

**CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL
AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA**

DANNA MICHEL PIZARRO BELLO

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
MEDELLÍN-ANTIOQUIA
2019

**CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL
AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA**

Danna Michel Pizarro Bello
dpizarro@eafit.edu.co

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de **geólogo**

DIRECTOR

Ingeniero geólogo. Marco Fidel Gamboa Ramírez
mgamboa@eafit.edu.co

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
MEDELLÍN
2019

*“Mientras tenga 1% de
probabilidad, tendré 99% de fe”
Anónimo.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar mis más sinceros agradecimientos:

A Dios por hacer grandes obras en mí y demostrarme que sus planes son perfectos.

A mis padres, por el sacrificio que hacen para poder cumplir mis metas, por confiar en mí y darme la mano en los momentos que más lo necesito.

A mis hermanos, por darme fuerza y ánimo en los momentos difíciles, por motivarme a ser su ejemplo a seguir y por tenerme paciencia.

A Héctor Pérez por ser la persona que me acompañó en casi toda mi carrera universitaria, por darme el consejo indicado y por ser un gran apoyo en este proyecto.

A Marco Gamboa, por la ayuda, su apoyo y dedicación para realizar este proyecto de grado.

A mi madrina Alvenis y a mis tíos Evelis y Clímaco, porque de una u otra manera contribuyeron a que haya dado este paso.

A Andrea Vivas, por su apoyo y su amistad.

Y por último, a Ana Lucía, Leidy, Wilton, Sandra, a mis compañeros y profesores, por contribuir de forma positiva en mi carrera universitaria.

CONTENIDO

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMÁTICA.....	3
1. OBJETIVOS.....	4
1.1. Objetivo general.....	4
1.2. Objetivos específicos.....	4
2. METODOLOGÍA.....	5
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	6
4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	8
Ambiente denudacional.....	8
Ambiente fluvial y/o lagunar.....	8
Ambiente estructural.....	8
Ambiente glaciar.....	9
5. MARCO TEÓRICO.....	10
5.1. Glaciar.....	10
5.2. Glaciación.....	11
5.3. Geomorfología glaciar.....	12
5.3.1. Geoforma actual.....	12
5.3.2. Geoformas glaciares heredadas.....	12
6. RESULTADOS.....	17
6.1. Geoformas glaciares actuales.....	17
6.1.1. Masa glaciar.....	17
6.2. Geoformas glaciares heredadas.....	19
6.2.1. Circos.....	19
6.2.2. Aristas.....	21
6.2.3. Horns o agujas.....	22
6.2.4. Lagos.....	23
6.2.5. Morrenas.....	25
7. DISCUSIÓN.....	39
7.1. Estadio Aduriameina.....	39
7.2. Estadio Mamancanaca.....	40
7.3. Estadio Naboba.....	42

7.4. Estadio Bolívar.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Sierra Nevada de Santa Marta.....	2
Figura 2. Esquema de la metodología.....	5
Figura 3. Geología de la Sierra Nevada de Santa Marta. SNP: Sierra Nevada Province, SB: Sevilla Belt, IB: Inner Santa Marta Metamorphic Belt, OB: Outer Santa Marta Metamorphic Belt, AB: Aracataca Basin, PB: Palomino Basin, CRB: Cesar Rancheria Basin. Faults: SL: Sevilla Lineament, OhF: Orihueca Fault. AF: Aguja Fault. FF: Florin Fault. Tomado de: Piraquive (2017).....	7
Figura 4. Mapa geomorfológico de la Sierra Nevada de Santa Marta. Tomado de: SGC, (2015).....	9
Figura 5. Esquema de un glaciar. Tomado de: IDEAM, (2012).	10
Figura 6. A. Contorno glaciar en 1989 (azul), 2002 (rosado) y 2007 (verde). B. Evolución de la extensión glaciar: 1989 (10.14 Km ²), 2002 (7.33Km ²), 2007 (5.95Km ²).	12
Figura 7. Inventario de la masa glaciar disponible en la SNSM, ubicada alrededor de los picos Cristóbal Colón, Simón Bolívar, Simons, Ojeda, Codazzi, Tulio Ospina, La Reina, Tairona y El Guardián.	17
Figura 8. Panorámica de la masa glaciar. Gg: Masa glaciar. Imagen tomada del SGC (2015), en el sobrevuelo EAFIT-SGC, fecha de la imagen 21/8/14.	18
Figura 9. Lenguas glaciares con presencia de grietas.	18
Figura 10. Masa glaciar en la base del pico La Reina, formando un lago debido al derretimiento de la masa glaciar.	19
Figura 11. Inventario de los circos glaciares existentes en la Sierra Nevada de Santa Marta.....	20
Figura 12. Inventario de los circos glaciares de la SNSM clasificados según la altitud.	20
Figura 13. Variación del tamaño de los circos.....	21
Figura 14. Circos ubicados alrededor de los picos Cristóbal Colón y Simón Bolívar.	21
Figura 15. Inventario de aristas en la Sierra Nevada de Santa Marta.	22
Figura 16. Los horns de la SNSM están ubicados en los picos Cristóbal Colón, Simons, Ojeda y La Reina.....	22
Figura 17. Horns ubicados en los picos La Reina y Ojeda. Figura tomada y modificada de Google Earth (2019). Fecha de imagenes: 1/11/2017.....	23

Figura 18. Horns ubicados en los picos Cristóbal Colón y Simons. Figura tomada y modificada de Google Earth (2019). Fecha de imagenes: 1/11/2017.	23
Figura 19. Lagos distribuidos en la SNSM.	24
Figura 20. Lagos obstruidos por morrenas frontales.	24
Figura 21. Lagos en rosario.....	25
Figura 22. Estado de conservación de las morrenas.....	25
Figura 23. Clasificación de las morrenas de la SNSM según su estadio.....	26
Figura 24. Morrena ubicada en el valle del Río San Miguel.	26
Figura 25. Cuatro morrenas entre 2.800 m y 3.400 m de altura, probablemente pertenece al estadio Aduriameina.	27
Figura 26. Morrenas ubicadas en el valle del Río Badillo.....	27
Figura 27. Morrenas laterales localizadas cerca al nacimiento del Río Guatapurí. .	28
Figura 28. Morrenas en el valle de la quebrada El Chorro. Tomada de: Google Earth. Fecha de la imagen: 1/04/2017.....	28
Figura 29. Principales morrenas del estadio Mamancanaca.	29
Figura 30. Morrenas ubicadas en los márgenes del Río Duriameina.	29
Figura 31. Morrenas laterales ubicadas entre las quebradas Neiva y Viscungue. ...	30
Figura 32. Morrenas laterales ubicadas cerca a las morrenas del estadio Bolívar. .	31
Figura 33. Morrenas localizadas al oeste de las morrenas típicas de Mamancanaca.	32
Figura 34. Probables morrenas del estadio Mamancanaca ubicadas al norte de la quebrada El Chorro.	32
Figura 35. Morrenas que probablemente permanezcan al estadio Mamancanaca, cerca al nacimiento del Río Don Diego.	33
Figura 36. Morrenas poco conservadas cerca a la quebrada Silvestre, probablemente permanezcan al estadio Mamancanaca.....	33
Figura 37. Morrena frontal perteneciente al estadio Naboba a 4.500 m.....	34
Figura 38. Morrenas del Naboba rodeadas por varios lagos.....	34
Figura 39. Relicto de una morrena localizado a 4.250 m.	34
Figura 40. Morrenas ubicadas en la parte alta del Río San Miguel.	35

Figura 41. Morrena localizada entre las quebradas Neiva y Viscungue.	35
Figura 42. Morrenas ubicadas en la quebrada Besameina.	36
Figura 43. Arcos morrénicos alrededor de los picos Tulio Ospina, Codazzi y Ojeda.	36
Figura 44. Arcos morrénicos alrededor del pico Simón Bolívar.	37
Figura 45. Morrenas del estadio Boliviano alrededor del pico Simón Bolívar.	37
Figura 46. Morrenas del estadio Bolívar localizadas al norte del pico Simons.	38
Figura 47. Morrenas ubicadas entre los picos El Guardián y Tairona.	38
Figura 48. Posibles morrenas del estadio Aduriameina.	40
Figura 49. Mapa glaciológico durante el estadio Mamancanaca, Tomado de: Rassveldt, (1957).	41
Figura 50. Morrenas del estadio Mamancanaca.	41
Figura 51. Morrenas del estadio Naboba delimitadas según el estudio de Van der Hammen (1984).	43
Figura 52. Morrenas del estadio Naboba.	43
Figura 53. Morrenas del estadio Bolívar.	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definición y variable para la caracterización de las geoformas glaciares. Figuras tomada de Google Earth (2019).....	13
Tabla 2. Tipos de morrenas según su posición.	15
Tabla 3. Edad de los estadios glaciales de la Sierra Nevada de Santa Marta.....	15
Tabla 4. Altitud de los vestigios glaciales de la SNSM.....	16
Tabla 5. <i>Estado de conservación de las morrenas.</i>	16

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa geomorfológico del ambiente glacial de la Sierra Nevada de Santa Marta.....	48
--	----

RESUMEN

Este proyecto de grado tiene como objetivo caracterizar las geoformas actuales y heredadas del ambiente glacial de la Sierra Nevada de Santa Marta. Se escogió el glaciar de este macizo ya que presenta los datos más alarmantes de retroceso glaciar y presenta registros geomorfológicos acerca de las glaciaciones que se presentaron a finales del Pleistoceno y durante el Holoceno. Para la caracterización geomorfológica, se escogió como geoforma actual la masa glaciar y como geoformas heredadas a los lagos, circos, aristas, horns y las morrenas, esta última se relacionó con los períodos glaciales.

Para caracterizar y correlacionar estas geoformas fue necesario hacer una recopilación bibliográfica acerca del comportamiento del sistema glaciar, las geoformas glaciares y los vestigios glaciales de la SNSM. Con base a lo anterior, se fotointerpretó las imágenes satelitales obtenidas en Google Earth y ortofotos de ArcGIS, lo que permitió hacer una base de datos en la que se incluyó un inventario de todas estas geoformas y su respectiva descripción. Con la integración de toda la información secundaria y procesada que se obtuvo con los pasos hechos anteriormente, se pudo cartografiar las geoformas glaciares de este macizo a escala de trabajo 1:25.000 pero con base cartográfica 1:100.000. Con base a las características de las morrenas encontradas como la altitud, estado de conservación, espesor y ubicación, se pudo hacer una discusión acerca de las glaciaciones pasadas a partir de estudios hechos por autores como Gansser (1955), Raasveldt (1957), Bartels (1970 y 1984) y Van der Hammen (1984).

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del cambio climático, en los Andes colombianos desaparecieron ocho glaciares tropicales durante el siglo XX y los seis glaciares restantes como el Volcán del Huila, Volcán del Tolima, Volcán Santa Isabel, la Sierra Nevada del Cocuy, Volcán del Ruiz, y la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) han presentado tasas de retiro de masa glaciar acelerado durante la última década. Por ser glaciares localizados en el trópico, los hace altamente sensibles a la variabilidad climática de escalas de tiempo cortas. La Sierra Nevada de Santa Marta ha tenido el retroceso más alarmante, por lo que hace óptima para el objetivo de esta investigación (Poveda & Pineda, 2009).

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es un macizo montañoso de forma triangular ubicada en el norte de Colombia, con una extensión máxima de 13.700 Km² (Tchanz et. al., 1974). La Sierra Nevada está separada de las cordilleras de Los Andes por amplias llanuras aluviales que están casi a nivel del mar. Se extiende al norte con Palomino y Dibulla en el departamento de La Guajira, al oeste con los municipios Santa Marta y Fundación en el departamento del Magdalena, al este con Valledupar en el departamento del Cesar, y al sur con Pueblo Bello, municipios del último departamento en mención (Figura 1) (INGEOMINAS, 2007).

La SNSM ha sufrido cambios debido a las glaciaciones globales durante el Cuaternario, evidenciadas por cuatro estadios, cuyo estadio más antiguo es llamado Aduriameina (>24.000 A.P.), característico por depósitos morrénicos, cubiertos por una capa de material de origen eólico (Raasveldt, 1957). El estadio Mamancanaca (21.000-14.000 A.P.) contiene las morrenas más conspicuas, de mayor extensión y magnitud (Gansser, 1955; Raasveldt, 1957). Estas morrenas se formaron durante el Último Máximo Glacial (21.000-14.000 años) (Van der Hammen, 1984). La última glaciación en el Pleistoceno, da lugar al estadio Naboba (11.000-10.000 A.P.). Este sistema de morrenas están ubicadas en el valle glaciar entre los macizos del pico Bolívar y pico La Reina (Van de Hammen, 1984). Las glaciaciones del Pleistoceno originaron las principales acumulaciones fluvio-glaciales y fluvio-torrenciales registradas en el norte de la SNSM y en el Valle Cesar-Ranchería. El estadio más reciente, el estadio Bolívar, ocurrió durante una pequeña edad de hielo (1.550 a 1.850 A.D.). En este período se originaron morrenas agrupadas particularmente alrededor del pico Simón Bolívar (Raasveldt, 1957).

Según el IDEAM (2012), entre 1850 hasta el 2010 se ha perdido gran parte de la masa glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), esto se debe al cambio climático. Existen varios estudios acerca de esta aceleración de la masa glaciar con base a datos históricos, sin embargo, la SNSM presenta registros geomorfológicos acerca de

las glaciaciones pasadas y estos no se han tenido en cuenta por lo que la hace una problemática. Siendo esto el objetivo principal de este trabajo que consiste en caracterizar las geoformas actuales y heredadas del ambiente glacial de la zona de estudio y relacionar las geoformas con los estadios glaciales. Para cumplir estos objetivos se realizó una base de datos donde se relacionó el inventario de las geoformas y su respectiva descripción a través de la compilación de información secundaria y procesada, a partir de esto se realizó la cartografía de este ambiente glacial a escala 1:25.000 y una correlación de los estadios glaciales con base a estudios existentes.

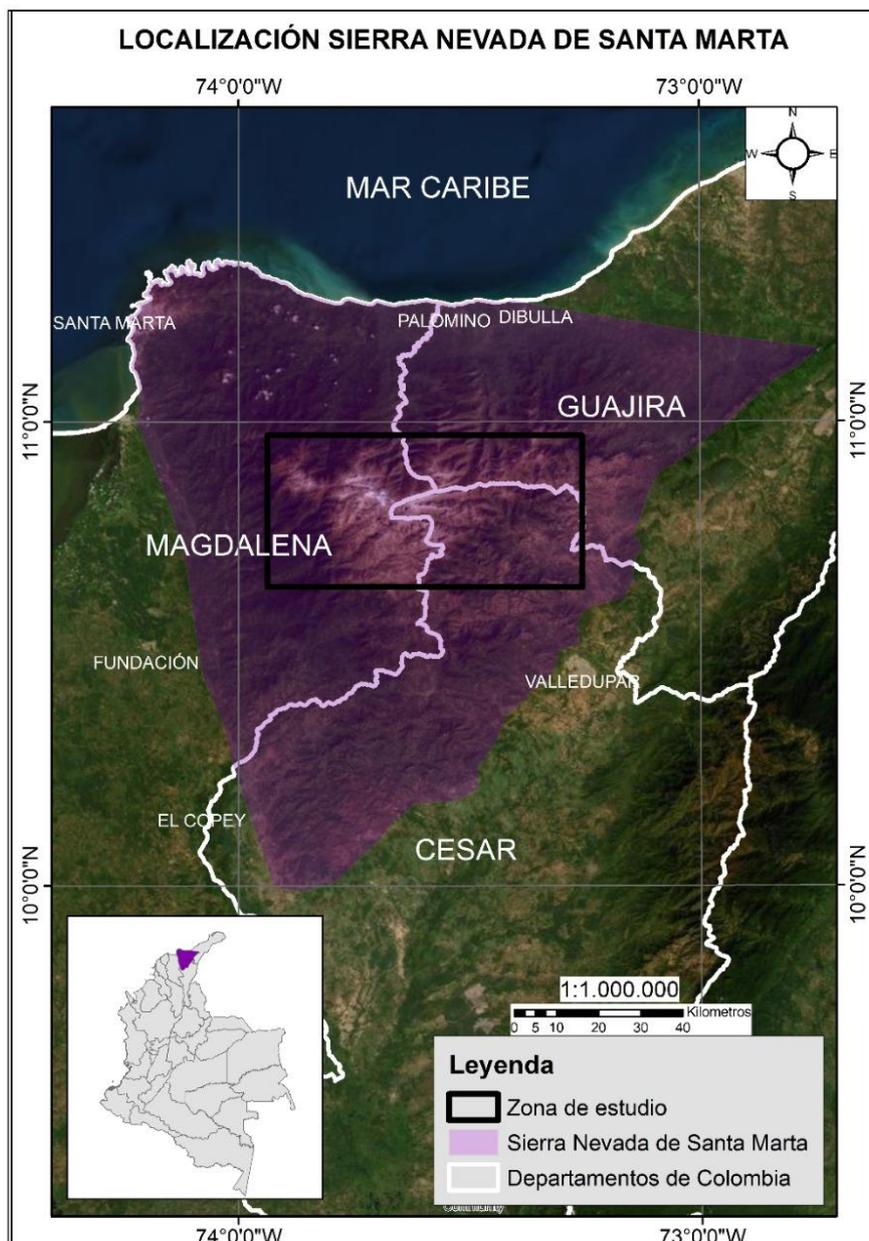


Figura 1. Localización de la Sierra Nevada de Santa Marta.

PROBLEMÁTICA

Según el IDEAM (2012), para la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) desde 1850 hasta el 2010 se ha perdido el 91% de la masa glaciar, fenómeno influenciado por el cambio climático. Sin embargo, la SNSM presentó una mayor extensión de masa glaciar durante el Cuaternario, en la cual la pérdida ha sido mucho mayor que los datos históricos. Lamentablemente no se cuenta con análisis geomorfológico que den cuenta de la variación real del fenómeno glaciar y poder definir medidas de mitigación o adaptación al cambio climático teniendo en cuenta un criterio geológico y geomorfológico que aborde la problemática, no desde la perspectiva histórica sino de la evolución de un fenómeno durante el Cuaternario.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las características de las geoformas actuales y heredadas de la Sierra Nevada de Santa Marta y como se pueden agrupar de acuerdo a los períodos glaciales?

HIPÓTESIS

Es posible agrupar las diferentes geoformas glaciares presentes en la SNSM de acuerdo a los períodos glaciales diferidos por los diferentes autores como Van der Hammen (1984) y Rassveldt (1957).

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Caracterizar las geoformas actuales y heredadas del ambiente glacial de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM).

1.2. Objetivos específicos

1.2.1. Generar una base de datos a partir de información secundaria e información procesada.

1.2.2. Relacionar las geoformas con los estadios glaciales a partir de la altitud.

1.2.3. Cartografiar las unidades geomorfológicas del ambiente glacial de la Sierra Nevada de Santa Marta a escala 1:25.000.

2. METODOLOGÍA

La metodología para el cumplimiento de los objetivos, se dividió en tres fases (Figura 2).

Fase 1. Recopilación Bibliográfica: Se hizo una recopilación de información acerca del sistema glaciar, variables para la caracterización de las geoformas glaciares y artículos acerca de los estadios glaciares de la SNSM, así mismo, se obtuvo una base cartográfica, mapas geomorfológicos existentes e imágenes satelitales.

Fase 2. Análisis de imágenes satelitales: Con base a la recopilación bibliográfica se fotointerpretó las imágenes satelitales obtenidas en Google Earth y ortofotos de ArcGIS.

Fase 3. Compilación de información: A partir de la integración de información primaria y secundaria de las fases anteriores, se pudo adquirir una base de datos donde incluye un inventario y la respectiva descripción de cada geoforma glaciar, así mismo se cartografió a escala 1:25.000 estas geoformas glaciares y a partir de la altitud de las morrenas se correlación con los estadios glaciares con base a estudios existentes de los vestigios de la SNSM.

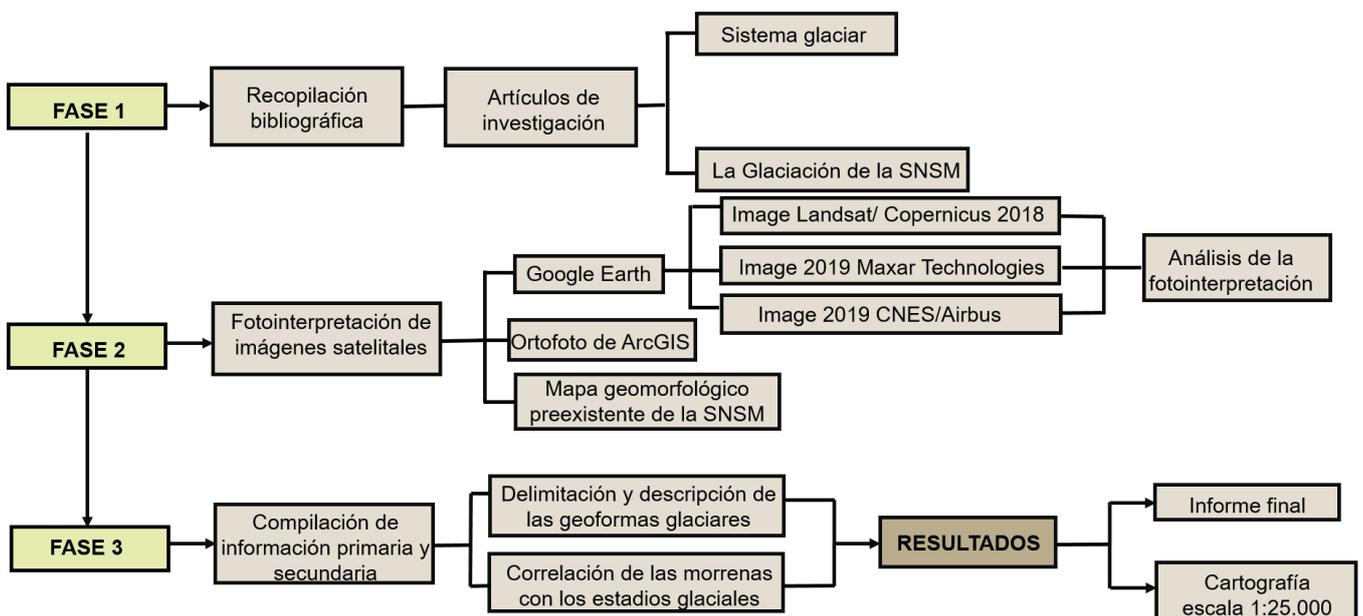


Figura 2. Esquema de la metodología.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La SNSM se caracteriza por presentar una forma triangular al que se relaciona con dos fallas fronterizas intercontinentales compuesta al oriente por la Santa Marta-Bucaramanga, que consiste en una falla sinistral y al norte, la falla Oca siendo esta una falla dextral (Herrera, et. al., 2008). Geotectónicamente, la SNSM presenta tres provincias como la Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta en la cual presentan un basamento metamórfico intruido por plutones del Mesozoico y Cenozoico (Figura 3) (Tchaz et. al., 1974).

El terreno Sierra Nevada (SNP) se ubica en la zona suroriental del macizo, se limita al noroeste por el lineamiento Sevilla que la separa del terreno Sevilla, al sureste está limitado por los valles de los ríos Cesar y Ranchería y por el lineamiento del Cesar, la cual la separa del terreno del Perijá, limita al norte con la falla de Oca cuya falla la separa de las zonas planas de la Península de la Guajira y limita al suroeste con la falla Santa Marta-Bucaramanga (Tchaz et. al., 1974). Se caracteriza por presentar un basamento granulítico Precámbrico, la mayor parte del terreno está afectada por plutones del arco Jurásico y está cubierta por depósitos volcánicos del Triásico y Jurásico que abundan más en el flanco SE de la SNSM, cerca de la cuenca Cesar-Ranchería donde los flujos volcánicos y los batolitos asociados se alteran con secuencia siliciclásticas y de carbonatos (Piraquive, 2017).

En lo zona este del lineamiento de Sevilla se localiza el terreno de Sevilla (SB), presenta un cinturón polimetamórfico de gneises máficos posiblemente del Paleozoico Inferior, bloques alóctonos de granulitas precámbricas y esquistos del Jurásico, este terreno está intruido por cuerpos dioríticos del Pérmico y granitoides del Mesozoico y Cenozoico (Piraquive, 2017).

El terreno de Santa Marta, está compuesta por el batolito Santa Marta de edad Terciaria con orientación al noreste que separa dos franjas paralelas constituidas de esquistos. Se localiza en la zona noroeste del macizo, limita al sureste con el terreno Sevilla, al norte y oriente con el Mar Caribe, y al suroeste con la falla Santa Marta-Bucaramanga (Tchaz et. al., 1974). En el cinturón metamórfico de Santa Marta interior (IB) se encuentra los esquistos de Gaira y San Lorenzo en facies anfibolita y milonitas que superponen a los granitoides del Pérmico y a su vez son intruidas por granitoides de edad Paleógena. El cinturón metamórfico exterior del terreno Santa Marta (OB) se caracteriza por esquistos verde y rocas volcánicas del Jurásico-Cretácico de las formaciones Rodadero, Cinto, Punta Betín y Concha (Piraquive, 2017).

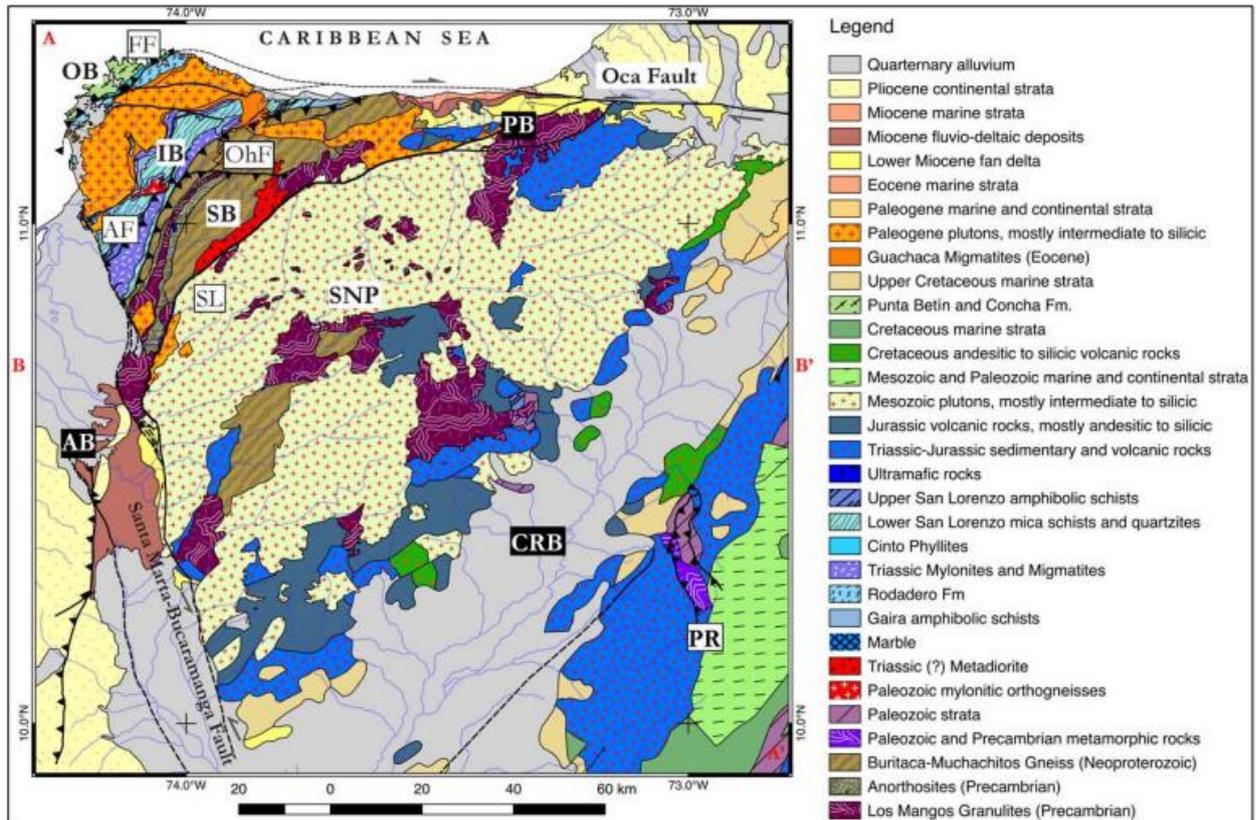


Figura 3. Geología de la Sierra Nevada de Santa Marta. **SNP:** Sierra Nevada Province, **SB:** Sevilla Belt, **IB:** Inner Santa Marta Metamorphic Belt, **OB:** Outer Santa Marta Metamorphic Belt, **AB:** Aracataca Basin, **PB:** Palomino Basin, **CRB:** Cesar Rancheria Basin. **Faults:** **SL:** Sevilla Lineament, **Ohf:** Orihueca Fault. **AF:** Aguja Fault. **FF:** Florin Fault. Tomado de: Piraquive (2017).

4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

En la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentran identificadas 48 unidades geomorfológicas en cuatro ambientes geomorfológicos: Denudativo, fluvial, glaciar y estructural (Figura 4), tomados de la memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado en movimiento en masa de la plancha 19-Sierra Nevada de Santa Marta a escala 1:100.000 (Servicio Geológico Colombiano, 2015) (Figura 4).

Ambiente denudacional

En la plancha 19-Sierra Nevada de Santa Marta, se identificaron 13 unidades geomorfológicas denudativas en la SNSM como: cerro residual (Dcrs), conos de talus (Dcf), lóbulo de flujo de detritos (Dlfd), escarpe de erosión mayor (Deem), escarpe de erosión menor (Deeme), ladera erosiva (Dle), lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc), longitud denudado bajo de longitud media (Dldebm), lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl), lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml), lomo denudado alto de longitud larga (Dldeal), sierra denudada (Dsd), sierra residual (Dsr).

Ambiente fluvial y/o lagunar

En la plancha 19-Sierra Nevada de Santa Marta, este ambiente se localiza en el noreste de la Sierra Nevada producto de los ríos Palomino, Don Diego, Sevilla, Buritaca, Tucurínca y Lucuisi. Son 4 unidades geomorfológicas que componen este ambiente fluvial y/o lagunar en la zona de estudio como abanico aluvial (Faa), cauce aluvial (Fca), planicie aluvial confinada (Fpac) y terraza de acumulación (Fta).

Ambiente estructural

En la SNSM hay un control tectónico, generado por las fallas que presentan un rumbo de N30° E: San Antonio, San Miguel, Manitza, Nueva Granada, Corea, Don Diego Chiquito y San Francisco. Las unidades geomorfológicas pertenecientes en este ambiente, se han identificado movimientos en masa asociados a pendientes inclinadas, el clima y usos del suelo.

Para este ambiente, identificaron 23 unidades geomorfológicas estructurales pertenecientes a la plancha 19: Cerro estructural (Sce), Escarpe de línea de falla (Slfe), espolón bajo de longitud media (Sesbm), espolón bajo de longitud larga (Sesbl), espolón moderado de longitud media (Sesmm), espolón moderado de longitud larga (Sesml), espolón alto de longitud larga (Sesal), espolón facetado bajode longitud media (Sefcbm), espolón facetado bajo de longitud larga (Sefcbl), espolón facetado moderado de longitud corta (Sefcmc), espolón facetado

moderado de longitud larga (Sefcml), espolón faceteado alto de longitud larga (Sefcal), espolón festoneado bajo de longitud larga (Sefesbl), gancho de flexión (Sgf), ladera contrapendiente (Slcp), ladera contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc), ladera estructural (Sle), ladera estructural de sierra homoclinal, lomo de falla (Sif), lomo de falla con faceta triangular (Sift), lomos (Sl), sierra (Ss) y sierra y lomos de presión (Sslp).

Ambiente glaciar

El ambiente glaciar se localiza en la zona alta de la Sierra Nevada de Santa Marta y presenta morrenas laterales y frontales, lagos, circos y valles glaciares.

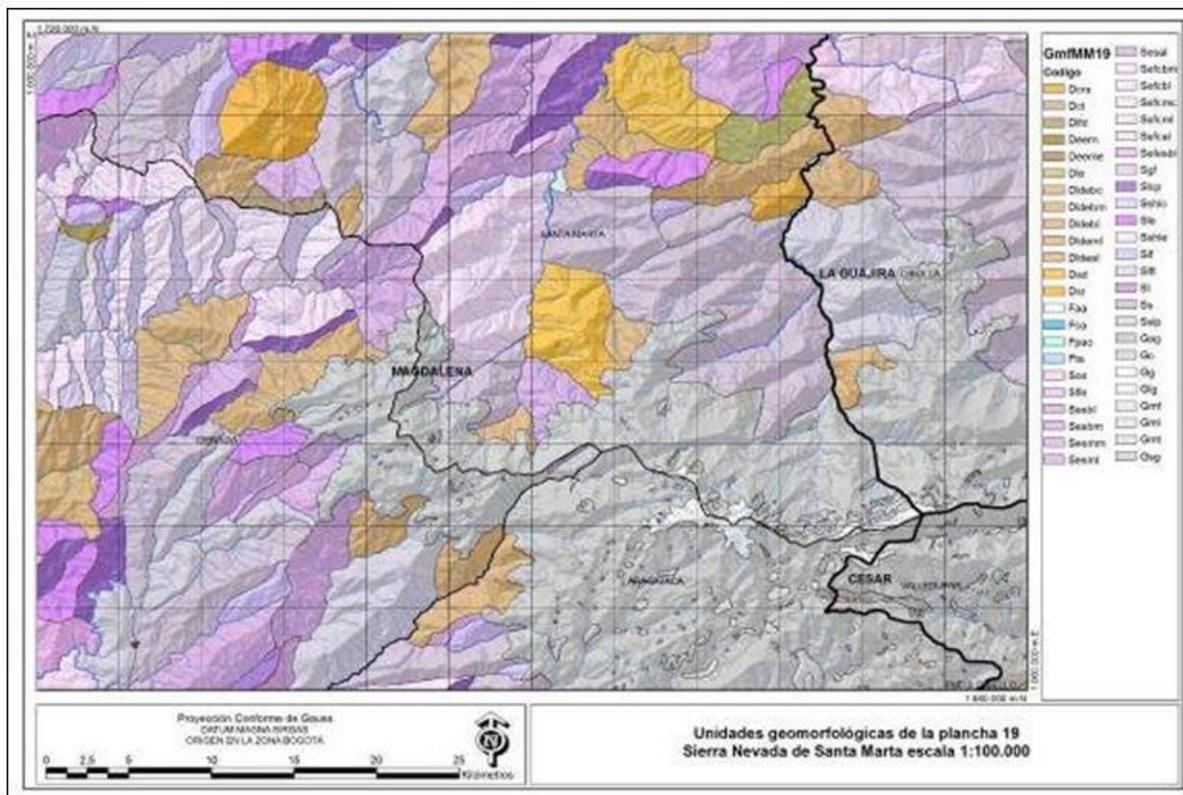


Figura 4. Mapa geomorfológico de la Sierra Nevada de Santa Marta. Tomado de: SGC, (2015).

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Glaciar

Consiste en masas de hielo en movimiento que incluye detritos rocosos, presentando un balance entre la alimentación (acumulación) y la fusión (ablación) (IDEAM & Universidad Nacional, 1997). Por las condiciones atmosféricas, los glaciares tienden a ser dinámicos, cuyos componentes y funcionamiento cambian con el tiempo (IDEAM, 2012).

Estos presentan una zona superior, donde ocurre una ganancia de masa glaciar debido a la precipitación, acción eólica u ocasionalmente por avalanchas (zona de acumulación); y una zona inferior donde se pierde masa glaciar originados por la fusión, la lluvia, temperatura del aire, radiación solar, cantidad de detritos, etc. (Sharp, 1988) (Figura 5).

Estas zonas están dividida por la **línea de equilibrio**, donde el balance es cero. Cuando el balance es positivo, el glaciar ha ganado hielo y nieve (acumulación neta anual). El balance negativo, por el contrario, indica pérdida de hielo y nieve (ablación neta anual). Cuando el balance es cero, manifiesta que hay un equilibrio entre la zona de acumulación y la zona de ablación. La diferencia entre ambas zonas se le denomina **balance neto** (Gutiérrez, 2008).

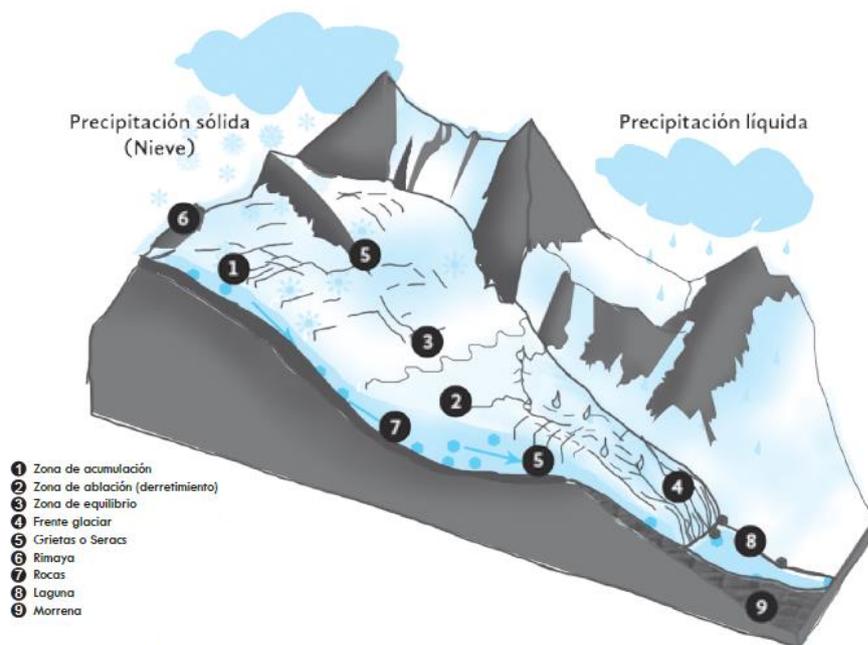


Figura 5. Esquema de un glaciar. Tomado de: IDEAM, (2012).

5.2. Glaciación

Se le denomina glaciación a los períodos fríos causados por factores externos al planeta como el ciclo de Milankovitch y ciclos solares; o por factores internos del planeta como los cambios en la posición de los continentes, actividad volcánica, cambios en la atmósfera, cambios en las corrientes oceánicas o por variaciones en el albedo de la superficie terrestre. Las glaciaciones generan acumulación y extensión de las masas de hielo sobre la superficie del planeta (IDEAM, 2012).

La glaciación en Colombia se presentó durante el Cuaternario, donde las masas de hielo descendieron hasta los 3.000 msnm (Volcán Nevado del Huila, el Volcán Nevado del Ruíz Volcán Nevado del Tolima, Volcán Nevada de Santa Isabel, la Sierra Nevada de El Cocuy y la Sierra Nevada de Santa Marta). Hay que tener en cuenta que las glaciaciones en Colombia se dan a la altitudinal. Según el IDEAM (2012), el levantamiento de la Cordillera de los Andes durante el Terciario favoreció las condiciones para que el enfriamiento tuviera más efecto en el Cuaternario, formando las masas de hielo.

El último glacial en el territorio colombiano inició hace unos 116.000 años y dentro de ese periodo frío, aproximadamente 70.000 años, ocurre dentro un descenso en la temperatura, originando un crecimiento de los glaciares colombianos (IDEAM, 2012). Estas glaciaciones en Colombia coinciden con las glaciaciones Wisconsin, Makalia-Gambles y Würm de América del Norte, África y Europa, respectivamente (Flórez, 1992).

Según el IDEAM (2012) se estima que durante el período pleniglacial (hace 35.000 años), se presentó la máxima extensión glacial del país, Flórez (2002) indicó que los glaciares en el territorio de Colombia pudieron llegar a obtener una extensión de 17.109 Km².

Entre el año 1.600 y 1.850 d.C., se presentó un período donde ocurre un incremento de volumen y área de la masa glacial, cuyo período es denominado Pequeña Edad de Hielo, Pequeña Edad Glacial o Neoglacial. Durante su período, el límite inferior de la masa glacial llegó a los 4.100 y 4.600 msnm. Flórez (1992), afirma que la extensión glacial alcanzó los 374 Km² y aproximadamente un volumen de 10 Km³. El Neoglacial finaliza y aumenta la temperatura, ocasionando el rápido retroceso de los glaciares colombianos (proceso que ocurre actualmente) (IDEAM, 2012).

5.3. Geomorfología glaciar

Según Gutiérrez (2008), la geomorfología analiza los procesos glaciares, su evolución y morfología resultante de la acción de la masa glaciar. Toma en cuenta la dinámica de los glaciares que cambian en días o meses, por lo que es necesario estudiar sus formas resultantes y procesos actuales. Para este proyecto de investigación se clasificó como geoforma glaciar actual a la masa glaciar y geoforma glaciar heredada a los circos, aristas, horns y lagos.

5.3.1. Geoforma actual

Según Poveda & Pineda (2009), las estimaciones de área glaciar para la SNSM es 10.14 Km² en 1989, para 2002 fue de 7.33 Km² y 5.95Km² en 2007 (Figura 6), dando una conclusión de pérdida glaciar de 41% durante 1989-2007. Infieren que la tasa de retiro glaciar promedio de 232.611 m² año⁻¹ y que esto se presenta por las características geográficas y ambientales que presenta la SNSM por lo que las hace vulnerable al calentamiento global.

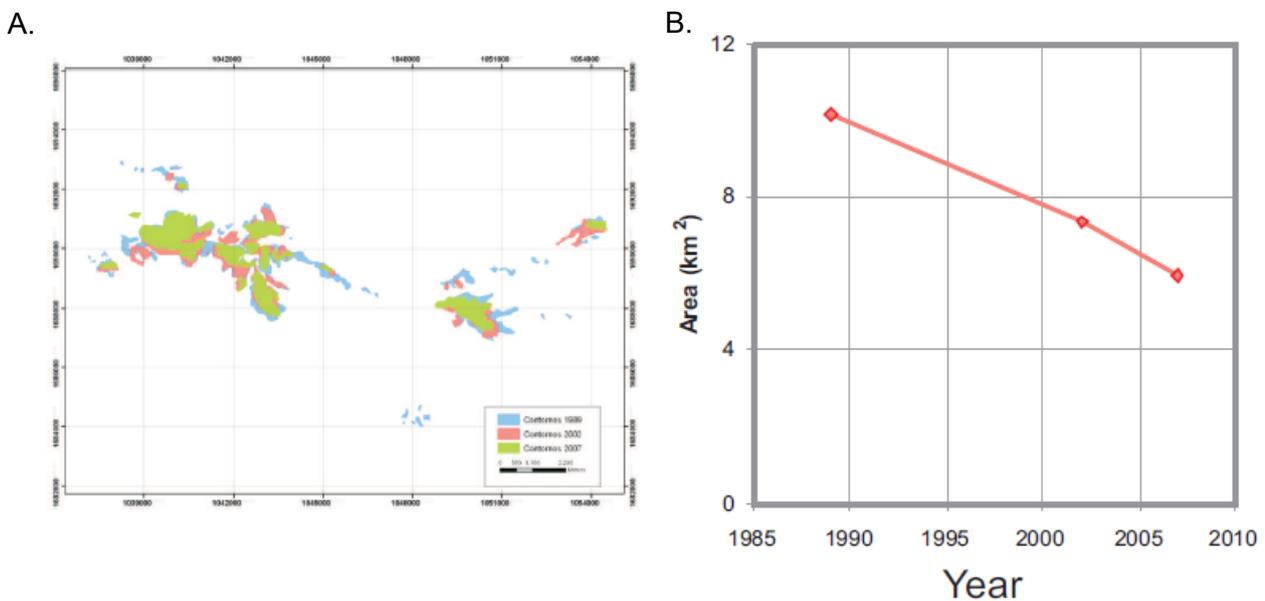


Figura 6. A. Contorno glaciar en 1989 (azul), 2002 (rosado) y 2007 (verde). **B.** Evolución de la extensión glaciar: 1989 (10.14 Km²), 2002 (7.33Km²), 2007 (5.95Km²).

5.3.2. Geoformas glaciares heredadas

La erosión glaciar se presenta en la interface hielo-roca donde la acción del movimiento de las masas glaciares erosiona las paredes de las rocas, y como consecuencia de estos movimientos, se generan nuevas morfologías (Gutiérrez,

2008). Se caracterizaron las geoformas glaciares heredadas con respecto a las variables adjunta en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición y variable para la caracterización de las geoformas glaciares. Figuras tomada de Google Earth (2019).

	Geoforma glaciar	Variable	Figura
Geoformas glaciares heredadas	Circo	Dirección	
		Acumulación de la masa glaciar	
		Ubicación	
		Altura	
	Aristas	Ubicación	
		Longitud	
		Pendiente	
		Altura	
	Horns o agujas	Ubicación	
		Altura	
		Caras y paredes	
		Acumulación de la masa glaciar	
	Lagos	Tipo	
Ubicación			
Altura			

Los circos glaciares son considerados como una depresión semicircular, dominado por laderas abruptas que han estado o están ocupadas por hielo. Generalmente, las paredes de los circos están rotas o fragmentadas, y su superficie basal está suavizada. Sus dimensiones oscilan entre decenas de metros hasta kilómetros. Dichas dimensiones dependen de las características estructurales y litológicas del macizo o de la duración de la glaciación (Gutiérrez, 2008). La morfometría de los circos se obtiene mediante varios caracteres. Según Andrews (1975), el valor de la cotangente del ángulo forma el umbral del circo con el techo de la pared final, infiriendo la erosión glaciar.

Según varios autores, la formación de un circo comienza a partir de una primera acumulación nival (fase incipiente) en una depresión ya existente (nivación). Esto deja como resultado la formación de un nicho de nivación y la excavación de la depresión preexistente. Si la nieve perdura de un año a otro (fase de neviza) en el nicho de nivación, la nieve se convierte en neviza y luego pasa a hielo, originando circo embrionario. (Thorn & Hall, 1980).

El desarrollo de los circos está influenciado por diferentes causas, tales como el número de glaciaciones y su duración, las latitudes, la estructura y litología del macizo rocoso. En la evolución de los circos, ocurre un retroceso de sus paredes generando en los límites con otros circos, aristas. **Los horns, agujas o picos apiramidados**, se forman por el retroceso de la pared final del circo; estos horns presentan tres o cuatro caras (Gutiérrez, 2008)

Los lagos glaciares son considerados como cuencas rocosas que varían tanto en tamaño como en morfometría. La estructura es fundamental en la morfología y la génesis. Estas cuencas se forma por las irregularidades del paso del hielo por la erosión glaciaria (Gutiérrez, 2008). Existen varios tipos de lagos, **los lagos obstruidos**, son lagos que están atascados u obstaculizados por morrenas. Otro tipo de lagos son los **lagos en rosarios** que consisten en varios lagos unidos por drenajes.

Las morrenas son modelados resultantes de la sedimentación glaciaria o se pueden considerar depósitos como consecuencia de la acción de las masas de hielo. Están constituidas por la acumulación de till y depósitos fluvio-glaciares. Especialmente, las morrenas varían en su tamaño, pueden llegar a medir desde un metro hasta cubrir miles de kilómetros. Estas acumulaciones dependen del movimiento del hielo y la posición respecto a la masa glaciaria, según su posición se encuentra las **morrenas centrales** que pueden ser superficiales y se forman por la unión de dos glaciares de valle (Gutiérrez, 2008).

Las morrenas **laterales y terminales** (Tabla 2) infieren posiciones de avance o retiro del glaciario. Cuando estos dos tipos de morrenas se unen, generan **cordones o arcos morrénicos** y pueden detener el agua por el deshielo formando lagos de obturación; estos arcos se erosionan rápidamente por aguas fluviales y fluvio-glaciares, dejando como resultado un conjunto de pequeños cordones donde se puede diferenciar varias etapas del retiro del glaciario. La alimentación de las morrenas laterales surge de los detritos generados en las paredes (Gutiérrez, 2008).

Tabla 2. Tipos de morrenas según su posición.

Tipos de morrenas	Ejemplo
Frontal	
Lateral	

En la SNSM se presentaron cuatro períodos glaciales, nombrados a continuación desde el más antiguo hasta el más joven: Aduriameina, Mamancanaca, Naboba Bolívar. La edad de cada estadio glaciar (Tabla 3) fue propuesta por Van der Hammen (1984).

Tabla 3. Edad de los estadios glaciales de la Sierra Nevada de Santa Marta.

ESTADIO GLACIAL	ALTITUD (m.s.n.m.)	AUTOR
Aduriameina	2.800-3.500	Gansser (1955)/Van der Hammen (1984)
Mamancanaca	3.500-4.000	Rassveldt (1957)
Naboba	4.000-4.500	Van der Hammen (1984)
Bolívar	4.500-5.000	Van der Hammen (1984)

Se estableció una altitud a cada estadio glaciar con base a las descripciones de diferentes autores (Tabla 4). Los vestigios glaciales aparecen desde los 2.800 m (Gansser, 1955) por lo que se estudiarán desde esta altura.

Tabla 4. Altitud de los vestigios glaciales de la SNSM.

ESTADIO GLACIAL	ALTITUD (msnm)	AUTOR
Aduriameina	2.800-3.500	Gansser (1955)/Van der Hammen (1984)
Mamancanaca	3.500-4.000	Rassveldt (1957)
Naboba	4.000-4.500	Van der Hammen (1984)
Bolívar	4.500-5.000	Van der Hammen (1984)

En este informe se realiza una clasificación propia acerca del estado de conservación, de las morrenas (Tabla 5). Están las morrenas conservadas, características por presentar crestas y contorno bien desarrollados. Las morrenas parcialmente conservadas que presentan rasgo de erosión y las crestas no están tan formadas, y las morrenas poco conservadas que se caracterizan por no presentar crestas y contornos.

Tabla 5. Estado de conservación de las morrenas.

Variable	Clasificación	Imagen
Estado de conservación	Conservada	
	Parcialmente conservada	
	Poco conservada	

6. RESULTADOS

La Sierra Nevada de Santa Marta presenta vestigios registrados por las antiguas glaciaciones. En esta investigación se hace enfoque en las geoformas más representativa del macizo, en la cual se encontraron 122 circos, 21 aristas, 4 horns, 669 lagos y 298 morrenas (Anexo 1).

6.1. Geoformas glaciares actuales

En esta investigación, se tuvo en cuenta la masa glaciaria actual como la geoforma glaciaria actual presente en la SNSM.

6.1.1. Masa glaciaria

En la Sierra Nevada de Santa Marta aún se encuentran masa glaciaria, acumulada alrededor de los picos Cristóbal Colón, Simón Bolívar, La Reina, Ojeda y Tulio Ospina (Figura 7 y Figura 8).

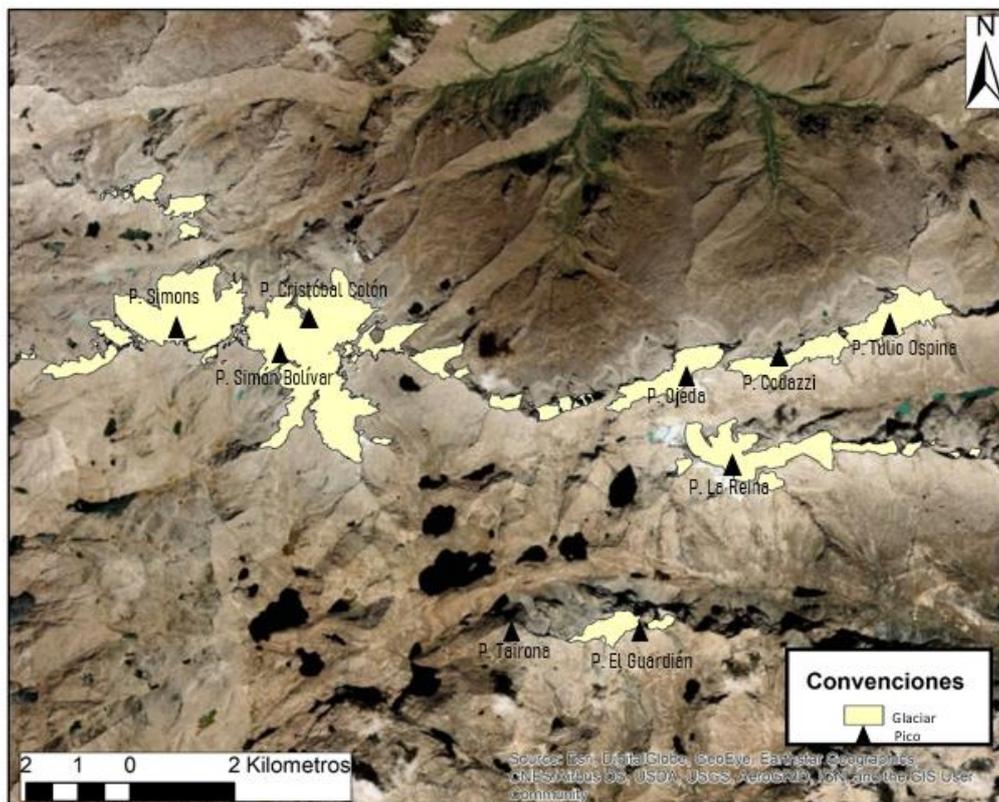


Figura 7. Inventario de la masa glaciaria disponible en la SNSM, ubicada alrededor de los picos Cristóbal Colón, Simón Bolívar, Simons, Ojeda, Codazzi, Tulio Ospina, La Reina, Tairona y El Guardián.

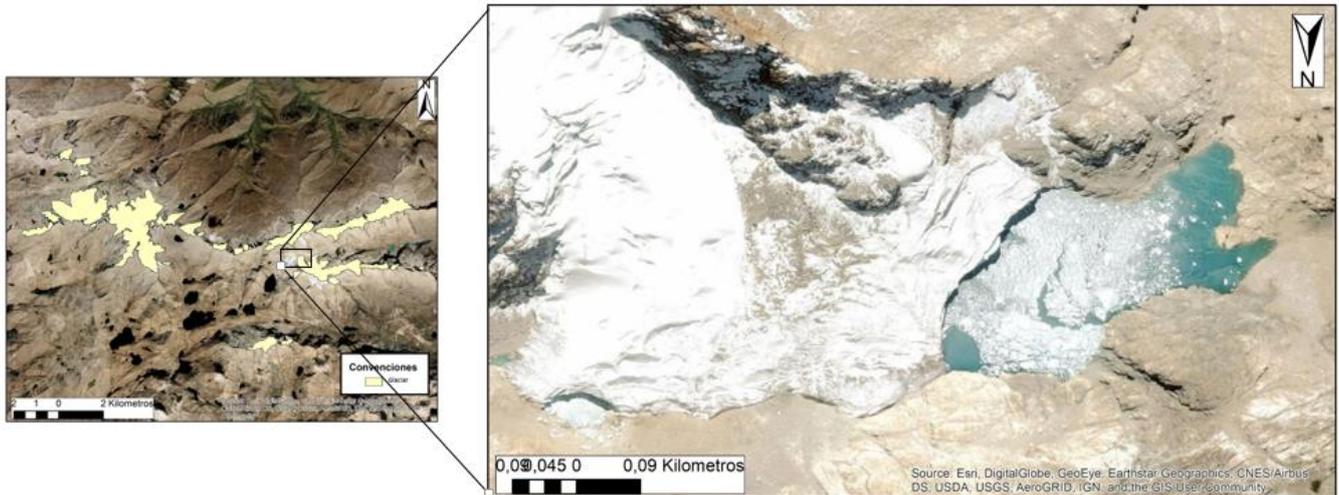


Figura 10. Masa glaciar en la base del pico La Reina, formando un lago debido al derretimiento de la masa glaciar.

6.2. Geoformas glaciares heredadas

En esta investigación, se caracterizó las geoformas glaciares heredadas principales del macizo como: Circos, aristas, horns, lagos y morrenas.

6.2.1. Circos

Generalmente, los circos aparecen desde 4.000 metros de altura, ubicados alrededor de los picos más altos de la SNSM (Figura 11), pero la mayoría se localiza entre los 4.500 m y 5.500 m (Figura 12). Más del 50% de los circos contienen nieve acumulada (Figura 14). La mayoría de los circos están en dirección norte excepto los que rodean el pico Simón Bolívar que están en dirección este y oeste. No se estableció un tamaño pero se puede observar como varían, un claro ejemplo se localiza en los picos El Guardián-Tairona y La Reina los circos que tienen diámetros pequeños, mientras los que están localizados en la arista que pasa entre los picos Tulio Ospina y Simons son más grandes. Además de la variación del tamaño, se pudo observar la evolución de los circos a partir de las pequeñas depresiones que presentan, en las que son más notables en unos más que en que otros (Figura 13).

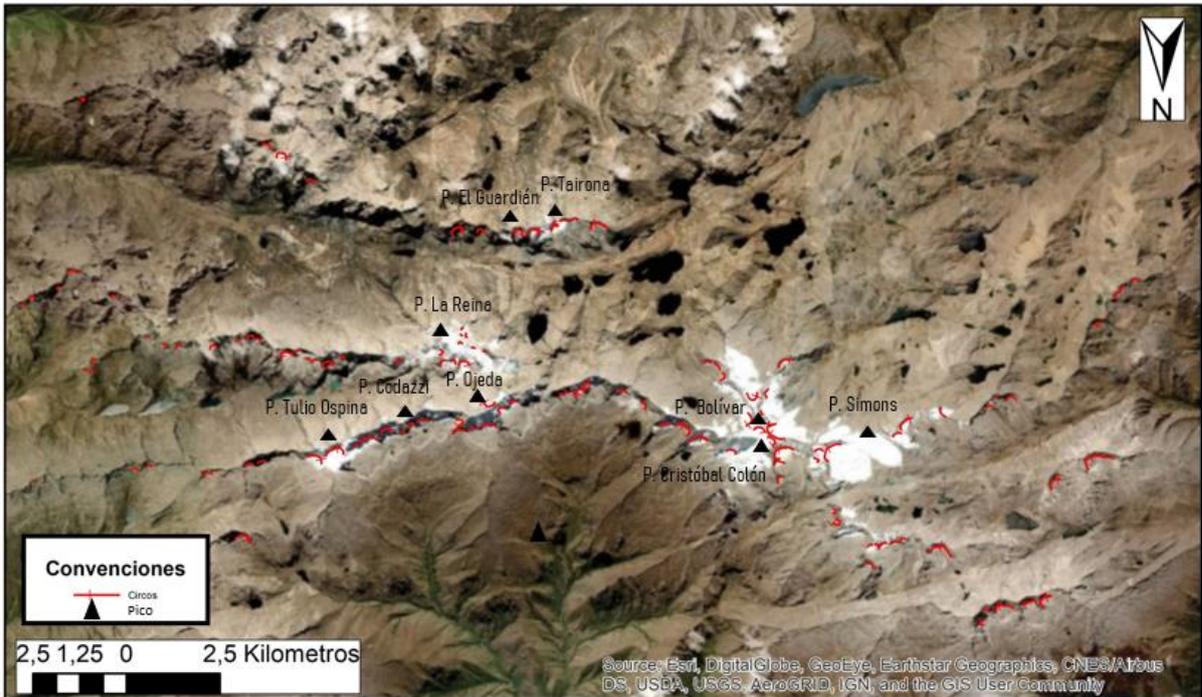


Figura 11. Inventario de los circos glaciares existentes en la Sierra Nevada de Santa Marta.

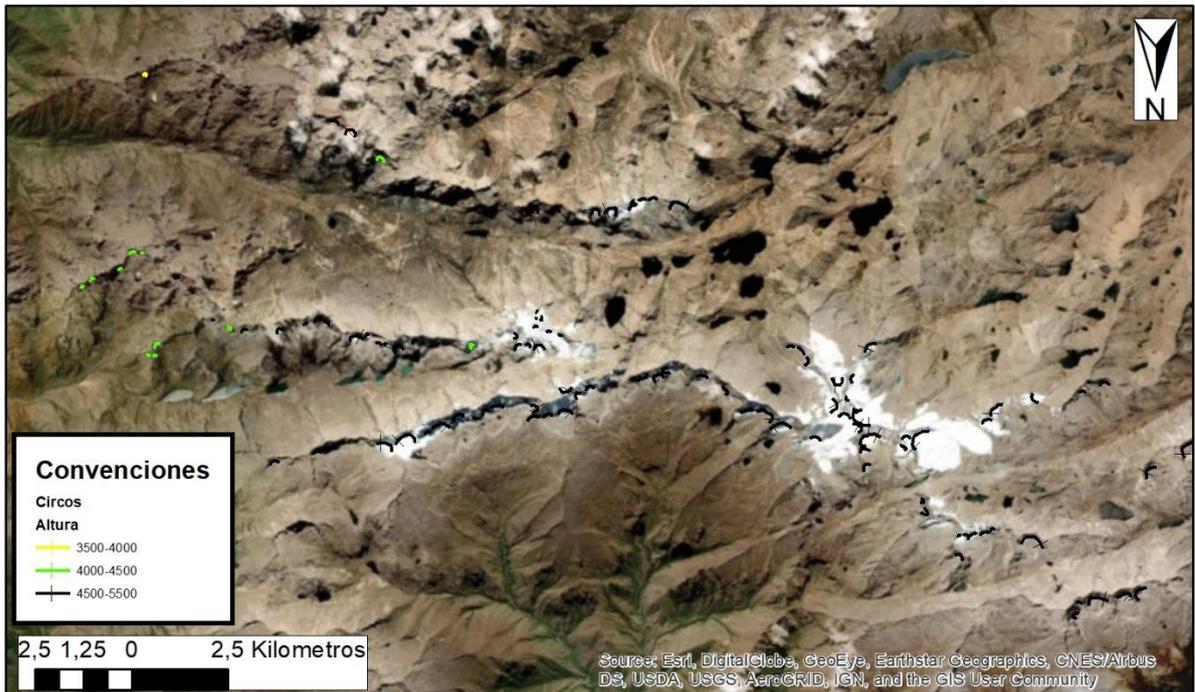


Figura 12. Inventario de los circos glaciares de la SNSM clasificados según la altitud.

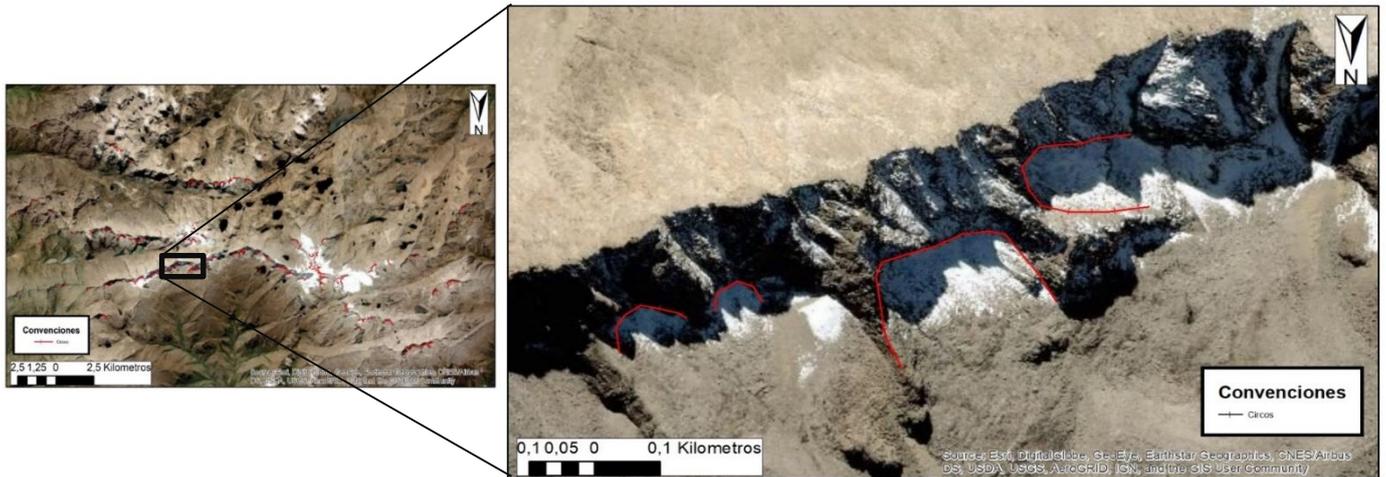


Figura 13. Variación del tamaño de los circos.

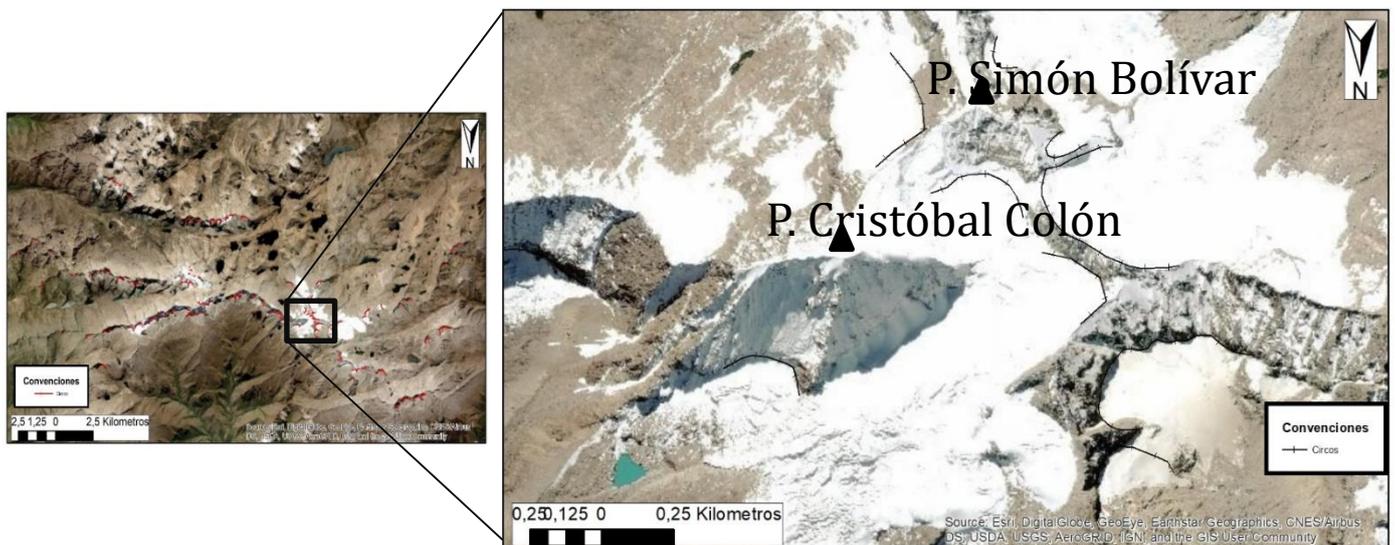


Figura 14. Circos ubicados alrededor de los picos Cristóbal Colón y Simón Bolívar.

6.2.2. Aristas

La aristas aparecen donde se poseionan los circos (zona de mayor altura), teniendo en cuenta que estas se forman por la evolución de los circos (Figura 15). Una de estas aristas se encuentra entre los picos Tulio Ospina y Simons, y se puede considerar como la arista de mayor longitud y de pendientes más inclinadas. A lo largo del pico La Reina y de los picos El Guardián y Tairona se encuentran dos aristas de corta longitud y menor inclinación. Presentan formas puntiagudas y angulosas, probablemente por la formación de los circos. La mayor parte de las aristas no están cubiertas por masa glaciar.

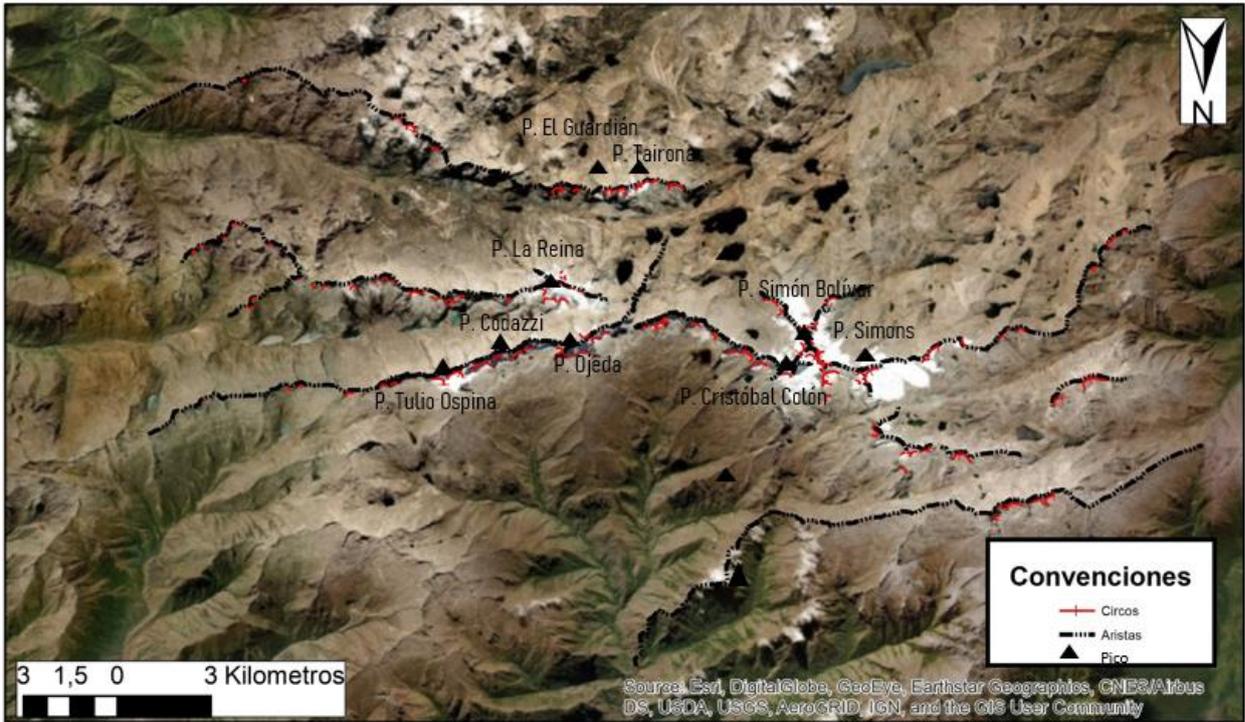


Figura 15. Inventario de aristas en la Sierra Nevada de Santa Marta.

6.2.3. Horns o agujas

La SNSM presenta cuatro horns localizados en las altitudes más altas de la SNSM (Figura 16): Cristóbal Colón (5.700 msnm), Simons (5.300 msnm) (Figura 17), La Reina (5.400 msnm) y Ojeda (5.250 msnm) (Figura 18). Presentan paredes escarpadas y erosionadas por la masa glaciar. Estas agujas son angulosas y están cubiertas en gran parte de masa glaciar.



Figura 16. Los horns de la SNSM están ubicados en los picos Cristóbal Colón, Simons, Ojeda y La Reina.

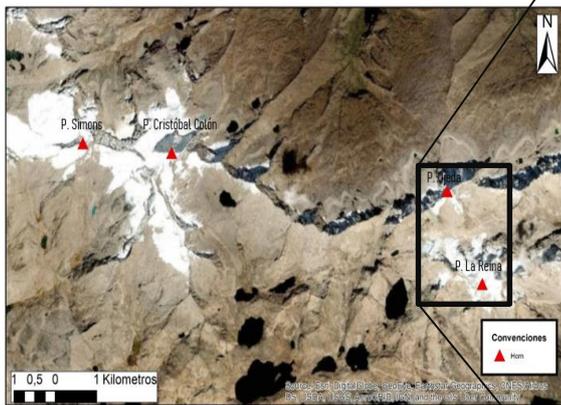


Figura 17. Horns ubicados en los picos La Reina y Ojeda. Figura tomada y modificada de Google Earth (2019). Fecha de imágenes: 1/11/2017.

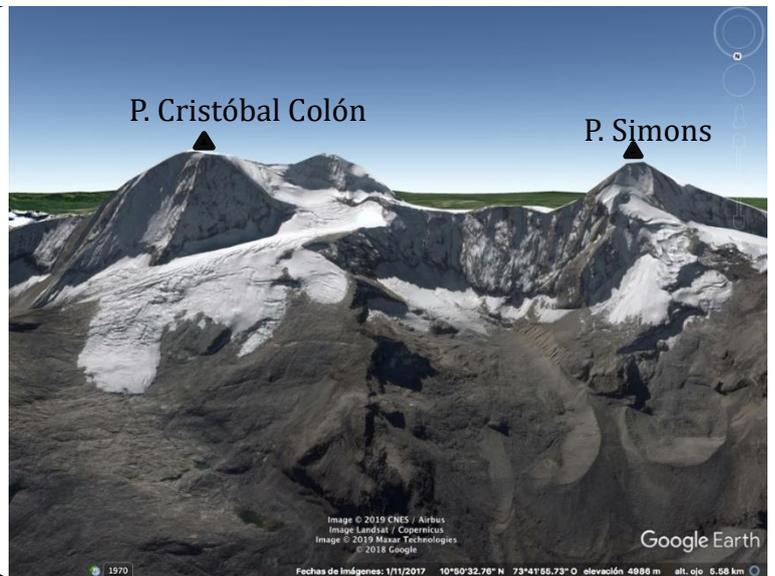
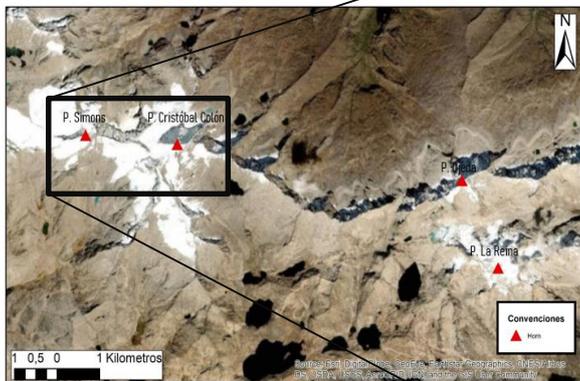


Figura 18. Horns ubicados en los picos Cristóbal Colón y Simons. Figura tomada y modificada de Google Earth (2019). Fecha de imágenes: 1/11/2017.

6.2.4. Lagos

La Sierra Nevada de Santa Marta presenta 669 lagos distribuidos desde 3.450 m de altura (Figura 19). Los lagos de mayor extensión son el lago Naboba, el lago Achouaroba y un lago alargado ubicado en la parte alta del Río Maranchucua.

Se encontraron 130 lagos unidos por drenajes, llamados lagos en rosario. Generalmente, se encuentran entre los 4.000 y 4.500 m en la SNSM, algunos están más arriba de los 5.000 m. La mayoría de los lagos en rosarios están compuestos por

tres lagos unidos entre sí (Figura 21) pero se observaron lagos en rosario compuestos entre dos y siete lagos de diferentes tamaños.

Algunos lagos son obstruidos por morrenas frontales (Figura 20), la mayoría localizados entre los 4.500 y 5.000 m cerca a los principales picos como Cristóbal Colón, El Guardián-Tairona, Tulio Ospina, Codazzi y Ojeda. El lago obstruido con menor altura se encuentra a los 4.250 m. El resto de lagos se encuentran dispersos desde los 3.450 m sobrepasando los 5.000 m.

Estos lagos son generados por el avance glaciar, por la erosión glaciar o por el descongelamiento de la masa glaciar provocado por el cambio climático.

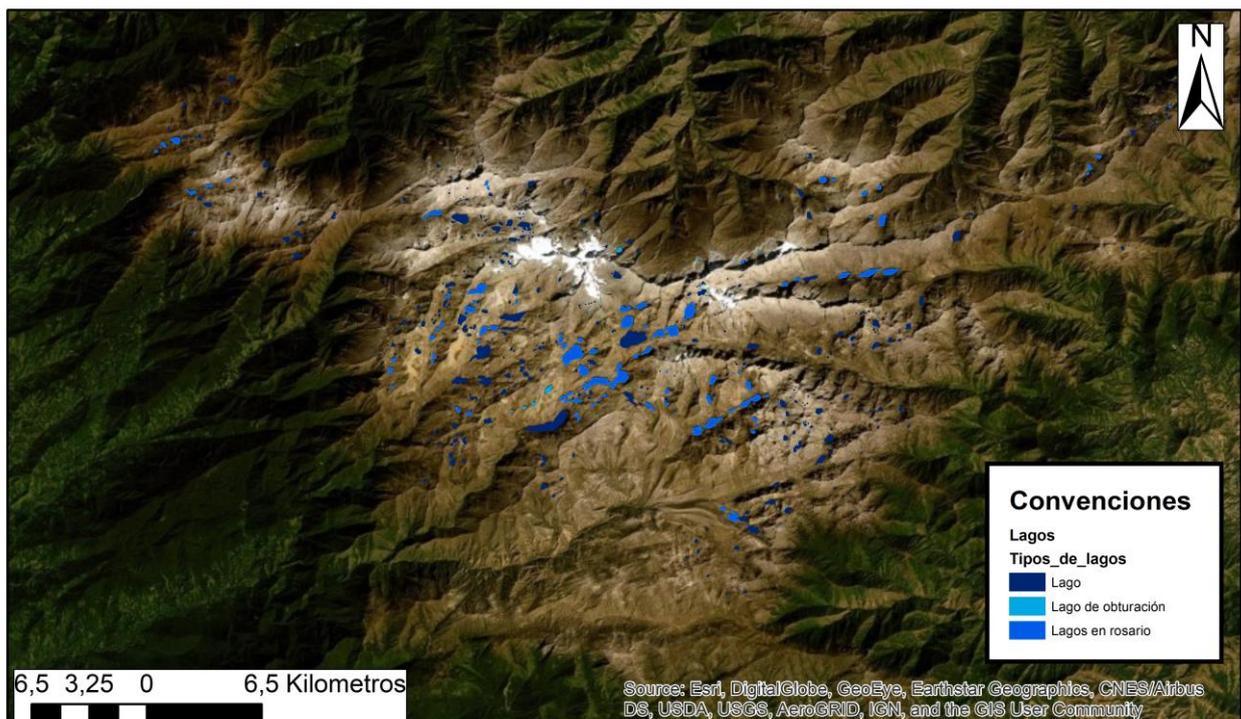


Figura 19. Lagos distribuidos en la SNSM.

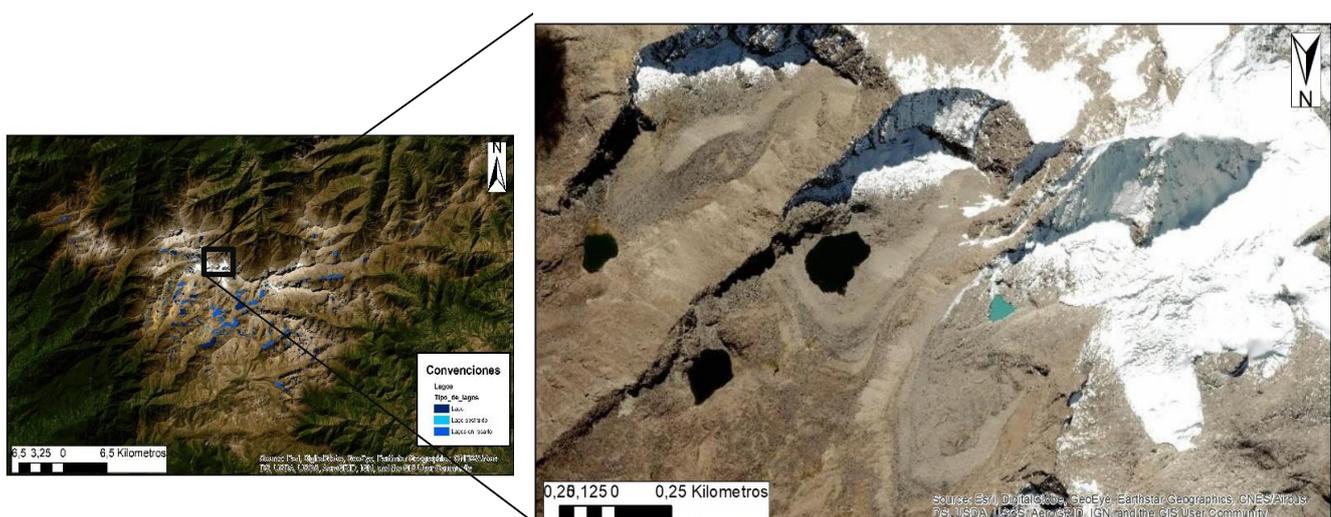


Figura 20. Lagos obstruidos por morrenas frontales.

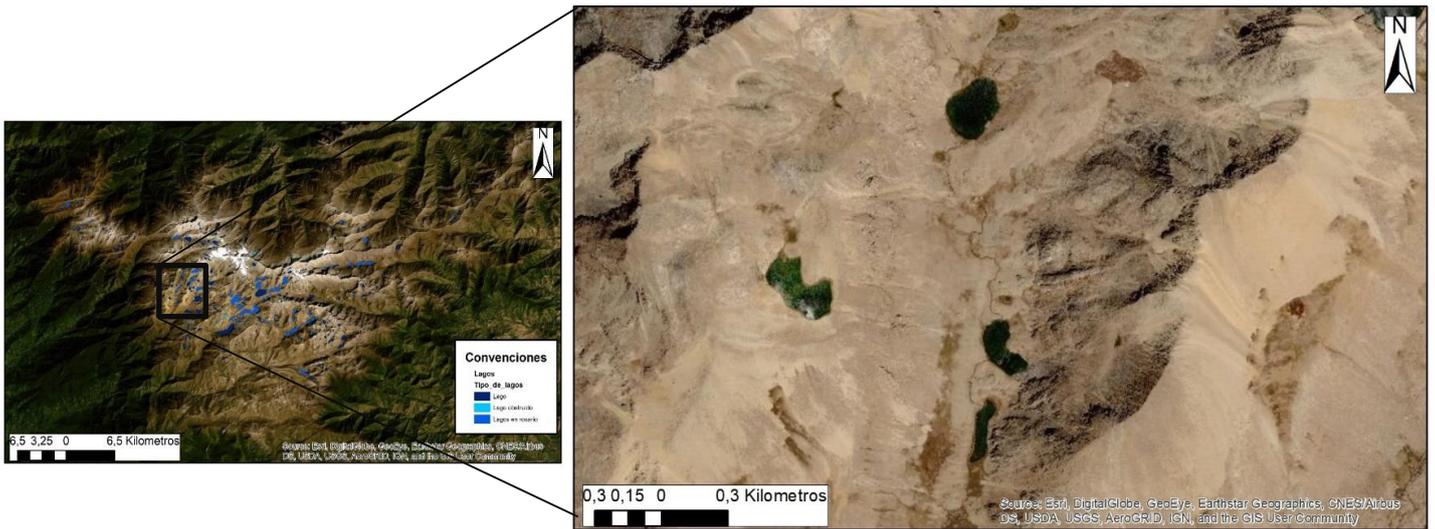


Figura 21. Lagos en rosario.

6.2.5. Morrenas

Se clasificó las morrenas según su estado de conservación, determinando que el 19% de las morrenas están conservadas, las morrenas parcialmente conservadas ocupan 30%, mientras que el 51% de las morrenas están poco conservadas (Figura 22). Probablemente esto se deba a la acción de la gravedad o a la erosión pluvial.

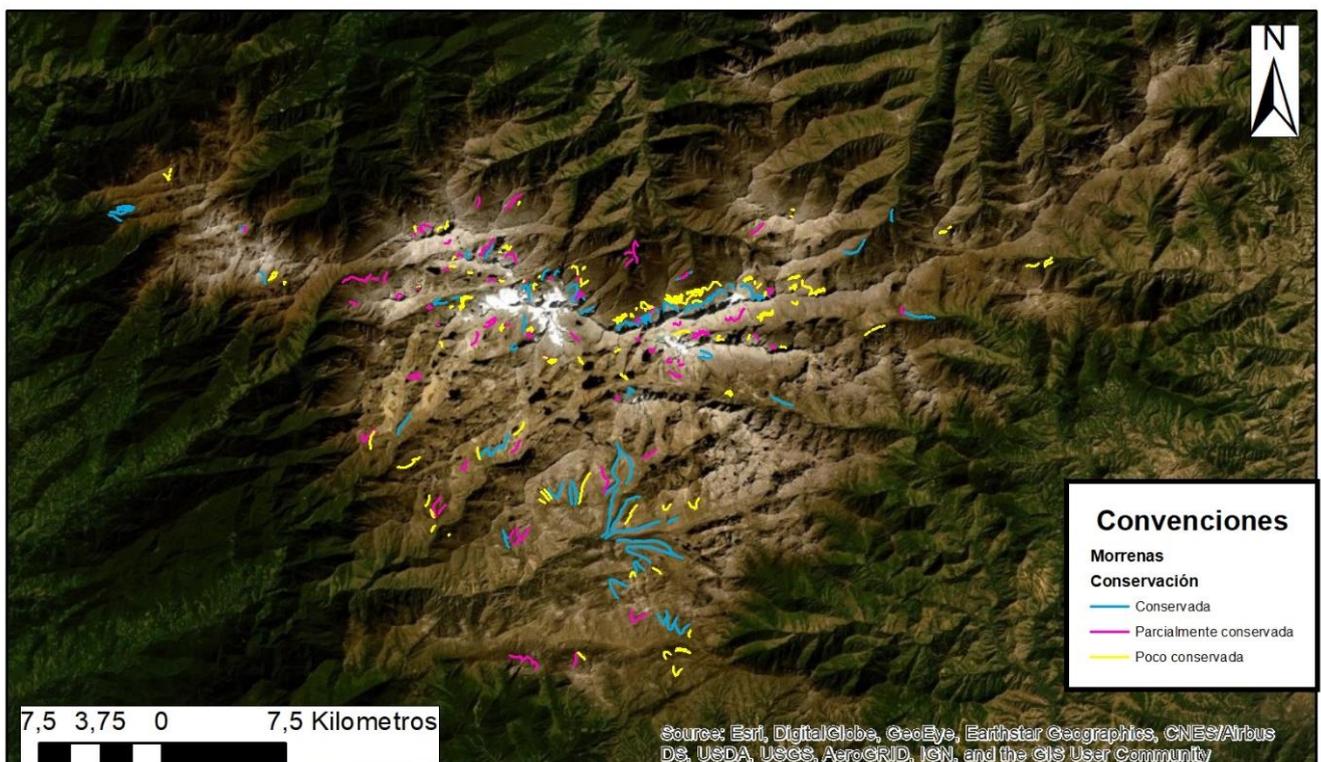


Figura 22. Estado de conservación de las morrenas.

Se encontraron alrededor de 298 morrenas (frontales y laterales). Las morrenas se clasificaron según el estadio glacial a partir de la altura (Figura 23).

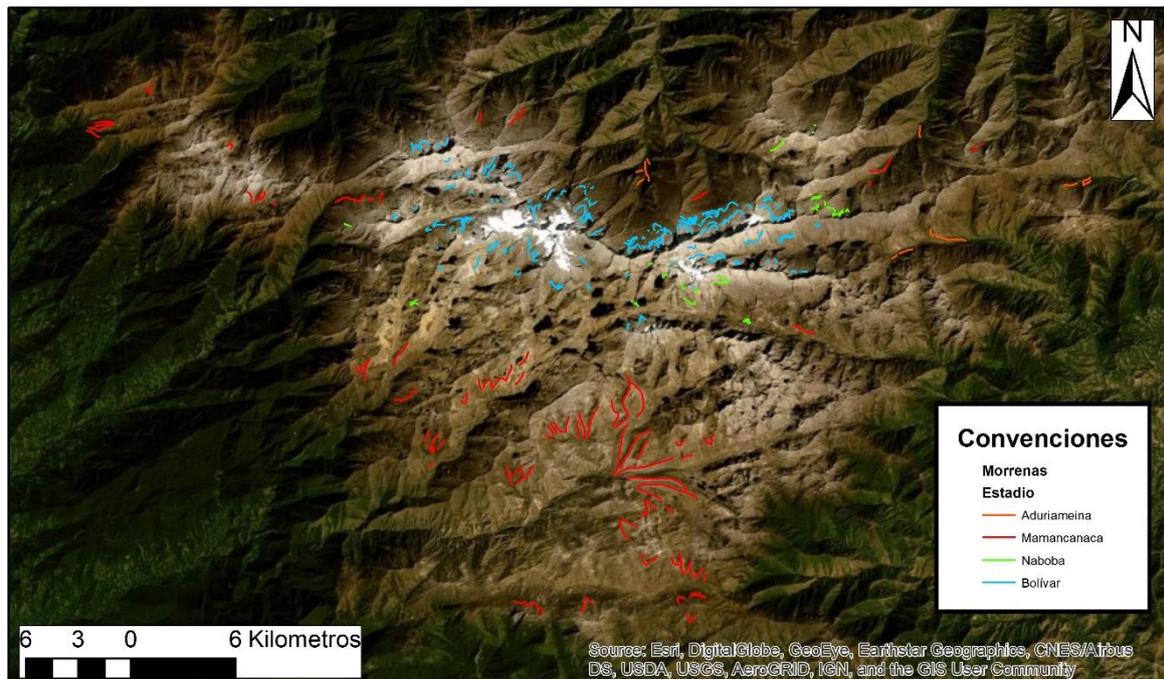


Figura 23. Clasificación de las morrenas de la SNSM según su estadio.

6.2.5.1. Estadio Aduriameina (2.800 m.s.n.m. - 3.500 m.s.n.m.)

Se encuentra una morrena lateral muy extensa, cerca al nacimiento del Río San Miguel a 2.800 m de altura aproximadamente. La morrena está conservada y cubierta por la vegetación (Figura 24). Debajo del estadio Bolívar se localizan cuatro morrenas parcialmente conservadas y de longitud corta (Figura 25).

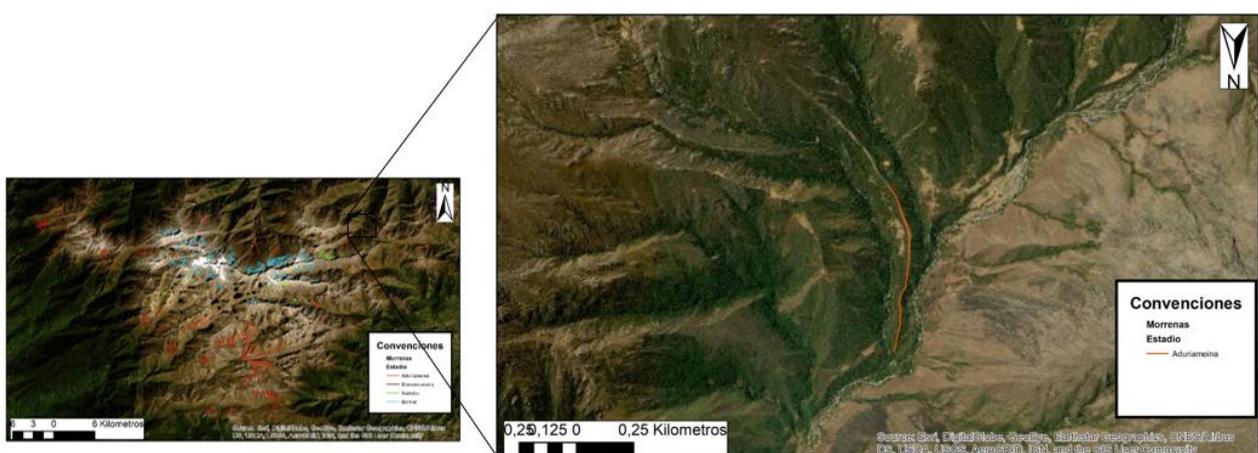


Figura 24. Morrena ubicada en el valle del Río San Miguel.

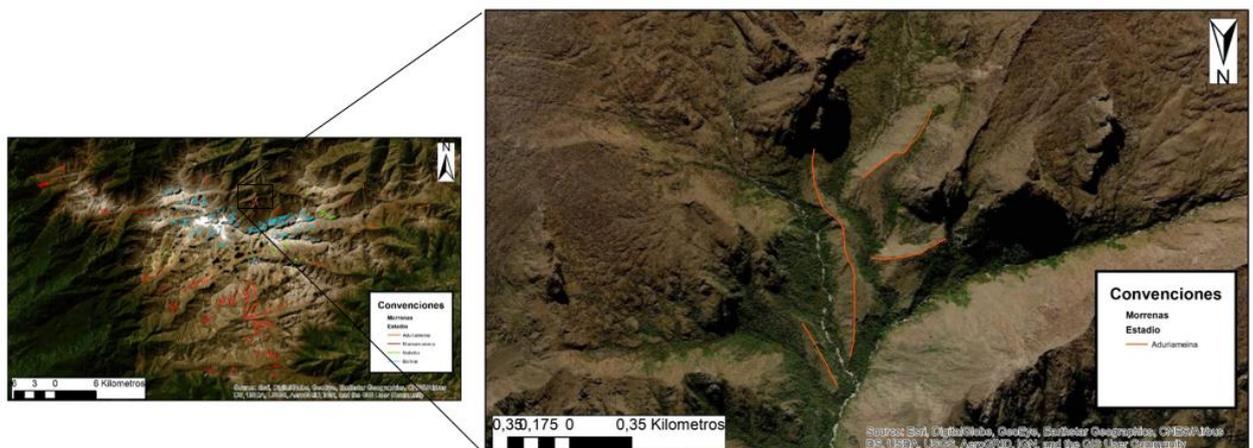


Figura 25. Cuatro morrenas entre 2.800 m y 3.400 m de altura, probablemente pertenece al estadio Adurameina.

En la parte alta del Río Badillo, se encuentran tres morrenas laterales poco conservadas, que se localizan entre los 3.000 y 3.500 metros, evidenciando que probablemente el hielo del Estadio Adurameina ha alcanzado estas alturas (Figura 26).

En los márgenes del valle del Río Guatapurí, se encuentran cuatro morrenas laterales, de larga longitud, separadas por un drenaje. Las morrenas A se encuentran a los 3.400 m y están poco conservadas, mientras que las morrenas B están muy conservadas y alcanza alturas los 3.300 m de altura (Figura 27).

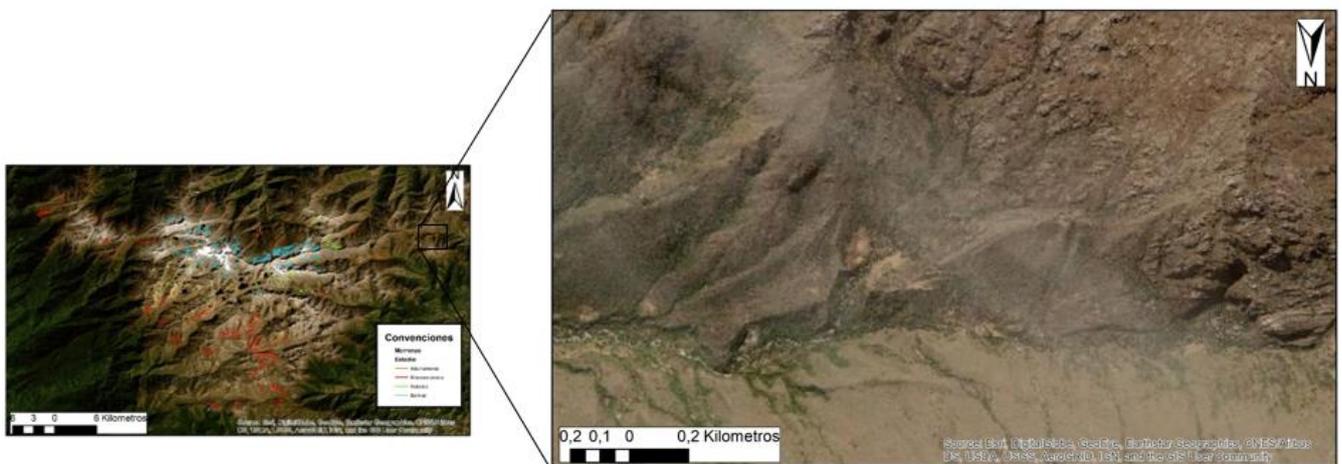


Figura 26. Morrenas ubicadas en el valle del Río Badillo.

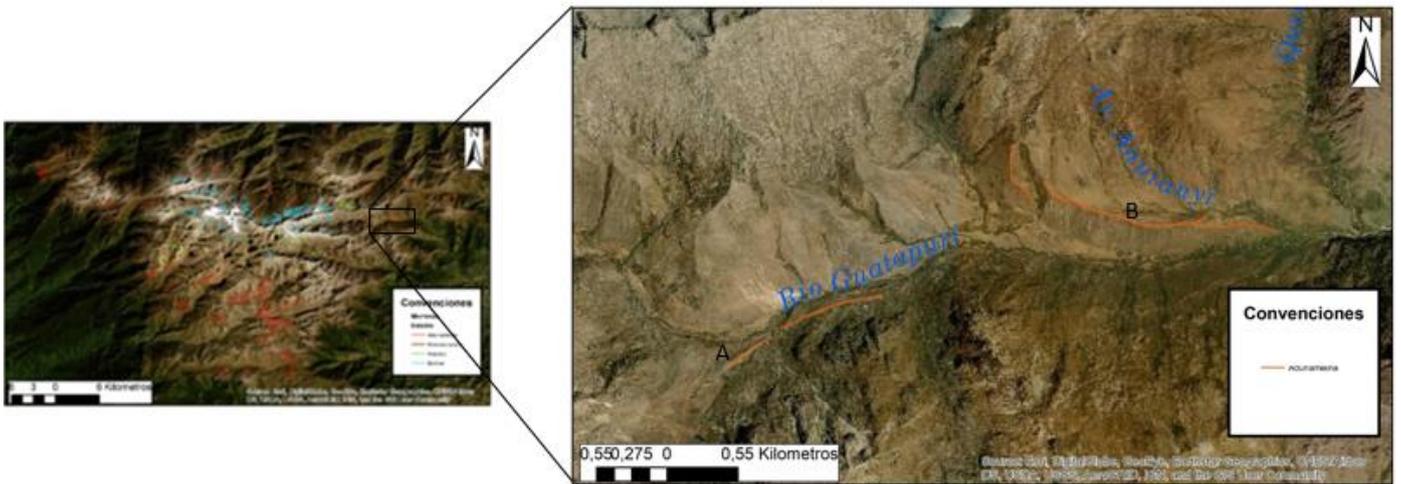


Figura 27. Morrenas laterales localizadas cerca al nacimiento del Río Guatapuri.

Otro grupo de morrenas con la misma altura, se localizan en el valle de la quebrada El Chorro. Se puede apreciar un arco mórrénico, en su interior se encuentra una morrena lateral y otra a su derecha. Estas están conservadas y presentan un rango de altura entre 2.900 y 3.500 m (Figura 28).

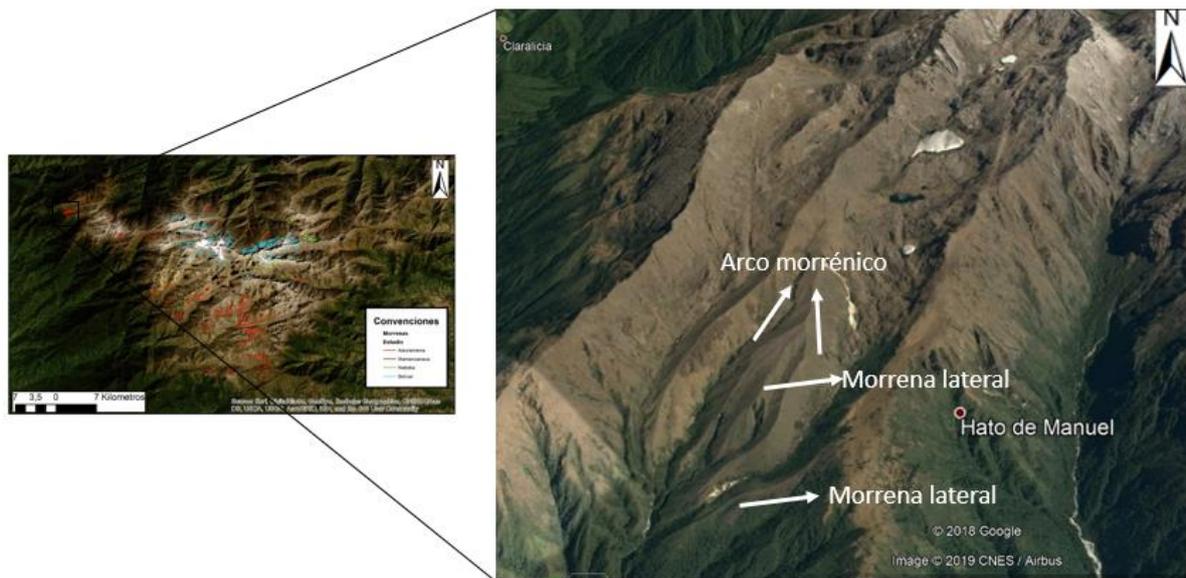


Figura 28. Morrenas en el valle de la quebrada El Chorro. Tomada de: Google Earth. Fecha de la imagen: 1/04/2017.

6.2.6. Estadio Mamancanaca (3.500 m.s.n.m. – 4.000 m.s.n.m.)

En el valle de Mamancanaca se puede observar a simple vista varias morrenas laterales de gran espesor, longitud y altura que se dirigen en diferentes direcciones, separadas por el río Mamancanaca y quebradas como: Guiachinacopunameina, Yebosimeina, Canobáchucua, Geibumburumiena, Punameina y Candebachugua (Figura 29). A pesar de que están rodeadas por varios afluentes, las morrenas siguen conservadas. Estas se encuentran entre los 3.500 m-3.900 m aproximadamente.

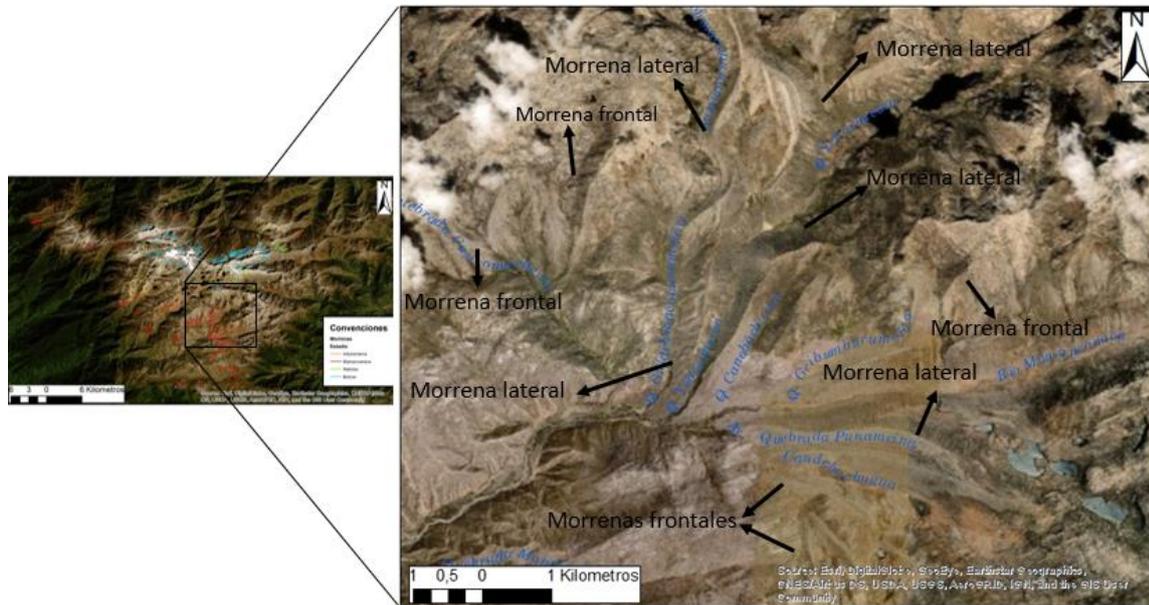


Figura 29. Principales morrenas del estadio Mamancanaca.

Debajo de las morrenas del valle del Río Mamancanaca, se encuentran varias morrenas frontales de menor tamaño que rodean el valle del Río Duriameina. Estos arcos morrénicos de longitudes cortas y parcialmente conservadas se encuentran a una altura entre 3.450 m y 3.800 m (Figura 30).



Figura 30. Morrenas ubicadas en los márgenes del Río Duriameina.

Entre las quebradas Neiva y Viscungue se localizan varias morrenas laterales parcialmente conservadas. Estas morrenas presentan longitud corta y se ubican entre 3.600 y 4.000 m de altura aproximadamente (Figura 31).

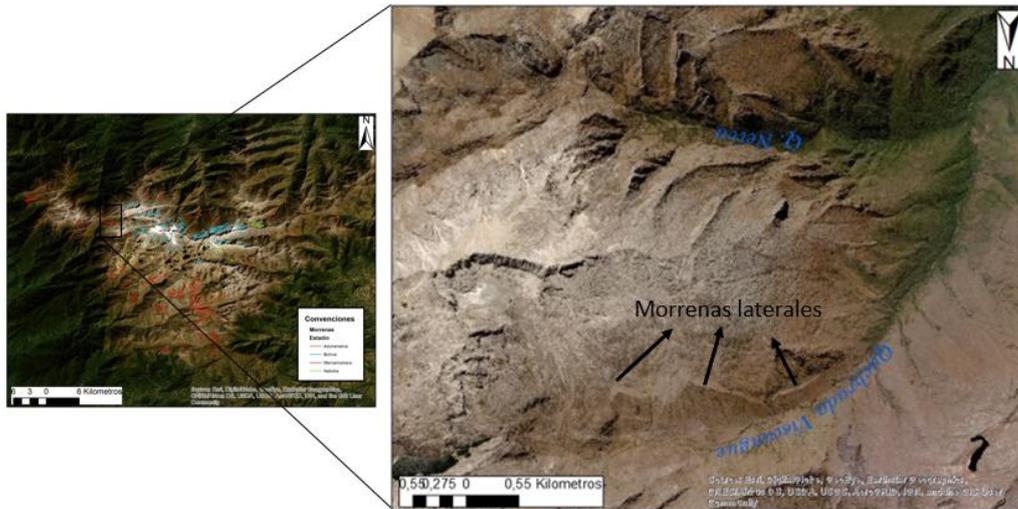


Figura 31. Morrenas laterales ubicadas entre las quebradas Neiva y Viscungue.

Se localizan varias morrenas laterales cerca al estadio Bolívar (Figura 32). Las morrenas se encuentran entre 3.700 y 3.900 m de altitud, están parcialmente conservadas y presentan longitudes cortas.

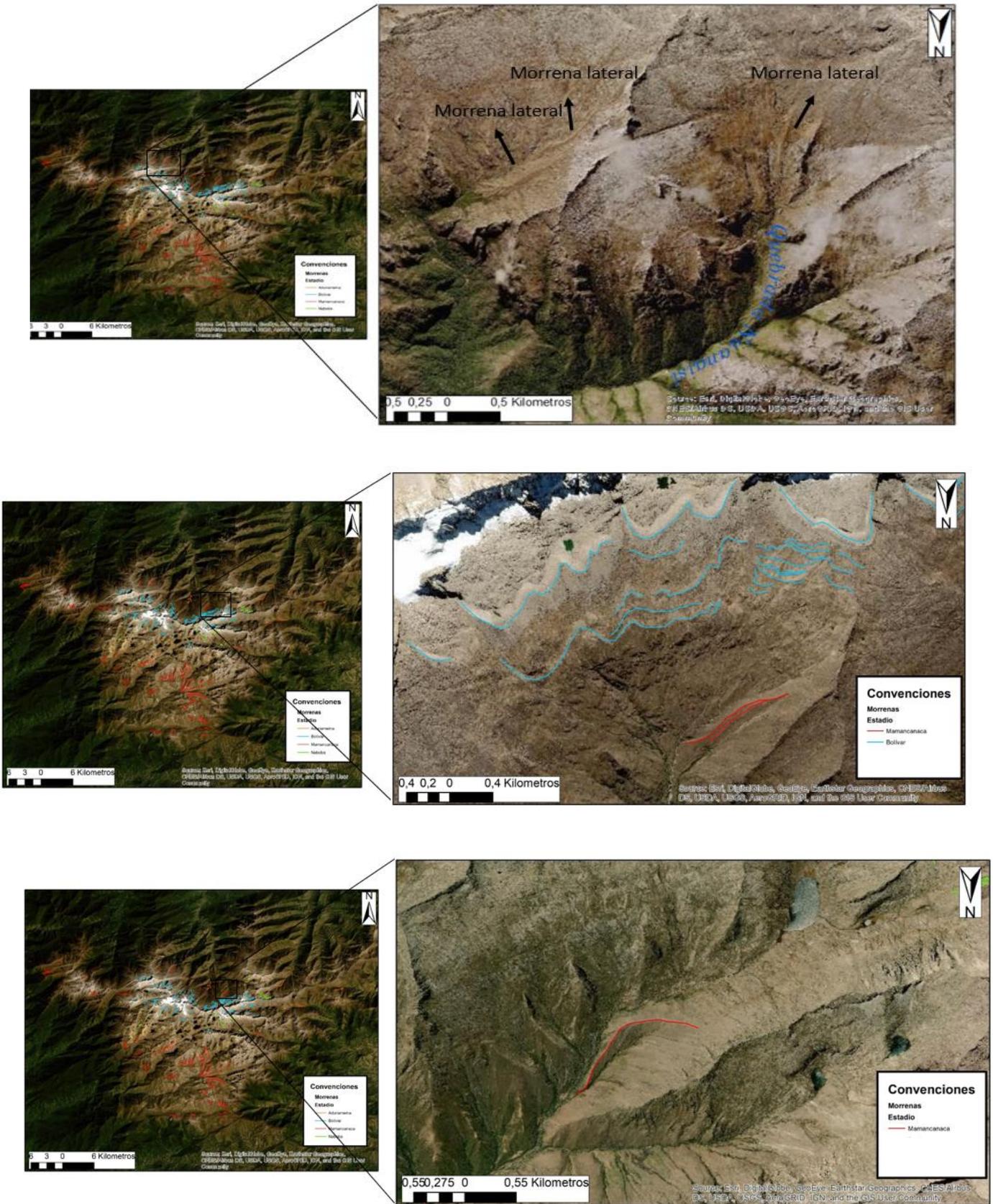


Figura 32. Morrenas laterales ubicadas cerca a las morrenas del estadio Bolívar.

Al oeste de las morrenas típicas de Mamancanaca (Figura 33), se encuentran varias morrenas difíciles de identificar a simple vista ya que su color y forma se asemeja a las características morfológicas del macizo. Su estado de conservación varía entre parcialmente conservado a poco conservado. La altura varía entre 3.500 y 4.000 m.

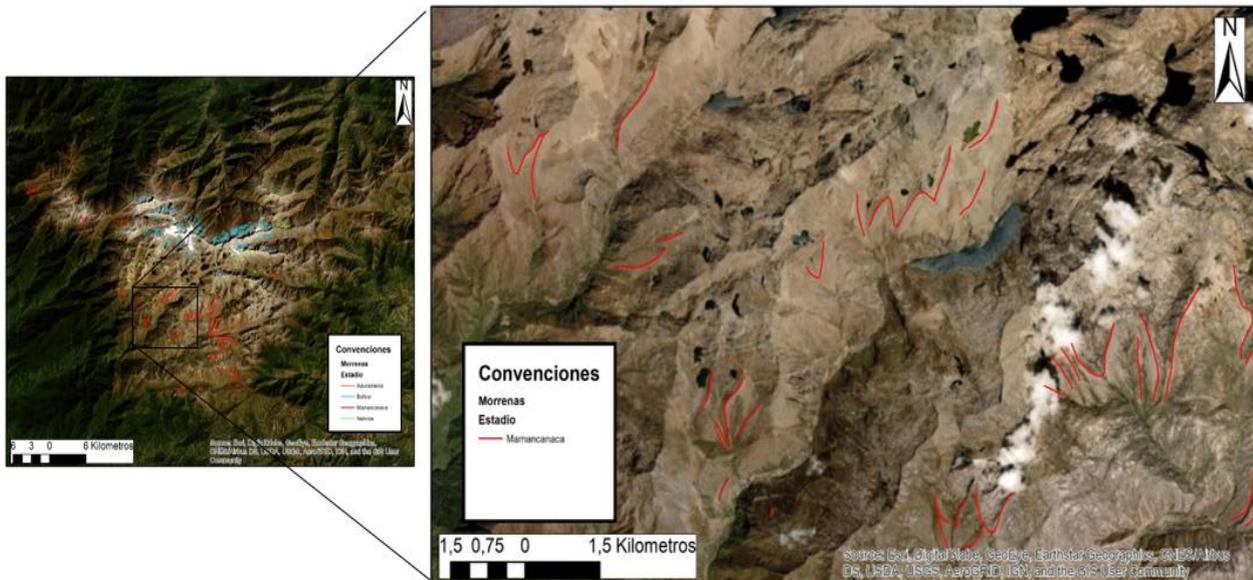


Figura 33. Morrenas localizadas al oeste de las morrenas típicas de Mamancanaca.

Al oeste de la SNSM, se encuentran varias morrenas laterales, se localizan dos morrenas al norte de la quebrada El Chorro a 3.900 m de altura (Figura 34), están poco conservadas debido a la erosión. Otras morrenas se encuentran cerca al nacimiento del Río Don Diego (Figura 35), son morrenas frontales, poco conservadas, a una altitud de 3.800 m aproximadamente. Al norte de la quebrada Silvestre (Figura 36) se localizan varias morrenas laterales, poco conservadas.

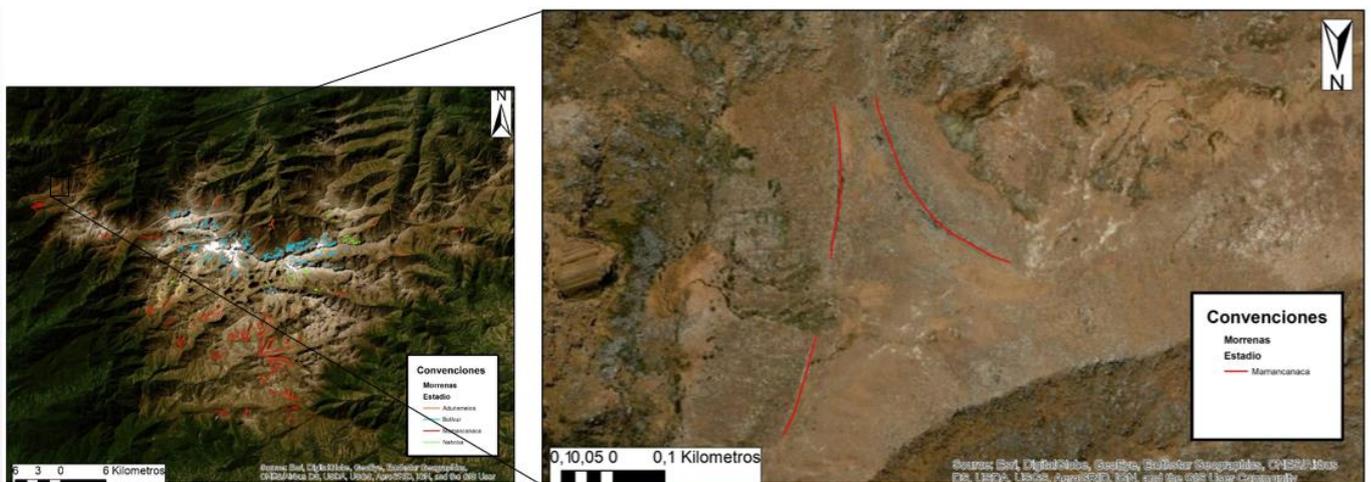


Figura 34. Probables morrenas del estadio Mamancanaca ubicadas al norte de la quebrada El Chorro.

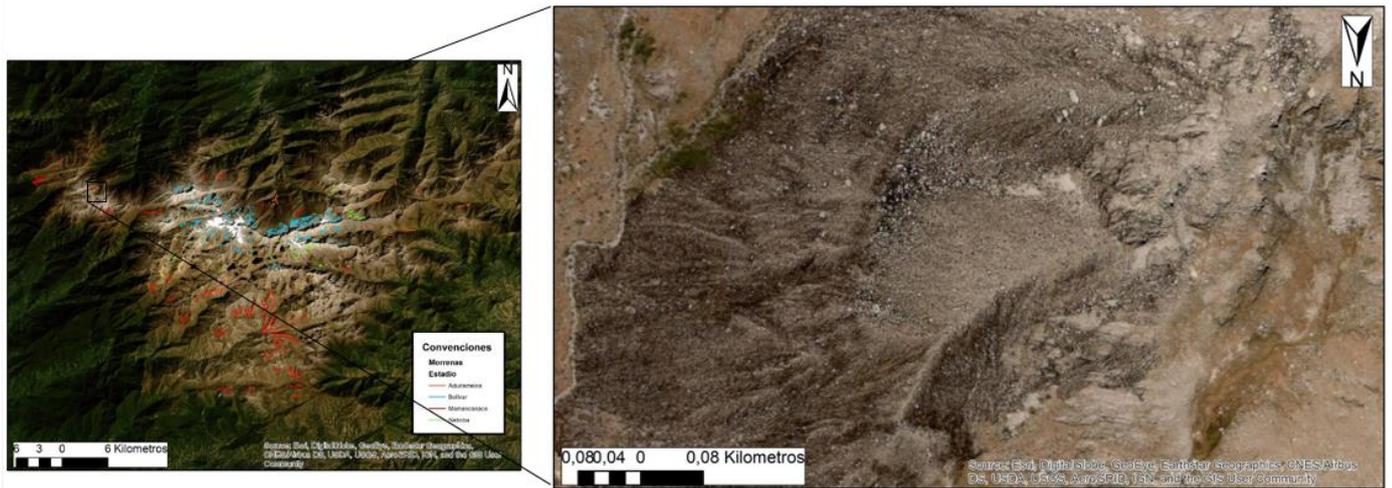


Figura 35. Morrenas que probablemente permanezcan al estadio Mamancanaca, cerca al nacimiento del Río Don Diego.

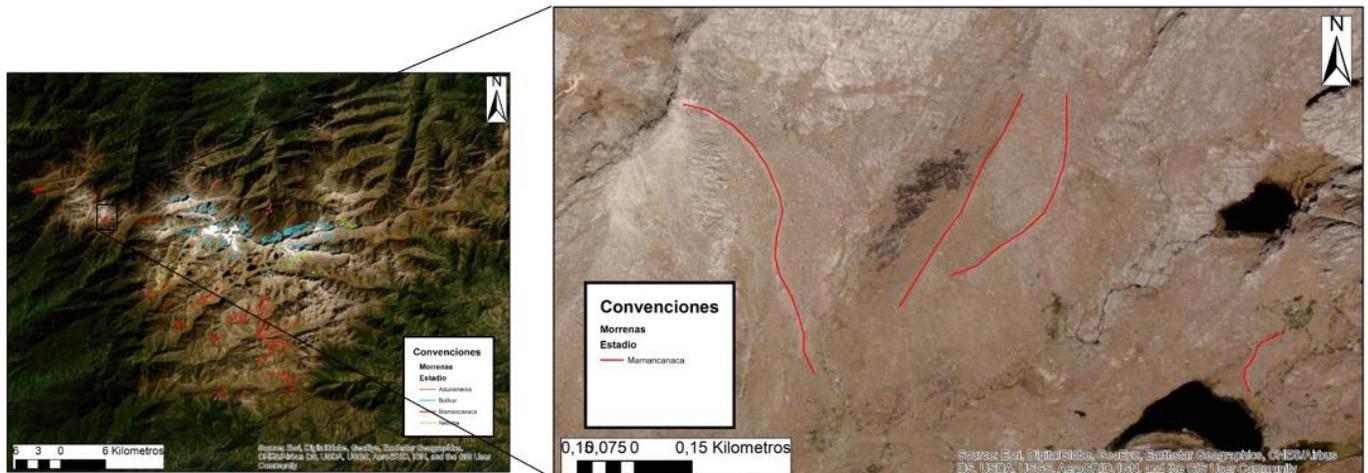


Figura 36. Morrenas poco conservadas cerca a la quebrada Silvestre, probablemente permanezcan al estadio Mamancanaca.

6.2.7. Estadio Naboba (4.000 msnm – 4.500 msnm)

Entre los picos La Reina y Tairona-El Guardián se localizan varias morrenas frontales poco conservadas a 4.500 metros de altura. (Figura 37, Figura 38).



Figura 37. Morrena frontal perteneciente al estadio Naboba a 4.500 m.

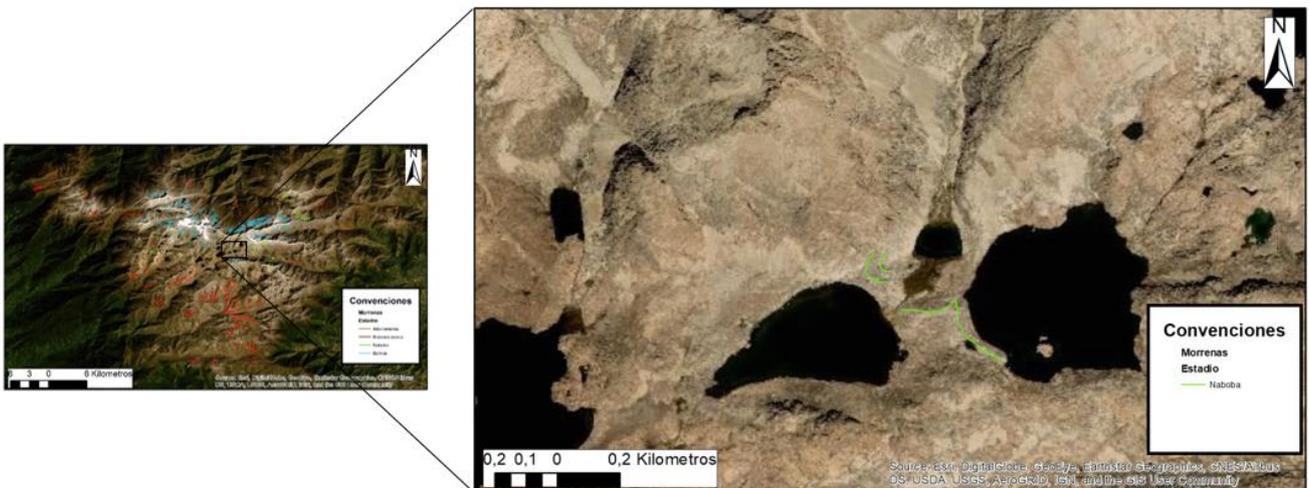


Figura 38. Morrenas del Naboba rodeadas por varios lagos.

Se encontró un relicto de morrena que fue erosionado probablemente por la acción de la gravedad (Figura 39).

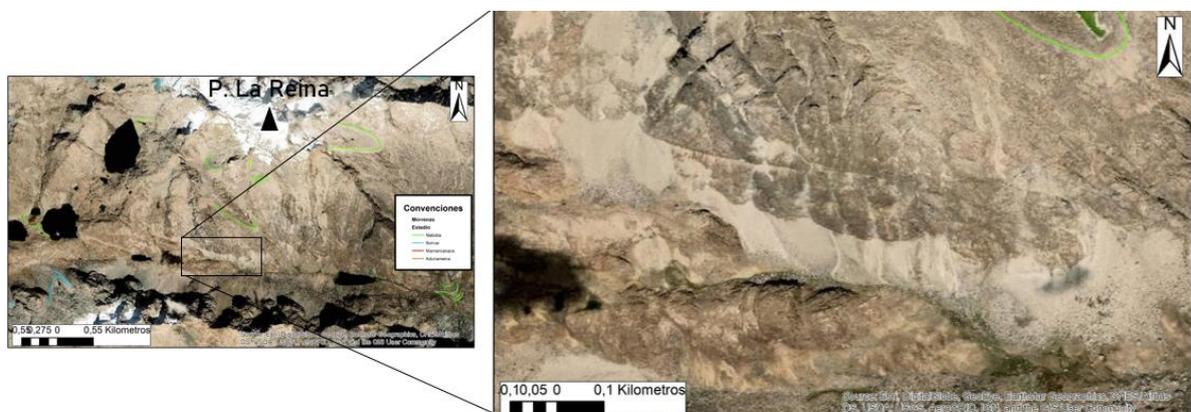


Figura 39. Relicto de una morrena localizado a 4.250 m.

Se encontraron varias morrenas entre los 4.000-4.500 metros en varias zonas de la SNSM, por lo que se determinó como pertenecientes al estadio Naboba. Se localiza un conjunto de morrenas en la parte alta del Río San Miguel entre 4.000 m- 4.500 m de altura (rango de altura característica del estadio Naboba). Estas morrenas se presentan una debajo de la otra, insinuando procesos de retroceso glaciar (Figura 40).

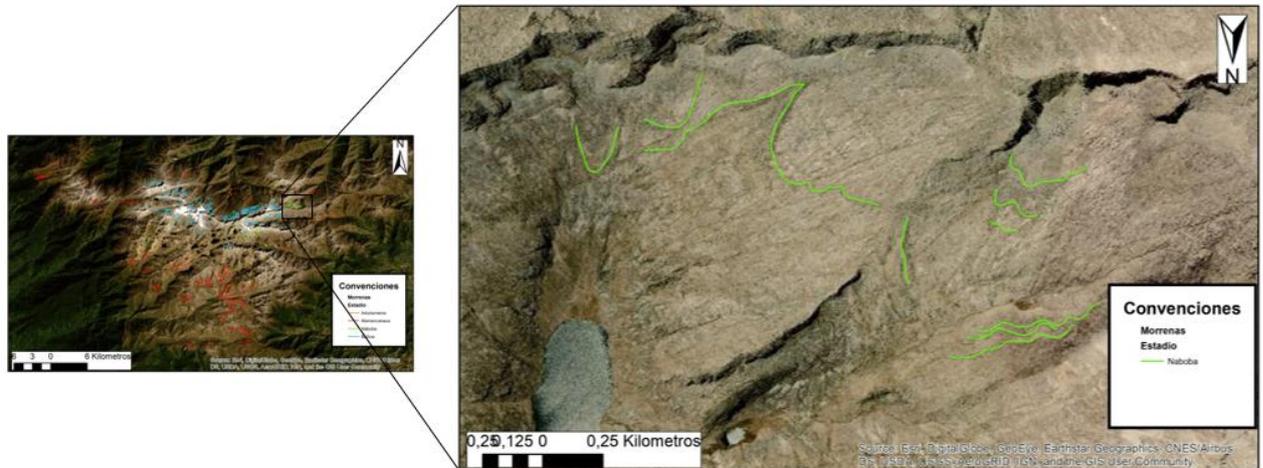


Figura 40. Morrenas ubicadas en la parte alta del Río San Miguel.

Se localiza una morrena lateral de corta longitud y parcialmente conservada, a una altura de 4.200 m entre las quebradas Neiva y Viscungue (Figura 41). En la quebrada Besameina se encuentran dos morrenas laterales que están poco conservadas y de longitud corta. Localizadas a 4.300 m de altura, por lo que se clasificó en este estadio (Figura 42).

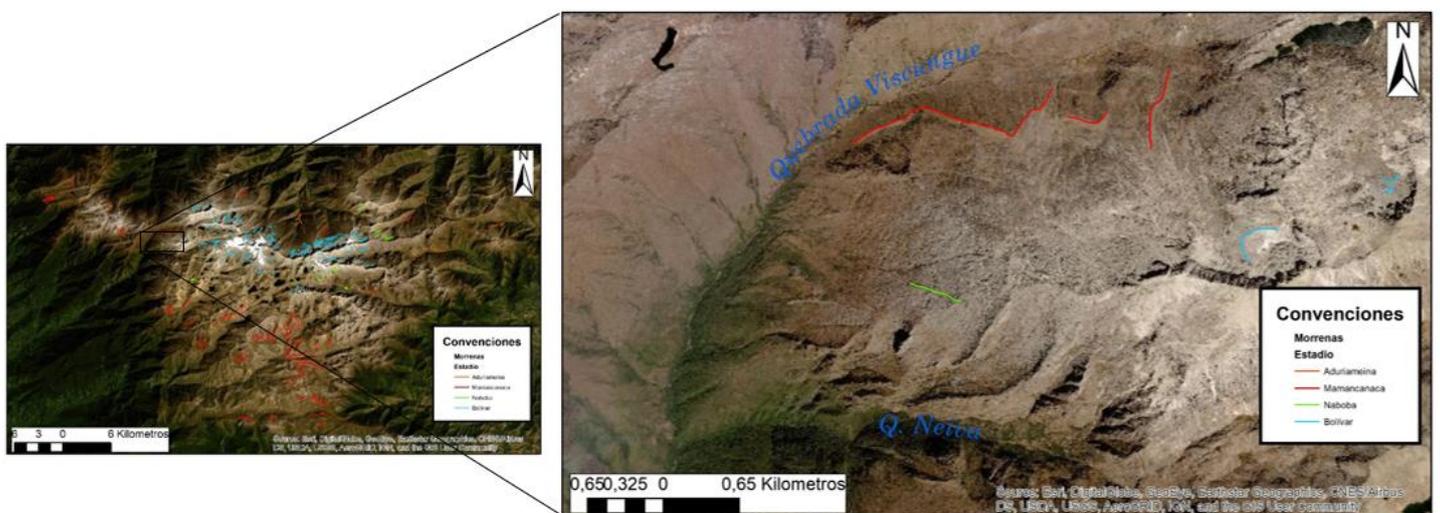


Figura 41. Morrena localizada entre las quebradas Neiva y Viscungue.

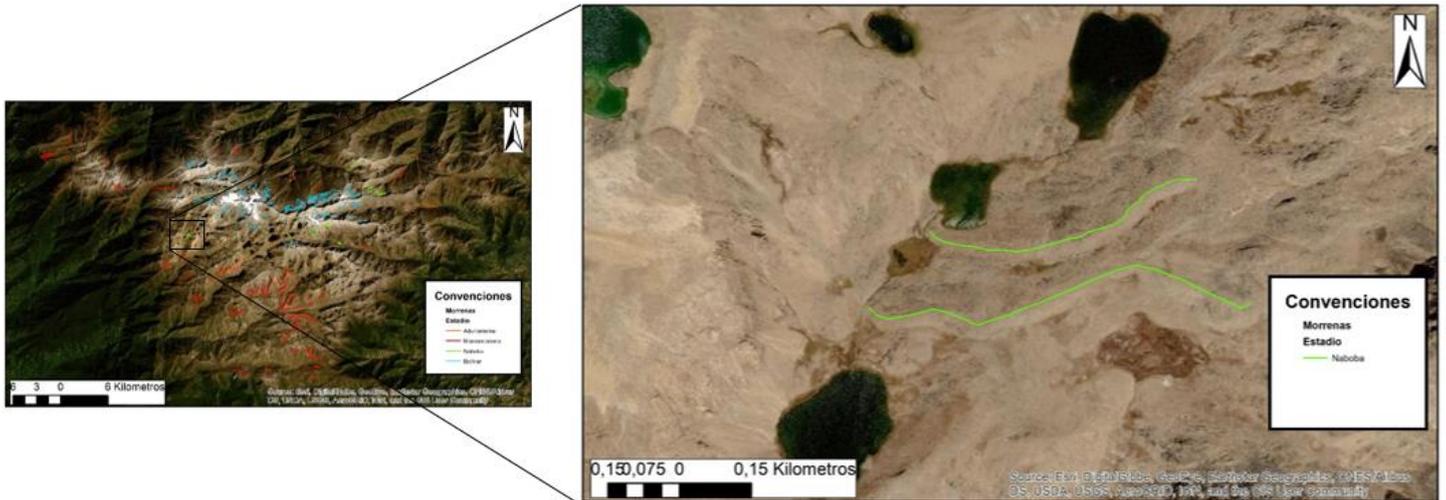


Figura 42. Morrenas ubicadas en la quebrada Besameina.

6.2.8. Estadio Bolívar (4.500 m.s.n.m. – 5.000 m.s.n.m.)

Alrededor de los picos Ojeda, Codazzi y Ojeda, se encuentran varios arcos morrénicos que cuelgan sobre las pendientes inclinadas, unidas entre sí en forma de media luna entre 4.500 m y 4.700 m aproximadamente (Figura 43). Debajo de estas morrenas se encuentran unas tras otra que están poco conservadas, a una altura entre 4.200 y 4.450 metros.

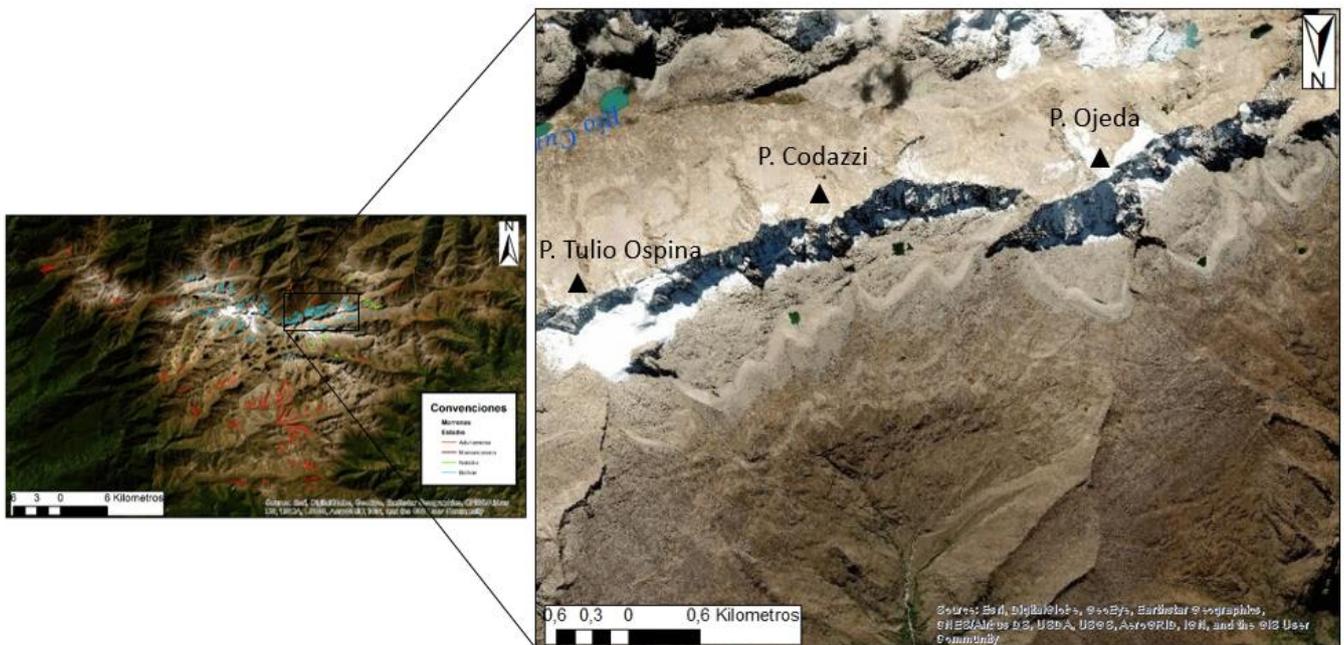


Figura 43. Arcos morrénicos alrededor de los picos Tulio Ospina, Codazzi y Ojeda.

Las morrenas de la Figura 44, rodean los picos Cristóbal Colón y Simón Bolívar. La distancia entre la masa glaciaria y las morrenas es muy poca. Estas morrenas están bien conservadas pero se pueden observar que se están desplegando por la gravedad.

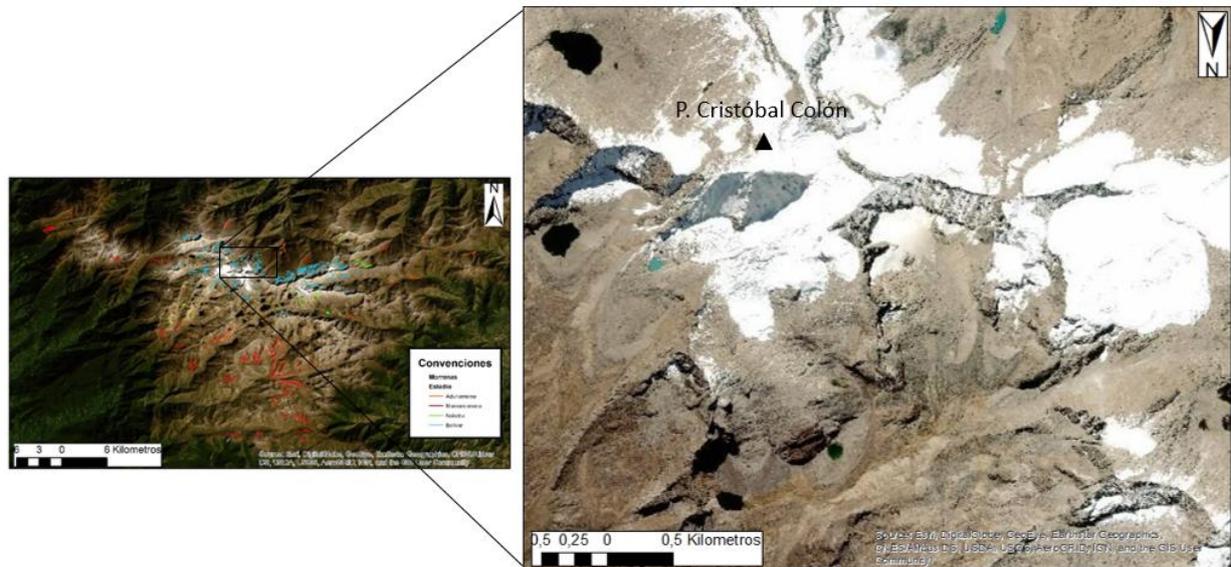


Figura 44. Arcos morrénicos alrededor del pico Simón Bolívar.

Varias morrenas se encuentran entre el valle glacial de los picos Simón Bolívar y Tairona. Estas morrenas se encuentran entre los 4.500 y un poco más de los 5.000 m (Figura 45). Las morrenas de esta zona están poco conservadas, a excepción de la morrena A, siendo esta la morrena de mayor altitud en el macizo. En la morrena B no se puede observar una morrena principal, sino varios registros de estas debido a la erosión. Al final de la morrena F se forma un talud de derrubios.

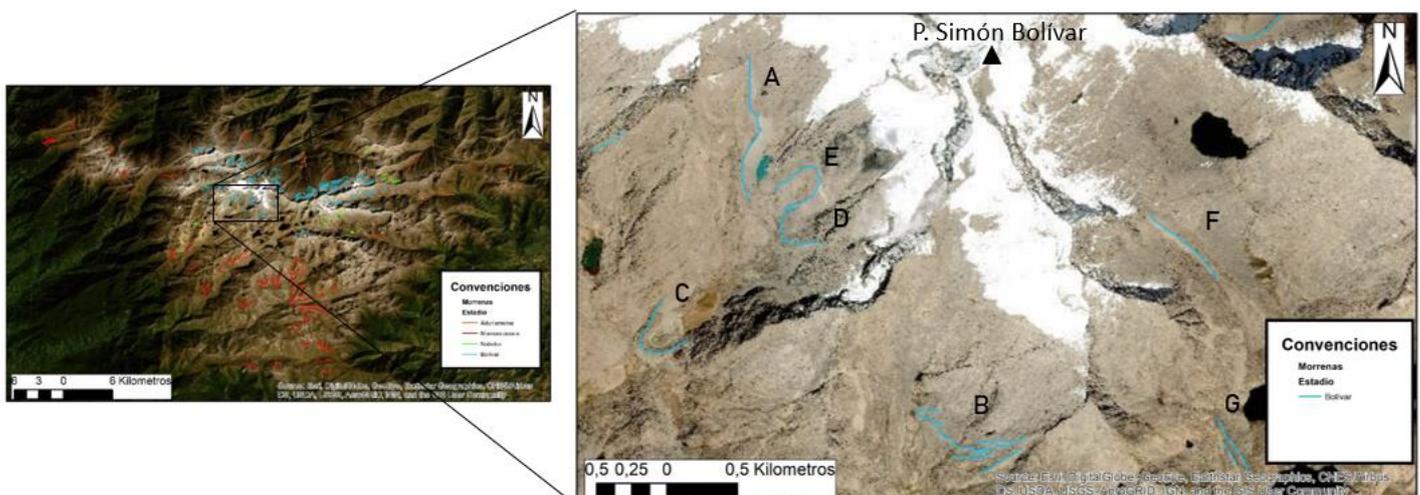


Figura 45. Morrenas del estadio Boliviano alrededor del pico Simón Bolívar.

Las morrenas de la Figura 46, se localizan al norte del pico Simons. Estas morrenas aún están conservadas pero se puede notar indicios de erosión, probablemente se deba a la inclinación de la pendiente. Presentan una altura entre 4.500 y 4.800 metros aproximadamente

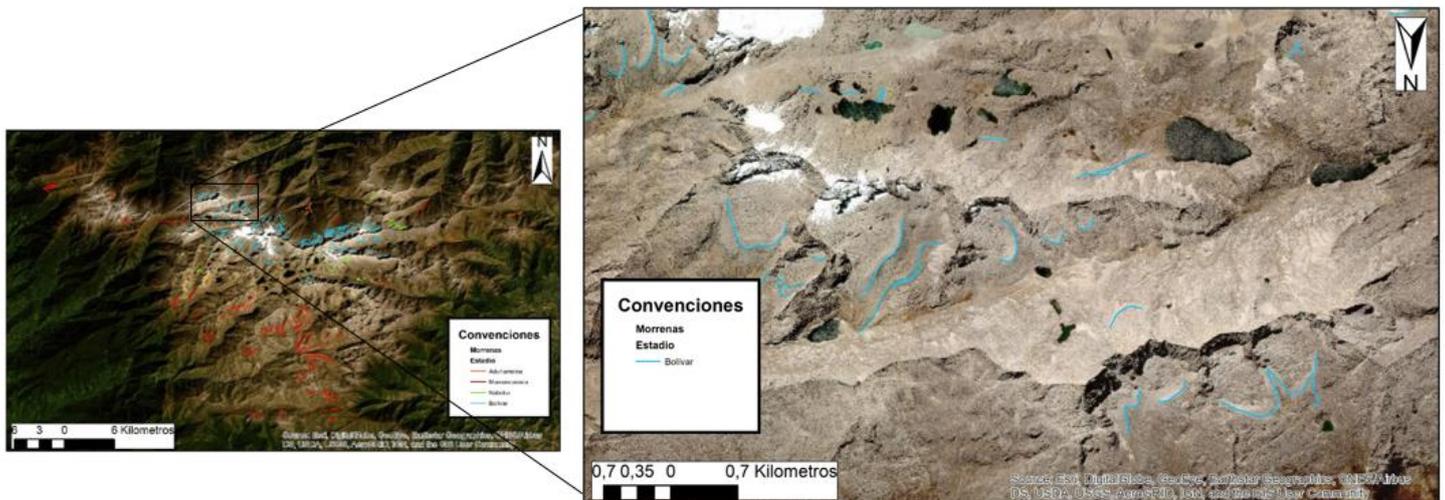


Figura 46. Morrenas del estadio Bolívar localizadas al norte del pico Simons.

Se localizan tres morrenas frontales entre los picos El Guardián y Tairona cercano al estadio Naboba (Figura 47). Estas morrenas están parcialmente conservadas y presentan talud de derrubios.

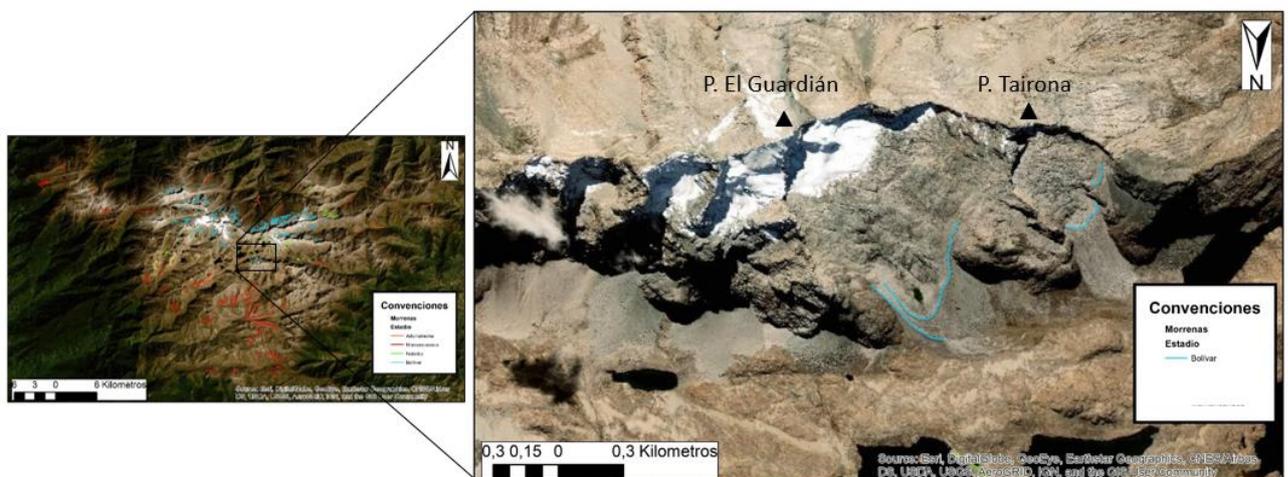


Figura 47. Morrenas ubicadas entre los picos El Guardián y Tairona.

7. DISCUSIÓN

Durante el Cuaternario la SNSM estuvo sometido a varios períodos glaciales como: Aduriameina, Mamancanaca, Naboba y Bolívar, dejando vestigios glaciales en la zona alta del macizo.

7.1. Estadio Aduriameina

Gansser (1955), nombra unas morrenas indistintas y cubiertas por sedimentos glaciofluviales, que se encuentran en el valle de la quebrada Tamanaca al norte de San Sebastián, a 2.800 msnm, pero Bartels (1970), deduce que probablemente se trate de terrazas fluviales, ya que presentan bloques redondos que no indican la presencia de glaciares. Raasveldt (1957), localiza unas morrenas de fondo características por ser extensas pero no muy gruesas, cubiertas por depósitos eólicos provenientes de las morrenas del estadio Mamancanaca. Estas morrenas se localizan desde la vertiente sureste del Río Mamancanaca hasta la cabecera del Río Cuturataca. Van der Hammen (1984), indica que este sistema de morrenas se encuentra a alturas entre 3.000 y 3.400 m aproximadamente.

En esta investigación no se encontraron morrenas con las características anteriormente mencionadas, probablemente la metodología que se utilizó en este proyecto no basta para determinar las morrenas de este estadio, sería necesario una expedición de campo para corroborar la existencia de estas morrenas. Las morrenas descritas en los resultados no fueron encontradas en los estudios de autores anteriormente mencionados (Figura 48).

Los estudios hechos por estos mismos autores sobre las morrenas del estadio Aduriameina, no dieron la suficiente información para determinar los datos sobre la glaciación más antigua de la Sierra Nevada, por lo que lo hace un poco deficiente a la hora de discutir sobre la glaciación que ocasionó este vestigio glacial. Probablemente durante el estadio Aduriameina los casquetes de hielo excavaron la roca originando grandes valles glaciares, debido a que varios arcos morrénicos pertenecientes al estadio Mamancanaca se poseionan sobre el valle del Río Durameina, infiriendo que el valle estaba ahí cuando el hielo formó las morrenas del Mamancanaca (Raasveldt, 1957). Van der Hammen (1984), estima una edad de >24.000 A.P.

Por ser el estadio que presenta las morrenas en topografías más bajas (2.800 m) (Gansser, 1955), la glaciación que formó los vestigios de Aduriameina tuvo que ser mucho más fría que la glaciación del Mamancanaca. Probablemente esto se debe a que el casquete de hielo fue lo suficiente grande para formar un valle glacial. Aún, no

se ha dicho nada sobre la superficie, pero se calcula que desde la cota 2.800 m, la masa glaciaria pudo tener un área de 1.590 Km² aproximadamente.

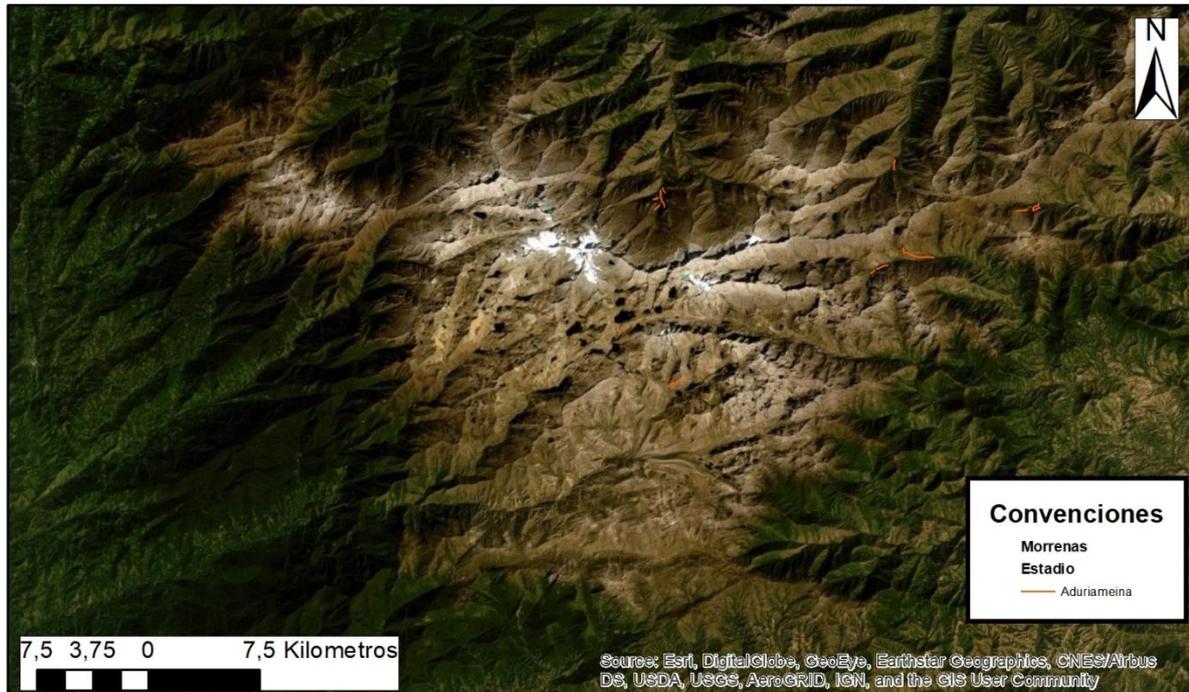


Figura 48. Posibles morrenas del estadio Aduriameina.

7.2. Estadio Mamancanaca

Según los resultados, las características de las morrenas del Mamancanaca como el tamaño, el estado de conservación y su distribución en la zona alta de la SNSM, podría indicar que la glaciación fue de gran magnitud (Figura 50). Lo que se relaciona con los estudios de Raasveldt (1957), quien infiere que son las morrenas más grandes de hasta 200 m de altura localizadas en el valle del Río Mamancanaca, demostrando que se presentó una glaciación de considerable extensión, espesor y volumen. Además Raasveldt (1957), infiere que la mayoría de las morrenas pertenecientes a este estadio se encuentra en una altitud entre los 3.500 y 4.000 m y algunas más arriba de los 4.000 metros.

Las morrenas que se localizan en el valle de la quebrada el Chorro, se clasificaron en los resultados como parte del estadio Aduriameina debido a la altura (2.900 m – 3.500 m), pero Raasveldt (1957) incluye estas morrenas en su mapa glaciológico durante el estadio Mamancanaca (Figura 49). Probablemente esto se deba a que un avance de la masa glaciaria generó el arco morrénico, el hielo vuelve avanzar (hasta 2.900 m) y hace que el arco se separe de su área de procedencia (Bartels, 1970 y 1984). Tal vez esto mismo pase con las morrenas pertenecientes al estadio

Aduriameina según en los resultados. Van der Hammen (1984), estima una edad entre 20.000-14.000 A.P. Raasveldt (1957), propone que la superficie cubierta por la masa glaciár durante el estadio de Mamancanaca fue de 856 Km².

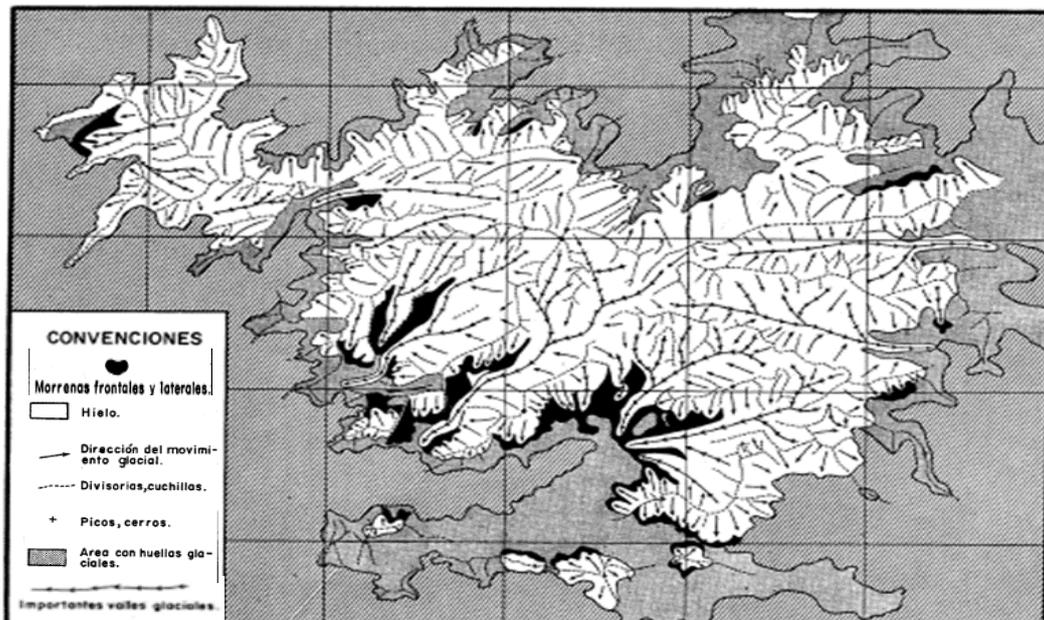


Figura 49. Mapa glaciológico durante el estadio Mamancanaca, Tomado de: Raasveldt, (1957).

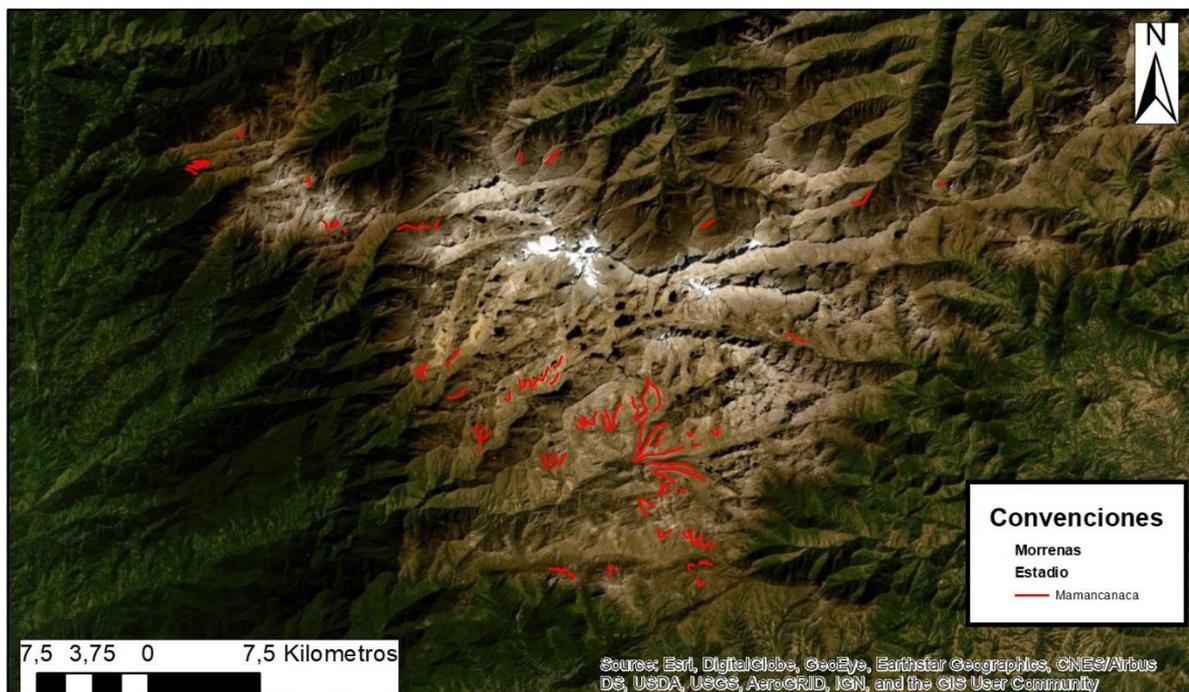


Figura 50. Morrenas del estadio Mamancanaca.

7.3. Estadio Naboba

Rassveldt (1957), al no observar morrenas entre el estadio Mamancanaca y Bolívar, propone una edad Tardiglacial al estadio Mamancanaca, suponiendo que los glaciares avanzaron y desaparecieron rápidamente sin oscilar. Pero Bartels (1970 y 1984), notó que existen unas morrenas no muy notorias entre estos dos estadios, infiriendo que puede haber uno o dos estadios más. Por lo que Van der Hammen (1984), se apoyó en esto para clasificar al menos un estadio entre el Mamancanaca y el Bolívar, llamado Naboba.

Van der Hammen (1984), infiere que el área del estadio Naboba, se encuentra a lo alto del Río Donachui, entre los picos La Reina y El Guardián, a 4.500 m de altura (Figura 51). El mismo autor, no propuso un rango de alturas para caracterizar las morrenas del Naboba, pero a partir de sus descripciones se propuso una clasificación entre 4.000 m y 4.500 m de altura en esta investigación (Figura 52).

Verificando las alturas de las morrenas en esta zona, la mayoría de las morrenas no cumplen con el rango de altitud propuesto en esta investigación. Algunas morrenas se encuentran por debajo de los 4.000 m y otras están por encima de los 4.500 m de altura. Probablemente las morrenas que están por debajo del rango propuesto, fueron alejadas de su lugar de procedencia por varios avances del hielo o que la mayoría pertenezcan a otro estadio ya estudiado o a uno nuevo.

Cabe resaltar que las morrenas en esta zona están poco conservadas y delgadas por lo que coincide con Bartels (1970 y 1984) que las caracteriza por ser menos notorias pero visibles. Estas morrenas indican que el hielo entre el estadio Mamancanaca y Bolívar no retrocedió rápidamente sino que ocurrió otra glaciación.

Van der Hammen (1984), calculó la edad de la base de la turberas de la sección VII (Figura 51) de carbono 14, dando una edad de aproximadamente 10.000 A.P. Como la turbera reposa sobre la parte proximal de la morrena, considera que la edad de las morrenas debe ser Tardiglacial (11.000 a 10.000 A.P.).

Van der Hammen (1984), caracteriza una morrena bien desarrollada a 4.250 m como la más típica del estadio Naboba, pero indica que faltan estudios para determinar si esta morrena corresponde al estadio Naboba o a uno más antiguo. No se encontró esta morrena como tal pero se encontró un relicto de una morrena que posiblemente fue erosionada por la acción de la gravedad. Se propone una superficie glacial desde la cota 4.000 m (altitud establecida en esta investigación) de 493 Km² aproximadamente durante el estadio Naboba.

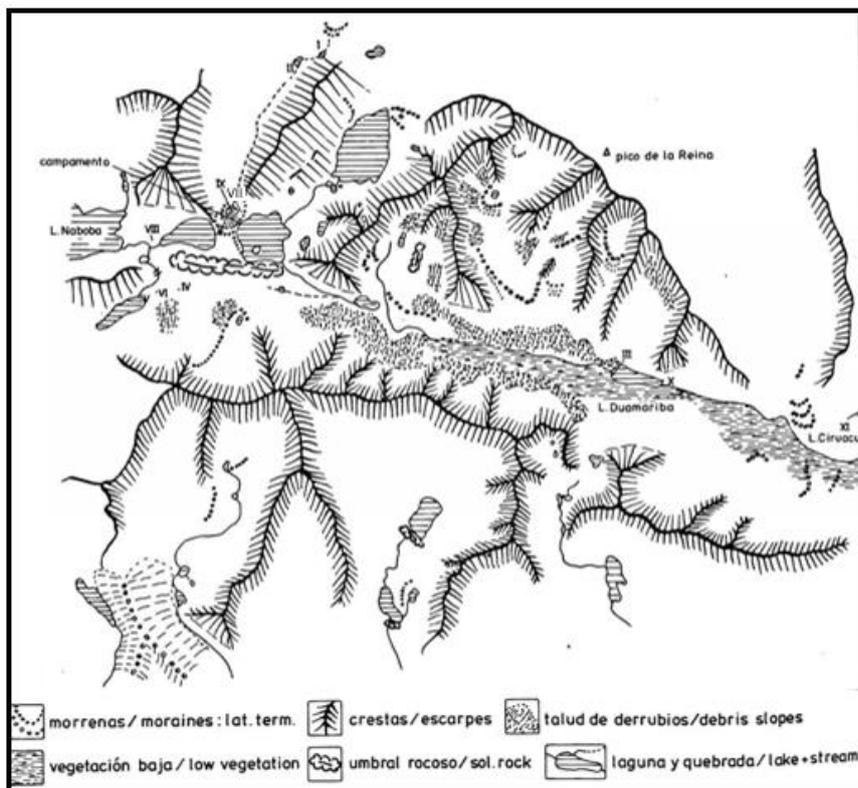


Figura 51. Morrenas del estadio Naboba delimitadas según el estudio de Van der Hammen (1984).



Figura 52. Morrenas del estadio Naboba.

7.4. Estadio Bolívar

Según los resultados, las características de las morrenas típicas del estadio Bolívar coinciden con los estudios hechos por Raasveldt (1957) (Figura 53). El autor ubica las morrenas del estadio Bolívar alrededor de los picos más altos de la SNSM entre los 4.500 y más de los 5.000 m de altura. Describe estas morrenas como un sistema de arcos morrénicos de forma cóncava hacia arriba, demostrando que una lengua glaciar genuina las formó. Según los resultados, hay poca distancia entre las morrenas y el hielo, Raasveldt (1957), infiere que no superan los 500 m de distancia.

En los resultados, se observaron en varias ocasiones una morrena individual y debajo de estas se presentan una tras otra. Raasveldt (1957), también las notó e infiere que indican varias posturas del hielo. También menciona que el retroceso del hielo fue bastante rápido ya que entre el límite actual de la masa glaciar y las morrenas carecen de depósitos glaciales. Raasveldt (1957), afirma que la superficie cubierta por la masa glaciar durante el estadio Bolívar fue de 105 Km². Van der Hammen (1984), dató con carbono 14 varias turberas en diferentes morrenas para encontrar la edad para este estadio, y propone una edad entre 1.500 y 1.850 A.D. aproximadamente (durante la Pequeña Edad de Hielo o Neoglacial).

El cambio climático en la SNSM ha acelerado la disminución de la masa glaciar. Raasveldt (1957), propuso que la superficie cubierta en 1957 fue de 39 Km². Se estima que la masa glaciar para el año 2019 es de 10 Km² aproximadamente.

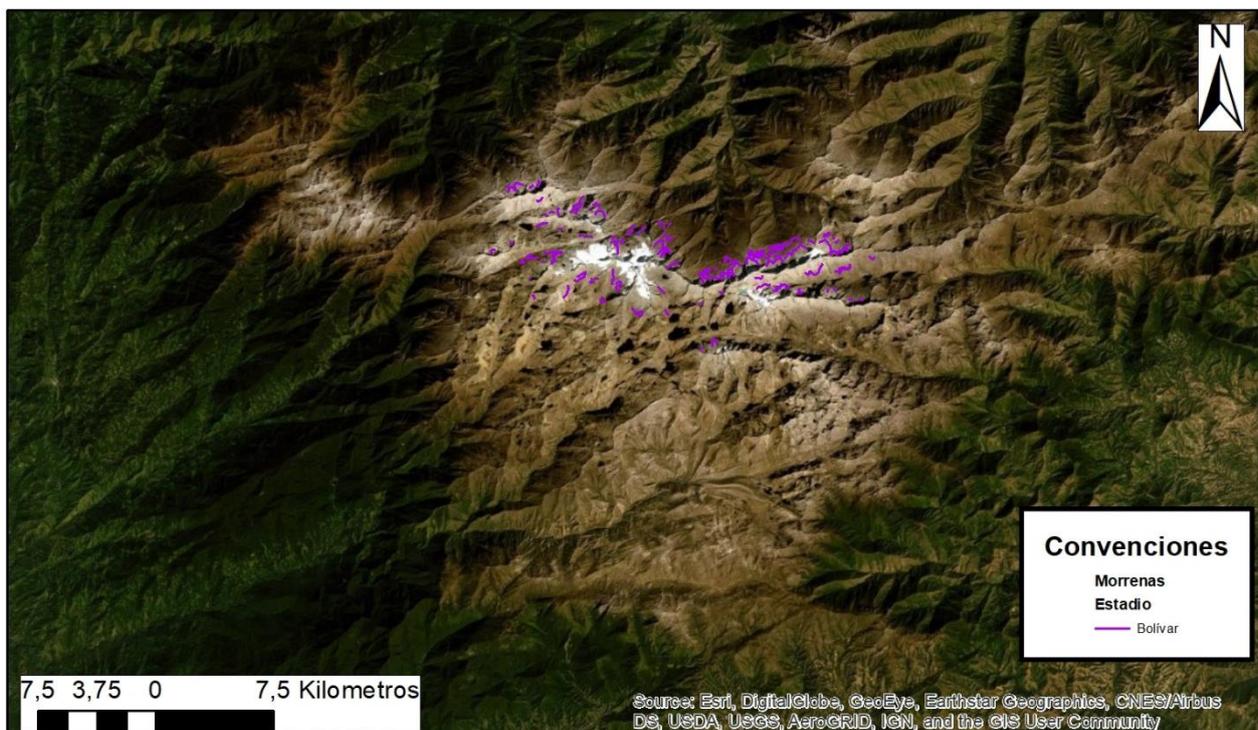


Figura 53. Morrenas del estadio Bolívar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Efectivamente si es posible relacionar las morrenas presentes en la SNSM con los períodos glaciales a partir de la altitud como variable principal. El estado de conservación, la ubicación y el espesor son variables que complementan la información acerca de las glaciaciones pasadas en la SNSM.
- La acción de la gravedad y la erosión pluvial, probablemente sean los mayores responsables de la erosión de las morrenas y pueden eliminar información acerca de los períodos glaciales.
- Algunas morrenas del Naboba no cumplen con la altura establecida del estadio al que pertenece, probablemente ocurre un avance de hielo diferente a la que los formó y hace que se separe de su lugar de procedencia o pertenece a otro estadio que aún no se ha determinado.
- La aparición de nuevos lagos en la SNSM puede ser un indicio del cambio climático ya que muchos se han formado por el derretimiento de las lenguas glaciares.
- Por la desglaciación actual, es probable que no se siga modificando el paisaje glacial en la zona de mayor altitud del macizo, ya que no evolucionan los circos y por lo tanto no aparecerán o modificarán las aristas y las agujas.
- El estadio Aduriameina presenta pocos registros de morrenas, pero otro indicio que puede ser usado para describirlos son los valles en el que se poseiona las morrenas del Mamancanaca, por lo que es necesario hacer estudios acerca de estos valles glaciares.
- Hacer expediciones en campo para corroborar la ubicación exacta y en especial la altura de las morrenas del Aduriameina descritas en anteriores estudios.
- Se recomienda emplear técnicas como isótopos cosmogénicos producido *in-situ* ^{10}Be (berilio-10) o ^{36}Cl (cloro-36) para la reconstrucción paleoglacial en la SNSM.
- Estudiar detalladamente los vestigios del estadio Naboba y confirmar si existe otro estadio entre el Mamancanaca y el Bolívar además de los vestigios del Naboba.

BIBLIOGRAFÍA

Andrews, J. (1975). *Glacial systems. An approach to glaciers and their environments*. Duxbury press. North Scituate, Massachusetts, 191 págs.

Bartels, G., (1970). Geomorphologische höhenstufen der Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Giessener Geographische Schriften* 21, 1-56.

Bartels, G. (1984). Los pisos morfoclimáticos de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). Transecto Buritaca–La Cumbre. Estudios de Ecosistemas Tropandinos*, 2.

Flórez, A. (1992). Los nevados de Colombia, glaciales y glaciaciones. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía. Santafé de Bogotá, D.C.

Flórez, A. (2002). Movilidad altitudinal de páramos y glaciares en los Andes Colombianos. *Congreso Mundial de Páramos, Memorias*. Paipa, Boyacá. Pp.80-90.

Gansser, A. (1955). Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 35(2), 209-279.

Gutiérrez, M., (2008), *Geomorfología*, Madrid, España, Pearson. Hambrey, M. J. (1977). Foliation, minor folds and strain in glacier ice. *Tectonophysics*, 39, 397-416.

Herrera, P. M., Santa Escobar, M., Carmona, O. O., & Pimentel, M. (2008). Consideraciones petrográficas, geoquímicas y geocronológicas de la parte occidental del Batolito de Santa Marta. *Dyna*, 75(155), 223-236.

INGEOMINAS. (2007). *Geología de la Plancha 19-Sierra Nevada de Santa Marta*. Escala 1:100.000. Bogotá D.C.

IDEAM. (2012), *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo*, Bogotá D.C., Colombia, IDEAM.

IDEAM y Universidad Nacional. (1997). *Geosistemas de la Alta Montaña*. IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Piraquive, A. (2017). *Marco estructural deformaciones y exhumación de los Esquistos de Santa Marta: la acreción e historia de deformación de un terreno Caribeño al norte de la Sierra Nevada de Santa Marta (Doctoral dissertation, Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia)*.

Poveda, G., & Pineda, K. (2009). Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: are they bound to disappear during the 2010–2020 decade. *Advances in Geosciences*, 22, 107-116.

Servicio Geológico Colombiana, Universidad EAFIT. (2015). Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa esc 1:100.000. Plancha 19 – Sierra Nevada de Santa Marta. Medellín.

Sharp, R. (1988). *Living Ice*. Cambridge University Press. Cambridge, 225.

Tschanz, C., Marvin, R., Cruz, J., Mehnert, H., & Cebula, G. (1974). Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, northeastern Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 85(2), 273-284.

Thorn, C., Hall, K. (1980). Nivation: an arctic-alpine comparison and reappraisal. *Journal of Glaciology*

Van der Hammen, T., Ruiz, P.M. 1984. La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) transecto Buritaca- La Cumbre. *Studies on Tropical Andean Ecosystems* 2, 569-5.

ANEXOS

73°50'0"W

73°40'0"W

73°30'0"W



Cartografía básica

-  Drenaje doble
-  Drenaje sencillo
-  Curvas de nivel

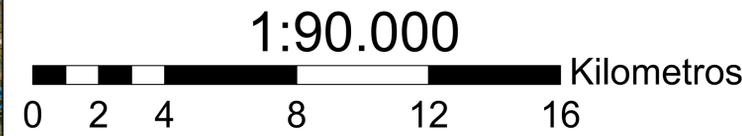
Cartografía termática

-  Glaciar
- Morrenas**
- Estadio**
-  Bolívar
-  Naboba
-  Mamancanaca
-  Aduriameina
- Lagos**
- Tipos de lagos**
-  Lago
-  Lago obstruido
-  Lagos en rosario
-  Circos
-  Horn
-  Aristas

11°0'0"N

10°50'0"N

10°40'0"N



Escala de trabajo 1:25.000
Escala gráfica 1:90.000

**MAPA GEMORFOLÓGICO DEL AMBIENTE
GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA
DE SANTA MARTA**

73°50'0"W

73°40'0"W

73°30'0"W

11°0'0"N

10°50'0"N

10°40'0"N

