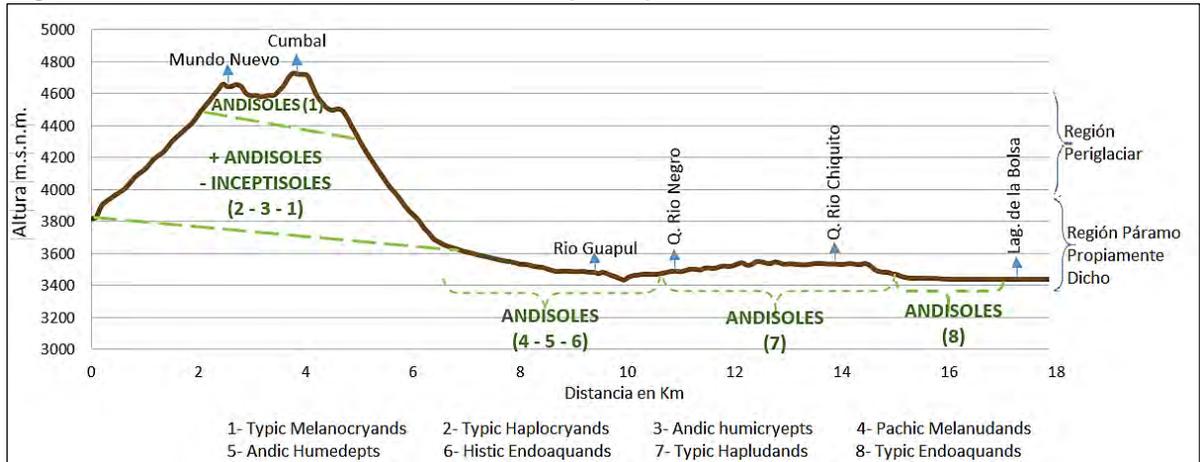
Dentro de esta subregión los procesos formadores del suelo son más evidentes, ya que a diferencia de las zonas periglaciares, aquí se destaca el proceso de adición de materiales orgánicos, aunque el grado de descomposición de la materia sea bajo. En algunos sectores, como en el flanco nororiental del C.V. Cumbal, se observan suelos fosilizados e hipotéticamente se presenta pérdida de materiales por erosión, especialmente en las zonas que están siendo transformadas por el hombre, lo cual eventualmente puede repercutir en un proceso de lixiviación de los elementos solubles.

En el siguiente gráfico puede observarse una distribución aproximada del orden de los suelos del área de estudio, teniendo en cuenta las regiones bioclimáticas propuestas por Malagón y la información del Estudio General de Suelos a escala 1:25.000 realizado por el IGAC en el 2014.

⁸³ *Ibíd.*, p. 208.

⁸⁴ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de suelos de páramos de la cordillera Central y Occidental de Colombia, escala 1:25.000. Bogotá IGAC. 2014.

Figura 22. Distribución altitudinal de los principales suelos del C.V. Cumbal



Fuente: este estudio.

8.3.1 Descripción de las consociaciones de los suelos del C.V. Cumbal. La información cartográfica de las diferentes consociaciones de suelos del C.V. Cumbal fue tomada del Estudio General de Suelos de los Páramos de la Cordillera Central y Occidental de Colombia realizado a escala 1:25000 por el IGAC en el año 2014, mientras que la descripción de las unidades se basó en los documentos técnicos del “Estudio técnico, socioeconómico y biofísico para la delimitación de los complejos de páramos Doña Juana – Juanoy, Chiles - Cumbal y La Cocha - Patascoy”⁸⁵.

Teniendo en cuenta el ambiente volcánico sobre en el cual se presentan los procesos edafogenéticos, los suelos del C.V. Cumbal se desarrollan en su mayor medida sobre materiales volcánicos como cenizas volcánicas, flujos piroclásticos y lahares; en menor proporción el material parental se relaciona con materias orgánicas en descomposición, permitiendo así que los principales suelos formados correspondan al orden de los Andisoles.

A continuación se describen los principales suelos del área de estudio teniendo en cuenta su clasificación en paisajes y clima, así mismo al final del subcapítulo se encuentra el mapa de consociaciones de los suelos presentes en el C.V. Cumbal.

8.3.1.1 Suelos en paisajes de montaña y clima extremadamente frío húmedo, muy húmedo.

⁸⁵ UNIVERSIDAD DE NARIÑO; IAvH. Estudio técnico, socioeconómico y biofísico para la delimitación de los complejos de páramos Doña Juana – Juanoy, Chiles - Cumbal y La Cocha - Patascoy. Pasto 2015.

- **Consociación EN046:** esta unidad ocupa un área de 195.2ha representando un 1.79 del área de estudio. Se localiza en la parte más elevada del C.V. Cumbal, desde los 4.300 hasta los 4.764 m.s.n.m. haciendo parte de los conos volcánicos activos de Mundo Nuevo y Cumbal. Estos suelos se componen por las fases “e” y “f”, lo cual quiere decir que tienen pendientes entre el 25 y 75% (ligeramente escarpada y moderadamente escarpada). Geomorfológicamente se distribuyen sobre flujos de lavas recientes y subrecientes, similarmente, considerando la información geológica del SGC y los recorridos en campo, el material parental se relaciona con lavas andesíticas y otros materiales volcánicos como bloques, lapilli y ceniza.

Se consideran suelos superficiales que tienen abundantes contactos líticos y escasa vegetación, por lo tanto se favorece el escurrimiento hídrico. Estos suelos están sometidos a variaciones térmicas que traen consigo, en algunas ocasiones, ciclos cortos de hielo/deshielo que pueden segregar algunas rocas en materiales más finos, eso sí, la mayor parte de elementos finos es originada por eventos vulcanológicos.

Según el IGAC, citado por la Universidad de Nariño e IAvH⁸⁶ las propiedades físico – químicas de estos suelos se caracterizan por: ser bien drenados, tener una reacción fuertemente ácida, pH entre el 4,7 y 4,9, alto aluminio intercambiable y baja densidad aparente. Por otra parte, taxonómicamente se conforman en un 90% por los *Typic Melanocryands*.

- **Consociación ES052:** es la consociación de mayor extensión en el área de estudio con 3582.5 ha (32.85%). Se localizan sobre casi todas las laderas que conforman el edificio del C.V. Cumbal, especialmente en los flancos norte y oriental donde geomorfológicamente predominan flujos de lavas subrecientes. Se componen por las fases “b”, “d”, “e”, “f” y “g” lo cual representa pendientes que van desde ligeramente inclinadas a fuertemente escarpadas.

Son suelos desarrollados a partir de mantos de ceniza volcánica que recubren materiales más resistentes como lavas y flujos piroclásticos. Se ubican aproximadamente sobre el páramo propiamente dicho lo cual hace que se constituya una cubierta vegetal protectora de los procesos erosivos.

Teniendo en cuenta las propiedades físico-químicas son suelos bien drenados, pH fuertemente ácido, alto aluminio, retención alta de humedad y alta porosidad. Taxonómicamente se conforman por los *Typic Haplocryands* los cuales corresponden al orden de los Andisoles.

⁸⁶ *Ibíd.*, Entorno local complejo de páramos Chiles – Cumbal.

- **Consociación ES099:** en el área de estudio se localizan de forma dispersa, concentrándose en mayor medida sobre el flanco oriental del C.V. Cumbal y sobre las laderas que conforman la caldera volcánica del Cumbal Antiguo. Se conforma por las fases “b”, “c”, “d” y “f” lo cual significan que tienen pendientes de ligeramente inclinadas a moderadamente escarpadas. Similarmente a la anterior consociación se localizan sobre el páramo propiamente dicho y la erosión no es evidente.

Físico – químicamente se caracterizan por ser tener texturas francas, son profundos, bien drenados, fuertemente ácidos, alto contenidos de aluminio y en algunas relaciones el intercambio catiónico es bajo. Taxonómicamente se conforman principalmente por los *Typic Melanocryands*. Esta unidad tiene un área de 1018 ha abarcando un 9.33 % del C.V.C.

- **Consociación EQ045:** Es una de las unidades de menor extensión (206.2 ha), se localiza en el flanco nororiental del C.V. Cumbal en la cuenca alta de las quebradas El Pistejo y Pilches cubriendo un área de 206 ha con una pendiente fuertemente inclinada (fase “d”). Son suelos bien drenados, extremadamente ácidos, alto aluminio intercambiable y baja erosión debido a que se ven recubiertos por vegetación natural. Taxonómicamente se componen de los *Lithic Haplocryands* perteneciendo al orden de los Andisoles.

- **Consociación EA066:** esta consociación se localiza sobre el tipo de relieve que el IGAC denomina como artesas, las cuales corresponden a las paredes laterales de los valles glaciares, caracterizadas por presentar pendientes que varían entre moderadamente inclinadas a fuertemente escarpadas. Teniendo en cuenta lo anterior se localizan en los valles de las quebradas London, Pistejo y Guastar en donde se ven protegidos por vegetación del páramo propiamente dicho y por bosque natural fragmentado, en ese contexto, la erosión no es apreciable, aunque en la quebrada London la frontera agrícola ha ido avanzando sobre las artesas. La extensión de esta consociación es de 488ha representando un 4.47 %.

Se caracterizan por ser fuertemente ácidos con altas concentraciones de aluminio que eventualmente representan un riesgo elevado de toxicidad. Se componen principalmente por los *Typic Hydrocryands* perteneciendo al orden de los Andisoles.

- **Consociación ES202:** se localizan en zonas que se han visto suavizadas por el paso de la masas glaciares y cuyos materiales de transporte han constituido morrenas de fondo y mediales, estas últimas, obturando la red de drenaje y determinando áreas de turberas. El material parental se asocia con depósitos orgánicos con diferentes grados de descomposición, por lo que se puede observar suelos pocos desarrollados.

Dentro de sus características físicas se resalta: la variabilidad en su profundidad, su alta capacidad de retención de agua y su bajo drenaje; mientras que en su química

sobresale la fuerte acides y la baja cantidad de nutrientes, por lo que se puede afirmar que son suelos infértiles en términos de productividad. Taxonómicamente se componen de los suelos *Terric Cryofibrists* y *Folistic Haplocryands*, perteneciendo al orden de los Histosoles. El área de esta unidad es de 164.6ha que representan tan solo un 1.51 % del total del área de estudio.

- **Consociación EC060:** se localizan en las cabeceras de los valles glaciares por los cuales drenan las quebradas London y Pistejo, presentando una pendiente fuertemente inclinada y ligeramente escarpada, viéndose cubiertos por la vegetación de bosques achaparrados, aunque también se pueden observar afloramientos rocosos. Taxonómicamente se conforman por los *Andic Humicryepts*, perteneciendo al orden de los *Inceptisoles*. Únicamente representan el 0.81% del área de estudio con 88.8ha.

- **Complejo EA230:** en el área de estudio se localizan de forma dispersa, ocupando un área de 45.5ha. Están principalmente sobre el fondo de los valles glaciares y en morrenas de fondo y cubriendo un área de 45 ha. Físico – químicamente se caracterizan por ser superficiales y con alto nivel freático debido a su origen principalmente orgánico, tienen pH fuertemente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico, variabilidad en el nivel de aluminio y densidad aparente baja. Taxonómicamente se conforman por los *Typic Cryofibrists* el cual pertenece al orden de los histosoles.

8.3.1.2 Suelos en paisajes de montaña y clima muy frío muy húmedo.

- **Consociación GS192:** es la segunda mayor unidad con 1563ha (14.33%). Se localizan principalmente sobre las laderas de las calderas volcánicas de Cumbal Antiguo y Colimba, sobre el fondo del valle glaciar de la quebrada London y en algunos flujos de lava hacia el norte del C.V. Cumbal. Se conforma por las fases “c”, “d”, “e”, “f” y “g” lo cual representa relieves con pendientes moderadamente inclinadas a fuertemente escarpadas.

Se caracterizan por ser suelos profundos, bien drenados, con alta presencia de nutrientes en su horizonte más superficial, pH con valores entre 4.1 y 4.3, alto contenido de aluminio intercambiable e intercambio catiónico alto en todos los horizontes. La consociación se conforma taxonómicamente por los *Pachic Melanudands* y *Typic Melanudands*, haciendo parte del orden de los Andisoles.

- **Consociación GH139:** es la tercer unidad con mayor extensión (1216.1 ha) se localizan en el flanco oriental y suroriental del C.V: Cumbal, en la zona de piedemonte hacia la laguna de La Bolsa y se constituyen por las fases “a”, “b”, “c”, “d” y “e”, por lo cual se puede decir que tienen una pendiente que varía entre ligeramente plana y ligeramente empinada, sobre un relieve colinado.

Estos suelos cobran importancia dentro del área de estudio por dos razones; la primera se relaciona con que sobre éstos se realizan la mayor parte de las actividades agropecuarias de la zona, mientras que la segunda radica en el material parental que subyace a la formación superficial el cual se compone por flujos piroclásticos y lahares que descendieron por el flanco oriental.

Se caracterizan por ser suelos profundos, bien drenados, fuertemente ácidos y de fertilidad baja. Taxonómicamente se componen por los *Typic Hapludands* y *Alic Hapludands* perteneciendo al orden de los Andisoles.

- **Consociación GZ186:** esta consociación se conforma por las fases “a”, “b” y “c”; se localiza en el nororiente del área de estudio sobre la base de la denominada caldera de Colimba por donde drena la quebrada El Tambillo y sobre terrazas glaciovolcánicas en un relieve que varía entre plano a plano-ondulado. Similarmente a la consociación anterior, estos suelos se desarrollan sobre materiales volcánicos (principalmente arena) y sobre ellos se desarrollan actividades económicas como la ganadería, en tanto que las pasturas se alternan con vegetación de páramo lo que hace evidente un proceso constante de transformación y adaptación.

Los suelos se caracterizan por ser muy profundos, bien drenados, moderadamente ácidos con mayor acidez hacia los horizontes más profundos y sin sobresaturación de aluminio. Taxonómicamente se conforman por los *Pachic Melanudands* y *Aquic Hapludands* los que a su vez pertenecen a la orden de los Andisoles. Constituyen un 8.64% del C.V. Cumbal abarcando un área de 942.5 ha.

- **Consociación GZ107:** estos suelos se localizan sobre la base de la caldera del Cumbal Antiguo en el oriente del área de estudio desarrollándose a partir de depósitos orgánicos con diferente grado de alteración. Son suelos superficiales y mal drenados lo cual sumado a la baja pendiente hace que sean propensos al encharcamiento y anegación. Geomorfológicamente corresponden a los bordes de sedimentación lacustre de la laguna de La Bolsa.

Teniendo en cuenta sus características físico-químicas, como por ejemplo, la fuerte acidez y el nivel freático, son suelos con bajos niveles de productividad y deberían tener un uso exclusivo para la conservación, pese a esto, actualmente se desarrollan actividades de tipo pecuario y también se drena el suelo mediante la creación de canales artificiales. Taxonómicamente se conforman por los *Typic Endoaquands* el cual es un Andisol y por los *Typic Haplofibrists* que corresponde a un Histosol. En el C.V. Cumbal conforman un área de 460.4ha las cuales representan un 4.22% del total.

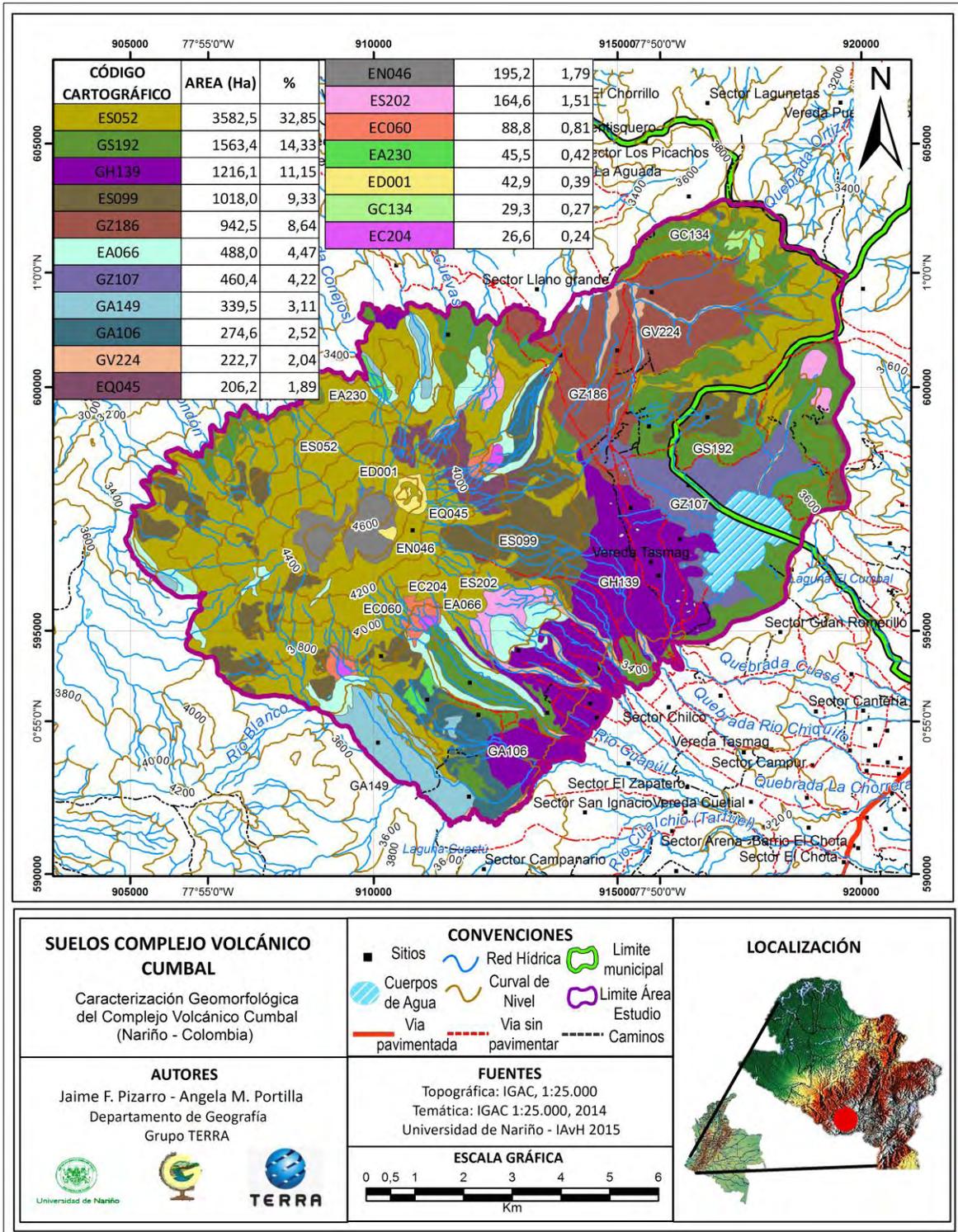
- **Consociación GA149:** son suelos con una extensión de 339.5ha cuyo origen se relaciona con los modelados de erosión glaciaria y su posterior

recubrimiento por materiales volcánicos. En el área de estudio se localizan sobre las morrenas de fondo y de retroceso del valle glaciar del Rio Blanco como también en el norte sobre valles glaciares parcialmente sepultados. Esta consociación se compone de las fases “c”, “d”, “e” y “g” lo cual representa pendientes que varían entre moderadamente inclinadas a fuertemente escarpadas.

Se caracterizan por ser suelos profundos y bien drenados, con baja presencia de nutrientes como el Ca, K, Mg y Na, capacidad media de intercambio catiónico y alto contenido de CO. Los componentes taxonómicos de esta consociación hacen parte del orden de los Andisoles.

- **Complejo Gv224:** esta consociación se localiza en un relieve que de acuerdo al IGAC se denomina como *vallecitos*, cuyo origen se debe a la capacidad de disección que tiene la red hídrica de mayor orden y a procesos de sedimentación aluvial muy sectorizados. Geomorfológicamente estos suelos se encuentran en la parte baja de los escarpes de disección de ríos y quebradas como el Rio Negro y por ende se desarrollan sobre depósitos coluvio-aluviales intercalados eventualmente con cenizas volcánicas. Teniendo en cuenta su composición taxonómica puede afirmarse que corresponde al orden de los Entisoles. Únicamente abarca el 2.0% del área de estudio con un área de 222.7ha.

Figura 23. Consociaciones de suelos



Fuente: este estudio.

9. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y MORFODINÁMICA DEL C.V. CUMBAL.

En el presente capítulo se describen los resultados finales concernientes a la caracterización de unidades geomorfológicas en el área de estudio (Ver anexo: Mapa de Unidades Geomorfológicas del C.V.Cumbal). De igual forma en las figuras 24, 25 se sintetizan los subgrupos de sistemas morfogénicos y los sistemas morfogénicos identificados mediante fotointerpretación y clasificados con base a la propuesta del IDEAM y Flórez.

9.1 ASPECTOS GENERALES

- **Estimación del piso periglacial mediante la distribución espacial de la Temperatura:** Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de estaciones meteorológicas para el área de estudio (problema que se presenta en general para toda la alta montaña colombiana), a continuación se describen las variables climatológicas de Temperatura, las cuales son las que de mejor manera se pueden analizar de acuerdo a los tipos de estaciones que existen cerca al C.V. Cumbal. La información de las estaciones meteorológicas fue suministrada inicialmente por el IDEAM y fue procesada por el Grupo de investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA del proyecto “Estudio técnico socioeconómico y ambiental de los complejos de paramaos Chiles-Cumbal, La Cocha-Patascoy y Doña Juana-Chimayoy como insumo para su delimitación”⁸⁷, en tanto que la generación del mapa de la distribución espacial de la temperatura fue realizado en esta investigación.

Temperatura. La distribución espacial de la temperatura media anual se obtuvo con base a un registro histórico de 30 años tomando en cuenta la mayoría de estaciones que existen para la región andina nariñense. Debido a que la T° es una variable cuyo comportamiento se ve influenciado principalmente por la variación altitudinal, durante el proceso de interpolación fue necesario tomar en cuenta el gradiente altitudinal empleando la siguiente fórmula en el comando de álgebra de mapas del programa ArcGIS 10.2:

- $T_{det} = T_m + (g * (Z_{det} - Z_{est}))$
- $T_m = T_{det} + ((g * (Z_{DEM} - Z_{det}))$

Dónde:

T_{det}: es la temperatura de la estación a una altura base

⁸⁷ UDENAR; IAVH. Estudio técnico socioeconómico y ambiental de los complejos de paramaos Chiles-Cumbal, La Cocha-Patascoy y Doña Juana-Chimayoy como insumo para su delimitación.2015.

Tm: es la temperatura mensual de cada estación
g: es el gradiente definido por defecto, tras insertar la línea de tendencia en el gráfico de dispersión
Zdet: es el valor altitudinal base que se da para igualar todas las estaciones
Zest: es la elevación real de cada una de las estaciones
ZDEM: es el modelo digital de elevación que se usara

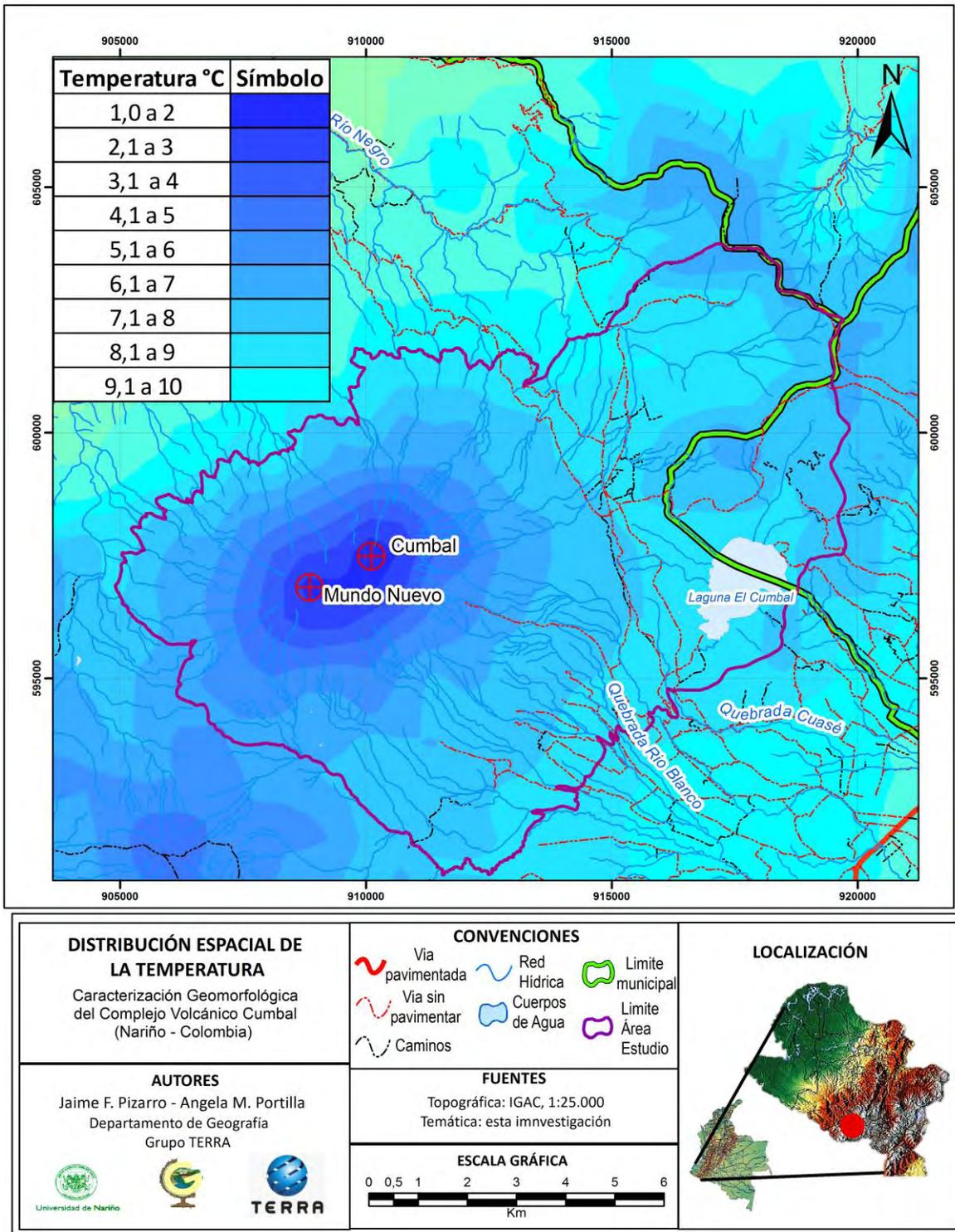
De acuerdo a los resultados obtenidos puede manifestarse que el área de estudio se distribuye en un rango térmico que oscila entre los 0.9°C y 9°C, donde los valores más bajos se localizan por encima de la cota de los 4.500 m.s.n.m., en tanto que las temperaturas mayores se observan en el sector oriental sobre la laguna de La Bolsa y hacia el altiplano de Tuquerres – Cumbal; también puede decirse que no se observan variaciones térmicas significativas en las dos vertientes que conforman el C.V. Cumbal, sino que se ratifica que el comportamiento de esta variable se condiciona por la variación altitudinal.

Un posible piso periglacial: como se mencionó en el marco conceptual, el concepto periglacial inicialmente fue empleado para describir las zonas perimetrales a una masa glacial en donde los principales procesos morfogénicos son los relacionados con la abrasión producto de los ciclos de hielo y deshielo en pulsos de tiempo de carácter diurno o no permanente en el tiempo. No obstante, los procesos periglaciares o proglaciares no se presentan solo en los bordes de una masa glacial ya establecida, sino que estos dependen fundamentalmente de la presencia de características térmicas y de humedad propias para esta condición.

Así entonces, teniendo en cuenta la distribución espacial de la temperatura (Ver figura 24) se propone como límite aproximado de los procesos crionivales la cota altitudinal de los 4.550 m.s.n.m., la cual indica el comienzo de la temperatura de 1°C el cual es el valor que más se aproxima al punto de congelación en el área de estudio.

Si bien para determinar un piso geomorfológico periglacial deben tenerse en cuenta evidencias de crioclastia, las características morfológicas de los depósitos volcánicos recientes existentes en las partes más altas del C.V Cumbal hacen que este trabajo requiera mucho más cuidado y detalle, ya que el fracturamiento de rocas puede tener origen en el tipo de actividad explosiva y no en procesos abrasivos.

Figura 24. Distribución espacial de la T°. C.V. Cumbal.



Fuente: este estudio.

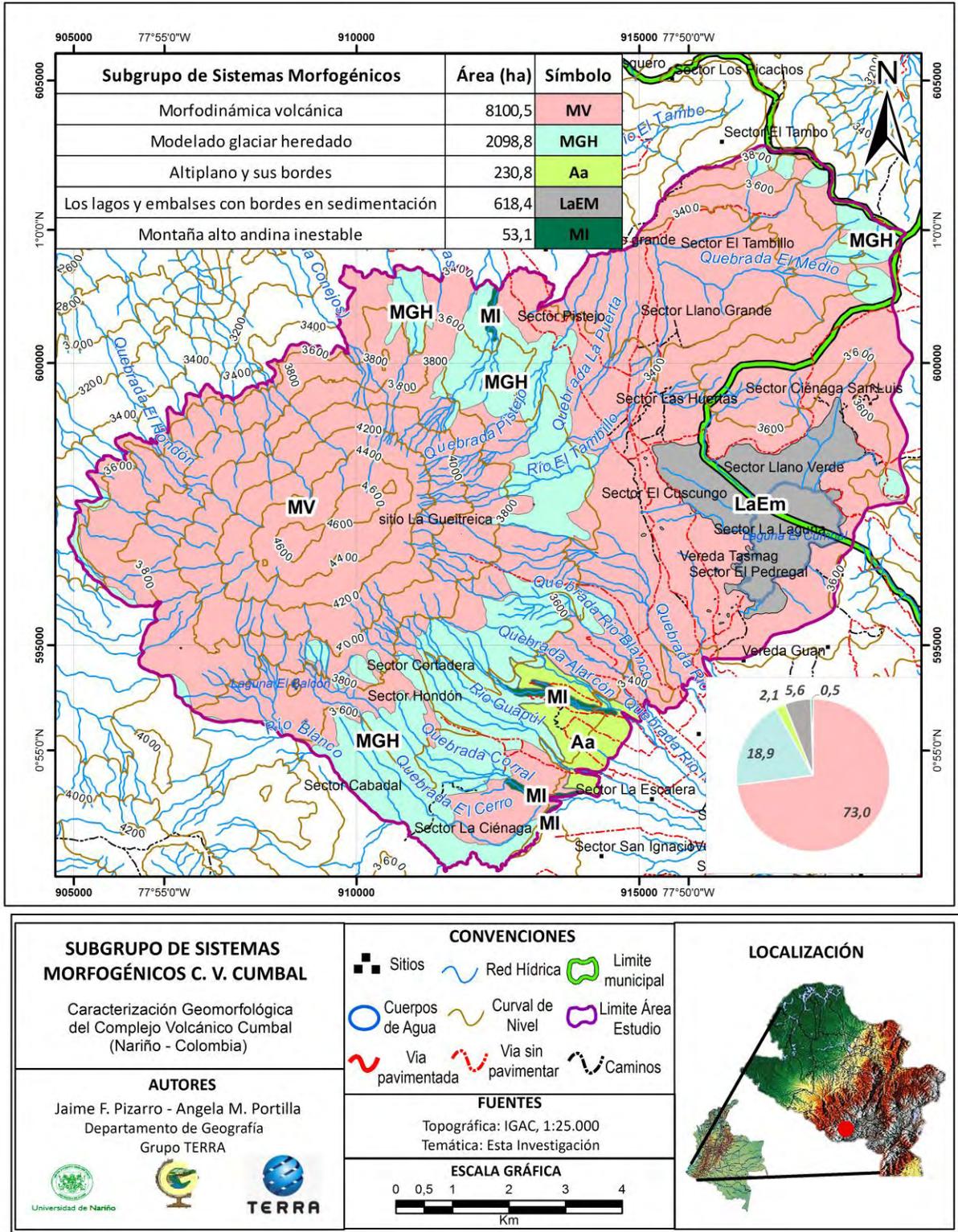
- **Subgrupo de sistemas morfogénicos:** la Geomorfología del C.V. Cumbal es el resultado de la interacción de procesos de naturaleza endógena como el vulcanismo, así como de otros de carácter denudacional relacionados principalmente con la acción de agentes erosivos como el agua y el hielo. En consecuencia de lo anterior, el área de estudio se caracteriza por presentar cinco subgrupos de sistemas morfogénicos que por orden de extensión abarcan la: morfodinámica volcánica (73%), el Modelado Glaciar Heredado (18,9%), los Lagos y Embalses con Bordes de Sedimentación (5,6%), los Altiplanos y sus Bordes (2.1%), y la Montaña Altoandina Inestable (0.5%). (ver figura 25).
- **Sistemas morfogénicos:** Los sistemas morfogénicos corresponden al tercer nivel de jerarquización y clasificación de las unidades geomorfológicas. Dadas las variadas características en procesos formadores y modeladores del relieve en el área de estudio se encontraron 11 sistemas morfogénicos que integran un total de 40 unidades geomorfológicas de carácter areal. De esta manera, en la siguiente tabla se pueden observar los diferentes sistemas y su extensión en el área de estudio. (ver figura 26)

Tabla 4. Sistemas morfogénicos.

Sistemas Morfogénicos	Área	%
Altiplano en ambientes volcánicos	230,8	2,1
Área de sedimentación fluvio lacustre	393,3	3,5
Laguna en calderas volcánicas	222,6	2,0
Lagunas en flujos piroclásticos	2,1	0,0
Lagunas glaciares	0,5	0,0
MGH en ambientes volcánicos activos	2098,8	18,9
Modelado de disección	53,1	0,5
Morfodinámica volcánica antigua-Cumbal Antiguo	2082,4	18,8
Morfodinámica volcánica antigua-Cumbal Moderno	1251,1	11,3
Morfodinámica volcánica subreciente-Cumbal Moderno	2656,0	23,9
Morfodinámica volcánica reciente-Cumbal Moderno	2111,0	19,0

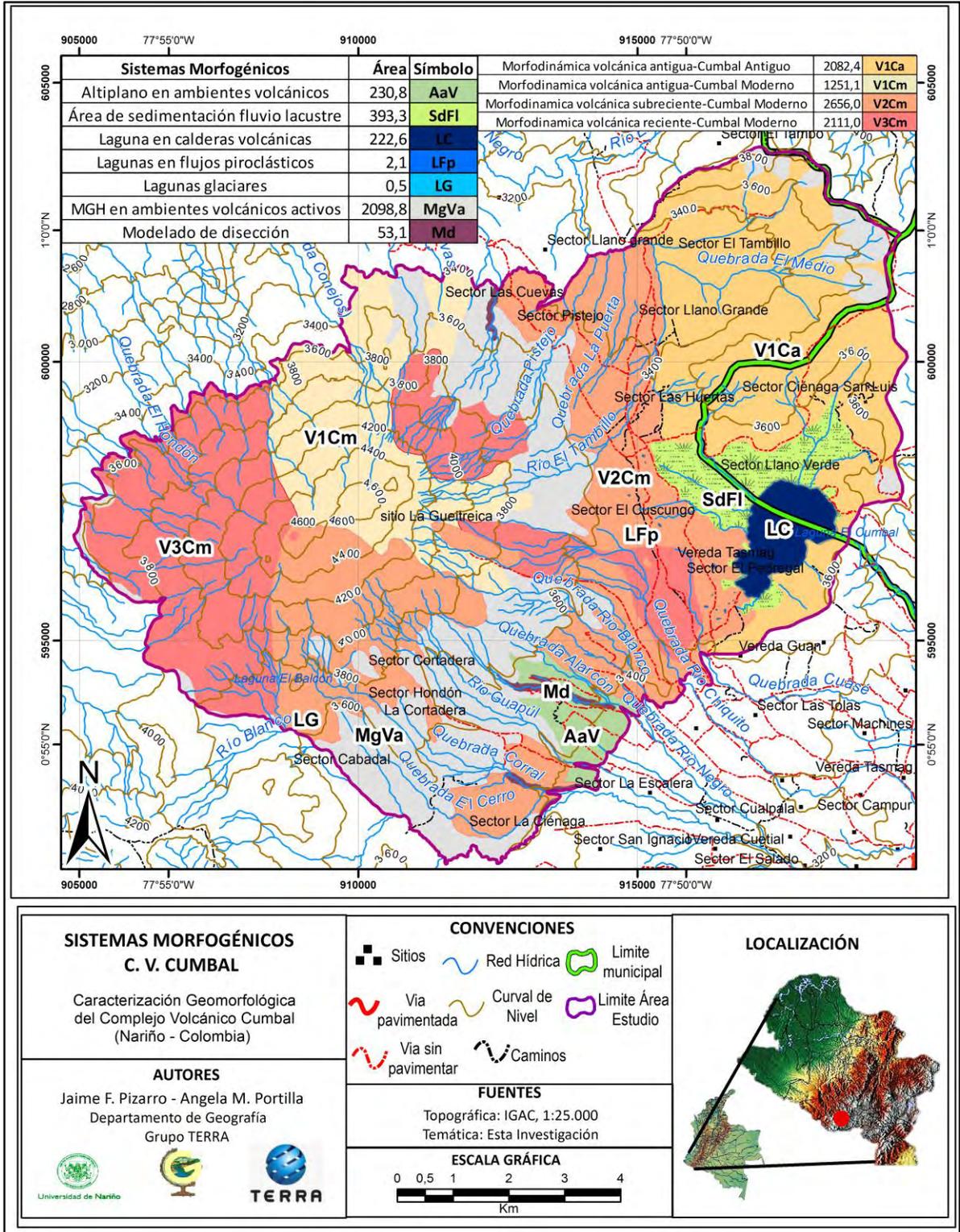
Fuente: este estudio.

Figura 25. Subgrupos de sistemas morfogénicos



Fuente: este estudio.

Figura 26. Sistemas morfogénicos.



Fuente: este estudio.

9.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL C.V. CUMBAL

9.2.1 Altiplanos y sus bordes. Este subgrupo, hace referencia a relieves planos a levemente ondulados incluyendo los bordes que corresponden generalmente a conos de deyección. Según Florez⁸⁸, los altiplanos son depresiones de origen tectónico que se formaron en medio de las cordilleras como resultado de los procesos endógenos de plegamiento y fallamiento y posterior levantamiento, a este proceso orogénico también se le suma la ocupación de estas depresiones por cuerpos de agua, lagos, que con el transcurrir del tiempo han sido colmatados tras la acumulación de depósitos fluvio lacustres, dejando una superficie plano ondulada denominada altiplano.

Los altiplanos y sus bordes, en su clasificación como subgrupo son entendidos como una unidad del paisaje o macroformas mixtas del relieve que presentan patrones homogéneos y modelados representativos de la media y alta montaña en los Andes. En consecuencia, los altiplanos, por su ubicación altitudinal en medio de sistemas montañosos y sus características morfológicas, desarrollan ecosistemas de gran diversidad biológica altamente especializada para tolerar condiciones restrictivas como: mayor número de días con heladas, altas temperaturas durante el día y muy bajas durante la noche, descongelamiento diario de los suelos y fuerte radiación solar, entre otras, que hacen de estas zonas de gran importancia ecológica, susceptibles a procesos de desertificación, los cuales, se pueden acelerar por la intervención antrópica.

El subgrupo, *los altiplanos y sus bordes*, el IDEAM, los clasifica dentro de la montaña media o sea por debajo de los 2.700 ± 100 m. En el área de estudio la unidad geomorfológica que hace parte de este subgrupo se encuentra por encima de los 3.300 m.s.n.m. por lo que se clasifica dentro de *la montaña alta* y al piso bioclimático alto andino. Dentro de este subgrupo se encuentra dos sistemas morfogénicos: altiplanos en ambientes volcánicos y altiplanos en ambientes no volcánicos, para el caso específico del C.V. Cumbal se estaría hablando de ambientes volcánicos.

9.2.1.1 Altiplano en ambientes volcánicos. Como se mencionó anteriormente, los altiplanos tienen un origen tectónico y lacustre, y en ese proceso de colmatación por el aporte de sedimentos transportados desde las partes altas, la actividad volcánica, juega un papel importante en su formación superficial y por ende en su composición, dándole así unas características particulares. Para el caso del área de estudio existe una alta influencia volcánica asociada al vulcanismo de las cordilleras central y centro occidental que aportaron gran cantidad de sedimentos a los altiplanos adyacentes. Dentro de este sistema morfogénico se identificó una unidad geomorfológica que se describe a continuación.

⁸⁸ FLÓREZ, Antonio. Colombia: evolución de sus relieves y modelados. Op cit. p.117.

• **Altiplano (A):** teniendo en cuenta la morfogénesis de los altiplanos que se describió anteriormente, en el área de estudio se tiene un solo altiplano de origen propiamente estructural, éste se localiza al suroriente del área de estudio, el cual por fuera del límite del área se extiende hacia el norte, cubriendo un área aproximada de 14.871,33 hectáreas, conformando lo que se conoce como el altiplano de Tuquerres – Ipiales, cabe mencionar que es un error denominarlo así puesto que el altiplano como tal se ubica entre Tuquerres y Cumbal. Dentro del área de estudio se abarca 230,75 ha. del que equivale al 1.5% de su área total.

El altiplano de Tuquerres - Ipiales en su totalidad se encuentra por encima de los 3.000 m.s.n.m. y en la parte correspondiente al área de estudio se encuentra entre los 3.350 hasta los 3.550 m.s.n.m. con pendientes que varían de 0 a 12 grados esto significa que los procesos y modelados están asociados a la montaña alta, donde priman los procesos relacionados a la actividad volcánica y al modelado glaciario heredado, pero también existe unas características bioclimáticas específicas que es necesario tener en cuenta a la hora de analizar los procesos internos de esta unidad geomorfológica.

Geológicamente, según Pinilla et al⁸⁹, este altiplano tiene un basamento de rocas del cretácico superior de los grupos Dagua y Diabásico, los cuales fueron plegados y deformados dando origen a una paleo cuenca sobre la cual se desarrollaron diferentes centros eruptivos. Estructuralmente existen múltiples fallas más o menos paralelas que inciden en la zona, donde sobresalen la falla de Guachucal que limita todo su borde oriental y hacia el occidente por el sistema de fallas Cali-Patía de carácter inverso, formado una franja de subducción oblicua.

La morfología de este altiplano, corresponde a un relieve plano con algunos montículos muy bajos, lo que condiciona la red de drenaje poco profunda. Aunque, cabe mencionar que la parte del altiplano que se encuentra dentro del área de estudio, presenta una mayor inclinación, la cual, disminuye a medida que se aleja del volcán Cumbal, dado que al pie de éste hay una mayor acumulación de depósitos, fenómeno que es muy común en los bordes de los altiplanos donde hay un mayor aporte de sedimentos de las partes altas. Evidenciándose así en esta parte una mayor profundización del cauce formándose escarpes de disección por donde desciende la quebrada Río Negro, pero que tampoco supera los 5m de profundidad. Por otra parte, las capas de ceniza hacen de estos suelos altamente permeables por lo que las quebradas disminuyen su caudal y al adentrarse al altiplano la baja o nula pendiente forman causes sinuosos de muy baja densidad.

⁸⁹ PINILLA, A. et.al. Memoria explicativa de la cartografía geológica y geomorfológica del Altiplano Nariñense. Tomo I. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá. 2007. p. 74

En cuanto a su composición, de acuerdo a los estudios realizados por el Pinilla et al⁹⁰, se tiene inicialmente un basamento cretácico que fue recubierto por lavas andesíticas, flujos de piroclastos y escombros providentes de los volcanes aledaños durante el plioceno y el pleistoceno, mientras en el holoceno priman los depósitos lacustres y aluviales recientes, con incidencia de las glaciaciones que posterior a la deglaciación hubo un importante acarreo de materiales hacia el altiplano. Actualmente éste se encuentra en un estadio evolutivo “*sedimentados en estadio de disección*”⁹¹ lo que significa que presenta altos niveles de degradación en los bordes principalmente, que sumado a la fuerte intervención antrópica acelerara los procesos de desertificación que se evidencia tanto en el cárcavamiento y truncamiento de los suelos como en la perdida de la capacidad de almacenamiento de agua subterránea.

Figura 27. Altiplano Tuquerres – Cumbal.



Fuente: Portilla, Angela 2015

9.2.2 Los lagos y embalses con bordes de sedimentación. De acuerdo al IDEAM este subgrupo de sistemas morfogénicos, agrupa los cuerpos de agua ya sean lagos naturales o embalses, que ocupen depresiones tectónicas u otras formas del modelado, y los bordes de sedimentación que se asocian a procesos naturales o antrópicos del retroceso de las lagunas tras la acumulación de sedimentos. Sin embargo, en la clasificación del IDEAM no se desarrolla una diferenciación de las áreas sedimentadas de los cuerpos de agua, esto debido a la escala de trabajo, que para el caso de esta zonificación si se clasifican estas áreas en diferentes sistemas morfogénicos acorde al origen o ambiente de formación en cuatro sistemas morfogénicos: área de sedimentación fluvio lacustre, laguna en caldera volcánica, lagunas en flujos piroclásticos y Lagunas glaciares.

⁹⁰ PINILLA, A., et al. El Neogeno Volcánico en el Altiplano Nariñense, suroccidente Colombiano. Op cit. p. 71.

⁹¹ FLÓREZ, Antonio. Op. Cit., p.122.

9.2.2.1 Áreas de sedimentación fluvio-lacustre. Este sistema morfogénico se lo incorporó al subgrupo de sistemas morfogénicos *los lagos y embalses con bordes de sedimentación*, con el fin de diferenciar las áreas de sedimentación de los cuerpos de agua propiamente dicho, y clasificar todas las unidades geomorfológicas que tiene un origen lacustre o fluvio lacustre, identificándose cuatro unidades.

•**Altiplano (LSA):** se localiza al nororiente del área de estudio a los 3.400 m.s.n.m con una pendiente que oscila entre los 0 a 3°. Su origen se remonta a dos procesos morfodinámicos del relieve, el primero al colapsamiento del antiguo volcán Cumbal dejando una caldera volcánica, depresión que posteriormente fue ocupada por una laguna al ser represada por un flujo piroclásticos, la cual paulatinamente se ha venido sedimentando dando origen a una altiplano, razón por la cual esta unidad se clasifica dentro de éste sistema morfogénico y no en los altiplanos de origen estructural, ya que básicamente esta planicie corresponde a un área de sedimentación fluvio-lacustre (ver figura 28). De acuerdo a los estadios de evolución propuestos por Flórez para los altiplanos, se podría decir que éste es joven o reciente ya que parte de él se encuentra todavía en estadio lacustre, por lo que la laguna en si vendría siendo un proto-altiplano.

Figura 28. Altiplano laguna de La Bolsa.



Fuente: Portilla, Angela, 2015 *En la parte superior izquierda de la fotografía se puede observar la laguna de la Bolsa, en el margen inferior parte del borde de la caldera volcánica y en la parte superior derecha el sistema de colinas, los cuales, delimitan el área plana de sedimentación lacustre que corresponde al altiplano.*

Este altiplano cuenta con un área aproximada de 355,28 ha, las cuales se encuentran limitadas hacia el norte y oriente por las laderas de la caldera volcánica, hacia el sur por la laguna de la Bolsa y al occidente por colinas que corresponden a flujos piroclásticos. En cuanto a la composición de los materiales del altiplano, aunque no hay estudios detallados, según el trabajo de campo (ver figura 29) se

podría decir que predominan los materiales finos como arcillas. El estudio general de suelos⁹² nos dice que para esta zona el material parental corresponde a cenizas volcánicas sobre depósitos fluvio-lacustres. Los altos niveles freáticos denotan suelos permeables y poca profundización de los canales, con una disección leve de quebradas que han sido canalizadas para evitar el desbordamiento de las mismas, reduciendo las áreas inundables y acelerando los procesos de disección, lo que posteriormente puede llevar a acelerar la degradación del altiplano.

Por su morfología plana es de atracción para el desarrollo de actividades agropecuarias, pese esto, estas geoformas son bastante frágiles a degradarse dado las características de sus suelos fuertemente ácidos y de baja fertilidad. La adecuación de estos para actividades agropecuarias puede traer consigo graves problemas ambientales como la pérdida de reservas de agua subterránea, afectación a la biota que se desarrolla en estos ecosistemas y posiblemente se acelere el retroceso de la laguna por un aumento en aporte de sedimentos.

Figura 29. Canales en el altiplano laguna de La Bolsa



Fuente: Portilla,Angela 2015, Canales de 50 a 60 cm aproximadamente.

• **Depósitos lacustres (LSL) y fluvio-lacustres (LSF):** se encuentran en los bordes de la laguna de La Bolsa, con pendientes no mayores a tres grados, los cuales se conocen como formaciones superficiales. Estos depósitos hacen parte del proceso de sedimentación de la laguna, que posterior al retroceso de ésta deja tras de sí materiales finos que corresponden principalmente a arcillas y limos, desarrollando suelos profundos, con muy alto nivel freático y por ende fuertemente ácidos. En las fotografías áreas se diferencian porque tiene tonos más claros y con puntos o manchas negras que corresponden a pequeños cuerpos de agua que quedaron aislados.

Estas zonas son altamente propensas a inundarse o encharcarse en épocas lluviosas, formándose turberas y en las partes aledañas a la laguna totorales. Dentro

⁹² INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Op. Cit., 2004.

del sistema morfogénico *áreas de sedimentación lacustre* se clasifico dos tipos de depósitos, *lacustres* y *fluvio lacustres* a razón de que al sur de la laguna de la bolsa se encuentra un depósito lacustre con un área aproximada de 21 hectáreas, sobre la cual transcurre un río meándrico no encajonado, el cual también aporta sedimentos en esta zona. Ambas unidades están ligadas morfogénicamente a la laguna de la Bolsa por tanto se clasificaran dentro del subsistema morfogénico *Los lagos y embalses con bordes en sedimentación*.

De igual manera estos depósitos lacustres se encuentran en diferentes estados de sedimentación como se puede observar en la figura 30. Se evidencia depósitos cubiertos parcialmente por cuerpos de agua muy poco profundos (zonas encharcadas), mientras otros depósitos con mayor proceso de sedimentación presentan un incipiente desarrollo de suelos y coberturas vegetales que corresponden a vegetación de páramo y turberas. Aunque no existe cuerpos de agua son suelos muy pantanosos con gran cantidad de agua saturada y en algunos casos albergan pequeñas lagunas.

Figura 30. Depósitos lacustres laguna de La Bolsa.



Fuente: Portilla, Angela 2015. *En la fotografía de la izquierda se puede observar la presencia de canales que aceleran los procesos de sedimentación de la laguna. En la fotografía de la derecha se muestra un depósito con una mayor acumulación de sedimentos, se diferencia por su tono marrón.*

- **Sistema meándrico no encajonado:** cuando una corriente de agua pierde pendiente y se adentra en una zona de leve inclinación o totalmente plana pierde fuerza de gravedad desplazándose lentamente y de forma sinuosa formando meandros. En el área de estudio este sistema meándrico se encuentra sobre un plano de inundación por lo que presenta una bifurcación moderada que corresponde a un depósito fluvio lacustre asociado a la laguna de La Bolsa. Tiene un área aproximada de 0,68 ha y una longitud aproximada de 0,4 km, el cual, no logra una disección profunda para formar escarpe o talud por lo que se le denomina no encajonado.

9.2.2.2 Lagunas en calderas volcánicas. Este sistema morfogénico se incorporó con el fin de clasificar los diferentes tipos de lagunas de acuerdo a la génesis y los procesos de formación, en este caso nos referimos a la laguna que se formó dentro de una caldera volcánica que para el caso del área de estudio es la más representativa tanto por sus características morfológicas como por su importancia cultural para las poblaciones cercanas.

- **Laguna (LLc):** Esta unidad geomorfológica corresponde a la laguna de la Bolsa, se localiza al oriente del área de estudio y abarca un área aproximada de 222,62 hectáreas, a la altura de los 3.430 m.s.n.m. con un ancho aproximado de 1,4 km y 2,29 km de largo, según la batimetría realizada por el SGC,⁹³ la máxima profundidad de la laguna es de 26,11 m y en promedio 14,56 m, con un volumen de agua cercano a los cincuenta millones de metros cúbicos, aguas que se caracterizan por ser frías alcanzado una temperatura en la superficie de 10°C aproximadamente.

Figura 31. Laguna de La Bolsa.



Fuente: Narváez, German 2011.

El origen de esta laguna está ligada a dos procesos, el primero, como se mencionó anteriormente al colapsamiento del antiguo edificio del volcán Cumbal, quedando una caldera volcánica, facilitando así la acumulación de agua, y el segundo, al represamiento de ésta por un flujo piroclásticos proveniente del actual volcán Cumbal. De acuerdo a las características morfológicas y morfogenéticas, se infiere que esta laguna era mucho más grande, abarcando toda el área de lo que ahora es un altiplano, esto se puede corroborar no solo en los materiales de la superficie del altiplano, sino también por el modelado generado en los bordes de toda esta área por el oleaje del agua, principalmente hacia el occidente donde limita con un sistema de las colinas (flujo piroclásticos). Por tanto inicialmente esta laguna cubría un área aproximada de 577 ha, de las cuales un 62% actualmente se encuentra sedimentado.

⁹³ TORRES, Roberto. Batimetría Laguna De La Bolsa o Laguna de Cumbal Municipio de Cumbal, Departamento de Nariño. Servicio Geológico Colombiano.2014.

Por otra parte, se podría decir que la acumulación de agua en esta zona no se debe netamente al escurrimiento superficial, sino también a los procesos de deglaciación de las masas glaciares que se acumularon en la parte alta de la caldera volcánica, donde actualmente se evidencia un modelado glaciar heredado, Según el Diagnostico físico biótico de la microcuenca laguna de la Bolsa,⁹⁴ la laguna se nutre de quebradas entre ellas la quebrada Cusculgo y el Capote que pertenecen al corregimiento de Mallamues (municipio de Guachucal) y da origen por infiltración al río Cuase, el cual abastece a la población de la cabecera de agua potable.

9.2.2.3 Lagunas en flujos piroclásticos. Este sistema morfogenico hace referencia a las lagunas que se formaron sobre flujos piroclásticos, con el fin de diferenciar morfogenéticamente de las lagunas de origen glaciar, aunque tiene características morfológicas similares su génesis es diferente, de igual forma estas se encuentran comparativamente a alturas más bajas que las lagunas de origen glaciar. Algunas de las características específicas se describen a continuación.

- **Lagunas (LLp):** se localizan al occidente del área de estudio, entre los 3.526 m.s.n.m. y los 3.450 m.s.n.m. en medio de un sistema de colinas que limitan al norte con el altiplano y la laguna de la Bolsa y al sur con un flujo lahárico. Como se mencionó anteriormente estas lagunas tiene su origen en un flujo piroclásticos proveniente del cráter Cumbal, depositándose al pie del volcán Cumbal formado un sistema de colinas, las cuales por su morfología facilitaron la acumulación de cuerpos de agua entre colinas en la parte cóncava de las mismas.

En total se identificaron 17 lagunas pertenecientes a este sistema morfogenico, estas lagunas son muy pequeñas, la de mayor tamaño tiene 3.396,21 m² y la de menor tamaño 281,5 m², en promedio tienen un área aproximada de 1219,4 m². Dado que no hay estudios batimétricos de estas lagunas, es difícil saber la profundidad de las mismas, por el trabajo de campo, pese a que se fue en el mes de octubre época lluviosa, se pudo observar que no son muy profundas y algunas se encuentran totalmente sedimentadas.

Figura 32. Lagunas en sistema de colinas (flujos piroclásticos).

⁹⁴ Ibid. 2014.



Fuente: Portilla, Angela 2015. *En las fotografías se puede observar los diferentes estadios de las lagunas. En el lado izquierdo tenemos una laguna que conserva su cuerpo de agua, mientras que en la fotografía de la derecha la laguna se ha sedimentado.*

9.2.2.4 Lagunas glaciares. Dentro de este sistema morfogénico, se clasifican todas las lagunas que tiene su origen en el modelado glaciar heredado, aunque para el caso del área de estudio, estas también presentan una alta influencia volcánica especialmente por flujos de lavas recientes y subrecientes que represan los cuerpos de agua que provenían inicialmente de masas glaciares.

- **Lagunas (LLg):** estas lagunas se catalogan de origen glaciar debido a que se formaron producto del deshielo de las masas glaciares que ocuparon la parte alta del C.V. Cumbal, las cuales quedaron represadas en cubetas de sobre-excavación, depósitos morrenicos y flujos de lavas. Algunas actualmente se encuentran sedimentadas dando lugar a turberas o zonas pantanosas.

En total se identificaron seis cuerpos lénticos pertenecientes a este sistema morfogénico, los cuales, se localizan principalmente en el flanco suroriental del C.V. Cumbal y solo una se identificó en el flanco nororiental. Estas lagunas se encuentran por encima de los 3.700 m.s.n.m. y se caracterizan por presentar una morfología semicircular de muy poca extensión, la más grande alcanza los 1710,36 m² mientras la más pequeña tiene 313,19m² en promedio tienen 1.526,27 m².

9.2.3 Modelado glaciar heredado. Según los registros para Colombia el modelado que dejaron los glaciares se evidencia principalmente en el último periodo glaciar que corresponde a la *pequeña edad glaciar*, ésta termino hace unos 160 años con su máxima extensión del hielo en su fase pleniglacial hace 35.000 y 25.000 años. Según Flórez los glaciares nevados empezaron a formarse hace unos 70.000 años y las montañas colombianas se cubrieron de hielo hasta alturas de 3.000 m ± 100 m las cuales actualmente están muy asociadas a la existencia de los páramos.

9.2.3.1 Modelado glaciar heredado en ambientes volcánicos activos. Dentro de este sistema morfogénico se clasificaron todas las unidades geomorfológicas de origen glaciar ya sean por procesos de erosión glaciar o de acumulación y

sedimentación del till glaciar. Por ende, el factor modelador es el hielo que dejó su huella tras de sí en las grandes elevaciones montañosas. El C.V. Cumbal es un estratovolcán activo histórico por lo que se clasifica dentro de la categoría *ambientes volcánicos activos*. Siendo la estructura volcánica más alta del departamento de Nariño dejó de considerarse nevado desde 1985 uno de los factores al acelerado retroceso del glaciar aparte de la extracción de hielo es la actividad volcánica. Razón por la cual se denomina *heredado* ya que actualmente no existen masas de hielo en su cumbre y las geoformas que se dieron a lugar son heredadas de los climas del pasado.

- **Circo glaciar suspendido (GCs):** según Gutiérrez⁹⁵, los circos glaciares se forman a partir de la acumulación de nieve en una depresión preexistente, lo que inicialmente se conoce como nicho de nivación, la cual a medida que la nieve se acumula se cristaliza formando hielo ensanchando la depresión por procesos como la crioclastia, dando origen a un circo embrionario, de igual forma el deslizamiento rotacional del hielo a partir de los procesos de ablación y abrasión glaciar profundiza la depresión dejando una superficie suave en la base por pulimiento, con paredes abruptas en tres lados con una apertura en la parte inferior donde desciende el glaciar, en algunos casos también se puede acumular en el borde inferior material de till dando lugar a un umbral que le da un aspecto al circo de cuenca rocosa. Las características morfométricas de los circos varían acorde a las condiciones microclimáticas de cada zona y al comportamiento del hielo.

Dentro del área de estudio se identificó once circos glaciares suspendidos, se denominan suspendidos porque quedan colgando con respecto a un valle glaciar u otra geoforma. Están concentrados en dos partes, en la caldera volcánica (antiguo edificio volcán Cumbal) y en el flanco oriental del C.V. Cumbal. Sobre la caldera volcánica hay en total 7 circos glaciares que están suspendidos con respecto a las laderas de la caldera, en alturas entre los 3.750 y 3.500 m.s.n.m. formando una especie de cinturón ya que están paralelamente consecutivos uno tras otro. Éstos presentan un mayor tamaño y un mejor estado de conservación, el más grande tiene un área de 71,6 ha con 1,37 km de largo y 0,8 km de ancho, mientras que el más pequeño cubre un área de 13 ha con 0,50 km de largo y 0,34 km de ancho, en promedio tienen un área de 23,13ha, con una forma semicircular en la cabecera que se alarga hacia la parte baja, dándole un aspecto semi-ovalado.

En cuanto a los circos glaciares que se encuentran en el flanco oriental del C.V. Cumbal, se identificaron cuatro que también se encuentran suspendidos en medio de flujos de lavas subcientos, de estos el más grande tiene un área aproximada de 15,84 ha con 0,69 km de largo y 0,34 km de ancho, el más pequeño tiene 6,6 ha con 0,26 km de largo y 0,29 km de ancho. Se encuentran entre alturas de los 3.960 m.s.n.m. y los 3.790 m.s.n.m. teniendo en cuenta que se encuentran sobre lavas sumado a su poca extensión, se podría decir que estos son producto de un retroceso

⁹⁵ GUTIÉRREZ, Mateo. Op. Cit., p.166.

glaciar, quedado suspendidos sobre estos flujos de lavas. (La medición del acho de los circos glaciares fue tomada de la cabecera).

- **Cubeta de sobre-excavación (GS):** se forman a partir de la acumulación de hielo en depresiones preexistentes o en irregularidades del relieve donde el sustrato rocoso es menos consolidado, de tal forma que, cuando el hielo se deposita en la depresión sobre-excava expandiendo y puliendo la superficie. A medida que el hielo se fusiona se infiltra en las grietas y cuando baja la temperatura el agua se vuelve a congelar expandiendo las grietas y fracturando la roca proceso que se conoce como gelifración y luego el material suspendido es expulsado de la cubeta por el agua líquida profundizando el fondo dando una forma característica de cubeta, sobre la cual es muy común tras la retirada de los hielos encontrar pequeñas lagunas o turberas. En el área de estudio se identificaron dos cubetas de sobre-excavación, éstas se localizan en el flanco sur oriental del C.V. Cumbal sobre los 3.800 m.s.n.m. éstas tiene un área aproximada de 0,3 ha y 0,2 ha. Ambas albergan pequeñas lagunas en su fondo.

- **Depósitos glaciovolcánicos (GD):** estos depósitos se forman por el aporte de materiales provenientes tanto de la actividad volcánica como de till glaciar, se caracterizan por una morfología plano inclinada, con pendientes que no superan los 7° por lo que se puede encontrar turberas sobre estas. Se localizan en el flanco oriental desde la cota de los 3.814 m.s.n.m. hasta los 3.630 m.s.n.m. cubren un área aproximada de 109,9 ha los cuales recubrieron dos valles glaciares quedando represados por las morrenas frontales de éstos. Igualmente también se identificaron estos depósitos al pie del flanco sur del C.V. Cumbal a los 3.600 m.s.n.m. aproximadamente los cuales se extiende por fuera del área de estudio.

- **Drumlins (GN):** son colinas que se forman a partir de la acumulación de till glaciar, según Derruau⁹⁶ representan el resultado de un excedente local de la carga que el glaciar deposita, al tiempo que el deslizamiento del hielo lo modela, puliéndolo y dándole así un aspecto suavizado razón por la cual estos se encuentran paralelos al movimiento del hielo. En C.V. Cumbal hay cuatro drumlins los dos primeros se encuentran rodeados por una morrena de fondo en el límite sur del área de estudio, el más grande tiene un área de 6,38 ha, de forma irregular con bordes redondeados, con aproximadamente 5 metros de altura tómanos desde la base, paralelo a éste el siguiente drumlins tiene una forma más ovalada y al igual que el anterior alargado cuesta abajo, acorde al movimiento del hielo preexistente, éste tiene un área aproximada de 2,17 ha, con una altura aproximada desde la base de 8 metros.

Los otros dos drumlins se encuentran en un valle glaciar suspendido sobre la cota de los 3.650 m.s.n.m., estos son mucho más pequeños comparativamente, el primero tiene 0,35 ha este presenta una forma alargada redondeada en sus bordes

⁹⁶ DERRUAU, Max. Op. Cit., p.166.

con 0,1 km de largo y 0,03 km de ancho, el segundo tiene un área de 0,85 ha con 0,15 km de largo y 0,08 km de ancho, siendo más ancho en su parte cuestas abajo y más delgado en su cabecera. Por sus dimensiones tan pequeñas y la baja resolución del DEM no se puede calcular la altura de estos drumlins.

- **Garganta postglaciar (GG):** se origina por la disección que genera el flujo de agua de fusión que trascurre en la base del glaciar, a medida que el hielo se derrite aumenta el caudal de agua, los materiales que transporta cuesta abajo y por ende su capacidad de disección. Generalmente se forma un canal en el centro del valle glaciar desde la parte media y terminal del mismo. En el área de estudio se encontró dos gargantas postglaciares que corresponden a los valles glaciares más grandes. El primero se localiza al suroriente del área de estudio por donde desciende el río Blanco, ésta tiene 2,7 km de largo dentro del área de estudio cubriendo un área de 12,78 ha. La segunda tiene una extensión de 2,7 km y un área de 17 ha, se encuentra en el flanco oriental del C.V. Cumbal por donde desciende río Guapúl.

- **Morrenas laterales (GMI), Morrenas mediales (GMm), Morrenas frontales (GMf), Morrenas de retroceso (GMr) y Morrenas de fondo (GMd):** las morrenas se forman a partir de la acumulación de till glaciar, material heterométrico, que es transportado por una masa glaciar, el cual, es depositado a lo largo de las paredes del glaciar y cuando el hielo se derrite totalmente sobresalen en el relieve marcando el límite de un valle glaciar. Las morrenas pueden variar en tamaño y forma acorde al comportamiento del hielo (capacidad de arrastre), y las características de los materiales acarreados. Su posición con respecto al glaciar les da diferentes nombres.

Morrenas laterales (GMI): este tipo de morrenas se forman cuando el hielo avanza sobreexcavando la superficie rocosa, los materiales de la base del glaciar son desplazados hacia los lados, acumulándose a lado y lado del glaciar, formado lo que vendría siendo posteriormente las paredes del valle glaciar. Sus características morfológicas dependen del movimiento y extensión de hielo, por lo que éstas nos sirven de indicador del desplazamiento que tuvo el glaciar. Las morrenas laterales tienden a ser más extensas y de forma rectilínea. En el área de estudio hay un total de nueve morrenas laterales que se ubican desde los 3.750 m.s.n.m. y descienden hasta los 3.500 m.s.n.m. aproximadamente. Las de mayor extensión se localizan en el flanco oriental del C.V. Cumbal, la más grande alcanza los 2,7 km de longitud y 0,3 km de ancho con una altura máxima tomada desde la base de 140 m. Mientras las del flanco norte, la más grande alcanza los 1,8 km de largo y 0,2 km de ancho, con una altura máxima tomada desde la base de 130 m. Los datos de longitud son aproximados dado que no se puede definir con precisión donde termina la morrena lateral e inicia la morrena frontal.

Figura 33. Morrenas lateral y de fondo de un valle glaciar.



Fuente: Portilla, Angela 2015. 1 morrena lateral - 2 morrenas de fondo.

Las *morrenas mediales (GMm)*: tienen características similares a la anterior, se diferencian, porque éstas se forman cuando confluyen dos lenguas glaciares quedando en medio de dos valles glaciares. En el área de estudio se encontró tres morrenas mediales. La de mayor extensión se localiza en el flanco sur oriental entre un valle glaciar principal y un valle glaciar parcialmente sepultado, ésta morrena tiene una forma rectilínea pero en su parte final presenta una bifurcación. Alcanza 2,3 km de largo con 0,4 km de ancho, tomado de su parte más ancha, con una altura máxima desde su base de 150 m aproximadamente.

La segunda morrena medial tiene forma de una “V” inversa con puntas redondeadas, su máxima extensión es de 1 km largo y 0,7 km de ancho (medidos de su parte más ancha) con una altura aproximada de 80 m, ésta morrena represó anteriormente lagunas que actualmente se encuentran como turberas (ver figura 34). La tercera morrena medial se encuentra en el flanco norte del C.V. Cumbal entre dos valles glaciares tiene una forma alargada, su bifurcación en su parte terminal se confunde con las morenas frontales, tiene 1,1 km de largo y 0,4 km de ancho con una altura máxima de 135 m.

Figura 34. Morrena medial



Fotografía Narváez, German. **1 Morrena medial** **2 morrenas de fondo (turberas)**

Las morrenas de retroceso (GMr): este tipo de morrenas se forman cuando la lengua glaciar retrocede y el till glaciar se deposita a medida que el hielo del glaciar se funde descargando fragmentos rocosos en su frente en forma semicircular, éstos depósitos quedan en medio del fondo del valle, razón por la cual las morrenas de retroceso sirven de indicadores para conocer los estadios del glaciar. En el área de estudio se identificó dos morrenas de retroceso las cuales se localizan en el valle glaciar más grande del área de estudio por donde desciende el río Blanco y la quebrada El Cerro. La que se encuentra más cerca de la cabecera del valle glaciar está sobre los 3.505 m.s.n.m. a 1,3 km de la otra morrena de retroceso en línea recta la cual se ubica sobre los 3.489 m.s.n.m. ésta última, que se encuentra más cerca de la parte terminal del valle, presenta un mayor desarrollo con una forma característica de semicírculo como se puede observar en la siguiente fotografía (Ver figura 35), se trata de un conjunto de montículos alineados uno tras otro como un rosario.

Figura 35. Morrena retroceso



Fotografía: Ángela Portilla (2015) Morrena de retroceso de un valle glaciar en el C.V. Cumbal.

Morrenas frontales (GMf): al igual que la anterior este tipo de morrenas se forma en la parte frontal de la lengua glaciar, pero se diferencian que solo se denomina

morrena frontal a la que marca el avance máximo del glaciar, ubicándose en el frente o parte terminal de un valle glaciar por lo que en algunos libros también se las conoce como morrenas terminales, En total se cartografiaron 12 morrenas frontales que se encuentran distribuidas entre los 3.550 y los 3.400 m.s.n.m. lo que nos puede dar un aproximado de la altura a la cual descendieron los valles glaciares. Cabe mencionar que entre éstas se identificó una morrena frontal sobre la cota de los 3.750 m.s.n.m. la cual podría ser una morrena de retroceso o la morrena terminar de un valle glaciar suspendido pero no se puede saber con certeza dado que todo el valle está cubierto por lavas dejando a la vista solo esta morrena en forma semicircular.

Morrena de fondo (GMd): esta unidad geomorfológica corresponde al fondo plano de un valle glaciar, la cual se forma posterior a un proceso de abrasión y ablación de las lenguas glaciares, por la acumulación de material de till de forma casi uniforme en el fondo del valle. J. Tarbuck et al. en su libro Ciencias de la Tierra nos dice que las *morrenas de fondo* son el resultado del transporte y sedimentación glaciar, este proceso se presenta a medida que la masa de hielo se funde y retrocede depositado los materiales que estaban suspendidos en el glaciar, estos materiales denominados como till glaciar se van depositando paulatinamente, proceso que se repite hasta que el hielo se funde por completo creando una capa de till suavemente ondulada que rellena los puntos bajos y causas preexistentes nivelado el fondo del valle.

En el C.V. Cumbal se identificaron ocho morrenas de fondo, la de mayor extensión se localiza en el límite sur del área de estudio cubriendo un área de 424,26 ha, dentro del área de estudio se abarcan 250,48 ha, con 5,12 km de largo y 0,86 km de ancho y pendientes que varía de ligeramente plana a moderadamente inclinada (0 a 12 grados), su parte más alta se encuentra entre los 3.583 m.s.n.m. y desciende hasta los 3.400 m.s.n.m. aproximadamente. Esta morrena de fondo además de su gran extensión se caracteriza por presentar una garganta postglaciar por donde desciende el río Blanco.

En el flanco oriental del C.V. Cumbal se presentan coalescentes cuatro morrenas de fondo que se formaron por diferentes lenguas glaciares separadas por depósitos morrenicos laterales. Por donde desciende la quebrada Corral, se localiza la primera, pertenece a un valle glaciar suspendido, está tiene un área de 26,6 ha con 1 km de largo y 0,38 km de ancho, se extiende desde los 3.650 m.s.n.m. hasta los 3.611 m.s.n.m. dentro de esta también se identificó dos pequeños drumlins. Enseguida separada por un plano residual se tiene un valle glaciar más desarrollado por donde desciende el río Guapul y su morrena de fondo alcanza los 90,58 ha con 2,77 km de largo y 0,46 km de ancho aproximadamente, su parte más alta se encuentra a 3.650 m.s.n.m. y descendiendo hasta los 3.600 m.s.n.m. Ambas morrenas de fondo presentan pendientes que varían de 0 a 25 grados.

En el mismo flanco, se cartografiaron también dos morrenas de fondo, aparentemente constituyen una misma unidad ya que se encuentran unidas en su parte inicial, las cuales se infiere que se formaron por una misma lengua glaciar que posteriormente se divide desplazándose en direcciones opuestas dejando una morrena medial y dos morrenas de fondo. La primera, con dirección noroeste – sureste, por donde desciende la quebrada río Negro, cubre un área de 22,86 ha con pendientes varían de 0 a 12 grados y tiene 0,95 km de largo con 0,39 km de ancho. La segunda con dirección oeste – este tiene un área de 84,42 ha, su máxima extensión es de 1,47 km de largo con 0,56 km de ancho, la pendiente varía de 0 a 7 grados, esta última presenta mayor alteración por la disección leve de varias quebradas que la atraviesan entre ellas la quebrada río Blanco. Ambas se encuentran entre los 3.662 m.s.n.m. y los 3.592 m.s.n.m. en su parte más alta están afectadas por un flujo de lava cordada subreciente.

Para el caso del flanco norte del C. V. Cumbal se identificaron tres morrenas de fondo separadas por morrenas mediales. La primera corresponde a un valle glaciar sepultado donde actualmente se encuentran depósitos glacio-volcánicos dejando una parte del fondo plano a la vista por donde transcurre el río El Tambillo, se localiza entre los 3.650 y los 3.610 m.s.n.m. cubriendo un área de 14,63 ha con 0,67 km de largo y 0,26 km de ancho, y pendientes entre los 0 a 12 grados. La morrena de fondo siguiente alcanza una mayor extensión, pero similarmente ha sido afectada por depósitos volcánicos principalmente lavas, ésta tiene 1,72km de largo y 0,34 km de ancho aproximadamente, desde los 3.613 hasta los 3.500 m.s.n.m. abarcando un área total de 41,27 hectáreas con pendientes que no superan los 3 grados, por las cuales transcurre varias quebradas entre ellas la quebrada el Pistejo.

Por último se tiene una morrena de fondo de un valle glaciar parcialmente sepultado, con 1,24 km de largo y 0,57 km de ancho, cubriendo un área de 40,94 hectáreas entre los 3.655 y los 3.582 m.s.n.m., con pendientes que van de ligeramente plano en la parte inferior a ligeramente escarpado en la parte superior del valle, por donde transcurren cuatro quebradas entre ellas la quebrada el Pilches que levemente disectan la morrena de fondo.

En términos generales se puede decir que actualmente estas morrenas de fondo se encuentran ocupadas por turberas, o zonas pantanosas, condicionadas por las pendientes de poca a leve inclinación, facilitando así el encharcamiento, y por ende suelos poco desarrollados con alta presencia de capas de ceniza que pueden variar de muy superficiales a profundos y de bien a pobremente drenados, igualmente presentan baja fertilidad ya que son suelos extremadamente ácidos con un alto nivel freático. Sobre los cuales también existe vegetación de páramo como pajonales frailejones y juncos.

• **Valle glaciar principal (GVg), Valle glaciar suspendido (GVs) y Valle glaciar parcialmente sepultado (GVp):** los valles glaciares, se componen de un conjunto de unidades geomorfológicas, asociados a los procesos de abrasión glaciar y

posterior acumulación de los materiales transportados. La formación de un valle glaciar se presenta cuando una masa glaciar se desliza cuesta abajo por acción de la gravedad, la cual, actúa como una retroexcavadora sobre el sustrato rocoso, su superficie basal más fluida envuelve materiales que poco a poco van puliendo el lecho por el que transcurre dejando una superficie plana delimitada de paredes abruptas. Morfológicamente los valles glaciares se caracterizan por ser más anchos que profundos a comparación de un valle fluvial, esto se debe que la masa glaciar alcanza a cubrir una mayor superficie pero su capacidad de disección es menor que la de una corriente de agua.

En el área de estudio hay tres tipos de valles glaciares, los cuales, se clasificaron acorde a su estado de conservación. *Valle glaciar principal (GVg)*: corresponde generalmente a valles más antiguos, presentando paredes más abruptas y mayor extensión que la de los valles suspendidos los cuales quedan colgando sobre estos. De igual manera dentro de esta categoría se clasifico los valles glaciares que se encuentran mejor conservados, estos son escasos en el área de estudio debido a la alta actividad volcánica, encontrado solamente dos valles glaciares con tales características, aunque sus cabeceras se encuentran sepultadas por lavas, conservan su morfología con un fondo plano y morrenas laterales bien definidas.

El primero, se localiza en el límite sur del área de estudio y se extiende por fuera de ésta, por lo que se cartografió linealmente y se cartografiaron en polígonos las morrenas que lo componen, morfométricamente tiene 5,4 km de largo por 1,3 km de ancho y una profundidad promedio de 131 m aproximadamente, sobre este valle glaciar deciente el río Blanco. El segundo, *valle glaciar principal* se localiza en el flanco oriental del C.V. Cumbal por donde transcurre río Guapul (Ver figura 36), en cuanto a sus características morfométricas éste tiene 2,7 km de largo por 0,8 km de ancho con una profundidad de 160 m aproximadamente. Se podría decir que estos valles presentan un mayor desarrollo, alcanzando grandes extensiones ubicándose desde los 3.700 m.s.n.m. y descendiendo hasta los 3.400 m.s.n.m.

Valle glaciar suspendido (GVs): se podría decir que este tipo de valles glaciares son más recientes respecto a los anteriores los cuales quedan colgando sobre otro valle glaciar. En área de estudio hay un valle glaciar suspendido, se localiza en el flanco oriental del C.V. Cumbal por donde desciende la quebrada El Corral, su parte más alta se encuentra sobre a cota de los 3.650 m.s.n.m. y su parte más baja a los 3.550 m.s.n.m. En cuanto a sus características morfométricas, tiene 0,9 km de largo por 0,5 km de ancho con 46 m de profundidad aproximadamente. Alcanzando una dimensión mucho menor comparativamente.

Valle glaciar parcialmente sepultado (GVp): en este tipo de valles glaciares se clasificaron aquellos que como su nombre lo indica se encuentran parcialmente sepultados por la actividad volcánica, principalmente flujos de lavas. En el área de estudio estos valles se identifican gracias a las paredes de morrenas mediales y parte del fondo plano o morrena de fondo, con presencia de flujos lávicos cordados

que posiblemente sepultaron el circo glaciar y descendieron por el valle dejando un escarpe escalonado, no producto de abrasión glaciar sino por solidificación de los mismos. La tendencia morfodinámica de estos valles es el avance de flujos lávicos recientes hacia las partes más bajas del mismo, como también el suavizamiento del relieve producto de materiales volcánicos como cenizas.

Se identificaron tres valles glaciares parcialmente sepultados en el flanco norte del C.V. Cumbal, estos se encuentran coalescentes paralelo uno alado de otro. Se infiere por las características del relieve que sus cabeceras se encontraban sobre la cota de los 3.950 m.s.n.m. aproximadamente, actualmente sepultadas por lavas que cubren gran parte de estos valles glaciares. De éstos el mejor conservado presenta parte de su morrena de fondo y de sus morrenas laterales pero sus morrenas terminales se muestran sin afectación. La parte que no se encuentra cubierta por lavas alcanza 1,9 km de largo por 0,9 km de ancho con una profundidad máxima de 125 m, sobre éste transcurre la quebrada Pistejo.

El siguiente valle glaciar de este tipo aunque su morrena de fondo se pudo identificar, ésta presenta una mayor afectación no solamente por la actividad volcánica sino también por disección fluvial, al igual que sus morrenas laterales. Sobre ésta transcurre la quebrada Pilches, y su parte visible alcanza 2,2 km de largo por 1,2 km de ancho con una profundidad aproximada de 105 m. Continuo a éste el siguiente valle glaciar y a diferencia del anterior, no presenta morrenas de fondo su existencia se infiere por morrenas laterales que marcan su trayectoria, tiene aproximadamente 1,5 km de largo por 0,8 km de ancho con 150 m de profundidad tomado en su parte más alta.

Por último, en el flanco oriental de C.V. Cumbal entre dos valles glaciares principales se identificó otro valle glaciar parcialmente sepultado, de cual solo se pudo identificar su morrena de fondo que se encuentra alterada por disección fluvial. Se podría inferir que era un valle glaciar escalonado dado que en su parte superior se identificó un valle glaciar suspendido.

Figura 36. Valle glaciar.



Fuente: Narváez, German. 2007. *Valle glaciar principal C.V. Cumbal*, por donde desciende el río Guapul y la quebrada London.

9.2.4 Morfodinámica volcánica. En la zonificación geomorfológica del IDEAM tomada de Flórez⁹⁷ no se encuentra este subgrupo, a razón de la escala 1:500.000, en la cual, no se identifica unidades más pequeñas de origen volcánico como flujos de lavas, cráteres, domos, etc. Razón por la cual para este estudio se hace necesario incorporar este subgrupo *Morfodinámica Volcánica* no solo por la escala de trabajo 1:250000, sino también por la relevancia que cobra la actividad volcánica para el área de estudio.

Siguiendo la lógica de la clasificación de sistemas morfogénicos. Este subgrupo se clasifico en cuatro sistemas morfogénicos para los cuales se tuvo en cuenta los periodos de formación del Complejo Volcánico Cumbal: *morfodinámica volcánica antigua - Cumbal antiguo*, *morfodinámica volcánica antigua - Cumbal moderno*, *morfodinámica volcánica subreciente - Cumbal moderno*, *morfodinámica volcánica reciente - Cumbal moderno*.

9.2.4.1 Morfodinámica volcánica antigua - Cumbal antiguo. Dentro de este sistema morfogénico se clasificaron todas las unidades de origen volcánico que hacen parte de lo que se conoce geológicamente como Cumbal antiguo, que corresponde a la estructura caldérica de Colimba, Según Monsalve, et al.⁹⁸ Ésta tiene su origen en el estadio del terciario superior y se registra como el primer

⁹⁷ IDEAM. Op. Cit., 252.p.

⁹⁸Monsalve, María; Bechon, France. Op. Cit., p.3.g

episodio de construcción del C.V. Cumbal con una edad de 5.1 ± 4.1 Ma. (Plioceno) que coincide con el Inicio del vulcanismo en esta región.

- **Altiplano en caldera (VaA):** este altiplano aunque presenta unas características morfológicas similares (relieve plano ondulado) a los descritos anteriormente, tiene diferencias tanto en su morfogénesis como en su morfodinámica, por lo que se clasifico en un subgrupo y sistema morfogénico diferente. Su origen se asocia al colapsamiento del antiguo edificio volcánico Cumbal quedando posteriormente una caldera, de la cual, este altiplano vendría siendo su fondo plano. Razón por lo que se clasifico dentro del sistema morfogenético, *morfodinámica volcánica antigua*.

Este altiplano se localiza al norte del área de estudio tiene 448,3 ha, con una pendiente que oscila entre 0 y 7 grados, extendiéndose desde los 3.400 hasta los 3.350 m.s.n.m. con dirección Este - Oeste. Según Naranjo⁹⁹, la textura del drenaje es un indicador de la permeabilidad de los materiales subyacentes y de la capacidad del terreno para absorber agua, de acuerdo a esto, este altiplano presenta una textura gruesa (canales muy separados, menor densidad de corrientes y tributarios en un área) prevaleciendo los procesos de infiltración que la escorrentía superficial encontrado dos quebradas que se nutren de la parte alta de la caldera, la quebrada El Medio y la quebrada Tambillo las cuales desembocan en los ríos Tambillo y Negro respectivamente, ríos que marcan el límite occidental del altiplano donde la disección es más profunda y se empiezan a formar terrazas.

En cuanto a los materiales superficiales de este altiplano, se pudo observar en campo, en un corte de 2 metros aproximadamente (Ver figura 37.) cerca al rio tambillo, depósitos volcánicos que corresponden a cenizas, de igual forma la presencia de circos glaciares en la parte alta de la caldera con apertura hacia este altiplano (por donde descienden las quebradas que anteriormente se mencionaron), explican la existencia de depósitos fluvio glaciares hacia el oriente; estos no se pudieron corroborar en campo pero si a través de fotointerpretación y se podría decir que estas zonas presentan mayor saturación de agua mientras que hacía el occidente hay menos encharcamiento y mayor disección por parte de la escorrentía superficial, y en la parte norte del altiplano la morfodinámica superficial está asociada actividades antrópicas encontrándose mosaicos de pastos y cultivos.

Figura 37. Corte altiplano en caldera.

⁹⁹ NARANJO HENAO, José. Fotogeología práctica. Análisis de corrientes individuales y patrones de drenaje. p 54-55.



Fuente: Portilla, Angela. 2015.

- **Laderas levemente escarpadas (VaL1), Laderas moderadamente escarpadas (VaL2) y Laderas fuertemente escarpadas (VaL3):** estas laderas conforman las paredes de la caldera volcánica Colimba, las cuales forman un semicírculo de 9 km de diámetro aproximadamente, abierto hacia el occidente, éste se extiende bordeando el altiplano que se describió anteriormente hasta donde se asienta la laguna de La Bolsa. Pese a que esta caldera vendría siendo una estructura residual del antiguo volcán Cumbal, tiene una altura significativa alcanzando los 3.860 m.s.n.m. favoreciendo la acumulación de masas glaciares en su cima sobre la cual se identificó un conjunto de circos glaciares coalescentes.

Estas laderas se clasificaron morfométricamente de acuerdo a la pendiente en: *laderas levemente escarpadas, laderas moderadamente escarpadas y Laderas fuertemente escarpadas*. Las primeras tienen entre 0 y 7 grados de pendiente, representan el 22% del total de las laderas, las cuales se concentran principalmente en las cimas redondeadas y en las partes más bajas que se conectan con el altiplano. Las segundas representan el 67% del total de las laderas, con pendientes que van desde los 7,1 hasta los 25 grados y las terceras corresponden al 11% del total de las laderas y se encuentran marcando el escarpe de la caldera con pendientes que varían de 25,1 hasta 75 grados.

9.2.4.2 Morfodinámica volcánica antigua - Cumbal moderno. Teniendo en cuenta que el edificio volcánico Cumbal actual se construyó en tres etapas, dentro de este sistema morfogénico se agrupan las unidades geomorfológicas correspondientes a la primera fase de formación y por ende la más antigua. Según INGEOMINAS¹⁰⁰ tiene una edad de 194.000 años con una actividad tardía de

¹⁰⁰ INGEOMINAS. Op. Cit. p.72.

176.000 años y sus primeros productos fueron expulsados por el cráter norte o punta Vieja, los cuales se expandieron hacia el norte y el noreste que correspondieron principalmente a coladas de lavas de carácter masivo.

- **Flujos de lavas antiguos (VaF):** las lavas son roca fundida que es expulsada del interior de la tierra (cámara magmática) a través de un cráter o fisura hacia el exterior. Hay diferentes tipos de lavas que se pueden clasificar de acuerdo a su viscosidad. Para el C.V. Cumbal y toda cordillera Andina, predominan las lavas ácidas principalmente de tipo andesíticas o lavas intermedias que no son ni tan fluidas como las basálticas ni tan viscosas como las lavas riolíticas. Estas características son muy importantes a tener en cuenta ya que las lavas son formadoras de relieve y sus atributos inciden en el tipo de estructuras volcánicas que se puedan formar. Los flujos de lavas intercalados con flujos piroclásticos conforman volcanes compuestos o estratovolcanes como lo es C.V. Cumbal.

En el área de estudio se identificó como *flujos de lavas antiguos* al conjunto de lavas que conforman el primer periodo de formación del C.V. Cumbal, las cuales fueron expulsadas por el cráter Punta Vieja y el cráter Cumbal, dos cráteres que se inclinan hacia el norte, razón por la cual estas lavas se expandieron hacia el norte y el noreste, descendiendo desde los 4.700 m.s.n.m. donde se encuentran estos cráteres hasta los 3.400 m.s.n.m. aproximadamente. Los cuales a partir de los 3.850 m.s.n.m. aproximadamente y principalmente hacia el noreste, fueron modelados por glaciares, alterado la forma original de estas lavas. Según informes de Ingeominas algunos flujos de lavas alcanzaron longitudes de 9 km y espesores de más de 7m llegando a veces a los 15m. Cabe mencionar que para la delimitación de esta unidad se tomó como referencia la plancha geológica 447 de Ipiales del Ingeominas.

- **Cráter (VrC):** los cráteres son depresiones de forma circular que se forman por la misma actividad volcánica, a los cráteres, también se los conoce como apertura o boca del volcán ya que a través de estos el magma se conecta con la superficie terrestre expulsando materiales ya sean de tipo efusivos como lavas o explosivos como gases y piroclastos. Generalmente alrededor del cráter se forma un cono volcánico a partir de la acumulación de los materiales expulsados alrededor de éste. Para el caso del C.V. Cumbal se encuentra dos cráteres principales Mundo Nuevo (Ver figura 38) hacia el sur de la cima y Plazuelas (Ver figura 39) en la parte central, estos se localizan por encima de los 4.700 m.s.n.m. y el cono volcánico donde se encuentra el cráter plazuelas alcanza la máxima altura de este complejo volcánico con 4.764 m.s.n.m, estos cráteres tienen longitudes de 200 y 600 m respectivamente¹⁰¹. También se encuentran reportes del SGC de tres pequeños cráteres adventicios los cuales no fueron mapificados.

¹⁰¹ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. [online]. Generalidades complejo volcánico Cumbal. [citado 22, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Cumbal/Generalidades.aspx>

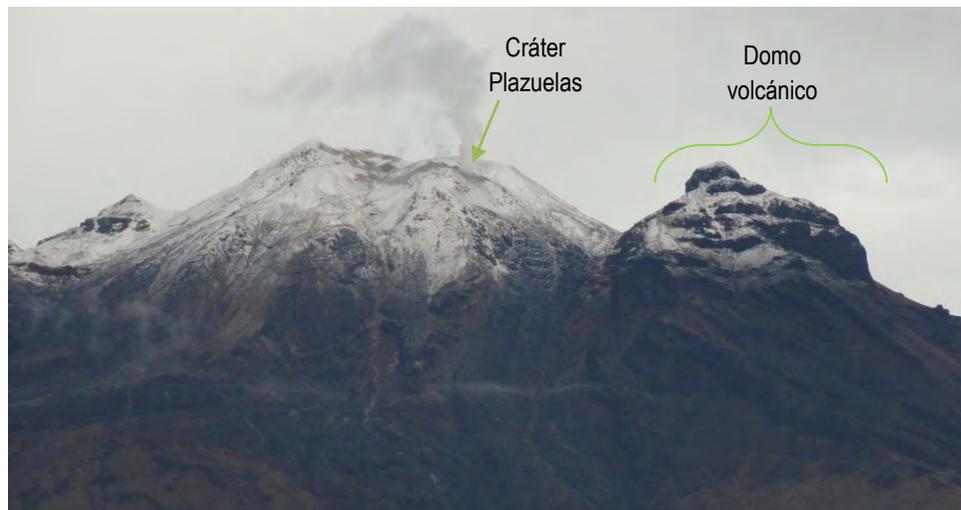
Figura 38. Cráter Mundo Nuevo



Fuente: Narváez, German 2007.

- **Domo (VsD)** Los domos se forman por la emisiones de lavas riolíticas o dacíticas las cuales se caracterizan por su alto contenido de sílice haciéndolas muy viscosas. Por tanto, cuando éstas son expulsadas por un cráter o fisura se expanden muy lentamente formado un domo convexo, su poca fluidez hace que estos se queden muy cerca a la fuente emisora en algunos casos taponándolas. En el caso del C.V. Cumbal se identificó un domo cerca al cráter plazuelas, acorde a los mapas del Ingeominas se podría inferir que este domo se asienta sobre el antiguo cráter Punta Vieja el cual podría ser el responsable de su formación pero no se encontraron reportes que lo afirmen. Este domo cubre un área aproximada de 30,8 ha y un perímetro de 2km con una altura desde su base de 250 m aproximadamente.

Figura 39. Cráter Plazuelas y domo volcánico.



Fuente: Narváez, German 2007.

9.2.4.3 Morfodinámica volcánica subreciente - Cumbal moderno. Este sistema morfogénico agrupa las unidades geomorfológicas que corresponden a la segunda fase de construcción del Cumbal Moderno. Según Ingeominas esta fase comenzó aproximadamente hace 100.000 años, con una etapa tardía de edad menor a 50.000 años. En la cual primaron los productos efusivos lávicos lo cuales se extendieron hacia el sector sur oriental teniendo como punto de emisión los cráteres centrales Cumbal, Fogones y Mundo Nuevo.

- **Flujos de lavas subrecientes (VsF):** estos flujos de lavas se localizan en el flanco suroriental y representan el segundo periodo de formación del C.V. Cumbal. Estas lavas fueron emitidas por el sector central de la cumbre donde se encuentran los cráteres Cumbal, Fogones y Mundo Nuevo. Las cuales se extienden desde los cráteres a una altura aproximada de 4.650 m.s.n.m. hasta los 3.650 m.s.n.m. y a partir de los 3.950 m.s.n.m. se encuentran altamente alteradas por modelado glaciar encontrándose circos y valles glaciares sobre estas. Cabe mencionar que para la delimitación de esta unidad se tomó como referencia la plancha geológica 447 de Ipiales del INGEOMINAS.
- **Lavas cordadas (VsR):** estas lavas tienden a ser más fluidas, generalmente de tipo basálticas. Las cuales a medida que fluyen cuesta abajo, la superficie de la lava se enfría más rápido a punto de solidificarse, pero aún en estado plástico es arrastrada por el flujo líquido que se mueve bajo de ésta, formándose arcos de empuje, que al solidificarse completamente queda una corteza lobulada con costras lisas, vítrea y porosa de forma cordada. En el área de estudio se encontraron dos lavas cordadas que se clasifican como subrecientes, acorde a la plancha geológica 447. Estas se localizan en el flanco oriental, la más grande se encuentra sobre la cota de los 4.340 m.s.n.m. y desciende hasta los 3.650 m.s.n.m. entre las quebradas Río Blanco y Río Negro, tiene un área de 106,1 ha con una longitud de 2,24 km y 0,7 km de ancho. La más pequeña se encuentra entre los 4.050 m.s.n.m. y los 3.700

m.s.n.m. por donde desciende las quebradas Río Chiquito y La Vieja, tiene un área de 48,1 ha con una longitud 1,7 km y 0,3 km de ancho.

- **Lomeríos (VsM):** se forman por la acumulación de materiales tanto de origen volcánico como glacial, se caracteriza por una morfología ondulada con un relieve suavizado por el aporte de cenizas y con un proceso moderado de disección. Se localizan al suroriente del área de estudio, por donde transcurre la quebrada El Cerro, delimitado entre dos valles glaciares y en su parte superior con una morrena medial. Debido a que no hay estudios estratigráficos para la zona no se puede saber con precisión su edad de formación pero se clasifico como subrecientes dado su conformación de materiales tanto provenientes de la actividad volcánica como de materiales depositados por glaciares. Tienen un área aproximada de 55,25 ha con pendientes que varían de ligeramente inclinadas a moderadamente inclinadas y se encuentran sobre los 3.500 m.s.n.m.
- **Sistema de colinas (VsCs) y Colinas aisladas (VsCa):** estas unidades se clasificaron dentro del sistema morfogénico morfodinámica volcánica subreciente, dado que, la génesis de estas colinas se asocia a flujos piroclastos (Ver figura 41.) posiblemente del cráter Plazuelas, los cuales se extendieron hacia al nororiente cerrando la caldera volcánica en su lado occidental, razón por la cual se le atribuye a este sistema de colinas el represamiento que dio lugar a laguna de la Bolsa. Estas cubren un área aproximada de 873,1 ha, alcanzando alturas hasta de 200m. La morfología de estas colinas es redondea de suaves pendientes que varían de ligeramente plana a moderadamente inclinada, los topes de las colinas tiene a ser planos y los fondos entre colina y colina muy amplios y en algunos casos albergan pequeñas lagunas.

Figura 40. Sistema de colinas.



Fuente: Portilla, Angela 2015. Al fondo de la fotografía sistemas de colinas que limitan con el altiplano de la laguna de la Bolsa.

Figura 41. Sección transversal sistema de colinas (flujos piroclásticos).



Fuente: Pizarro, Fernando. 2015.

- **Terraza glacio-volcánica (VsTg):** este tipo de terrazas se forman por la acumulación de materiales provenientes tanto del acarreo de las masas glaciares como volcánicas, principalmente lavas, que posteriormente son disectadas por la red de drenaje. Las terrazas morfológicamente se caracterizan por una superficie plana que sobresale entre escarpes de disección o taludes. En el área de estudio se encuentran al norte junto al altiplano de la caldera volcánica y al suroriente por debajo de un valle glaciar. La primera corresponde a un conjunto de terrazas que cubre un área aproximada de 638,4 ha entre los 3.550 m.s.n.m. y 3.300 m.s.n.m. con pendientes que no superan los 25°, entre estas terrazas transcurren cuatro quebradas La Puerta, Arrayanes, Pistejo y Tres chorros y los Ríos Negro y Tambillo. La segunda tiene un área aproximada de 54,94 ha y se extiende entre los 3.450 m.s.n.m hasta los 3.300 m.s.n.m. con pendientes que varían entre ligeramente plana a moderadamente inclinadas.

9.2.4.4 Morfodinámica volcánica reciente - Cumbal moderno. Dentro de este sistema morfogénico se encuentra las unidades geomorfológicas que hacen parte de la tercera y última etapa de formación del Cumbal Moderno, la cual se desarrolló a partir del cráter Mundo Nuevo, la mayoría de sus productos están orientados hacia el sur. Según Ingeominas esta etapa tiene una edad que oscila entre los 25.000 y 15.000 años, razón por la cual solo fue afectada por glaciaciones menores ocurridas en el Pleistoceno Tardío.

- **Flujos de lavas recientes (VrF):** estos flujos de lavas representan la tercera y última etapa de formación del C.V. Cumbal, la cual, tuvo como centro de efusión

el cráter sur, llamado Mundo Nuevo. A diferencia de los anteriores flujos de lavas y por su edad de formación, posterior a la glaciación, conservan sus características de formas lobuladas y superficies cordadas a excepción de un retoque glaciario que se presentó en el Pleistoceno Tardío pero de menor intensidad. En el área de estudio estos flujos de lavas se encuentran hacia el flanco sur desde los 4.650 m.s.n.m. hasta los 3.550 m.s.n.m. aproximadamente. Estos fueron delimitados acorde a la plancha geológica 447 del INGEOMINAS. También se identificó flujos de lavas recientes hacia el norte que no se encuentra en el mapa geológico, se infiere que son reciente, dado que cubren las cabeceras de tres valles glaciares, lo que significa que se presentaron posterior a la glaciación, los cuales se extienden desde los 4.250 m.s.n.m. hasta los 3.650 m.s.n.m.

- **Lahar (VrH):** cuando asciende el magma caliente a la superficie derrite el hielo que se encuentra a su paso formando un flujo de lodo y rocas que desciende a mayor velocidad, ocupando los caños de los ríos y arrasando todo a su paso, aumentando así su capacidad destructiva. Estos también se pueden formar cuando las erupciones van acompañadas de grandes lluvias. Por eso, cuando se analizan los depósitos de los lahares se encuentran materiales heterogéneos envueltos en una matriz fina. “Los estratovolcanes son generadores efectivos de lahares por sus erupciones explosivas, vaporosas y por la pendiente fuerte”¹⁰² En el área de estudio este Lahar se encuentra en el flanco oriental del C.V. Cumbal, el cual desciende desde los 3.900 m.s.n.m. hasta los 3.400 m.s.n.m. aproximadamente siguiendo el curso de la quebrada Rio Chiquito y la quebrada La Vieja principalmente, cubriendo un área aproximada de 336,3 ha con una longitud de 5,3 km rellenando las partes bajas de la colinas.

- **Lavas cordadas (VrR):** se localiza en el flanco sur, acorde al mapa geológico se clasifica como reciente, en cuanto a sus características morfométricas ésta tiene un área aproximada de 117 ha con una longitud de 2,1 km y 0,7 km de ancho extendiéndose desde los 4.250 m.s.n.m. hasta los 3.800 m.s.n.m. aproximadamente, sobre la cual se encuentra represada una pequeña laguna. Comparativamente es mucho más grande que las anteriores lavas cordadas.

9.2.5 Montaña alto andina inestable. Este subgrupo se encuentra por debajo del modelado glaciario heredado y se clasifica dentro de la alta montaña ya que está por encima de los 3.000 ± 100 m en el área de estudio. Según el IDEAM este piso bioclimático se extiende hasta los 2.700 ± 100 m franja que se conoce como periglaciario asociado a los procesos crionivales los cuales no fue posible identificar en campo. Pero dentro de este subgrupo también se habla de los procesos asociados a la red de drenaje que se encajonan y forman cañones no tan grandes como en la montaña media y baja pero que logran un retroceso de las vertientes y aumento de las pendientes. Por lo que dentro de este subgrupo se clasificó el siguiente sistema morfogénico:

¹⁰² Flórez, Antonio. Op. Cit. p.82.

9.2.5.1 Modelado de disección. Este sistema morfogénico se incorporó a la clasificación propuesta por Flórez dada la necesidad de clasificar los escarpes de disección, los cuales tal como se mencionó anteriormente se asocian a la dinámica de la montaña alto andina inestable. Dentro de este sistema morfogénico el agente modelador principal es la escorrentía superficial o red de drenaje, pequeñas quebradas que a medida que descienden van tomando fuerza llegando en algunos casos a formar ríos capaces de disectar la superficie rocosa y formar cañones o escarpes de disección.

- **Escarpes de disección (ME):** en el área de estudio se cartografió tres escarpes de disección, el más grande alcanza una longitud de 2,2 km de largo con 0,1 km de ancho y un área aproximada de 26,89 ha por donde desciende la quebrada Río Negro, seguida de ésta en el mismo flanco oriental se identificó otro escarpe de disección con 1,6 km de largo y 0,1 km de ancho y un área de 14.54 ha por donde desciende la quebrada El Corral. Ambas se conectan con el Río Blanco extendiendo el escarpe de disección por fuera del área de estudio. En el flanco norte también se identificó otro escarpe de disección con una longitud de 1 km con 0.1 km de ancho y un área de 11.63 ha aproximadamente donde transcurre la quebrada Pilches la cual desemboca en el Río Negro. Las quebradas donde se identificó el escarpe de disección corresponden a corrientes de tercer o cuarto orden. Debido a la baja resolución del DEM no fue factible hacer cálculos de profundidad.

10. CONCLUSIONES

- La evolución del relieve en el complejo volcánico Cumbal obedeció a tres grandes episodios de procesos de formación, el primero tuvo origen en el Plioceno hace $(5.1 \pm 4.1 \text{ M.a.})$ cuando se formó la estructura volcánica denominada Cumbal Antiguo la cual colapso originando una caldera volcánica; el segundo fue la conformación de un nuevo edificio volcánico conocido como Cumbal Moderno el cual data hace 194 mil años el cual, posteriormente, en un tercer proceso hace 35.000 años se vio cubierto por una masa glaciaria que descendió hasta los 3.400 m.s.n.m. como su principal agente modelador.
- Se plantea como hipótesis que la morfogénesis de la laguna de la Bolsa, se remonta a dos procesos morfodinámicos del relieve, el primero, al colapsamiento del antiguo volcán Cumbal dejando una caldera volcánica en forma semicircular, el segundo, a la expulsión de un flujo piroclástico (sistemas de colinas) proveniente del Cumbal moderno que cerro la caldera en su flanco occidental, represando así el agua de escorrentía y de fusión glaciaria que drenó desde la parte alta de la caldera volcánica. Laguna que ocupó todo el fondo de la caldera y que actualmente se ha reducido en un 62% formando un altiplano.
- Teniendo en cuenta los aspectos morfológicos del Cumbal Moderno, los depósitos volcánicos más recientes se localizan en los flancos norte, oeste y suroeste del edificio. Lo anterior puede inferirse ya que en esos sectores no quedan vestigios del modelado glaciario heredado el cual pudo ser sepultado por lavas y flujos piroclásticos. En estos mismos sectores se observa la presencia de suelos enterados lo cual se asocia a una actividad eruptiva reciente
- Si se toma en cuenta una zonificación geomorfológica basada en la distribución de pisos geomorfológicos, en el área de estudio se destacan tres zonas: en el oriente sobre los 3.400 m.s.n.m. se presenta una zona de piedemonte, entre los 3.400 y 3.950 m.s.n.m. está el modelado glaciario heredado y de ahí en adelante hasta los 4.764 m.s.n.m. un piso que se denomina morfodinámica volcánica directa.
- Los vestigios más representativos del modelado glaciario heredado corresponden a los valles glaciares y morrenas de fondo donde drenan la quebrada London y el Río Blanco. Las demás geoformas de este sistema morfogénico se localizan en el nororiente, suroriente y oriente del Cumbal Moderno (vertiente de sotavento) sugiriendo un menor cubrimiento por depósitos volcánicos en relación con los flancos norte y oeste.
- Como se mencionó anteriormente el mayor avance glaciario se dio sobre los 3.400 m.s.n.m., no obstante también se identificaron dos estadios intermedios sobre

el valle de la quebrada London representados en dos morrenas de retroceso. Lo anterior sugiere que en ese valle se presentaron tres periodos de sedimentación glacial, de lo cual no pudo encontrarse indicios en otros sectores.

- En relación con la cobertura de la tierra y su distribución sobre los diferentes sistemas morfogénicos, logró observarse que en el valle glacial de la quebrada London, el bosque fragmentado coincide en buena parte con las partes más escarpadas, sugiriendo algún tipo de condicionamiento por parte de la pendiente. Esta situación también puede observarse en otros valles glaciares del departamento.
- Si bien en términos generales los suelos de la montaña alta se conforman principalmente por los Histosoles, en el área de estudio se destacan los Andisoles los cuales se desarrollaron sobre cenizas volcánicas caracterizándose también por tener alta porosidad lo cual ayuda a la regulación del ciclo hidrológico. Por otra parte la zonificación de suelos a escala 1:25000 guarda estrecha relación con las unidades geomorfológicas lo cual confirma la importancia de este tipo de información para los procesos de caracterización y mapificación de suelos.
- La propuesta y adaptación de clasificación de unidades geomorfológicas mediante sistemas morfogénicos permitió realizar procesos de generalización cartográfica (de escalas mayores: 1:25000 a menores: 1:100.000). lo cual facilita el manejo y sistematización de la información haciendo que esta tenga mayor aplicabilidad en otras ciencias y en procesos de planificación.

11. BIBLIOGRAFÍA

ÁLZATE ATEHORTÚA, Beatriz. Imágenes Especiales de la Superficie Terrestre. Procesamiento Digital, Análisis y Extracción de Información Temática. Santa Fe de Bogotá. 2001. 57p.

CALVACHE, Juan; PIZARRO, Fernando. Determinación de las características comunes entre suelos y vegetación frailejona en las áreas de páramo de la zona centro del departamento de Nariño. Investigación estudiantil. Pasto: Universidad de Nariño. Sistema de Investigaciones, 2013. 136 p.

CALVACHE, Martha y CORTÉS, Gloria. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia: Formación Los Pastos. INGEOMINAS, 1998. 45 p.

CATUNA, Néstor. La Percepción Remota y El Análisis del Espacio Geográfico. En: Cuadernos de Geografía. 1995. Vol. V N° 2. 83 – 105 p.

CORAL, Germán; PORTILLA, Natalia. Análisis del cambio de la cobertura del suelo en la selva altoandina y el páramo del volcán Cumbal, Departamento de Nariño – Colombia en el periodo comprendido entre 1987 – 2009. Tesis de pregrado en Geografía. Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Humanas, 2012. 147 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO – UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Proyecto Estado del Arte de la Información Biofísica y Socioeconómica de los Páramos de Nariño. San Juan de Pasto, 2007 tomo 4 135 p.

-----. Estudio del estado actual del páramo Las Ovejas – Tauso y apoyo al proceso de declaratoria como área protegida. Pasto. 2010.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS– USDA. Claves Para la Taxonomía de Suelos. 10 Ed. Washington. 2006. 331p.

DERRUAU, Max. Geomorfología. 2 Ed. Editorial Ariel. Barcelona. 1991. 485 p.

DULLFUS, Oliver. La cordillera de los Andes: presentación de los problemas geomorfológicos. En: Boletín Instituto Francés de Estudios Andinos. 1974. N° 4 Vol. 3. ISSN: 0303-7495.

FRENCH, Hugh. The periglacial environment. Ed. John Wiley and Sons Ltd. London. 2007. 458 p.

FLÓREZ, Antonio. Colombia: Evolución de sus relieves. Bogotá: Ed. Unibiblos, 2003. 240 p.

----- . Evolución Del Paisaje. Traducción de: *The Fundamental Principles of Landscape Evolution. Catena (Scheidegger, 1987)* En: Rev. Cuadernos de Geografía. 1994. Vol. 5 N° 1

----- . Tecto-orogénesis, disección e inestabilidad de vertientes “en los Andes colombianos”. En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. 1995. 19. p.

----- . RÍOS, Katherine. Las Lagunas de la Alta Montaña. En: Rev. Cuadernos de Geografía. 1998. Vol. VII n° 1-2 p. 25 -49.

----- . Movilidad Altitudinal de Páramos y Glaciares en los Andes Colombianos. En: Congreso Mundial de Páramos. Paipa – Boyacá. 2002, p.80 – 90.

GIL CRUZ, Fernando. Informe sobre la sismicidad observada en el volcán Cumbal en el periodo comprendido entre el 30 de Marzo y el 29 de Mayo de 1988. INS. NAL. INV. GEOL. MIN. Manizales, 1988. 24 p.

GOOSEN, Doeko. Geomorfología de los Llanos Orientales. En: Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen. 1964. XII. N°.46 p. 129-139.

GORMAN, C. The constructive history and petrology of volcan Cumbal, Southern, Colombia. Tesis de Maestría. Arizona: State Univ Arizona, 1997. 116 p.

GUTIÉRREZ, Mateo. Geomorfología. Ed Pearson Educación. Madrid. 2008. 920 p.

IDEAM. [online] Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 19 p. Disponible en: <http://www.glaciologia.cl/textos/IDEAM.pdf>.

----- . Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Bogotá. 2010. 252.p. 2 anexos, 26 Planchas DVD.

----- . Unidades geomorfológicas del territorio colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Santa Fe de Bogotá. Disponible en: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=800&conID=1239>. 59 p.

INGEOMINAS. Memoria explicativa. Geología de la plancha 447 – Ipiales – 447 bis – Tallambí. Medellín: INGEOMINAS, 2002. 105 p.

INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLT; UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Estudio técnico, económico, social y Ambiental para la, identificación de los Complejos de Páramos Chiles – Cumbal, La Cocha – Patascoy y Doña Juana – Juanoy. San Juan de Pasto. 2015.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. San Juan de Pasto. 2004.

INTURRASPE, Rodolfo. Dinámica de procesos y geoformas vinculadas al retroceso del glaciar O'Higgins campo de hielo patagónico sur. Anales Instituto Patagonia. 2002 N°. 30.

LOBO GUERRERO Alberto. La Geología de Colombia. 1987.

MALAGÓN, Castro Dimas. Los suelos de las regiones paramunas de Colombia y Venezuela. En: congreso mundial de páramos. Paipa. 2002. Tomo 1. 341 p.

MIGON, Piotr, et al. Contemporary evolution of talus slopes in the Wielki Śnieżny Kocioł glacial cirque. En: Opera Corcontica. Republica Checa. 2010, no. 47. 11 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE y OTROS. Plan de ordenamiento y manejo ambiental del complejo volcánico Doña Juana, cerro Juanoy y su área de influencia. Bogotá. 2003.

MONSALVE, M y BECHON, France. Aspectos vulcanológicos y geoquímicos del Volcán Cumbal. En: VI Congreso Colombiano de Geología [online], [citado 22, octubre, 2015]. Disponible en: www.sgc.gov.co.

MONSALVE, M y MÉNDEZ, R [online]. Mapa preliminar de amenaza volcánica del complejo volcánico Cumbal. En: III Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. [Citado 22, octubre, 2015]. Disponible en: www.sgc.gov.co.

MORENO OSORIO, Camilo. Fundamentos de Geomorfología. 2 ed. Editorial Trillas. México. 1992. 97p.

MOURA OLIVERA, João. Mapeamento e Caracterização Geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia Mercator Revista de Geografia da UFC Vol. 9. N° 20. pp. 217 – 238. DOI: 10.4215/RM2010.0920. 0014.

NARVÁEZ, Germán. Estudio geográfico del volcán Doña Juana y su área adyacente: Una perspectiva ambiental. Tesis de pregrado en Geografía. Universidad Nacional de Colombia. 1998. 122p.

NELSON, W. Contribución al Conocimiento de la Cordillera Occidental. Sección carretera Cali – Buenaventura. Bogotá. En: Boletín Geológico. 1962. no. 10, p. 81–108.

OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO. Boletín extraordinario de actividad de los Volcanes Chiles y Cerro Negro. San Juan de Pasto, Noviembre 20 del 2014.

PALACIOS, David. La elaboración de la cartografía de riesgos geomorfológicos y su aplicación en áreas de alta montaña. En: Serie Geográfica, 1996, no. 6, 38 p.

PARDO PASCUAL, José. Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca mediante perfiles transversales. Universidad Politécnica de Valencia. [online]. Disponible en: http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc1_6.pdf.

PINILLA OCAMPO, Alejandro, et al. El Neógeno Volcánico en el Altiplano Nariñense, suroccidente Colombiano. En: Geología Colombiana. Diciembre, 2008. no. 33. p. 69 – 78.

PORTA, Jaime, LÓPEZ, Marta, ROQUERO, Carlos. Edafología Para La Agricultura y El Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa. Madrid 1994. 471p.

RANGEL, Orlando, Biodiversidad en la Región del Páramo: con Especial Referencia a Colombia. En: Congreso Mundial de Páramos. Paipa. 2002, tomo 1, p. 168–192.

RANGEL, Orlando; ORJUELA, Andrea. Prioridades de Investigación en el Páramo. En: Congreso Mundial de Páramos. Paipa – Boyacá. 2002, p.270.

ROBERTSON, Kim. Morfotectónica y dataciones del fallamiento activo del piedemonte llanero, Colombia, Sudamérica. En: Cuadernos de Geografía. 2007. N° 16. 11 p.

ROBERTSON, K; FLÓREZ, A; CEBALLOS, J. Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. En: Rev. Cuadernos de Geografía. 2002. Vol. XI nº 1-2 39 p.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, para la generación del mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá. 2012. 86 p.

SOTO BÄUERLE, María Victoria; CARMEN PAZ, Castro Correa y CHÁVEZ VALDIVIA, Carolina. Caracterización geomorfológica del corredor de comercio Las Leñas, valle del Río Cachapoal, Andes de Chile central. Norte Grande. 2004, N°. 31. pp. 85 – 98 ISSN:

STRAHLER, Alan; STRAHLER, Arthur. Geografía Física. 3º Edición. Editorial Omega. Barcelona. 539.p.

ÚBEDA, José. Cronologías glaciales del sector NE del nevado Coropuna (Perú): Implicaciones geomorfológicas y paleoclimáticas, En: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 2013, N°. 62. p. 213 – 236. ISSN: 0212-9426.