

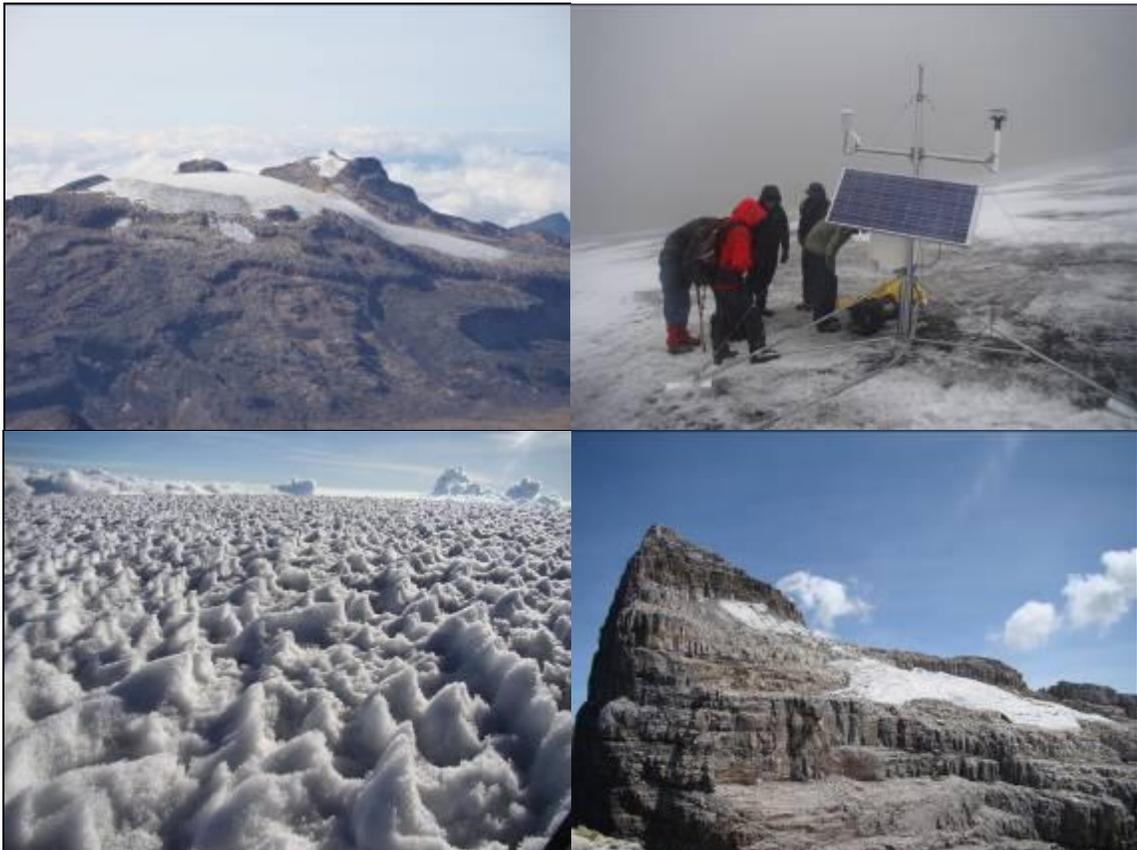


INFORME DE ACTIVIDADES GLACIOLÓGICAS

2010

Volcán nevado Santa Isabel y Sierra nevada de El Cocuy

Colombia



**Informe de Actividades Glaciológicas:
Volcán nevado Santa Isabel y Sierra nevada
de El Cocuy. Colombia, 2010.**

Autores

Jorge Luis Ceballos Liévano,
Profesional Especializado de la Subdirección de
Ecosistemas e Información Ambiental IDEAM

jorgec@ideam.gov.co

Edgard Leonardo Real Núñez,
Consultor de la Secretaria General de la
Comunidad Andina, Proyecto PRAA
Contratista IDEAM
(Tema: Balance de masa, Hidrometeorología)

leonardo.real@ideam.gov.co

Félix Ignacio Meneses Arias,
Consultor Proyecto INAP-B
(Tema: Balance de masa)

fimenesesa@ideam.gov.co

Camilo Eduardo Rodríguez Murcia, Consultor
IDEAM y Secretaria General de la Comunidad
Andina, Proyecto PRAA.
(Tema: Vulnerabilidad)

cerodriguez@ideam.gov.co

**Subdirección de Ecosistemas e Información
Ambiental**

Fotografías portada:

*Volcán nevado Santa Isabel; Estación meteorológica
sobre el glaciar Santa Isabel; Penitentes sobre la
cima del volcán nevado del Ruiz; glaciar
Campanillas en extinción en la sierra nevada de El
Cocuy. Fotografías: Jorge Luis Ceballos L.*

Este documento se puede citar parcialmente con previa autorización de los autores.

Bogotá D.C., septiembre de 2011.

Disponible en www.Ideam.gov.co

Los autores agradecen a las siguientes personas, el apoyo en las labores de glaciología de campo y de oficina así como la asesoría técnica a:

IDEAM

Dr. Ricardo Lozano Picón, Carolina Chinchilla, Luz Marina Arévalo, Guillermo Olaya, Leonardo Fajardo, Everth Mejía, Gilberto Alvarado, William Arteaga, Jorge Andrés González, Áreas Operativas 9 y 6.

Conservación Internacional CI

Ángela Andrade y Klaus Schutze (Proyecto INAP Componente B)

Parque Nacional Natural Los Nevados

Jorge Lotero, Milton Arias, Elkin Montoya, Elisa Moreno, María Helena Giraldo, Concesión Nevados.

PNN El Cocuy:

Fabio Muñoz, Joaquín Valderrama, Victor Raúl Buitrago, Jorge Carvajal, Omar López, Mario Reyes, Roberto Ariano.

Secretaría General de la Comunidad Andina

Proyecto PRAA.

IRD, Francia

Dr. Bernard Francou.

INAMHI, Ecuador

Bolívar Cáceres, Luis Maisincho.

Universidad de Zúrich (Suiza)

Dr. Christian Huggel.

World Glacier Monitoring Service WGMS (Suiza)

Dr. Michael Zemp.

Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos (GTNH-PH-LAC)

Banco Mundial

Dr. Walter Vergara.

Escuela de Ingeniería de Antioquia

Dr. Daniel Ruiz C.

A Carlos Valbuena, (Sierra Nevada de El Cocuy) y Conrado Patiño (PNN Nevados) por sus quianzas y caballos.

INFORME DE ACTIVIDADES GLACIOLÓGICAS

2010

Volcán nevado Santa Isabel y Sierra nevada de El Cocuy Colombia

1. INTRODUCCIÓN	7
2. LOS GLACIARES EN COLOMBIA	9
3. CONTEXTO CLIMÁTICO PARA EL AÑO 2010	13
4. INVENTARIO DE LA RED DE INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN GLACIAR INSTALADOS HASTA EL AÑO 2010	14
4.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL. (4° 48` Latitud Norte, 75° 22` Longitud Oeste)	14
4.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY. (6° 29` Latitud Norte, 72°18` Longitud Oeste)	17
5. BALANCE DE MASA	22
5.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL	22
5.1.1 Balance de masa glaciar Conejeras.	22
5.1.2 Perfil altitudinal y gradiente vertical del balance de masa glaciar del glaciar Conejeras.....	27
5.1.3 Altitud línea de equilibrio (ELA) para el glaciar Conejeras.....	28
5.1.4 Espacialización del balance de masa del glaciar Conejeras.....	30
5.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY	32
5.2.1 Balance de masa glaciar Ritacuba Blanco.	33
5.2.2 Perfil altitudinal y gradiente vertical del balance de masa glaciar Ritacuba Blanco.....	37
5.2.3 Altitud de la línea de equilibrio (ELA) del glaciar Ritacuba Blanco.	38
5.2.4 Espacialización del balance de masa glaciar Ritacuba Blanco año 2010.	40
5.2.5 Balance de masa glaciar Ritacuba Negro.	41
5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS BALANCES DE MASA DE LOS GLACIARES DE ESTUDIO.....	43
5.4 EFECTOS DEL FENÓMENO CLIMÁTICO REGIONAL ENOS 2010 SOBRE LOS GLACIARES DE ESTUDIO (VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL Y SIERRA NEVADA DE EL COCUY).....	44
6. GEOMETRÍA GLACIAR	49

6.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL	49
6.1.1 Retroceso del frente glaciar medidos sobre el terreno en el volcán nevado Santa Isabel.....	49
6.1.2 Levantamiento topográfico del glaciar Conejeras.....	50
6.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY	52
6.2.1 Retroceso del frente glaciar medidos sobre el terreno en la sierra nevada de El Cocuy.	52
6.2.2 Levantamiento topográfico del glaciar Ritacuba Negro y Blanco.	54
7. HIDROMETEOROLOGÍA	55
7.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL	55
7.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY	73
8. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS COMUNIDADES HUMANAS DE ALTA MONTAÑA A LA PÉRDIDA DE LOS GLACIARES.....	77
8.1 Teoría y método de análisis.	77
8.1.2 Áreas de estudio.	84
8.1.3 Resumen de los resultados obtenidos.	87
8.1.4 Recomendaciones	101
9. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS.....	103
9.1 Instalación de las estaciones de donación del Proyecto PRAA.	103
9.1.1 Instalación de la estación meteorológica móvil de altitud (EMMA) en el Parque Nacional Natural Los Nevados, volcán nevado Santa Isabel glaciar Conejeras.	103
9.1.2 Instalación de la estación meteorológica Laguna la Plaza.	104
9.2 Estudios de vulnerabilidad y estimación de valor de los servicios ecosistémicos de los glaciares en Colombia.....	106
9.3 Diseño e implementación de un instrumento para medir el albedo en el volcán nevado Santa Isabel.	106
9.4 Reconstrucción de la dinámica glaciar reciente en la sierra nevada de El Cocuy utilizando Liquenometría (visita investigadores Centre National de Recherche Scientifique -CNRS- (laboratoire de géographie Physique) de Francia).	107
9.5 Calculo del balance de masa para el glaciar volcán nevado del Ruiz.	107
9.6 Capacitaciones Funcionarios Parques Nacionales Naturales.	109
10. ACTIVIDADES DE DIVULGACION	111
11. REFERENCIAS	112

ANEXO 116

1. INTRODUCCIÓN.

Este documento corresponde al Tercer Informe de Actividades Glaciológicas del IDEAM (Primer Informe años 2006-2007, Segundo Informe años 2008-2009), el cual compila los trabajos y resultados obtenidos durante el año 2010 para los nevados de estudio volcán nevado Santa Isabel y sierra nevada de El Cocuy, y tiene como finalidad divulgar la información producida en el ámbito de la glaciología colombiana.

Se destaca para el primer semestre del año 2010 los impactos generados por la última fase del fenómeno climático “El Niño” (2009-2010) generando un intenso derretimiento del hielo (el más fuerte medido desde 2006), y para el segundo semestre la influencia del fenómeno climático “La Niña” con un aumento en la precipitación sólida que originó una ligera recuperación glaciaria (aumento de masa) pero poco comparable con las pérdidas por el fenómeno “El Niño”.

En general, el glaciar de estudio (Conejeras) en el volcán nevado Santa Isabel presentó pérdidas de 3075 mm equivalentes de agua (mm. eq. agua) para el año 2010 y pérdidas acumuladas de 6933 mm eq. agua para el periodo de observación (2006-2010). En la sierra nevada de El Cocuy el glaciar de estudio Ritacuba Blanco, las pérdidas reportadas en el año 2010 fueron de 98 mm eq. Agua. Esta diferencia tan marcada en la magnitud de las pérdidas acumuladas entre estos dos glaciares está directamente relacionada con sus altitudes y su proporción entre el área de ablación glaciaria y el área de acumulación para cada nevado.

Como actividad complementaria se realizó la instalación de una red de balizas en el volcán nevado del Ruiz en febrero de 2010. Con esta instrumentación se pretendía complementar las mediciones que se realizan en el volcán nevado Santa Isabel pero debido a inconvenientes de tipo vulcanológico solo fue posible realizar mediciones hasta el mes de junio de 2010. En estos seis meses se cuantificó el balance de masa en unas pérdidas de 2169 mm eq. de agua. Cabe resaltar que los procesos de desglaciación acelerada en el volcán nevado del Ruiz no son solamente función del Cambio Climático actual sino que también están influenciados fuertemente por la actividad volcánica que se desarrolla bajo el glaciar.

En 2010 se continuó con el desarrollo de las actividades previstas en los Proyectos: “Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales” -PRAA- (Banco Mundial, Secretaria General de la Comunidad Andina, Convenio Subsidiario de Cooperación No. 003 de 2009) en cuanto a la recepción e instalación de dos estaciones meteorológicas y uso de imágenes de satélite ALOS; y el Proyecto Nacional de

Adaptación al Cambio Climático -INAP- Componente B (Alta Montaña) en cuanto a una consultoría en glaciología.

De las dos estaciones meteorológicas donadas por el proyecto PRAA se destaca la instalación de una estación meteorológica automática destinada a desarrollar el primer balance energético sobre la superficie de un glaciar colombiano y con ello comprender los flujos energéticos (radiativos, conductivos y turbulentos) que se desarrollan entre la interfaz glaciar-atmosfera.

Complementariamente, el IDEAM interesado en conocer el funcionamiento de los sistemas ligados al glaciar, desarrolla un estudio de vulnerabilidad de los grupos humanos de alta montaña ante el derretimiento glaciar en los sitios de estudio. Los resultados generan un interés particular lo cual da origen a que se inicien a final del año, dos estudios adicionales bajo el marco del proyecto PRAA: 1) Vulnerabilidad en el resto de las áreas glaciares colombianas y 2) Impactos económicos y sociales esperados por la extinción glaciar.

Igualmente, se contó con el apoyo de la Universidad de Zurich (Departamento de Geografía), del Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS, por sus siglas en inglés), del Grupo de Trabajo de Hielos y Nieves - GTNH/PHI- y del Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD por sus siglas en Francés) en Quito, Ecuador.

2. LOS GLACIARES EN COLOMBIA.

Colombia cuenta con un área glaciaria aproximada 46,8 km² (2007-2009) calculada por el IDEAM con base en imágenes de satélite (Landsat, Quickbird, Spot y Alos) representada en seis glaciares clasificados como ecuatoriales: Volcanes nevados del Ruiz (8,8 Km², 2007), Santa Isabel (2,6 Km², 2007), Huila (9,8 Km², 2009), Tolima (0,93 Km², 2007) y dos sierras nevadas, El Cocuy (17,4 Km², 2009) y Santa Marta (7,4 Km², 2009); Estos seis glaciares, están distribuidos en las cordilleras Central (volcánica), Oriental (rocas sedimentarias) y en la sierra nevada de Santa Marta (Ígneo-metamórfica). (Figuras 1 y 2, Tabla 1).

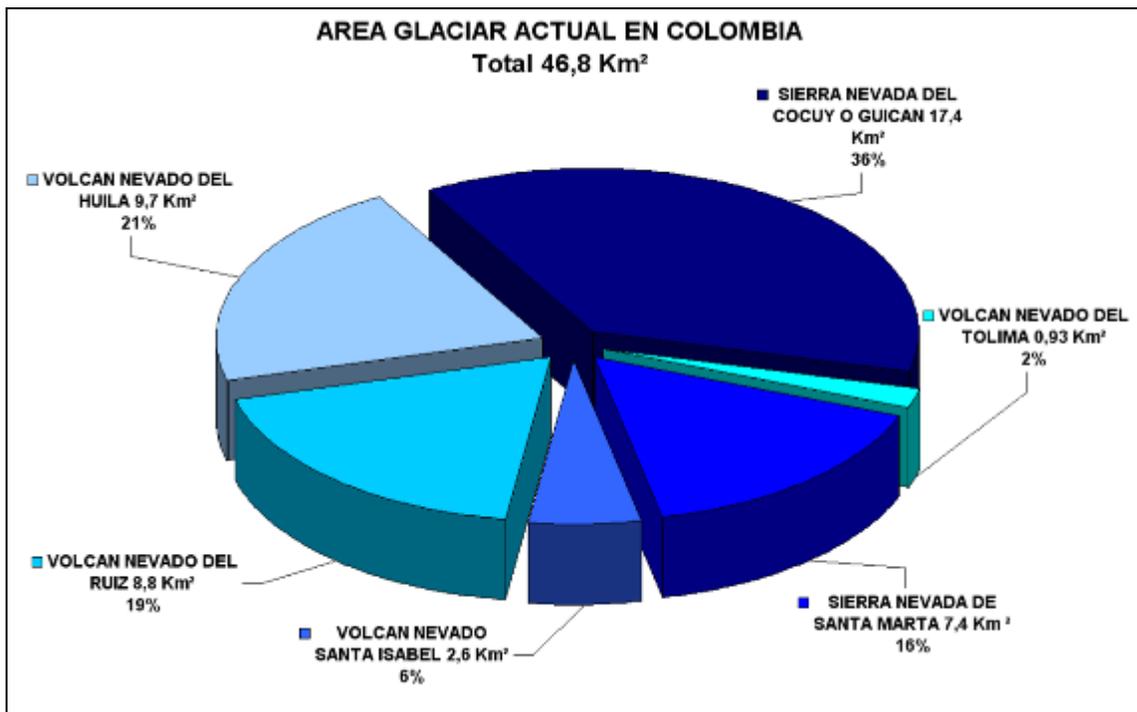


Figura 1. Área glaciaria actual en Colombia (2007-2010). Fuente IDEAM.

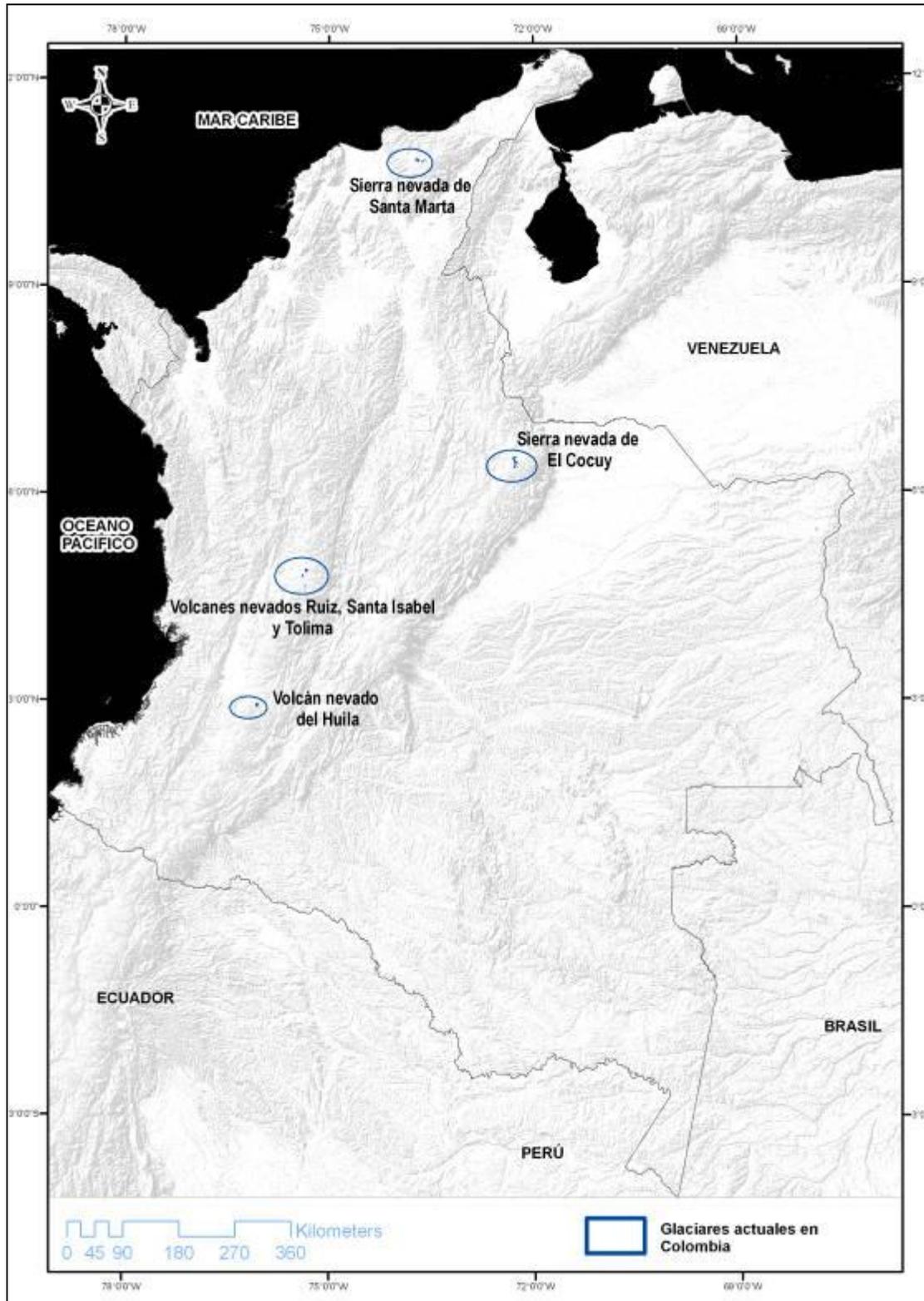


Figura 2. Ubicación de las áreas glaciares actuales en Colombia.

Tabla 1. Áreas glaciares actuales de Colombia periodo 2007-2009.

Nombre del glaciar	Altitud (m)	Área (Km ²)	Superficie relativa con respecto al área glaciar total de Colombia	Año de Actualización	Fuente
<i>Sierra nevada de El Cocuy</i>	5330	17.4	36 %	2009	<i>Imagen satelital ALOS</i>
<i>Volcán nevado del Huila</i>	5364	9.7	21%	2010	<i>Imagen satelital ALOS</i>
<i>Volcán nevado del Ruiz</i>	5330	8.8	19 %	2007	<i>Imagen satelital Spot</i>
<i>Sierra nevada de Santa Marta</i>	5775	7.4	16 %	2010	<i>Imagen satelital ALOS</i>
<i>Volcán nevado Santa Isabel</i>	5100	2.6	6 %	2007	<i>Imagen satelital Spot</i>
<i>Volcán nevado del Tolima</i>	5280	0.93	2 %	2007	<i>Imagen satelital Spot</i>

Con base en datos de área glaciar de las últimas tres décadas, es posible manifestar que en Colombia se ha reducido el área en un 57% con respecto a la de hace 30 años y con una tendencia actual de disminución del 3% por año (Figuras 3 y 4). De continuar esta tendencia y el actual ascenso térmico de la baja atmósfera, en el transcurso de tres a cuatro décadas no existirían masas de hielo en Colombia o habría algunas muy reducidas en las cumbres más elevadas, dependiendo de cómo evolucione, la línea de equilibrio (ELA), el porcentaje de área de acumulación (AAR), la topografía glaciar y subglaciar, el espesor de hielo, la micrometeorología sobre la superficie glaciar (albedo, radiación incidente y reflejada) y los procesos climatológicos regionales (ENSO).

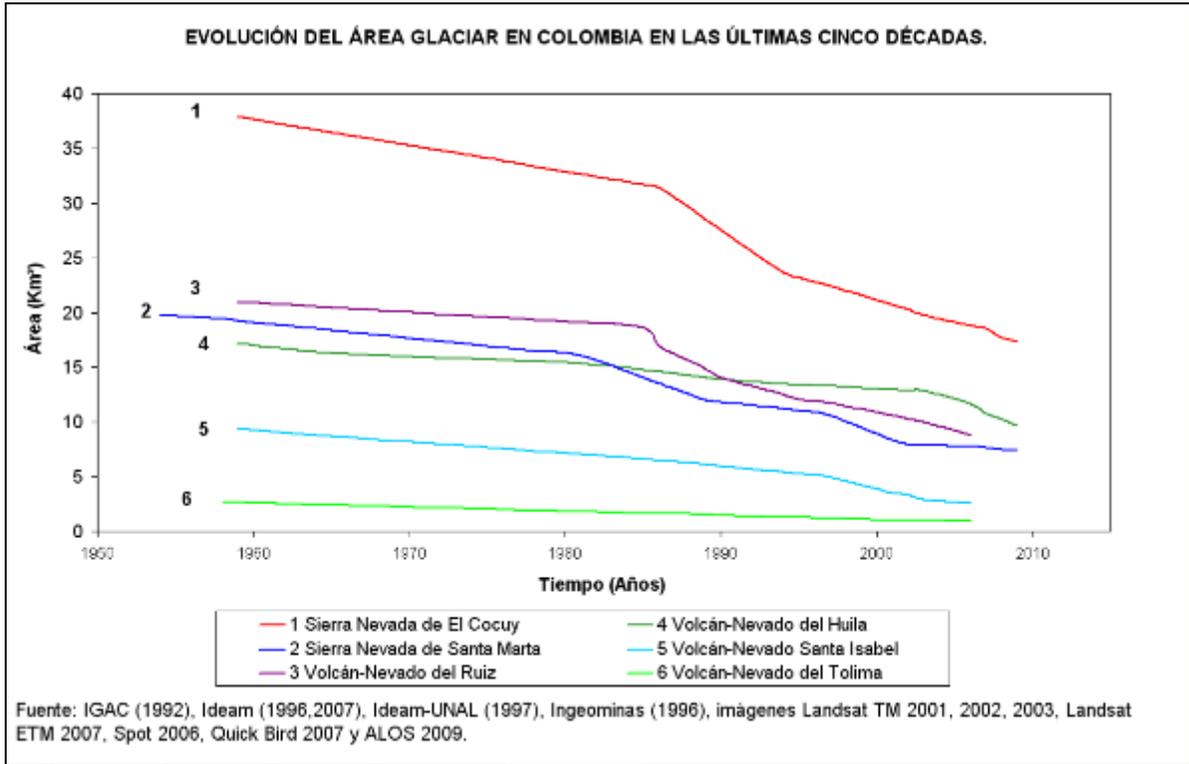


Figura 3. Evolución del área glaciár en Colombia en las últimas cinco décadas.

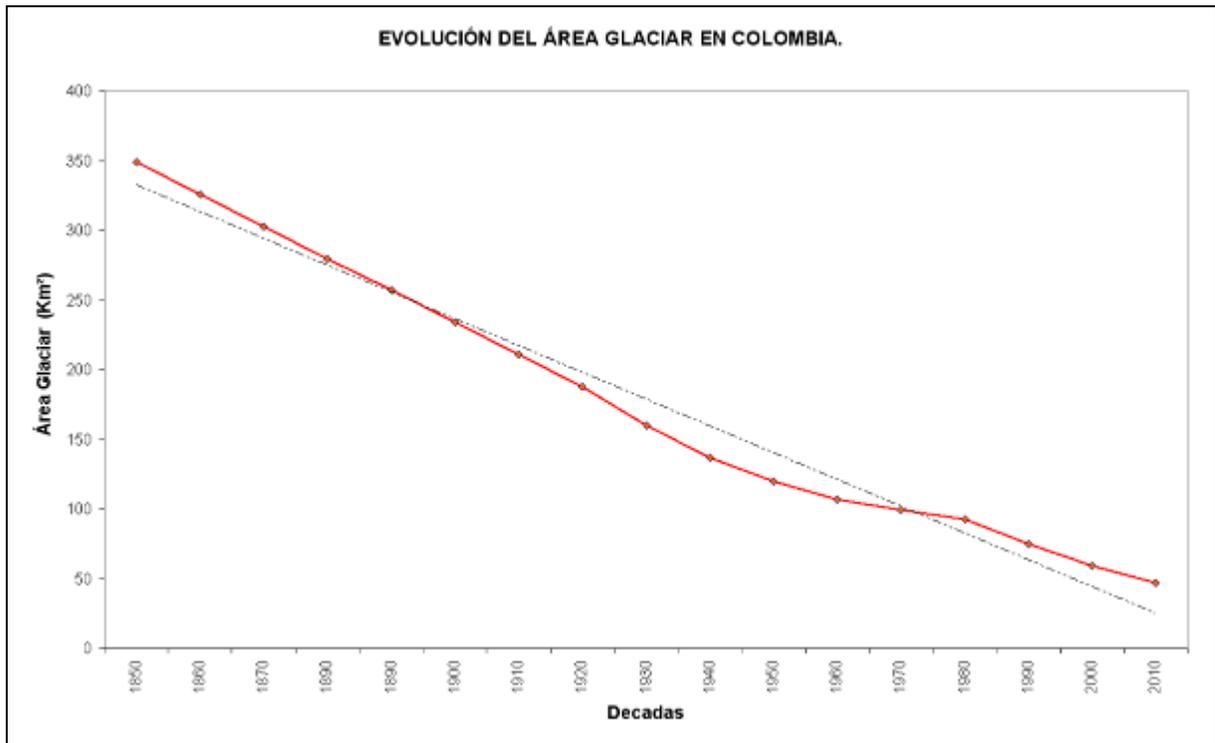


Figura 4. Evolución décadal del área glaciár en Colombia 1950 - 2010.

3. CONTEXTO CLIMÁTICO PARA EL AÑO 2010.

El año 2010 fue caracterizado por la influencia de fenómenos climáticos tipo ENOS los cuales marcaron cambios significativos en el comportamiento de las lluvias en la región Andina colombiana y por ende en la dinámica de los glaciares.

El primer trimestre se caracterizó por la influencia del fenómeno climático regional “El Niño”, el cual generó una disminución generalizada de las lluvias, por lo tanto, un aumento en los procesos de derretimiento en los glaciares colombianos. Cabe resaltar que este fenómeno “El Niño” se inició en mayo de 2009.

A partir de mayo de 2010 se evidenció la influencia del fenómeno climático “La Niña”, el cual tuvo su etapa de desarrollo a partir de agosto y se reflejó en un incremento significativo de la precipitación. Desde esta fecha se estima que los glaciares entraron en un proceso de acumulación debido a la constante caída de precipitación sólida (Figura 5).

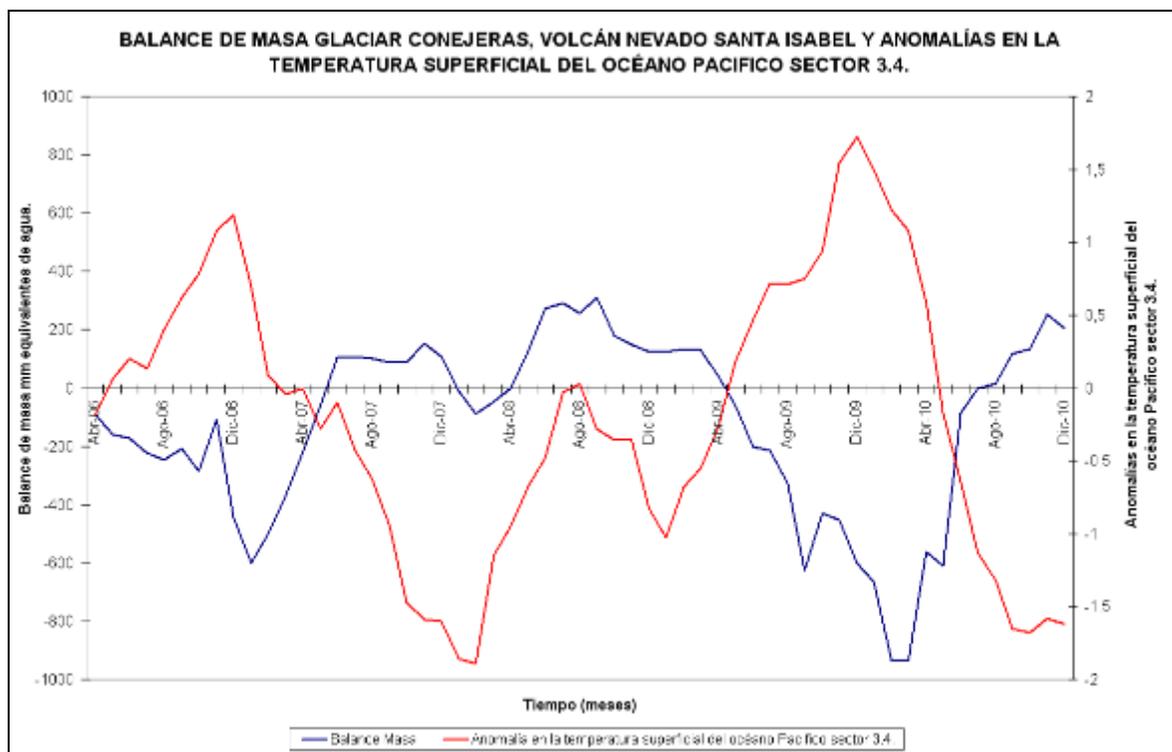


Figura 5. Anomalías de temperatura superficial del océano Pacífico sector 3.4 y balance de masa glaciar conejeras volcán nevado santa Isabel.

4. INVENTARIO DE LA RED DE INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN GLACIAR INSTALADOS HASTA EL AÑO 2010.

Como se presentó en el informe de actividades glaciológicas 2008-2009, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- ha direccionado esfuerzos y recursos, desde el año 2006, para instrumentar dos cuencas glaciares, una en el volcán nevado Santa Isabel y la otra en la sierra nevada de El Cocuy, con el objeto de levantar información detallada que permita conocer el comportamiento de la dinámica glaciar en Colombia.

4.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL. (4° 48' Latitud Norte, 75° 22' Longitud Oeste)

Una de estas cuencas glaciares de estudio denominada "Conejeras" está ubicada en la vertiente occidental del volcán nevado Santa Isabel en el Parque Nacional Natural Los Nevados en el departamento de Caldas, la cual se ha instrumentado con los equipos necesarios para cuantificar el balance de masa glaciar, el balance hidrológico y el comportamiento de las variables meteorológicas en la alta montaña (Figura 6).

En síntesis, la instrumentación existente en el volcán nevado Santa Isabel y sus alrededores para el año 2010, es la siguiente (Tabla 2):

Tabla 2. Equipos instalados en el volcán nevado Santa Isabel.

GLACIAR	EQUIPOS	CANTIDAD	UBICACIÓN	ALTITUD (m)	FECHA DE INSTALACION	OBJETIVO
Conejeras	Balizas	14	Glaciar Conejeras	4700-4920	2006	Captura de datos de ablación glaciar
	Estación Hidrológica (automática)	2	borde glaciar	4686	2007-2008	Captura de datos de nivel en dos drenajes del glaciar
	Estaciones meteorológicas automáticas	2	Borde glaciar (satelital) Páramo (automática)	4412 4318	2008	Captura de información meteorológica (humedad relativa del aire, precipitación, temperatura del aire, humedad del suelo)
	Puntos de retroceso longitudinal de frente glaciar	8	Borde glaciar vertientes N, W, E, S	4700	1988	Medir retrocesos de frente glaciar

Pluviómetros Totalizadores	1	borde glaciar	4680	2006	Capturar información de precipitación
Pozo de Acumulación	1	Cumbre norte volcán nevado Santa Isabel	4958	2007	Captura de información de acumulación neta anual
Estación Meteorológica Móvil de Altitud (EMMA)	1	Zona de ablación volcán nevado Santa Isabel	4783	2010	Captura de información para el cálculo del balance de energía

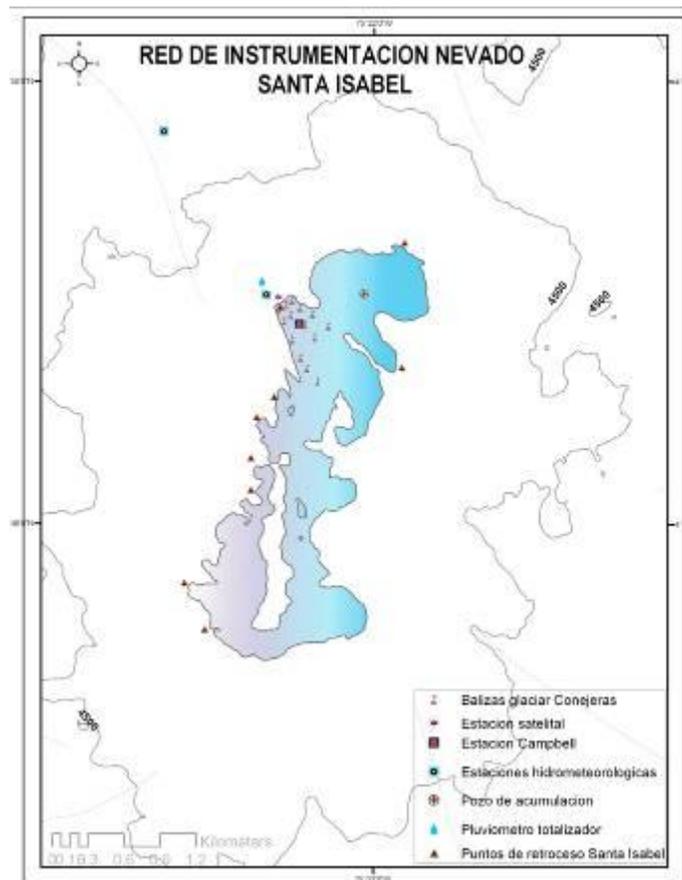


Figura 6. Red de instrumentación glaciar en el volcán nevado Santa Isabel y sus alrededores.

El “Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de los Glaciares en los Andes Tropicales - PRAA” coordinado por Secretaria General de la Comunidad Andina donó al IDEAM dos estaciones meteorológicas automáticas, una de las cuales se instaló sobre el glaciar Conejeras el 18 de agosto de 2010 a una altitud de 4759m.; esta estación fue bautizada como EMMA (Estación Meteorológica Móvil de Altitud) la cual

estará destinada a desarrollar un balance energético (Figura 7). Debido a su estructura móvil podrá ser utilizada para estudiar otros glaciares colombianos.

La EMMA está en capacidad de medir precipitación, radiación solar incidente y reflejada onda larga y onda corta, temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y temperatura del hielo (Tabla 3) con una periodicidad de medición de 15 segundos y de captura de 30 minutos.



Figura 7. Estación Meteorológica Móvil de Altitud EMMA (4760m.). Fotografía *Edgard Leonardo Real*

Tabla 3. Sensores EMMA

SENSOR	UNIDAD DE MEDIDA	FRECUENCIA DE ALMACENAMIENTO	TIPO DE ALMACENAMIENTO
Radiación (onda larga y onda corta incidente y reflejada)	W/m ²	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos
Albedo	adimensional	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos
Temperatura interna del sensor de radiación	K	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos
Precipitación sólida	mm	30 minutos	Sumatoria de los valores leídos durante 30 minutos
Dirección del viento	grados	30 minutos	Valor instantáneo leído cada 30 minutos
Velocidad del viento	m/s	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos
Presión atmosférica	mbar	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos

Temperatura del aire	°C	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos
Humedad relativa*	%	1 minuto	Valor promedio leído cada 15 segundos.
Voltaje	Watts	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos
Temperatura del glaciar a 30 cm de profundidad	°C	30 minutos	Valor promedio de los datos leídos durante 30 minutos

* fue necesario adecuar la frecuencia de medición del sensor de humedad relativa al minuto debido a que Loggernet solo permite tomar valores instantáneos y no promedios para esta variable. Por lo tanto el valor medio cada 30 minutos se calculara en un postproceso de los datos.

4.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY. (6° 29' Latitud Norte, 72°18' Longitud Oeste)

Para realizar el seguimiento a la dinámica glaciar de la sierra nevada de El Cocuy el IDEAM ha instalado los siguientes equipos (Tabla 4 y Figura 9):

Tabla 4. Equipos instalados en la Sierra nevada de El Cocuy para el monitoreo glaciar.

GLACIAR	EQUIPOS	CANTIDAD	UBICACIÓN	ALTITUD (m)	FECHA DE INSTALACION	OBJETIVO
Ritacuba Negro	Balizas	3	glaciar	4700 - 5000	Marzo de 2010	Captura de datos de ablación.
	Limnómetro	1	Río Cardenillo	4250	2006	Captura de datos de nivel en los drenajes del glaciar.
	Estación Meteorológica Automática Satelital	1	borde glaciar	4676	Diciembre de 2006	Captura de información meteorológica.
	puntos de retroceso longitudinal	2	borde glaciar	4722	Diciembre de 2005	Determinar retrocesos de frente glaciar sobre el terreno.
Ritacuba Blanco	Balizas	6	glaciar	4800 - 5100	Septiembre de 2008	Captura de datos de ablación y acumulación.
	Pluviómetros totalizadores	3	Cuenca Alta Río Playitas	4000 - 4800	Mayo de 2009	Capturar información de precipitación en diferentes altitudes.

	Pozo de acumulación	1	cumbre	5274	Diciembre de 2008	Captura de información de acumulación de nieve anual.
Púlpito del diablo	puntos de retroceso longitudinal	1	borde glaciar	4820	Marzo de 1986	Determinar retrocesos de frente glaciar sobre el terreno.
Laguna de La Plaza	puntos de retroceso longitudinal	2	borde glaciar	4620	Febrero de 1988	Determinar retrocesos de frente glaciar sobre el terreno.
	Estación meteorológica automática	1	Periglaciar	4391	Septiembre de 2010	Capturar información meteorológica en la vertiente oriental de la sierra nevada de El Cocuy.
Paso de Bellavista	puntos de retroceso longitudinal	1	borde glaciar	4710	Diciembre de 2005	Determinar retrocesos de frente glaciar sobre el terreno.
Cerro Cóncavo	puntos de retroceso longitudinal	3	borde glaciar	4600	Marzo de 1986	Determinar retrocesos de frente glaciar sobre el terreno.
Cerro Totí	puntos de retroceso longitudinal	2	borde glaciar	4740	Enero de 1997	Determinar retrocesos de frente glaciar sobre el terreno.

Similar a la EMMA instalada en el PNN Los Nevados, en la sierra nevada de El Cocuy se instaló una estación meteorológica automática pero de estructura fija en el sector conocido como “Laguna La Plaza” (Figura 8 y 9). Esta estación fue adquirida por medio de la misma donación del proyecto PRAA y su instalación tiene como objetivo capturar información meteorológica en el sector sur-oriental de la sierra en la cual no hay ningún tipo de equipo que cuantifique el comportamiento de las variables meteorológicas.



Figura 8. Sitio de instalación de la estación meteorológica fija en la Sierra nevada de El Cocuy (Imagen satelital ALOS 2009 sensor Avnir-2 combinación de bandas RGB 3, 2,1. Archivo IDEAM).



Figura 9. Estación meteorológica automática Laguna de la Plaza. Sierra nevada de El Cocuy.

Los sensores y equipos que tiene instalada esta estación son los siguientes (Tabla 5):

Tabla 5. Sensores estación fija.

SENSOR	MARCA
RADIÓMETRO SOLAR Y RADIACIÓN INFRARROJA	Kipp & Zonen
PLUVIÓMETRO CON ADAPTADOR DE NIEVE Y LLUVIA (TR525USW)	Texas Electronic
SENSOR DE DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO (W/RS 232)	Gill 2D
SENSOR DE PRESIÓN BAROMÉTRICA (PTB110)	Vaisala
SENSOR COMBINADO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD (HMP45C)	Vaisala
SENSOR DE TEMPERATURA (C 107)	.-.

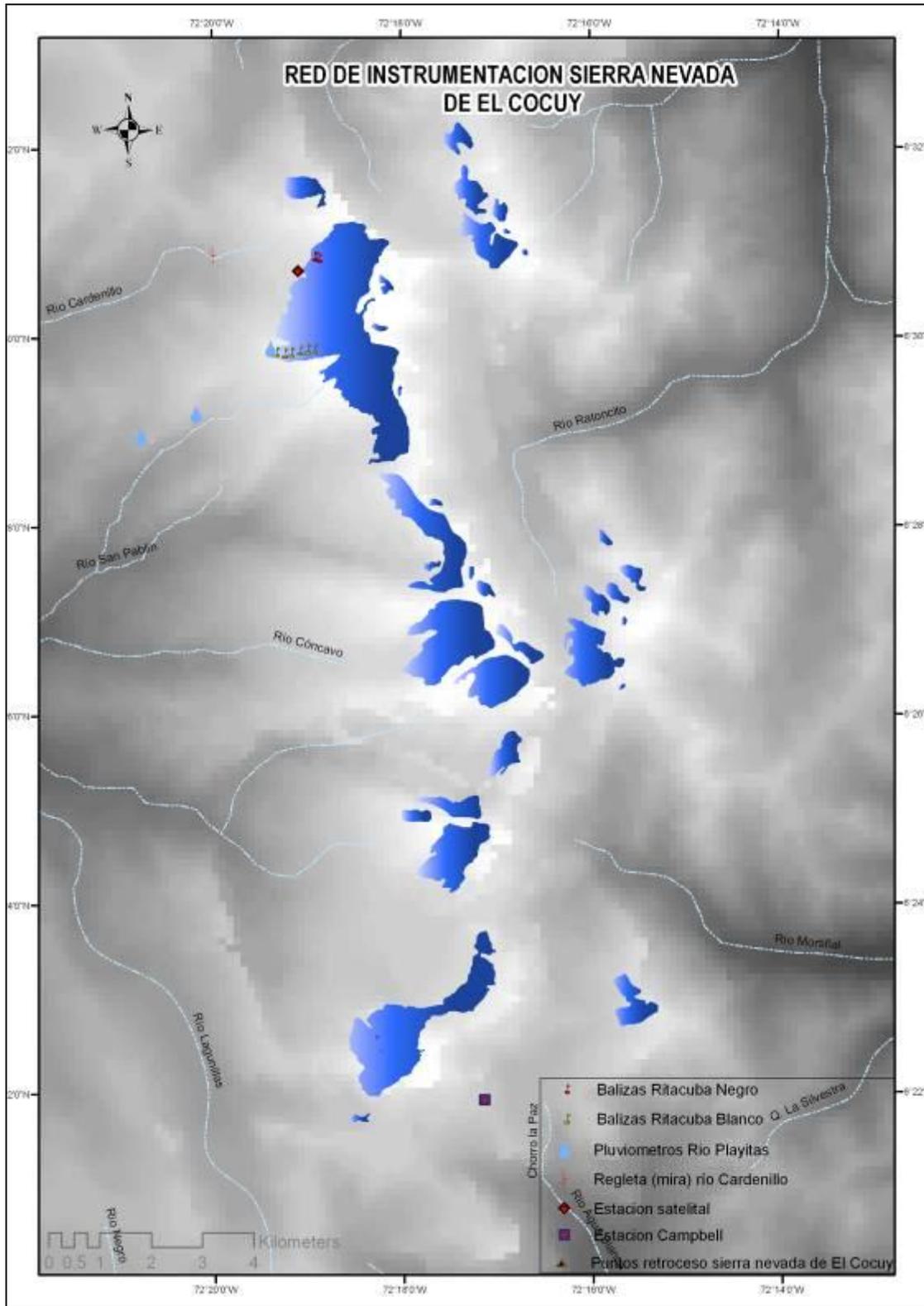


Figura 9. Instrumentación sierra nevada de El Cocuy.

5. BALANCE DE MASA.

El **balance de masa**¹ corresponde al resultado de la suma de la acumulación y la ablación. Este determina la variación de volumen del glaciar, el desplazamiento del hielo y las cantidades de nieve precipitada.

El balance de masa para la sierra nevada de El Cocuy (glaciares Ritacuba Blanco y Ritacuba Negro) y volcán nevado Santa Isabel (glaciar Conejeras), se ha calculado con las siguientes ecuaciones:

Balance de masa en el sitio durante un periodo de tiempo definido. (1) (2)

$$db/dt = \rho dh/dt + \int d\rho/dt dz \quad (1) = b_i = \rho_0 \Delta h + (\rho_2 h_2 - \rho_1 h_1) \quad (2)$$

Donde ρ es la densidad del hielo de espesor h , que varía según el tiempo t . el primer término de la ecuación representa el cambio de la masa de hielo (con densidad constante) durante un periodo de tiempo. El segundo término es el cambio de densidad de la columna de espesor z sobre el periodo de tiempo t . Ecuación (1); y b_i corresponde al balance de masa en el sitio, ρ_0 a la densidad del hielo (generalmente entre 0.82 a 0.92 g/cm³) y Δh al cambio de espesor. Ecuación (2).

Balance de masa neto específico. (3)

$$Bn = (1/S) [\sum (bn_1 S_1 + bn_2 S_2 + \dots + bn_j S_j)] \quad (\text{Balance neto específico})(3)$$

Donde **Bn** corresponde al balance neto específico del glaciar en milímetros equivalentes de agua; **S** a su superficie total; **bn₁**, **bn₂**, **bn_j** al balance ponderado por el área **S_j** entre los diferentes rangos altitudinales. Ecuación (3).

5.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL.

5.1.1 Balance de masa glaciar Conejeras.

¹ RODOLPHE BUCHER, BOLIVAR AZARIN, PIERRE CHEVALLIER, YANN L'HOTE, ABRAHAM MACHACA, LUIS M ISINCHO, JAVIER MENDOZA, JAIR RAMIREZ, BERNARD FRANCOU Y OTROS. Métodos De Observación De Glaciares En Los Andes Tropicales. IRD. Versión-1:2004

El IDEAM realiza trabajos de glaciología sobre el glaciar “Conejeras” en el volcán nevado Santa Isabel ($4^{\circ} 48'$ Latitud Norte, $75^{\circ} 22'$ Longitud Oeste) en el departamento de Caldas (Figura 10) el cual se encuentra ubicado sobre la cordillera Central (rocas ígneas), y hace parte de la jurisdicción del Parque Nacional Natural (PNN) Los Nevados.

El glaciar “Conejeras” es un pequeño glaciar representativo con un área de 0.22 Km^2 , límite inferior del hielo a 4710 m. y cima a 4928 m. El balance de masa se calcula mensualmente con datos de campo tomados en la misma periodicidad.

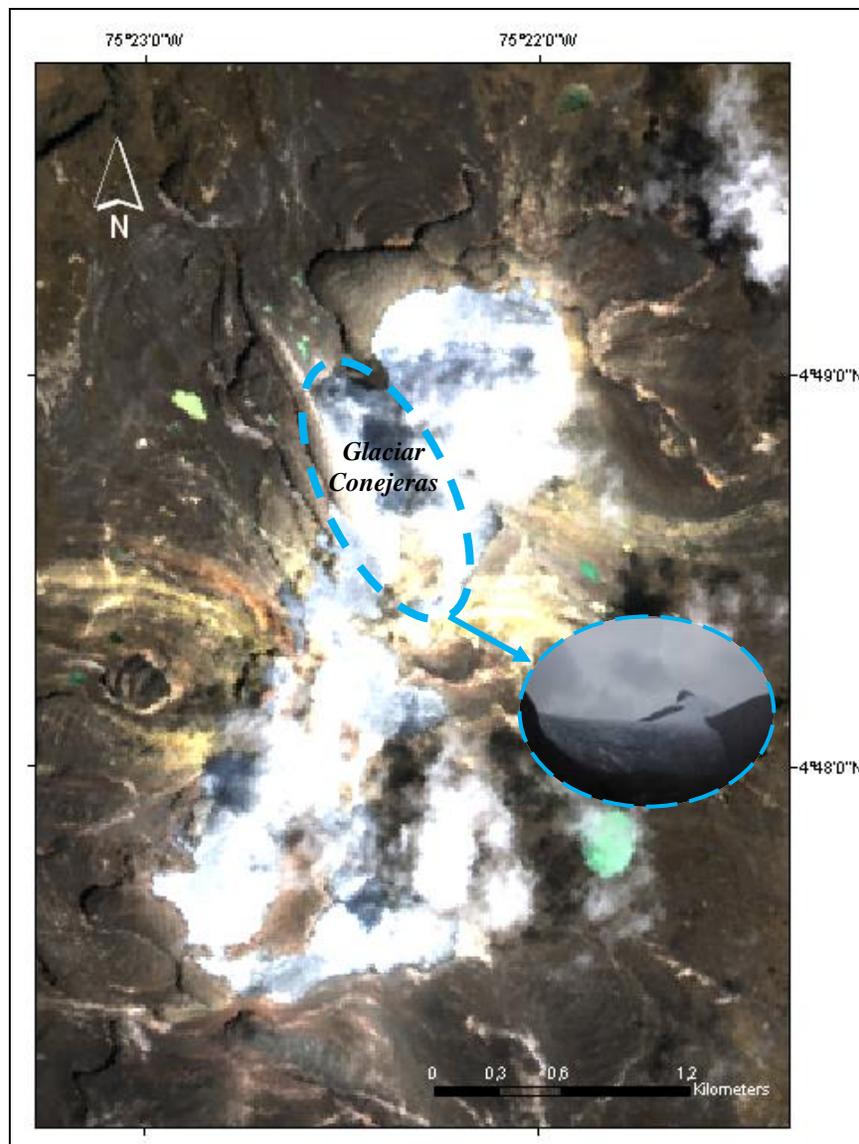


Figura 10. Glaciar Conejeras volcán nevado Santa Isabel. Imagen satelital ALOS 2007 sensor Avnir-2 combinación de bandas RGB 3, 2, 1.

Para la actualización del balance de masa glaciológico en el año 2010 se realizaron once (11) campañas de campo (Anexo1). Durante estos trabajos en terreno se realizaron las medidas de las catorce (14) balizas instaladas en el glaciar Conejeras y se obtuvo como resultado el siguiente balance de masa (se incluye todo el periodo de observación marzo 2006 a diciembre de 2010) (Figura 11, Tabla 6):

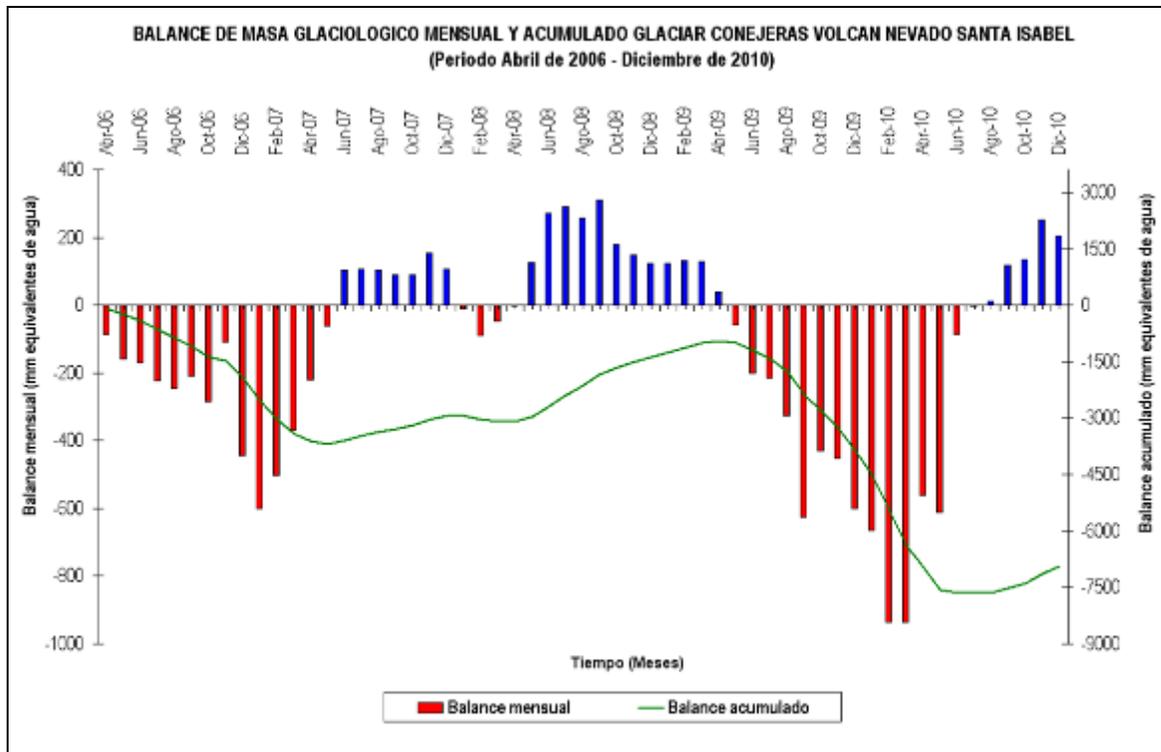


Figura 11. Balance de masa, glaciar Conejeras periodo abril de 2006 a diciembre de 2010.

El balance de masa muestra que desde abril de 2006 (fecha de inicio del cálculo del balance) hasta diciembre de 2010 el glaciar Conejeras ha perdido 6933 mm equivalentes de agua.

Tabla 6. Resumen de los datos relacionados con el balance de masa del glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel.

MES	2006				2007				2008				2009				2010			
	Bn	db/dz	ELA (m)	AAR (m)	Bn	db/dz	ELA (m)	AAR (m)	b	db/dz	ELA (m)	AAR (m)	Bn	db/dz	ELA (m)	AAR (m)	b	db/dz	ELA (m)	AAR (m)
ENE	-	-	-	-	-601	12	4785	33	-10	385	4797	14	123	98	4762	60	-665	335	4907	<1
FEB	-	-	-	-	-502	54	4863	3	-90	345	4808	14	132	430	4780	38	-936	144	5073	0
MAR	-	-	-	-	-370	139	4872	2	-48	131	4797	33	130	628	4784	39	-935	150	5088	0
ABR	-87	289	4819	8	-220	172	4841	1	-2	426	4803	15	41	617	4798	13	-561	153	4931	<1
MAY	-160	325	4823	8	-60	200	4807	14	127	382	4775	39	-59	621	4812	13	-611	166	4809	13

JUN	-171	382	4834	6	105	74	4760	60	272	260	4711	91	-201	295	4792	14	-86	256	4789	39
JUL	-224	349	4850	4	108	121	4764	60	290	212	4689	97	-215	336	4827	6	-2	166	4786	39
AGO	-247	251	4873	2	103	267	4778	39	257	199	4684	97	-326	329	4854	4	13	269	4782	39
SEP	-209	191	4828	7	90	72	4745	73	311	237	4682	98	-625	299	4853	4	117	50	4739	74
OCT	-286	148	4902	1	90	72	4745	73	178	155	4738	74	-431	253	4867	2	135	55	4708	100
NOV	-108	203	4820	8	154	142	4711	91	149	126	4711	91	-453	231	4908	<1	252	98	4610	100
DIC	-444	76	4838	6	108	184	4750	68	123	98	4762	60	-600	290	4912	<1	204	136	4665	100

Cabe resaltar que estos valores representan el balance neto específico, que no es otra cosa que el valor medio de pérdida o ganancia a nivel mensual. Los datos anuales del balance de masa por rango altitudinal son los siguientes (Figura 12, Tabla 7):

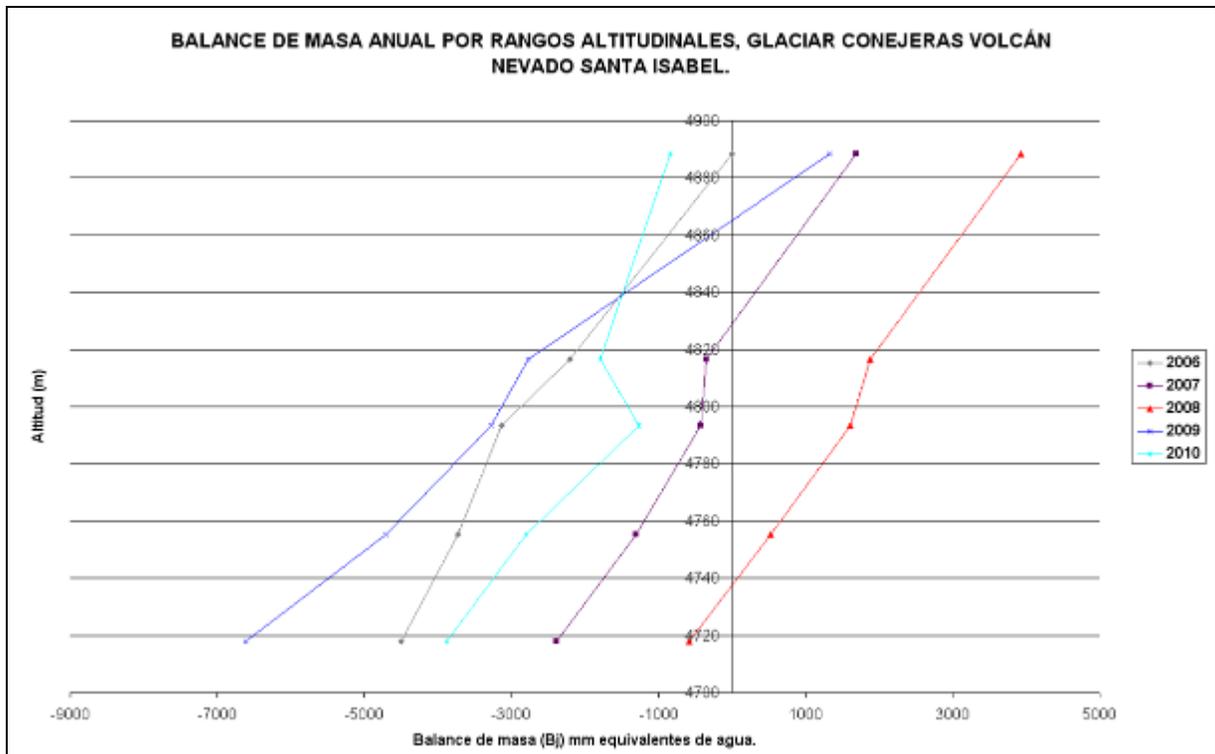


Figura 12. Balance de masa anual por rango altitudinal.

Tabla 7. Balance de masa anual por rango altitudinal.

Promedio Altitud (m)	4718	4755	4793	4817	4889
Balance de masa 2006 (mm e.w.)	-4499	-3732	-3139	-2202	-
Balance de masa 2007 (mm e.w.)	-2385	-1299	-422	-352	1688
Balance de masa 2008 (mm e.w.)	-586	531	1615	1879	3929
Balance de masa 2009 (mm e.w.)	-6619	-4710	-3279	-2771	1320

Balance de masa 2010 (mm e.w.)	-3886	-2804	-1269	-1800	-840
---------------------------------------	-------	-------	-------	-------	------

La gráfica del balance de masa por rango altitudinal (Figura 12) evidencia que el glaciar Conejeras se encuentra en constante proceso de ablación, debido a que la mayoría de los valores se encuentran al costado izquierdo de la gráfica (negativos) lo que indica una disminución en el espesor del glaciar y solo un pequeño porcentaje (último rango altitudinal) se encuentra en acumulación (lado derecho).

Luego de cinco años de observación mensual en el glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel, el balance de masa anual es el siguiente (Figura 13, Tabla 8):

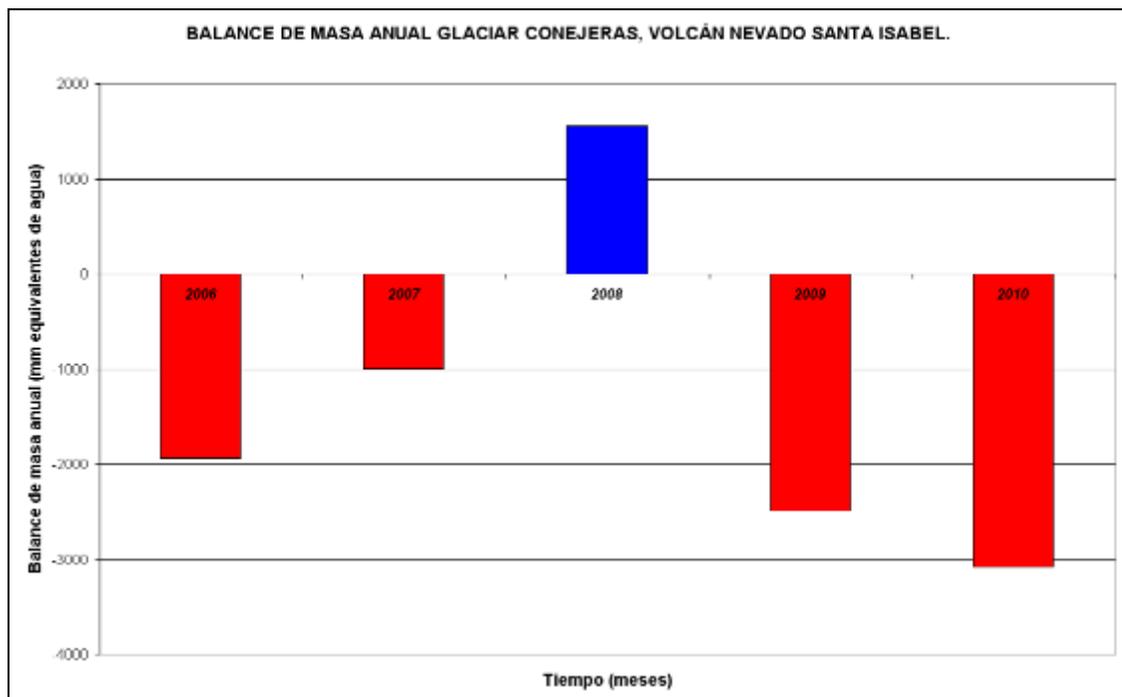


Figura 13. Balance de masa anual glaciar Conejeras.

Tabla 8. Generalidades del balance de masa.

Año	Bn mm w.e.	db/dh mm w.e. 100 m ⁻¹	ELA (m)	AAR %
2006	-1936	2226	4914	1
2007	-995	2217	4816	8
2008	1557	2670	4741	73
2009	-2484	4663	4858	4
2010	-3075	1806	4860	2

De acuerdo con la Figura 13 el glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel ha tenido un proceso de pérdida de masa durante estos cinco años de observación. Cabe resaltar que la excepción a esta tendencia se presentó en el año 2008 cuando el glaciar se recuperó (acumuló masa) por influencia del fenómeno climático regional “La Niña” y una fuerte oleada invernal (época de lluvias) que se presentó desde el segundo semestre de este año.

5.1.2 Perfil altitudinal y gradiente vertical del balance de masa glaciar del glaciar Conejeras.

A partir del cálculo del balance de masa se han cuantificado otros parámetros que permiten caracterizar el comportamiento del glaciar Conejeras. Uno de estos parámetros es el gradiente vertical del balance de masa (db/dh), el cual representa el cambio en el balance de masa en función de la altitud (Figura 14).

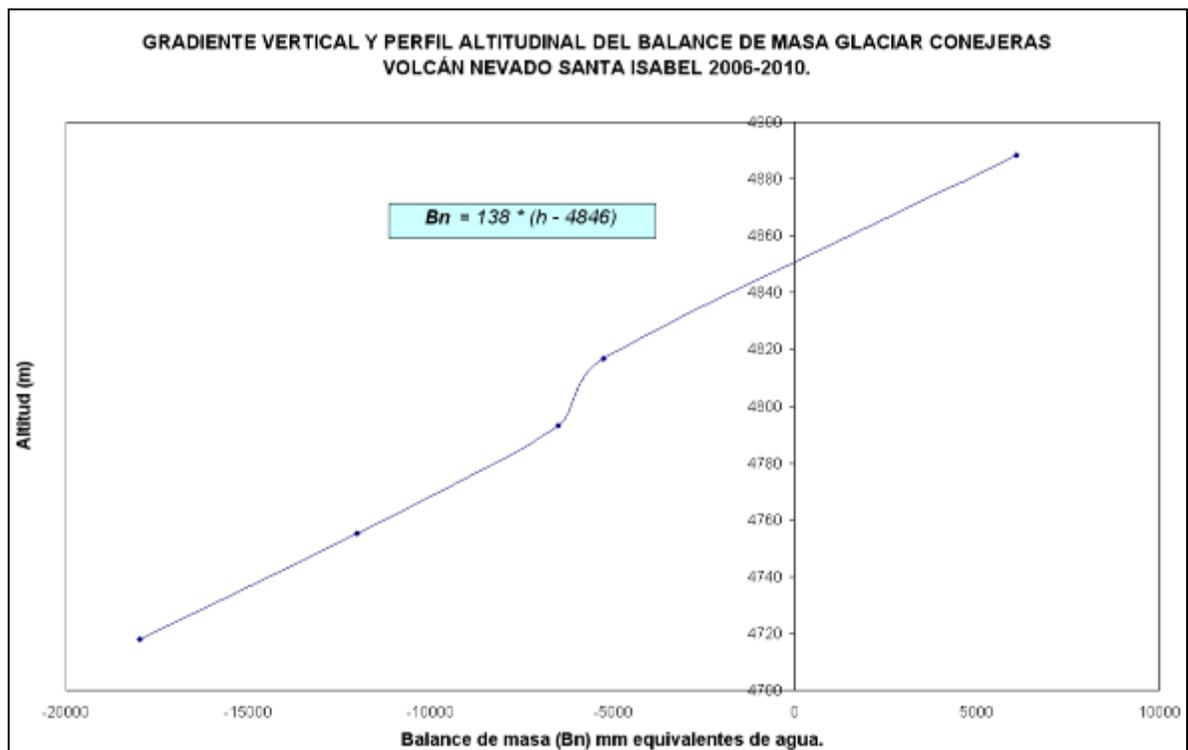


Figura 14. Perfil altitudinal y gradiente vertical del balance de masa glaciar Conejeras.

Para el caso específico del glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel, el gradiente vertical del balance de masa para todo el periodo de observación es de 138 mm/m.

5.1.3 Altitud línea de equilibrio (ELA) para el glaciar Conejeras.

Según Francou *et. al.* (2004), la ELA es el nivel altimétrico donde el balance de masa alcanza el valor de cero (0) mm equivalentes de agua y separa la zona de acumulación de la zona de ablación.

Para el caso específico del glaciar Conejeras la Altitud de la Línea de Equilibrio es de 4846 m (Figura 15 y 16).

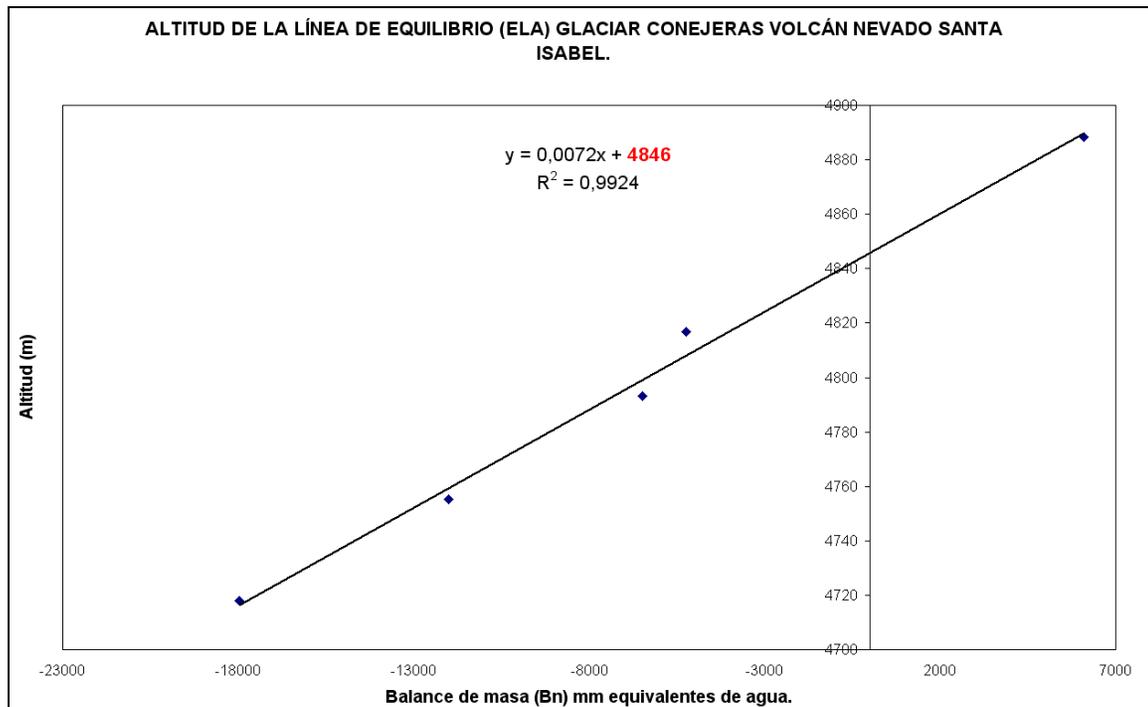


Figura 15. Altitud línea de equilibrio glaciar Conejeras volcán nevado Santa Isabel.

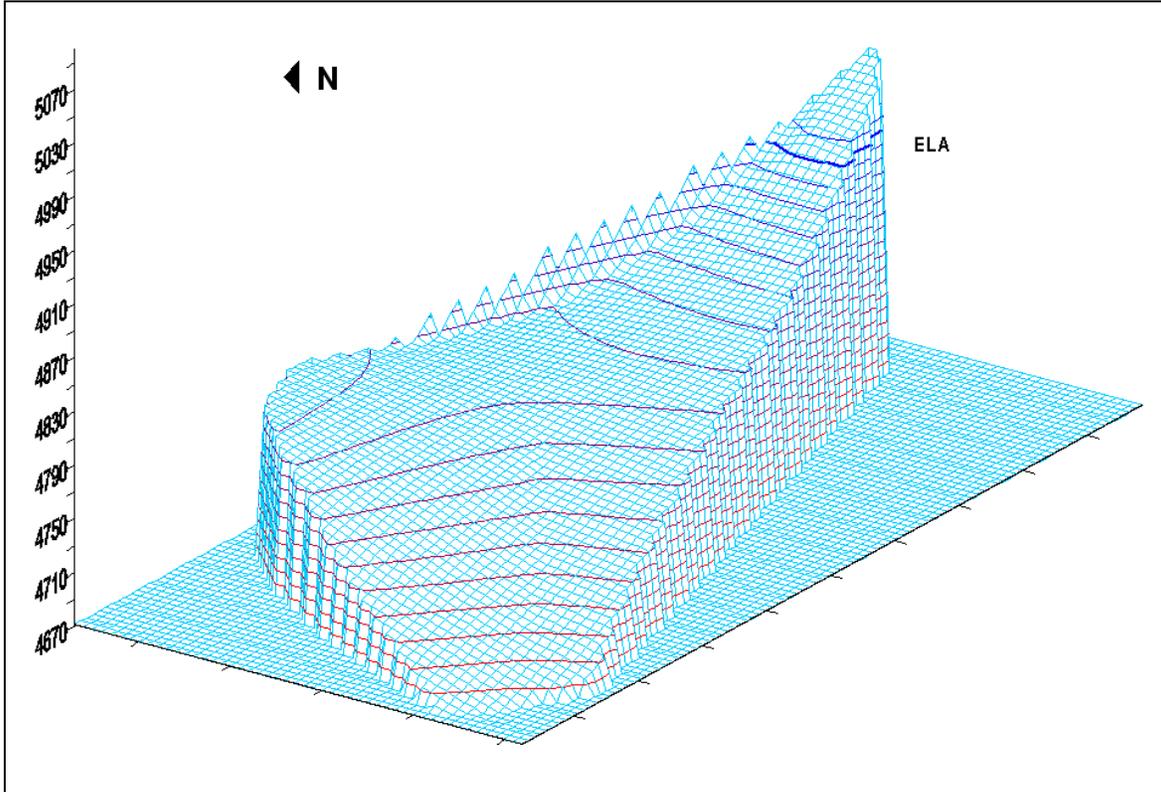


Figura 16. Modelo digital de terreno glaciar Conejeras.

Cabe resaltar que el comportamiento de la ELA es un factor primordial en la dinámica del glaciar. Luego de casi 60 meses de observación y cuantificación del balance de masa neto específico y la altitud de la línea de equilibrio se han encontrado las siguientes relaciones:

- a.) Si al altitud de la línea de equilibrio es igual a 4774 m es muy probable que el balance de masa neto específico sea igual a cero (0) (Figura 17).
- b.) Las variaciones de la ELA con respecto a este nivel altimétrico se ven reflejadas en un incremento o detrimento del balance neto específico de 4,12 mm equivalentes de agua por cada metro.

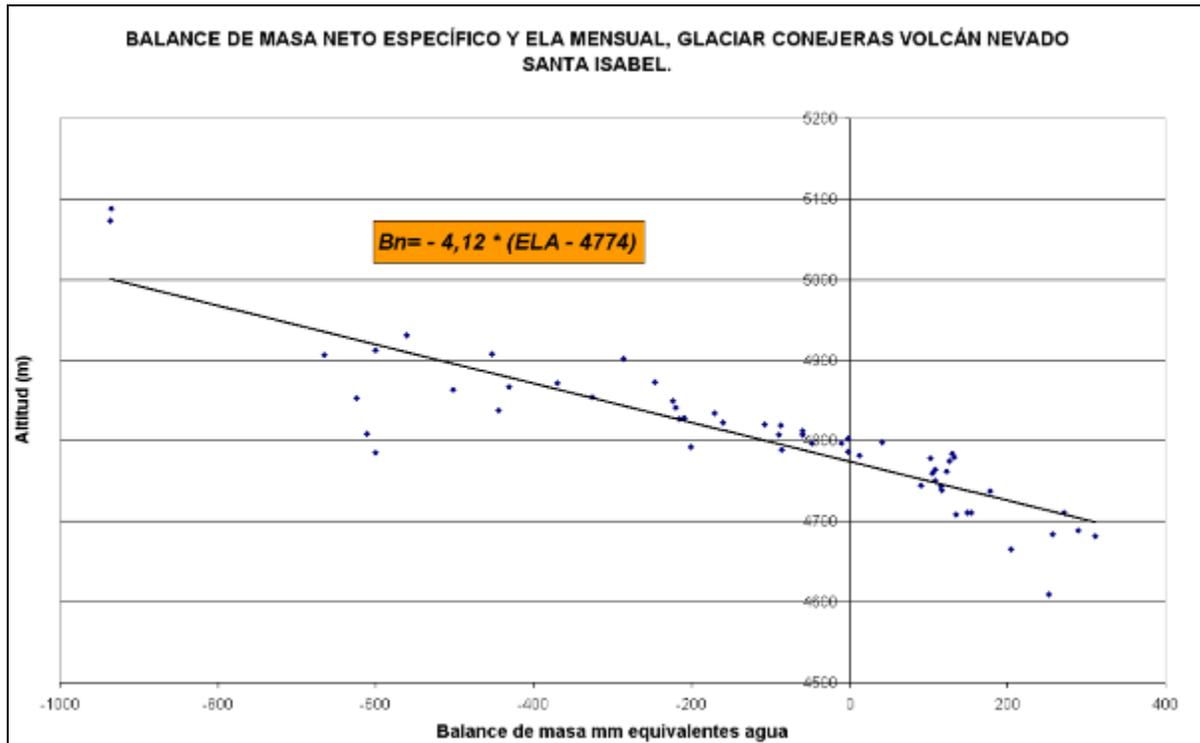


Figura 17. Balance neto específico mensual y ELA mensual, glaciar Conejeras volcán nevado Santa Isabel.

Por medio del cálculo del balance de masa y la ELA también es posible cuantificar el porcentaje de Área de Acumulación (AAR² por sus siglas en inglés) (Tabla 6, Tabla 8) que para el año 2010 fue del 21 % para una ELA de 4860 m.

5.1.4 Espacialización del balance de masa del glaciar Conejeras.

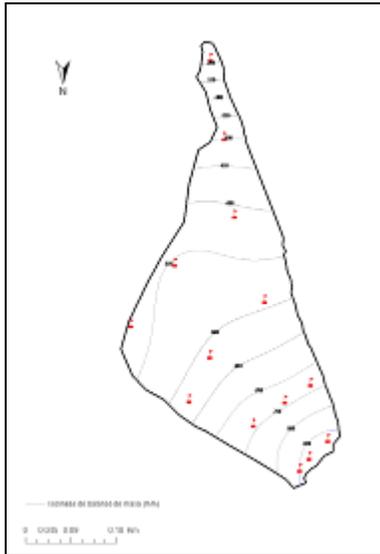
A través de la base cartográfica producto de levantamientos topográficos realizados en el glaciar Conejeras, se actualizó tanto el área como las alturas de este glaciar para el año 2009. Con estos productos cartográficos se realizó el seguimiento y representación espacial del balance de masa glaciológico. (Figura 14)

Enero 2010

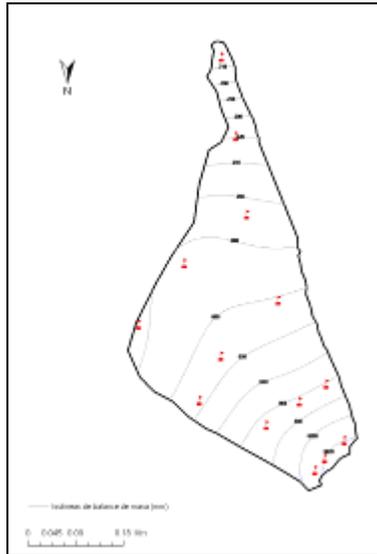
Febrero 2010

Marzo 2010

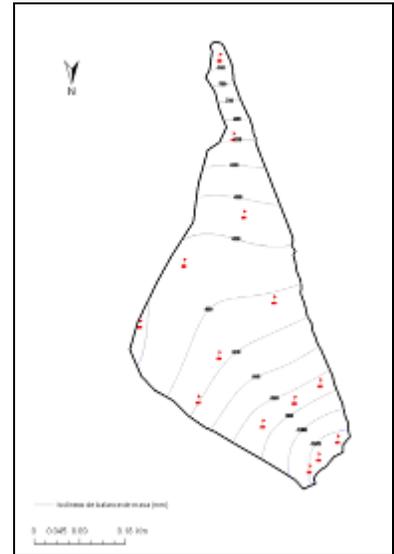
² La **AAR** corresponde al porcentaje de área glaciar que se encuentra en acumulación, este valor está directamente relacionado con las fluctuaciones de la ELA.



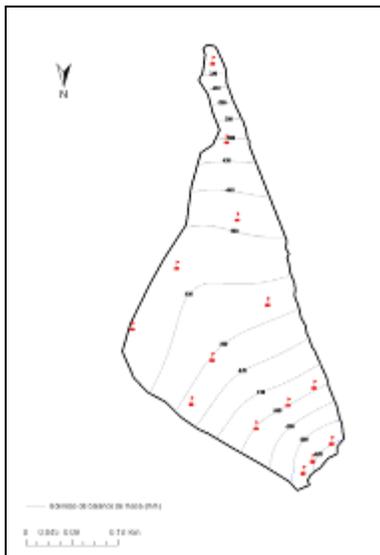
Abril 2010



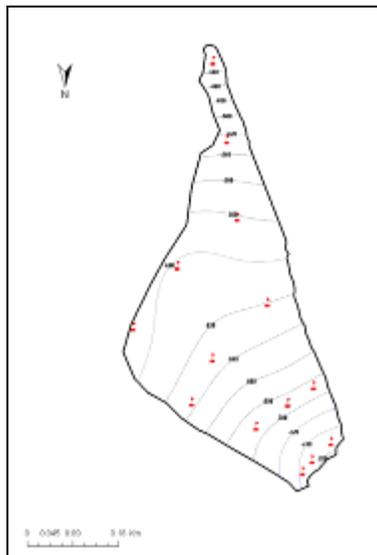
Mayo 2010



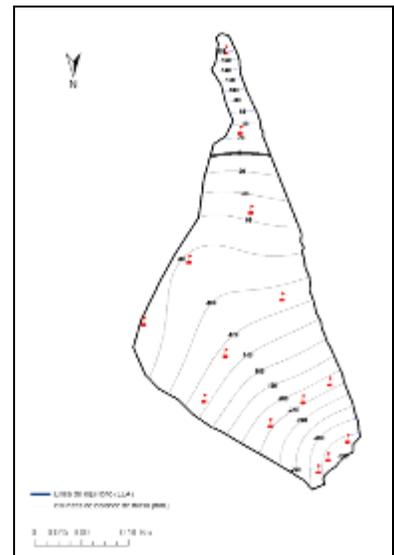
Junio 2010



Julio 2010



Agosto 2010



Septiembre 2010

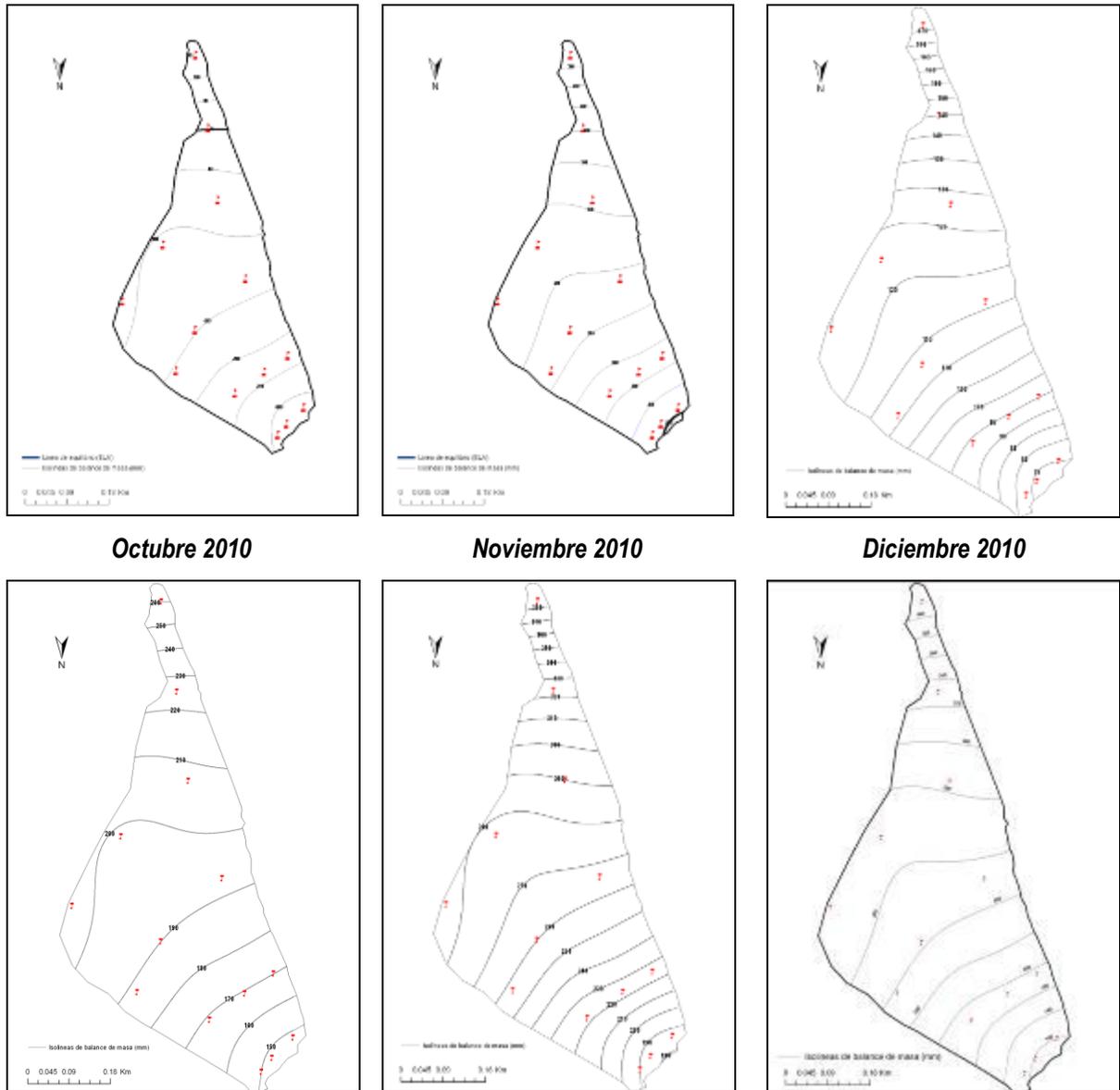


Figura 18. Espacialización del balance de masa mensual del glaciar Conejeras para el año 2010.

5.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY.

El IDEAM realiza trabajos de glaciología sobre los glaciares “Ritacuba Blanco (año 2008) y Negro (año 2010)” en la sierra nevada de El Cocuy (6° 29' Latitud Norte, 72°18' Longitud Oeste) en el departamento de Boyacá el cual se encuentra ubicado sobre la cordillera Oriental (rocas Sedimentarias), y hace parte de la jurisdicción del Parque Nacional Natural (PNN) El Cocuy.

Las mediciones realizadas sobre el glaciar “Ritacuba Blanco” se realizan en la parte baja del glaciar, entre los 4800 m y los 5100 m de altitud, en un área de 0,23 Km². El balance de masa se calcula bimensualmente con datos de campo tomados en la misma periodicidad.

Cabe resaltar que el glaciar Ritacuba Blanco tiene el borde de hielo a 4830 m de altitud y su altura máxima es de 5330 m convirtiéndose en el pico más alto de la sierra nevada de El Cocuy lo que lo hace un glaciar relativamente estable con respecto a los procesos de fusión.

Las mediciones sobre el glaciar Ritacuba negro se realizan estrictamente sobre la zona de ablación por medio de tres balizas ubicadas linealmente entre los 4700 m y los 4800 m de altitud, debido a los problemas de seguridad que presenta el acceso a la parte alta de este glaciar. Estas mediciones permitirán afinar la cuantificación de las pérdidas de masa en los glaciares de la parte norte de la sierra nevada de El Cocuy.

5.2.1 Balance de masa glaciar Ritacuba Blanco.

Para cuantificar el balance de masa en la sierra nevada de El Cocuy el IDEAM emplea la misma metodología que utiliza en glaciar Santa Isabel (glaciar Conejeras).

Para la actualización del balance de masa glaciológico en el año 2010 se realizaron seis (6) campañas de campo³. Durante estos trabajos en terreno se realizaron las medidas de las seis (6) balizas instaladas en el glaciar Ritacuba Blanco y se obtuvo como resultado el siguiente balance de masa para el periodo noviembre de 2008 a diciembre de 2010 (Figura 19, Tabla 9).

³ Ver Anexo A.

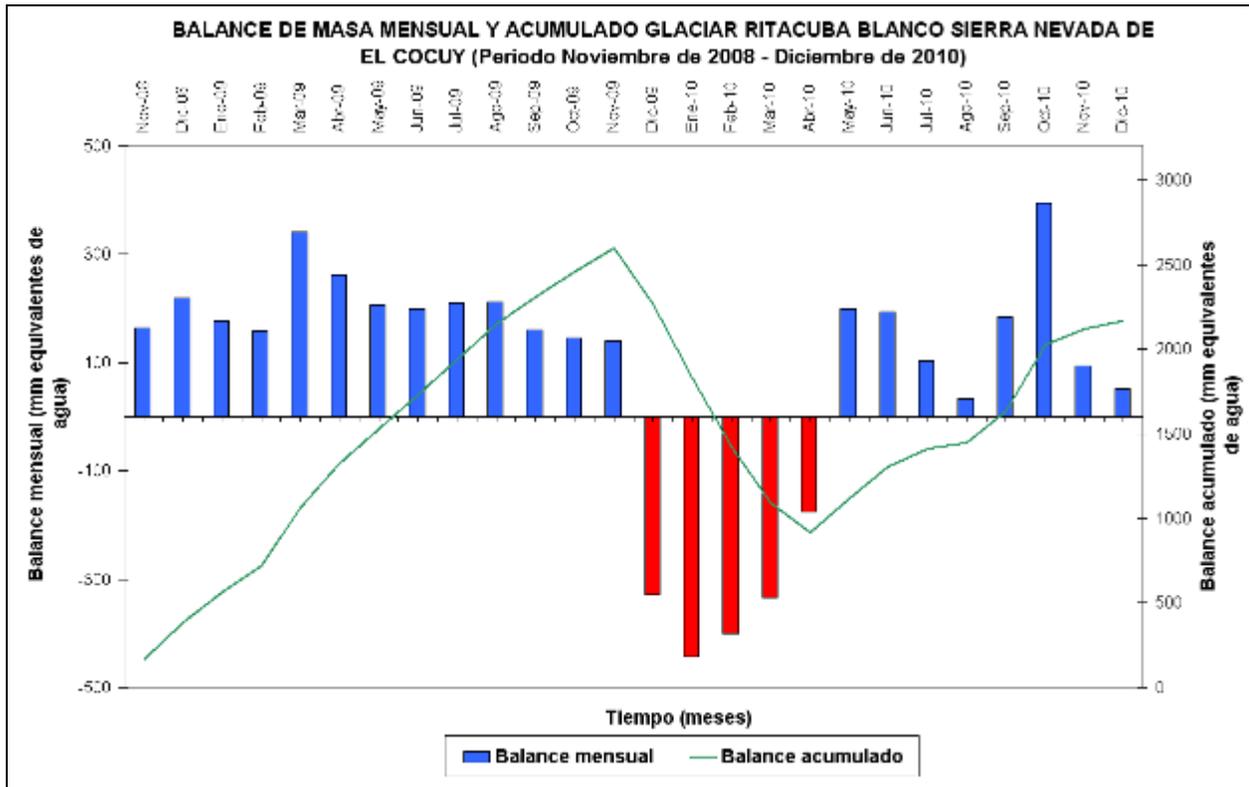


Figura 19. Balance de masa mensual del glaciar Ritacuba Blanco, periodo diciembre de 2008 a diciembre de 2010

De acuerdo con el balance de masa el glaciar Ritacuba Blanco se ha acumulado en 26 meses de observación 2170 mm equivalentes de agua.

Tabla 9. Resumen de los datos relacionados con el balance de masa del glaciar Ritacuba Blanco en la sierra nevada de El Cocuy.

Mes	2008				2009				2010			
	Bn	db/dz	ELA	AAR	Bn	db/dz	ELA	AAR	Bn	db/dz	ELA	AAR
Ene	-	-	-	-	177	129	4884	84	-443	265	5120	0
Feb	-	-	-	-	160	116	4884	84	-400	239	5120	0
Mar	-	-	-	-	341	227	4830	100	-334	342	5067	1
Abr	-	-	-	-	263	160	4872	88	-176	434	5005	24
May	-	-	-	-	206	63	4880	86	199	105	4956	51
Jun	-	-	-	-	199	61	4880	86	193	102	4956	51
Jul	-	-	-	-	210	108	4886	83	103	72	4938	65
Ago	-	-	-	-	211	126	4909	76	34	48	4975	40
Sep	-	-	-	-	160	98	4921	71	184	103	4947	56
Oct	-	-	-	-	146	91	4944	56	394	183	4778	100
Nov	164	26	4878	90	141	88	4944	56	95	82	4950	51

Dic	220	141	4863	94	-329	231	5111	0	52	69	4967	44
-----	-----	-----	------	----	------	-----	------	---	----	----	------	----

Cabe resaltar que el glaciar Ritacuba Blanco tiene un *Acumulation Area Ratio (AAR)* casi del 100%. Lo anterior indica que un gran porcentaje del área glaciar se encuentra por encima de la *Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA)* esto demuestra que la zona de ablación en el glaciar es muy reducida, casi inexistente, por lo tanto podríamos afirmar que el glaciar está en un proceso de acumulación de masa debido a su altitud.

A continuación se presenta el balance de masa por rango altitudinal en el cual se evidencia el cambio en el comportamiento del balance de masa en la parte baja del glaciar (Figura 20, Tabla 10). Esta fuerte variación entre el año 2009 y el 2010 se reflejó en un rápido retroceso del frente glaciar.

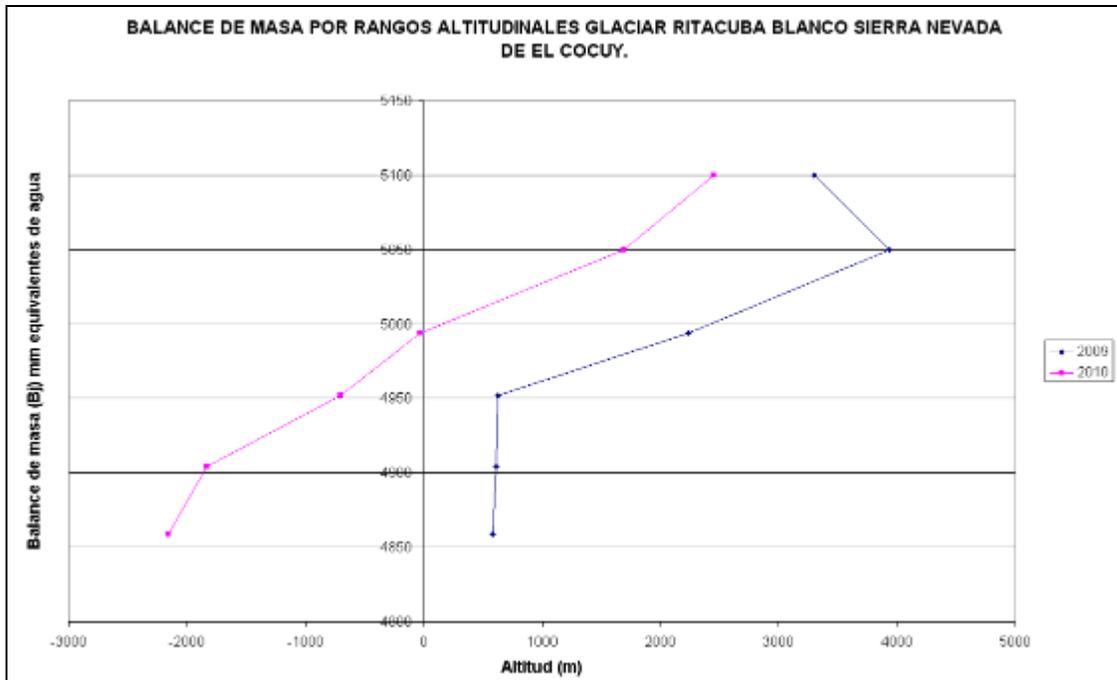


Figura 20. Balance de masa anual por rango altitudinal.

Tabla 10. Balance de masa anual por rango altitudinal.

Altitud (m)	4859	4904	4952	4994	5050	5100
Balance de masa 2009 (mm e.w)	585	610	630	2241	3936	3301
Balance de masa 2010 (mm e.w)	-2161	-1829	-705	-32	1688	2449

Finalmente el balance de masa anual para el glaciar Ritacuba Blanco en la sierra nevada de El Cocuy se muestra en la Figura 21 y en la Tabla 11.

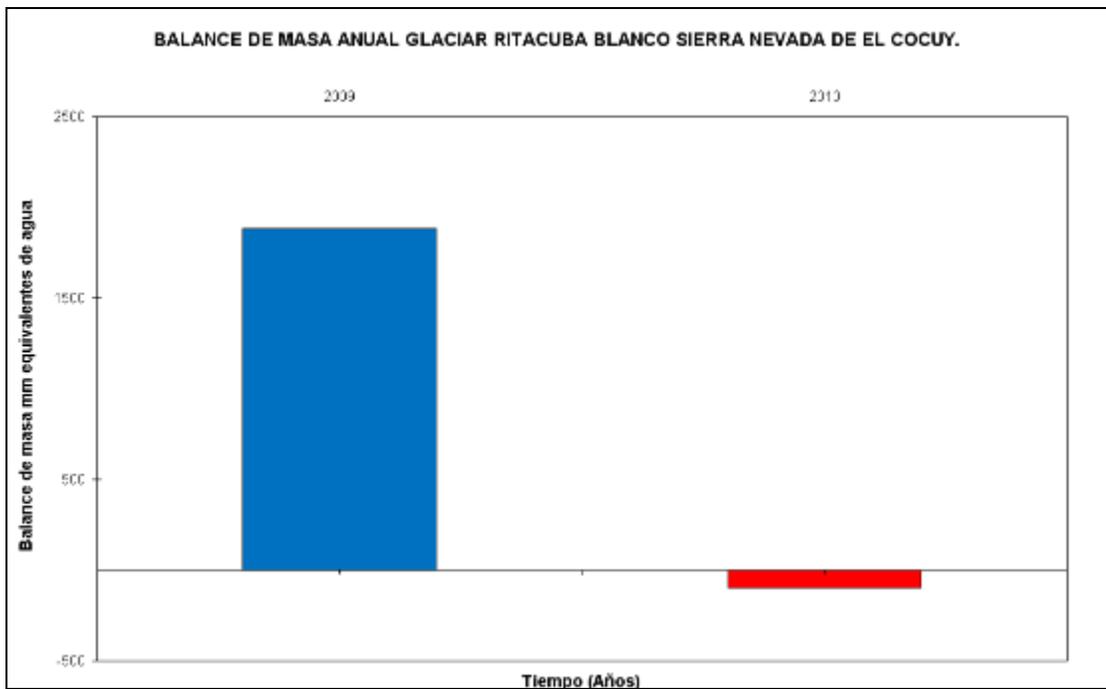


Figura 21. Balance de masa anual del glaciar Ritacuba Blanco

Tabla 11. Generalidades del balance de masa.

Año	Bn mm w.e.	db/dh mm w.e. 100 m ⁻¹	ELA (m)	AAR %
2009	1884	1496	4875	90
2010	-98	115	4981	30

A pesar de que la serie de datos de balance de masa del glaciar Ritacuba Blanco es corta, se han evidenciado cambios significativos en poco tiempo debido a la influencia del fenómeno climático regional “El Niño” de los años 2009 y 2010 el cual no solo se reflejó en un variación en la tendencia en la acumulación de masa (Tabla 11) sino también en una fuerte variación del frente glaciar (Figura 22).



Figura 22. Variación del frente del glaciar Ritacuba Blanco entre los años 2007 y 2010.

5.2.2 Perfil altitudinal y gradiente vertical del balance de masa glaciar Ritacuba Blanco.

De acuerdo con el balance de masa calculado entre noviembre de 2008 y diciembre de 2010, el perfil altitudinal y el gradiente vertical del glaciar Ritacuba Blanco es siguiente (Figura 23):

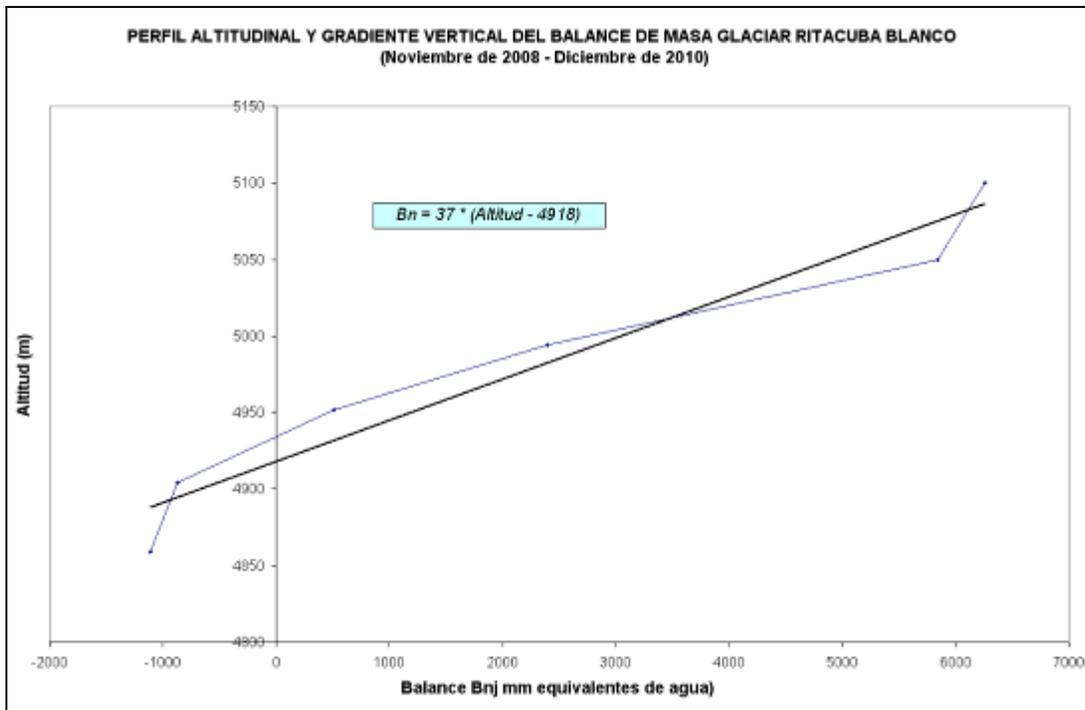


Figura 23. Perfil altitudinal y Gradiente vertical del balance de masa del glaciar Ritacuba Blanco

A partir de los datos de ablación y acumulación capturados entre noviembre de 2008 y diciembre de 2010 se determinó que el valor del gradiente vertical del balance de masa para el glaciar Ritacuba Blanco es de 37 mm/m.

5.2.3 Altitud de la línea de equilibrio (ELA) del glaciar Ritacuba Blanco.

De acuerdo con los datos del cálculo del balance de masa entre noviembre de 2008 y diciembre de 2010, la altitud de la línea de equilibrio para el Ritacuba Blanco en la sierra nevada de El Cocuy es de 4918 m (Figura 24, Figura 26).

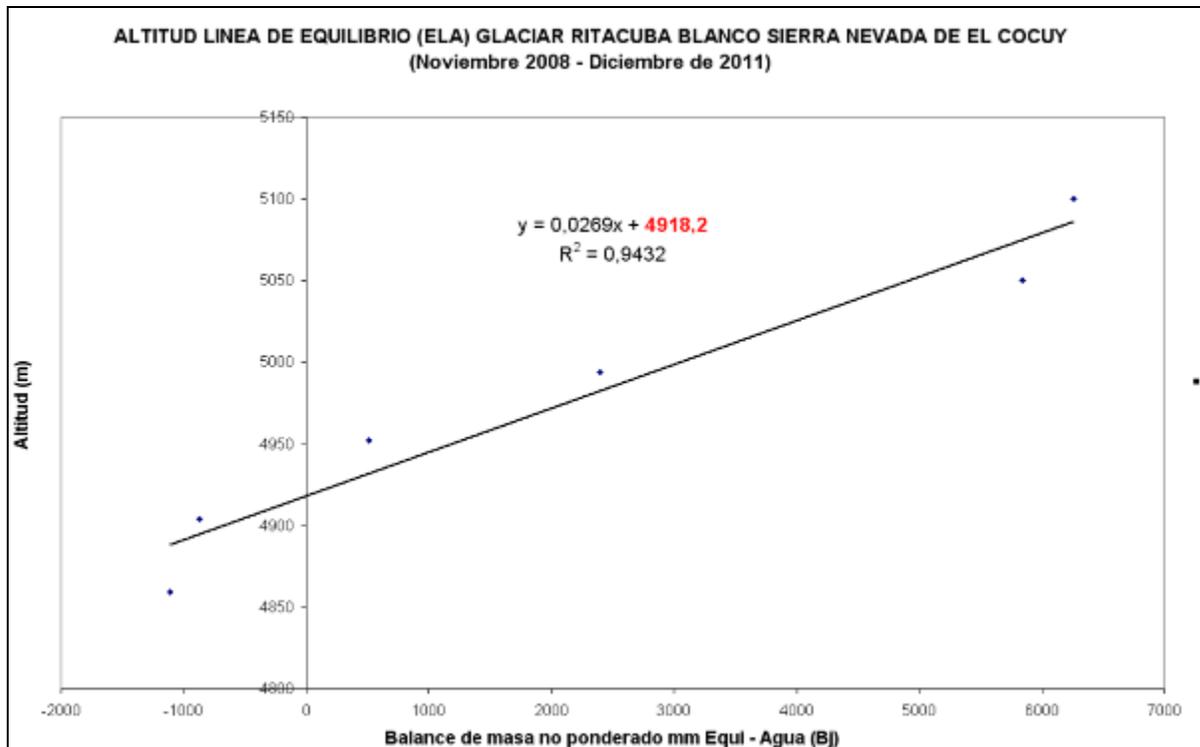


Figura 24. Altitud línea de equilibrio glaciar Ritacuba Blanco sierra nevada de El Cocuy.

Al comparar la relación existente entre las variaciones de la línea de equilibrio y el balance de masa mensual se identificó que el balance de masa del glaciar Ritacuba Blanco se hace igual a cero (0) cuando la línea de equilibrio está a 4971 m, y que la variación de la línea de equilibrio con respecto a este nivel de referencia puede modificar el balance neto específico en 2,7 mm/m (Figura 25).

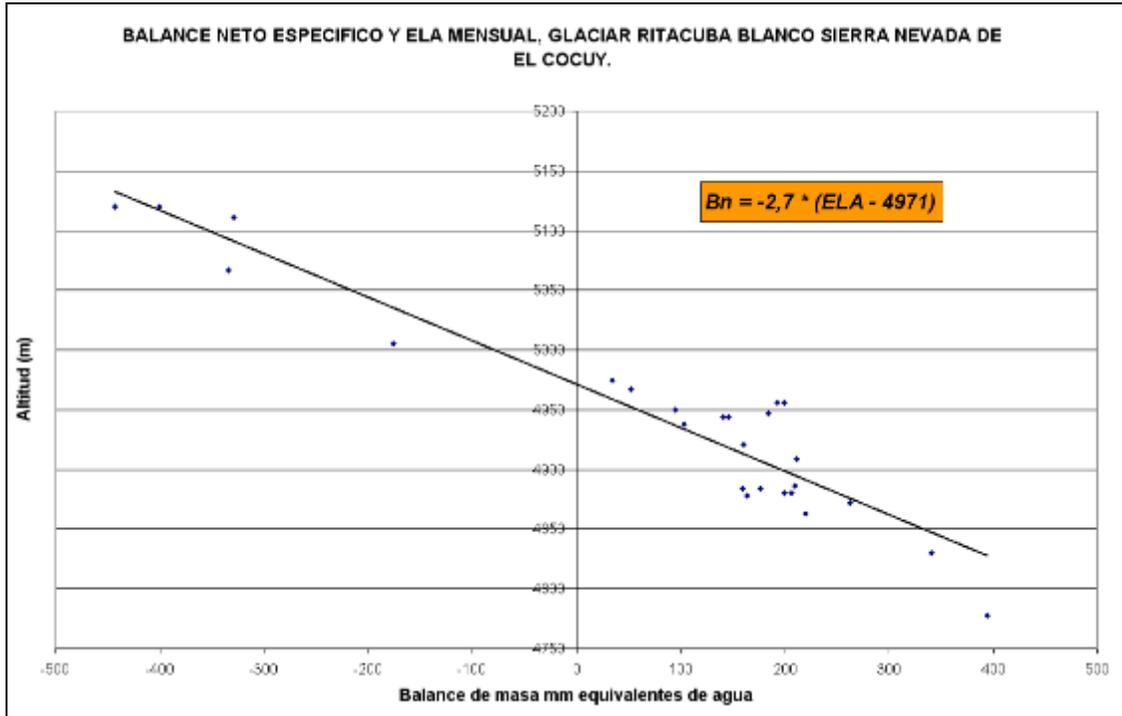


Figura 25. Balance neto especifico mensual y ELA mensual, glaciar Ritacuba Blanco Sierra nevada del El Cocuy.

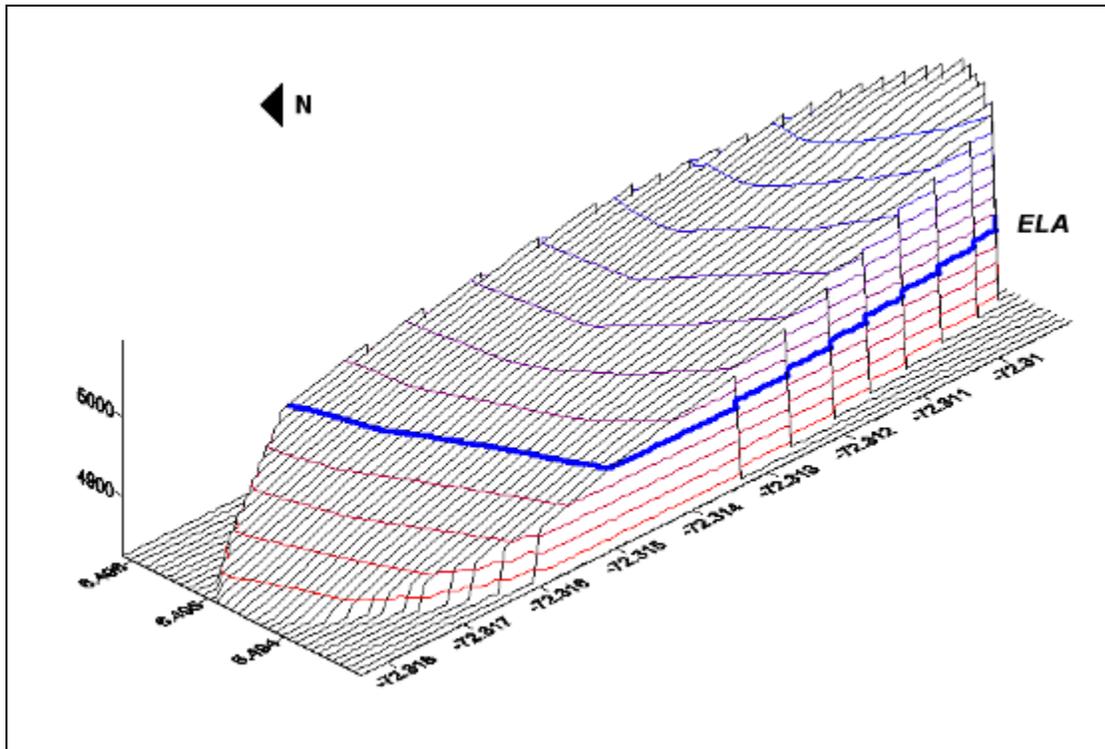
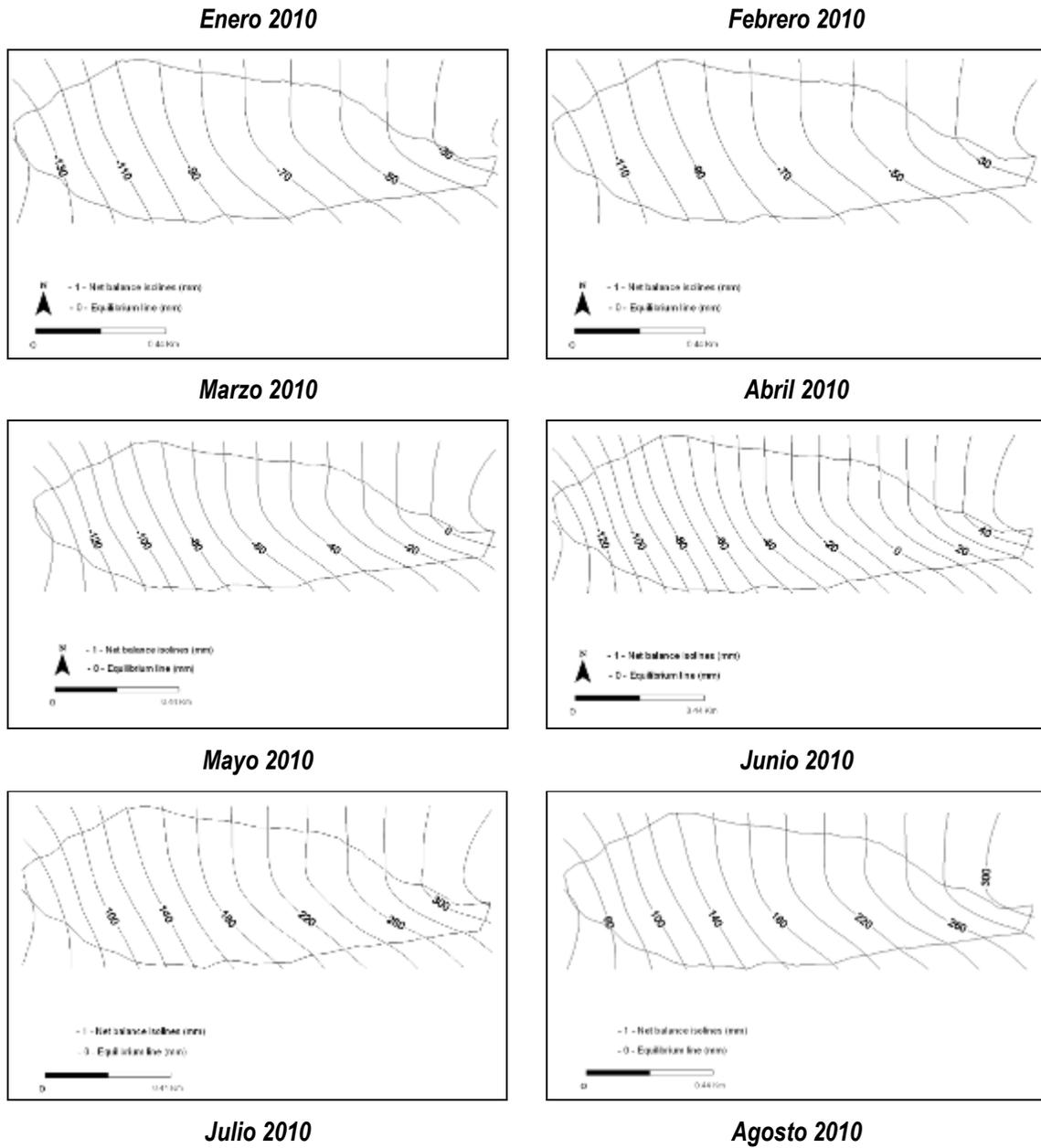


Figura 26. Modelo digital de terreno del glaciar Ritacuba Blanco

5.2.4 Espacialización del balance de masa glaciár Ritacuba Blanco año 2010.

La distribución espacial del balance de masa mensual en el glaciár Ritacuba Blanco para el año 2010 es el siguiente (Figura 27):



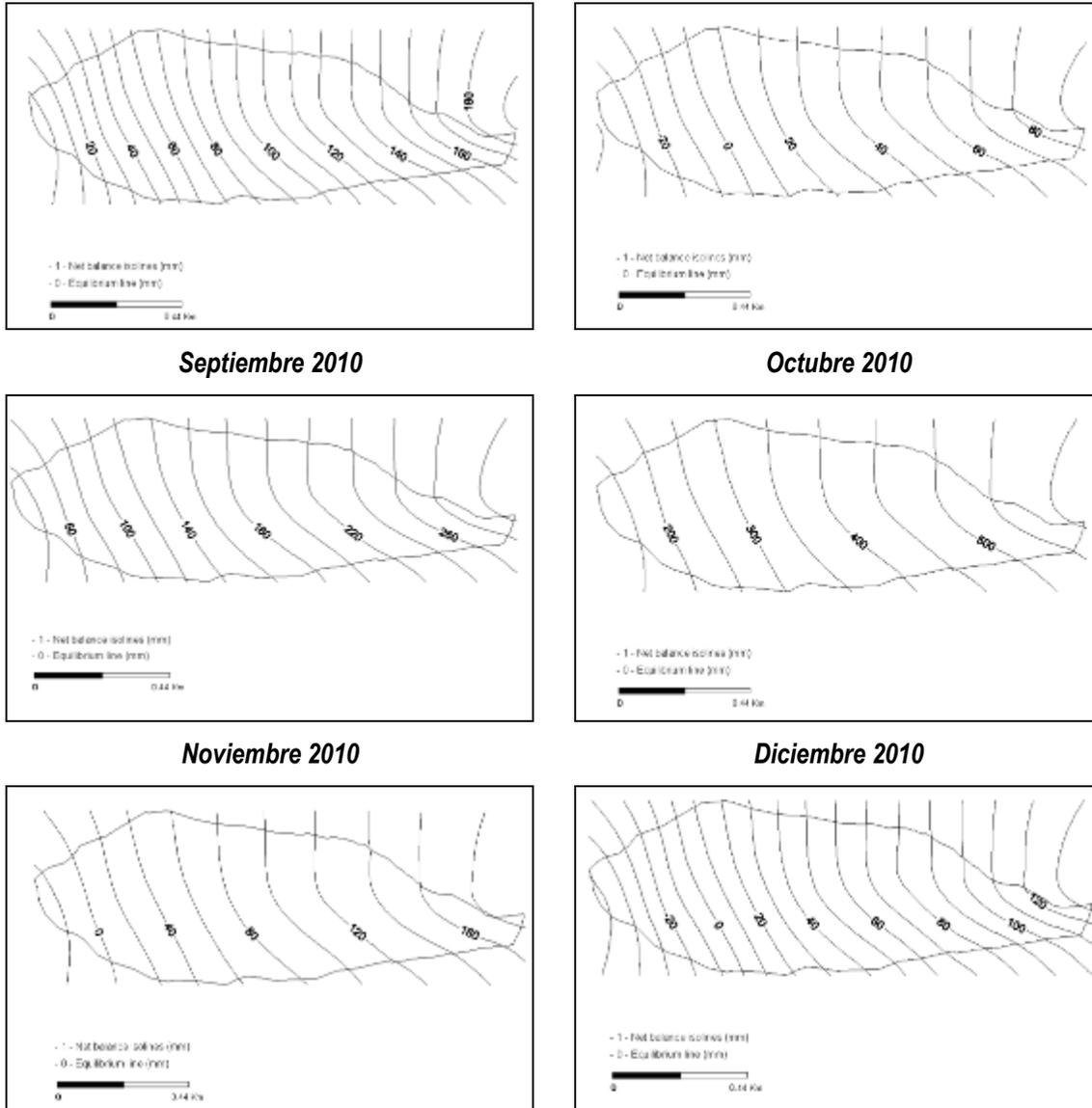


Figura 27. Espacialización del balance de masa mensual año 2010 glaciar Ritacuba Blanco, sierra nevada de El Cocuy.

5.2.5 Balance de masa glaciar Ritacuba Negro.

Una actividad para resaltar en el año 2010 es la reactivación de las mediciones de ablación en el glaciar Ritacuba Negro las cuales se habían sido abandonadas en el año 2009 debido a los problemas de seguridad que presentaba el acceso al glaciar.

En marzo de 2010 se realizó la instalación de tres (3) balizas en la zona de ablación glaciaria (4700 m y 4900 m). La instalación de estas balizas tuvo como objetivo principal conocer el comportamiento neto de la ablación en la sierra nevada de El Cocuy y complementar las mediciones de acumulación que se realizan en el glaciar Ritacuba Blanco ya que estos glaciares comparten gran parte de su masa.

De manera que a continuación se presentan los resultados obtenidos para el balance de masa individual del glaciar Ritacuba Negro (Figura 28) y el balance combinado (Ritacuba Negro y Blanco) (Figura 29) para los dos glaciares de la parte norte de la sierra:

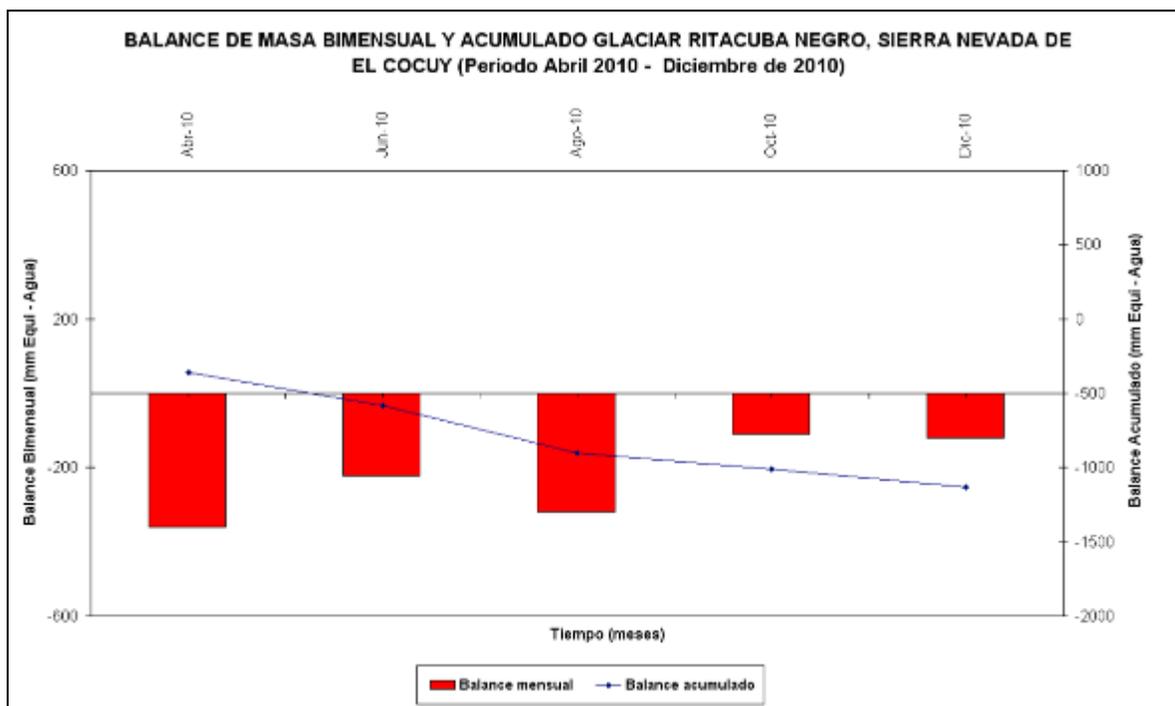


Figura 28. Balance de masa bimensual glaciar Ritacuba Negro.

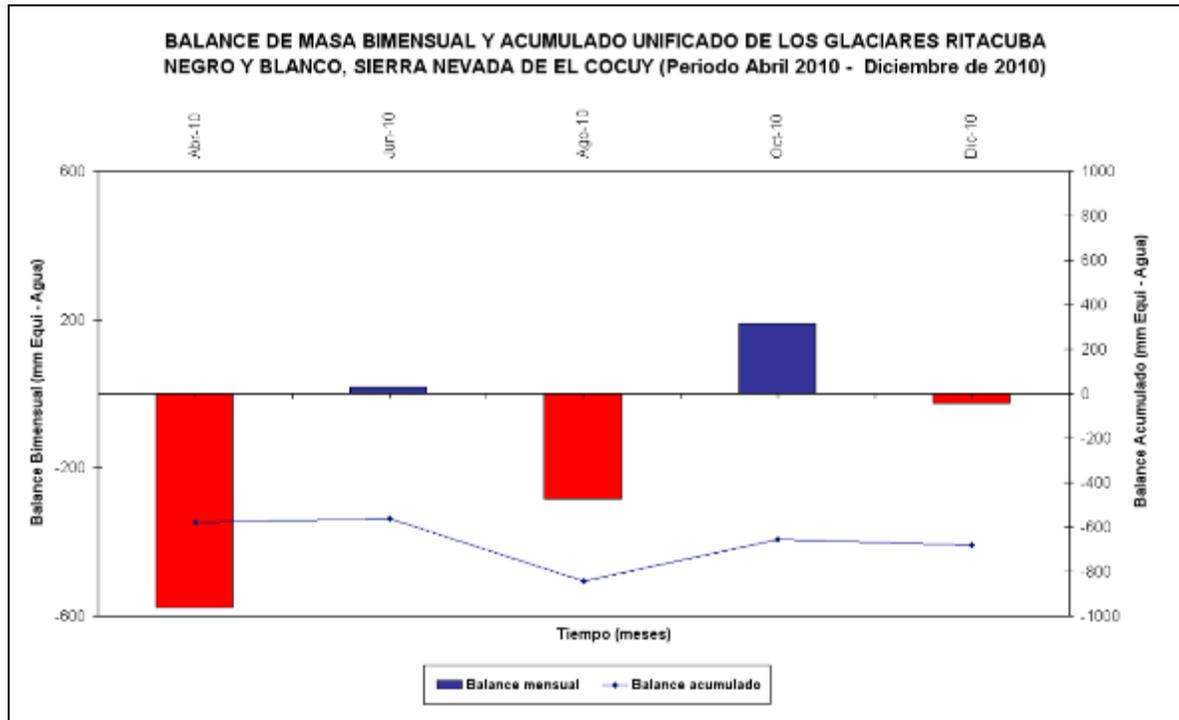


Figura 29. Balance de masa bimensual glaciares Ritacuba Negro y Blanco.

Los cálculos del balance de masa realizados para el glaciar Ritacuba Negro han permitido cuantificar que:

- Las pérdidas en la zona de ablación glaciar fueron de 1130 mm equ. de agua para el periodo abril – diciembre de 2010.
- Al unificar los balances de masa se observa que los glaciares del sector norte de la sierra nevada de El Cocuy tienen una tendencia hacia la pérdida de masa la cual se ha cuantificado en 682 mm Equ. de agua para el periodo abril – diciembre de 2010. Esta cifra indica que las pérdidas que se presentan en la zona de ablación del glaciar Ritacuba Negro superan la acumulación que se presenta en el glaciar Ritacuba Blanco.

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS BALANCES DE MASA DE LOS GLACIARES DE ESTUDIO.

Luego de presentar los valores obtenidos por medio de la cuantificación de los balances de masa para los glaciares de estudio en el PNN Los Nevados y el PNN El Cocuy se evidenció que las masas de hielo presentan

una tendencia y desequilibrio hacia la pérdidas de masa las cuales se evidencian en el retroceso constante de sus frentes de hielo.

El balance de masa también ha permitido calcular que la ELA para Colombia oscila entre los 4830 m y los 4900 m lo que indica que glaciares de baja altitud como el volcán nevado Santa Isabel están en un alto riesgo de extinción en la próximas décadas esto podemos sustentarlo al comparar su dinámica con la de la sierra nevada de El Cocuy la cual presenta un comportamiento similar con respecto a las pérdidas de masa pero debido a la altitud de sus cumbres tiene mayor área de acumulación de masa.

Adicional a esto se evidencio que el volcán nevado Santa Isabel tiene una respuesta más rápida ante los eventos climáticos regionales como el ENOS la cual se refleja en un incremento instantáneo en los valores de ablación y en la migración de la ELA:

5.4 EFECTOS DEL FENÓMENO CLIMÁTICO REGIONAL ENOS 2010 SOBRE LOS GLACIARES DE ESTUDIO (VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL Y SIERRA NEVADA DE EL COCUY).

Como se mencionó anteriormente, los glaciares de estudio estuvieron influenciados durante el 2010 por los fenómenos climáticos regionales “El Niño” (primer semestre) y “La Niña” (segundo semestre).

Bajo la influencia del fenómeno climático regional “El Niño”, los glaciares de estudio experimentaron un ascenso significativo en la altitud de la línea de equilibrio, que para el volcán nevado Santa Isabel alcanzó un valor teórico máximo de 5088 m, mientras que para la sierra nevada de El Cocuy fue de 5120 m (Figura 30).

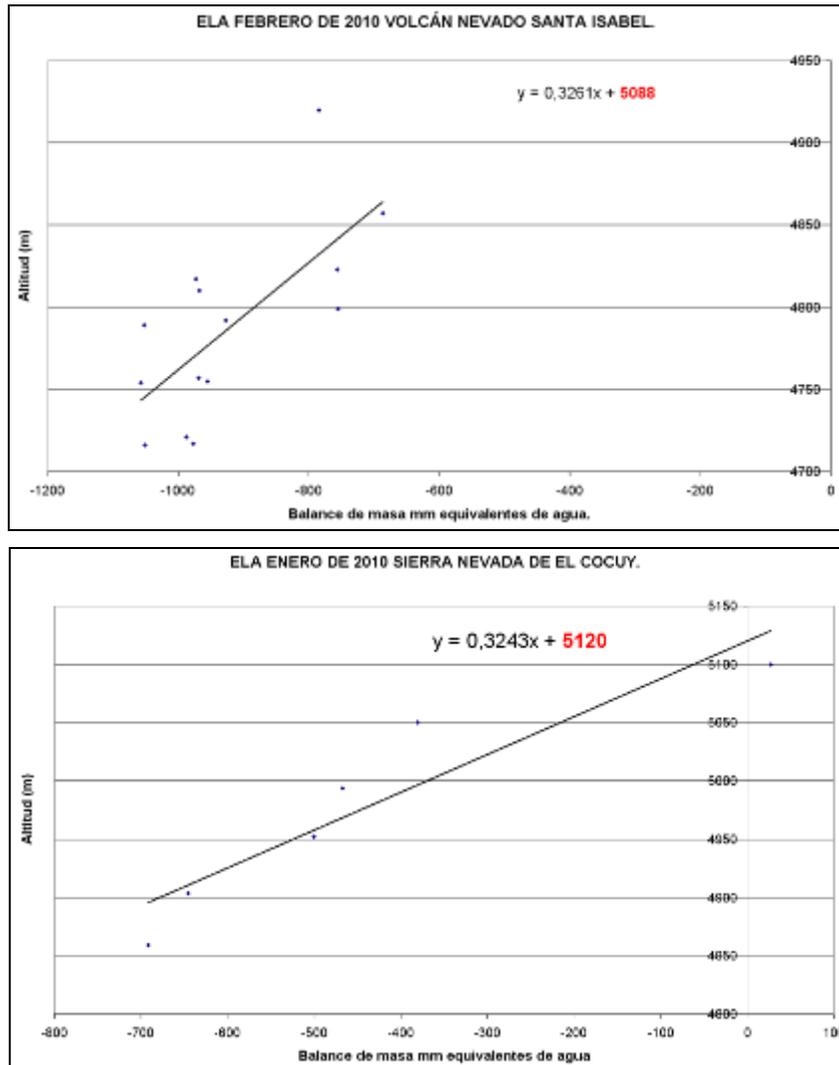


Figura 30. *Arriba*: ELA volcán nevado santa Isabel Febrero de 2010. *Abajo*: ELA sierra nevada de El Cocuy enero de 2010.

Cabe resaltar que este ascenso en la línea de equilibrio relacionado con una disminución de la precipitación sólida, tuvo como consecuencia la pérdida de la cobertura de nieve hasta los 4900 m de altitud en el glaciar Conejeras, por lo que, los procesos de ablación se incrementaron en ambos glaciares durante el primer semestre del año 2010 (Figura 31).



Figura 31. Izquierda. Fotografía volcán nevado Santa Isabel primer trimestre de 2010. **Derecha.** Fotografía glaciar Ritacuba Blanco sierra nevada de El Cocuy, primer trimestre de 2010

Finalmente, la influencia del fenómeno climático regional “El Niño” se reflejó en unas pérdidas de 3703 y 1354 milímetros equivalentes de agua para el volcán nevado Santa Isabel y la sierra nevada de El Cocuy respectivamente (Figura 11, Figura 19).

Con respecto a la influencia del fenómeno climático “La Niña” que se presentó desde el segundo semestre de 2010, los glaciares iniciaron un proceso lento de acumulación debido a la precipitación sólida la cual alimenta el glaciar, disminuye los procesos de ablación y aísla térmicamente la masa de hielo (cambio de albedo).

Para el caso específico del volcán nevado Santa Isabel, el glaciar Conejeras inició un proceso de acumulación desde agosto donde registró una acumulación de 721 mm equivalentes de agua y una ELA a 4610 m a diciembre de 2010, mientras que para la sierra nevada de El Cocuy, las ganancias reportadas durante el periodo fueron de 1255 mm equivalentes de agua y una ELA a 4778 m (Figura 32 y 33).

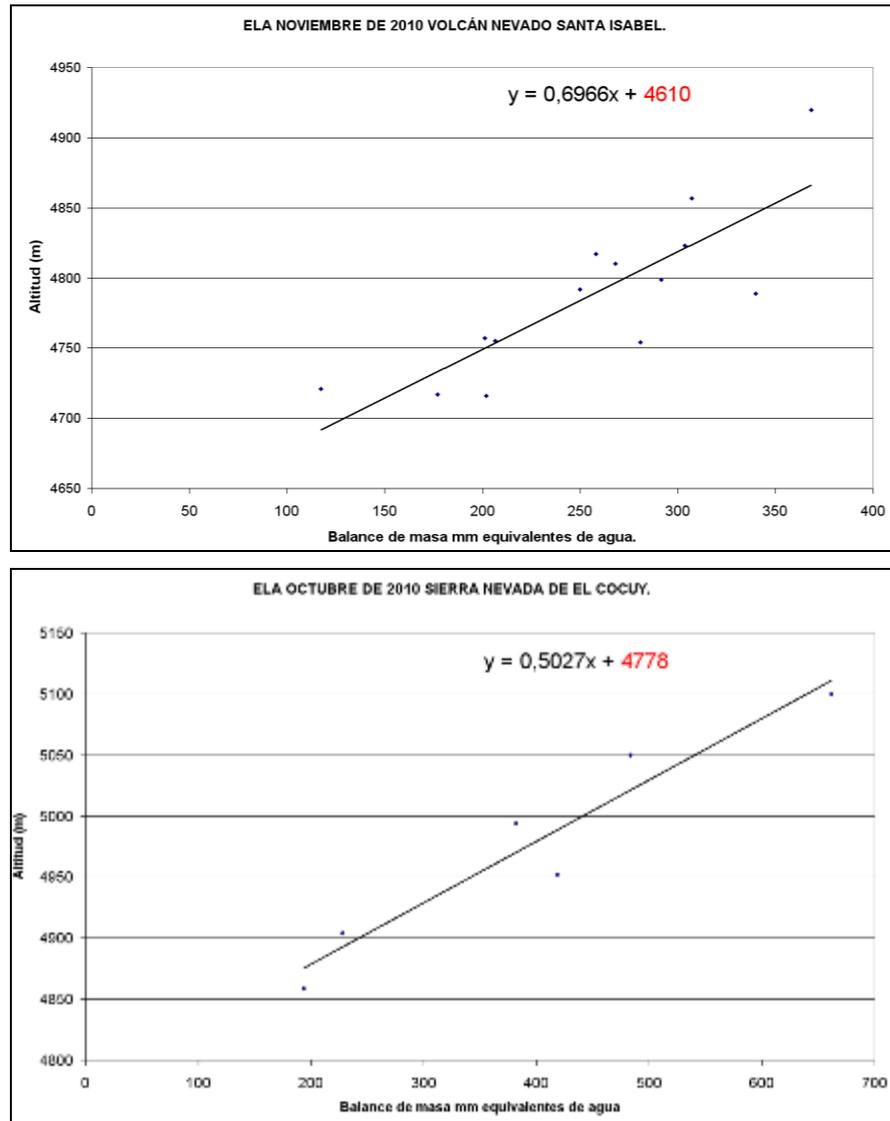


Figura 32. *Superior.* ELA volcán nevado santa Isabel noviembre de 2010. *Inferior.* ELA sierra nevada de El Cocuy octubre de 2010.

Cabe resaltar que la acumulación glaciaria generada por el fenómeno climático regional “La Niña” no compensa la pérdida de masa producida por efecto del fenómeno climático “El Niño”; esto se debe a que el proceso de transformación (sinterización) nieve/hielo es menos frecuente que los procesos de ablación (fusión/sublimación).



Figura 33. Volcán nevado Santa Isabel. **Izquierda:** Durante el fenómeno climático “El Niño”, febrero de 2010. **Derecha.** Durante el fenómeno climático “La Niña”, noviembre de 2010

Se puede resumir que los efectos del fenómeno climático regional “El Niño” 2009 – 2010 en los glaciares de estudio del IDEAM impactaron en unas pérdidas de masa de 6616 mm equivalentes de agua para el glaciar Conejeras (periodo mayo 2009 – mayo de 2010), mientras que, para la sierra nevada de El Cocuy los efectos se evidenciaron en una fuerte disminución de la precipitación sólida y unas pérdidas de masa de 1683 mm equivalentes de agua para el periodo noviembre de 2009 – abril de 2010.

6. GEOMETRÍA GLACIAR.

6.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL.

6.1.1 Retroceso del frente glaciar medidos sobre el terreno en el volcán nevado Santa Isabel.

Cuantificar el retroceso de frente glaciar consiste en medir desde puntos fijos (rocas de gran tamaño o taludes de roca), cerca al límite inferior de lenguas glaciares, la distancia hasta el límite del hielo (no la nieve). Estas medidas se hacen utilizando una cinta métrica y siguiendo la pendiente. Lo recomendable es hacerlo dos veces al año o en su defecto una vez al año.

Desde 1988 se tienen registros de campo del retroceso del frente glaciar para varios puntos del nevado Santa Isabel medidos inicialmente por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y a partir del año 1996 por el IDEAM. (Figura 34).

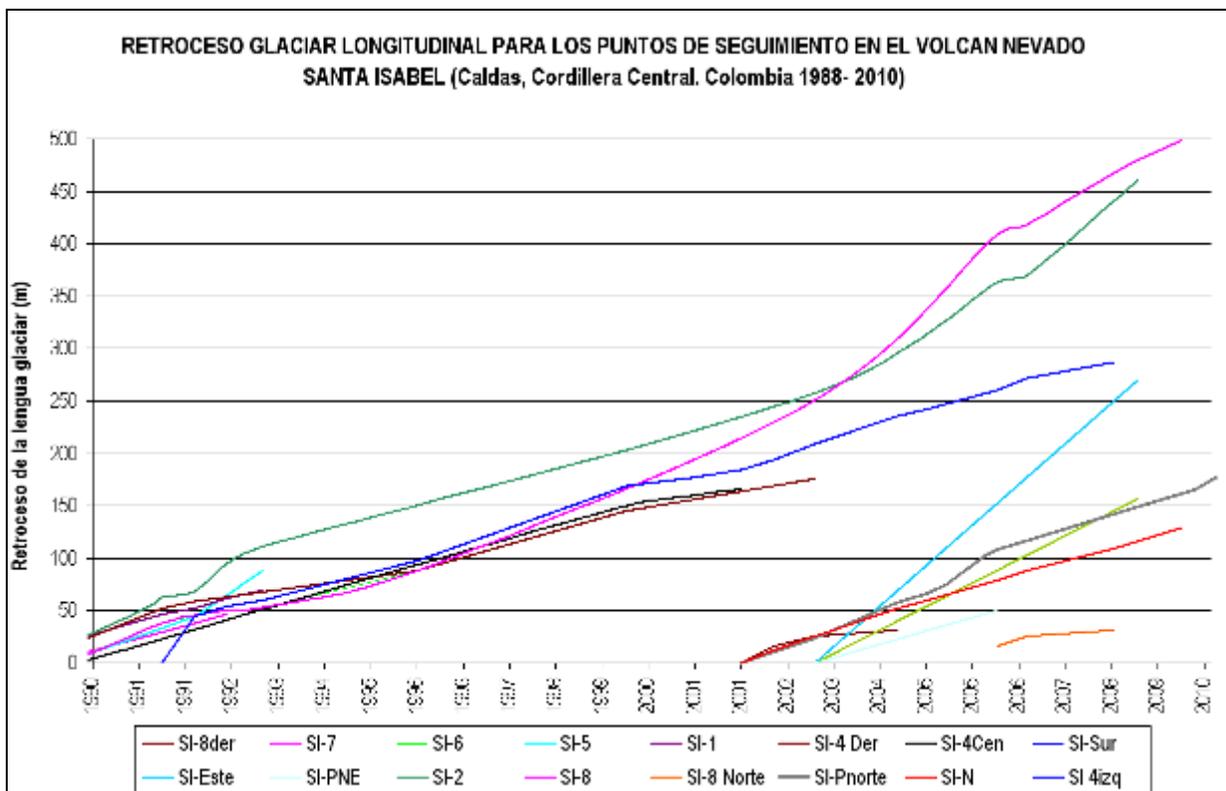


Figura 34. Puntos de retroceso longitudinal nevado Santa Isabel.

Tomando todos los puntos en consideración para el nevado Santa Isabel, se tiene un retroceso longitudinal promedio histórico de 24 metros por año (Figura 35) y un retrocesos puntual del frente glaciar de hasta 500 metros en un periodo de 30 años.

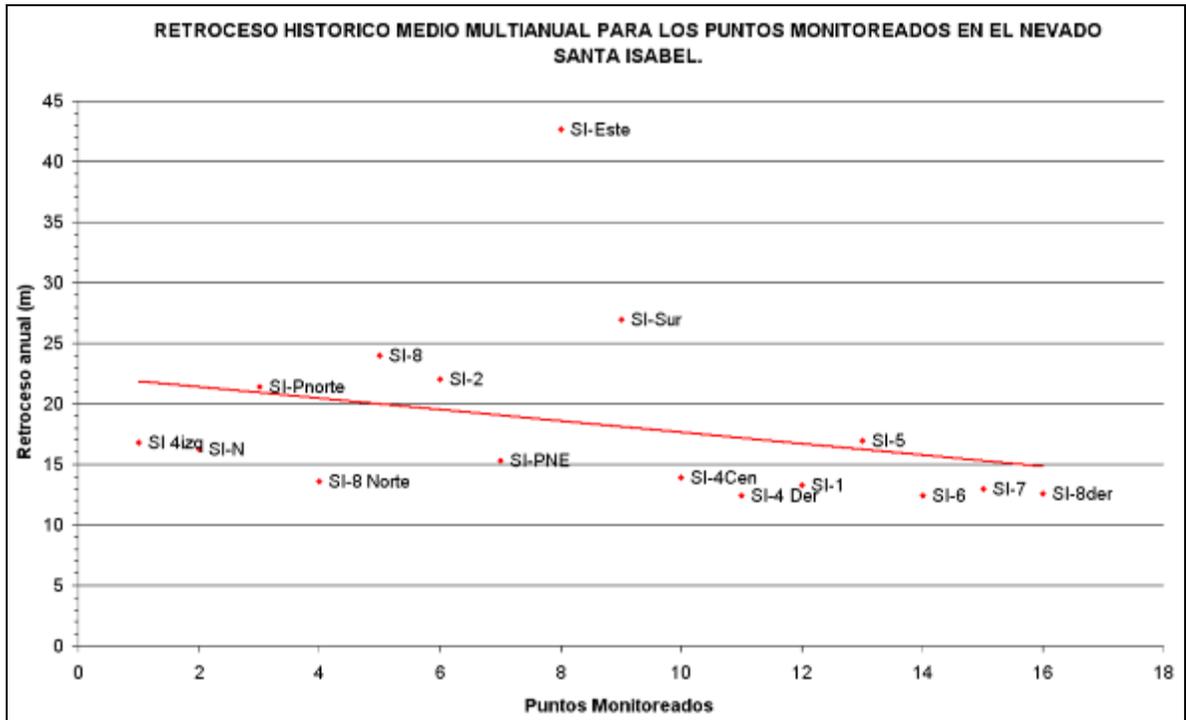


Figura 35. Retroceso promedio histórico del frente glaciar para los puntos monitoreados en el volcán nevado Santa Isabel

6.1.2 Levantamiento topográfico del glaciar Conejeras.

La actualización del área del glaciar Conejeras para el año 2010 mediante un levantamiento topográfico, se llevó a cabo empleando un GPS de frecuencia sencilla marca LEICA SYSTEM 500 con receptor SR530 (Figura 36) de precisión submétrica de propiedad del IDEAM.



Figura 36. GPS Leica utilizado para el levantamiento topográfico.

Esta actividad se realizó en el mes de febrero de 2010 y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cartografía actualizada del área del glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel a escala 1: 3500 (Figura 37).

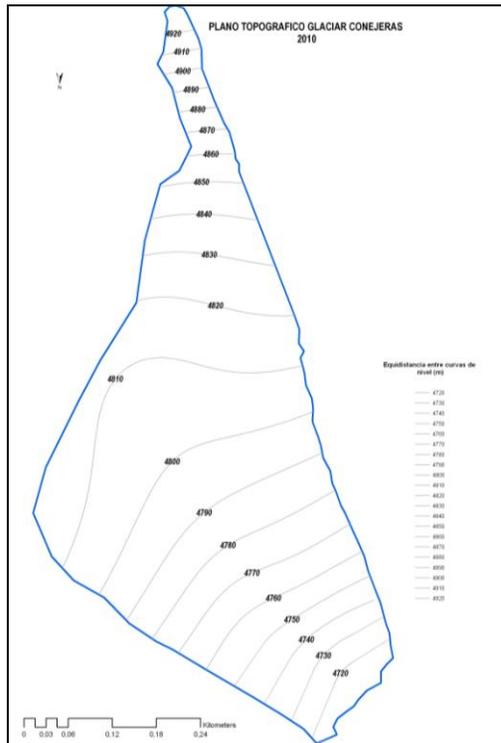


Figura 37. Cartografía de la superficie glaciar del Conejeras para el año 2010 (0,22 Km²)

Luego de realizar el levantamiento topográfico del glaciar Conejeras se obtuvo como resultado que el área del glaciar para el año 2010 es de 0,22 Km². Al comparar este valor con el área obtenida en el año 2009 se calculó que la reducción del área fue del orden de 0.005 Km² (5000 m²).

6.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY.

Para cuantificar los parámetros geométricos de los glaciares en la sierra nevada de El Cocuy se emplea la misma metodología que en el volcán nevado Santa Isabel.

6.2.1 Retroceso del frente glaciar medidos sobre el terreno en la sierra nevada de El Cocuy.

A 2010 se tienen once (11) puntos de observación y cuantificación del retroceso de frente glaciar en la sierra nevada de El Cocuy, de los cuales dos se encuentran al norte de la sierra en el glaciar Ritacuba Negro, seis en el

sector de la Laguna Grande de la Sierra (Glaciares Toti, Cóncavo y Paso de Bellavista), dos en el pico Pan de Azúcar y Pulpito del Diablo y uno en los Cerros de la Plaza al sur oriente de la sierra.

A nivel general para este glaciar se tiene un retroceso del frente longitudinal histórico anual de 23 m, presentando una tendencia constante para todos los puntos de observación (Figura 38 y 39) y un retroceso puntual del frente glaciar de hasta 610 m en un periodo de 30 años.

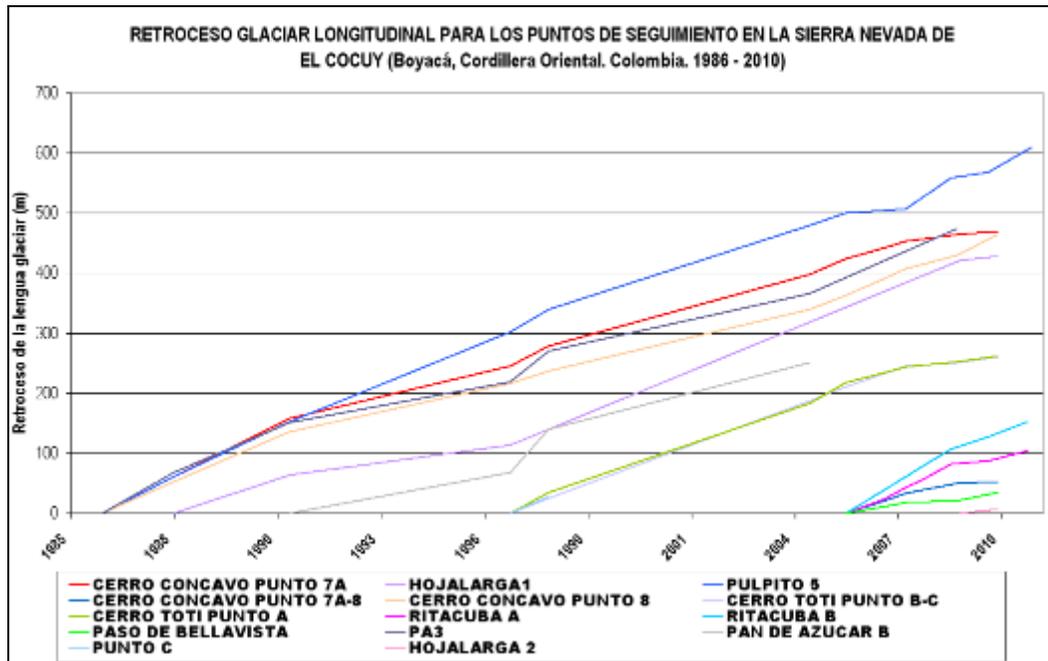


Figura 38. Retroceso del frente glaciar para los puntos de observación en la sierra nevada de El Cocuy

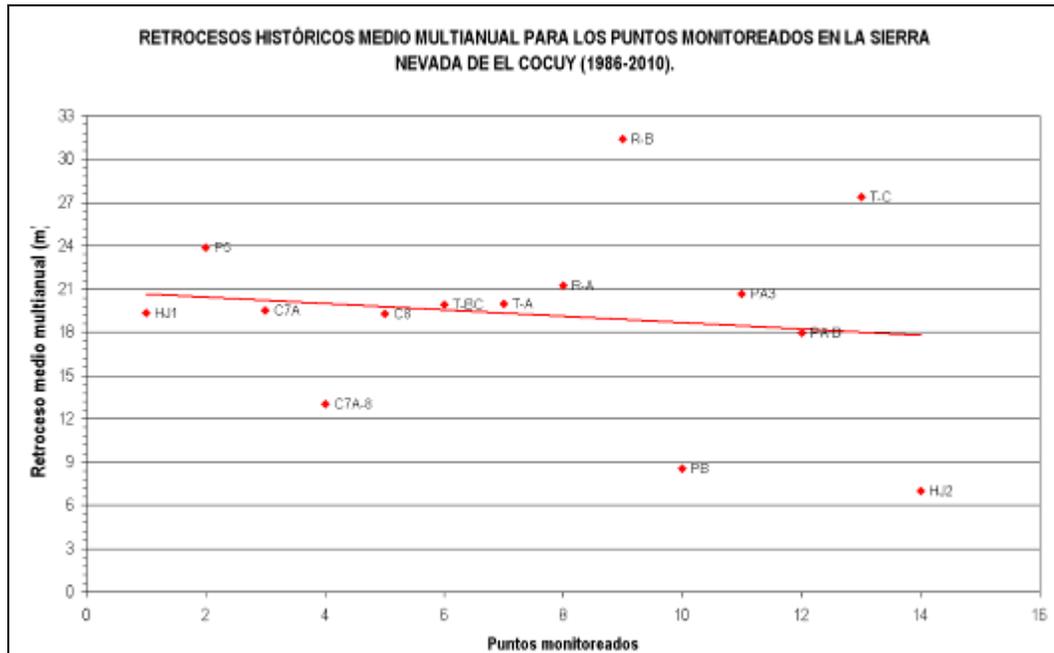


Figura 39. Retrceso promedio histórico para los puntos observados en la sierra nevada de El Cocuy.

6.2.2 Levantamiento topográfico del glaciar Ritacuba Negro y Blanco.

El levantamiento topográfico para el glaciar Ritacuba Blanco se actualizará cada 2 años debido a que los cambios en su geometría no son muy representativos por su altitud y estabilidad.

Para el glaciar Ritacuba Negro no se realizó levantamiento topográfico en terreno debido a los problemas de acceso al glaciar, por lo tanto, se calculó el área por medio de las imágenes de satélite existentes en el IDEAM obteniendo como resultado un área aproximada de 2 Km².

7. HIDROMETEOROLOGÍA.

7.1 VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL.

La instrumentación hidrometeorológica existente en el volcán nevado Santa Isabel y sus alrededores se encuentra localizada en la cuenca alta del río Claro a partir de los 2700 m de altitud (Figura 40), zona hidrográfica a la cual drenan las aguas provenientes del derretimiento del glaciar Conejeras y hace parte no solo de una red para observación de la dinámica glaciar sino como parte de una serie de sensores distribuidos cada 200 m de altitud y destinados a conocer el comportamiento del ciclo del agua en la alta montaña colombiana.

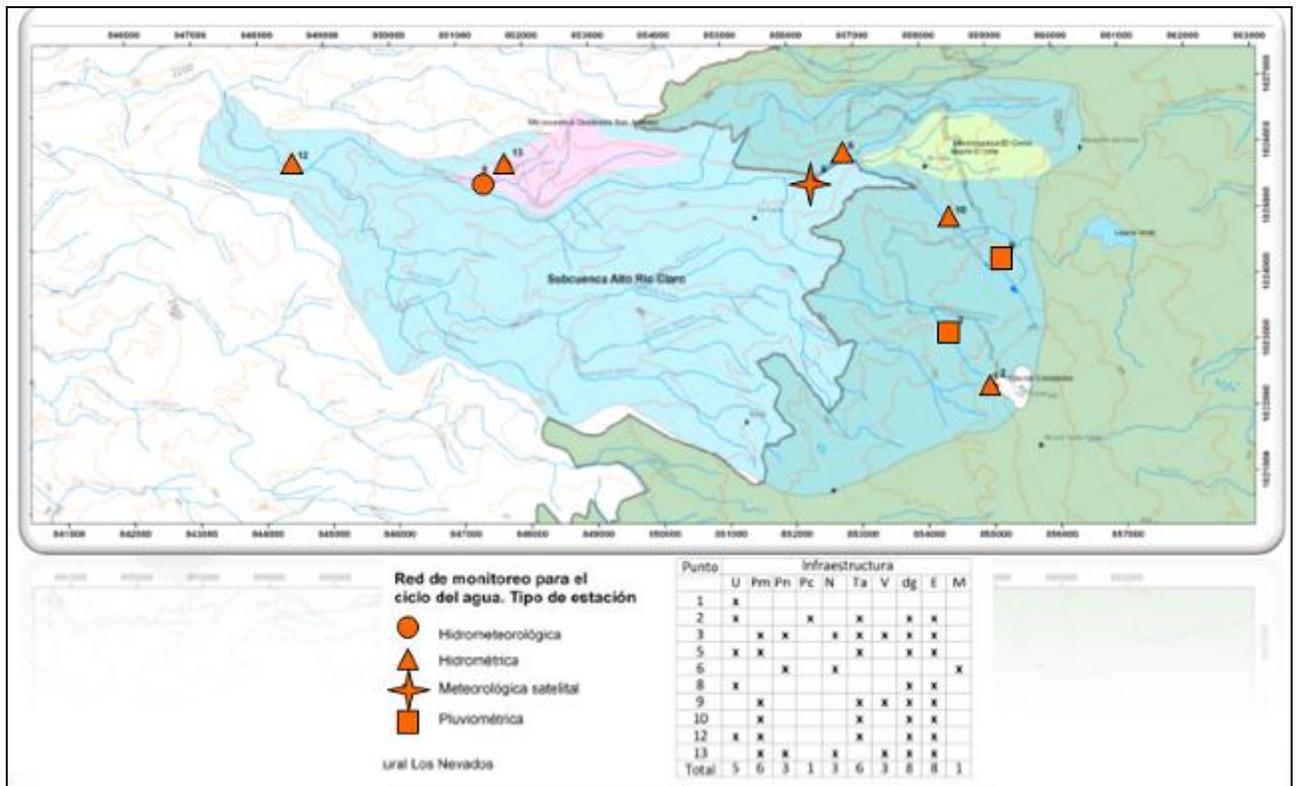


Figura 40. Cuenca alta del río Claro y su red de instrumentación hidrometeorológica.

Debido a que la serie de datos es corta (2008) en este capítulo se muestra una básica descripción y análisis de la información capturada hasta el año 2010.

Nota: Cabe resaltar que a principios del año 2010 la estación hidrológica Conejeras 1 salió de operación debido a cambios que se presentaron en la hidrología cerca la glaciar por ende esa estación fue desmontada y ya no hace parte de la red.

Todo el caudal proveniente de la fusión glaciar está siendo aforado por la estación hidrológica Conejeras 2.

- Estación hidrológica Conejeras-2, (4696 m).

La estación hidrológica Conejeras-2 fue instalada en abril de 2008 con el objetivo de cuantificar la dinámica comportamiento de las aguas provenientes del derretimiento del glaciar Conejeras.

La estación se encuentra equipada con una estructura aforadora (canaleta Parshall), un sensor de nivel ultrasónico para cuantificar la lámina de agua, y un sensor de temperatura y humedad del aire.

La serie histórica de los datos capturados hasta 2010 se representan a continuación (Figuras 41, 42 y 43).

- *Serie de Caudal:*

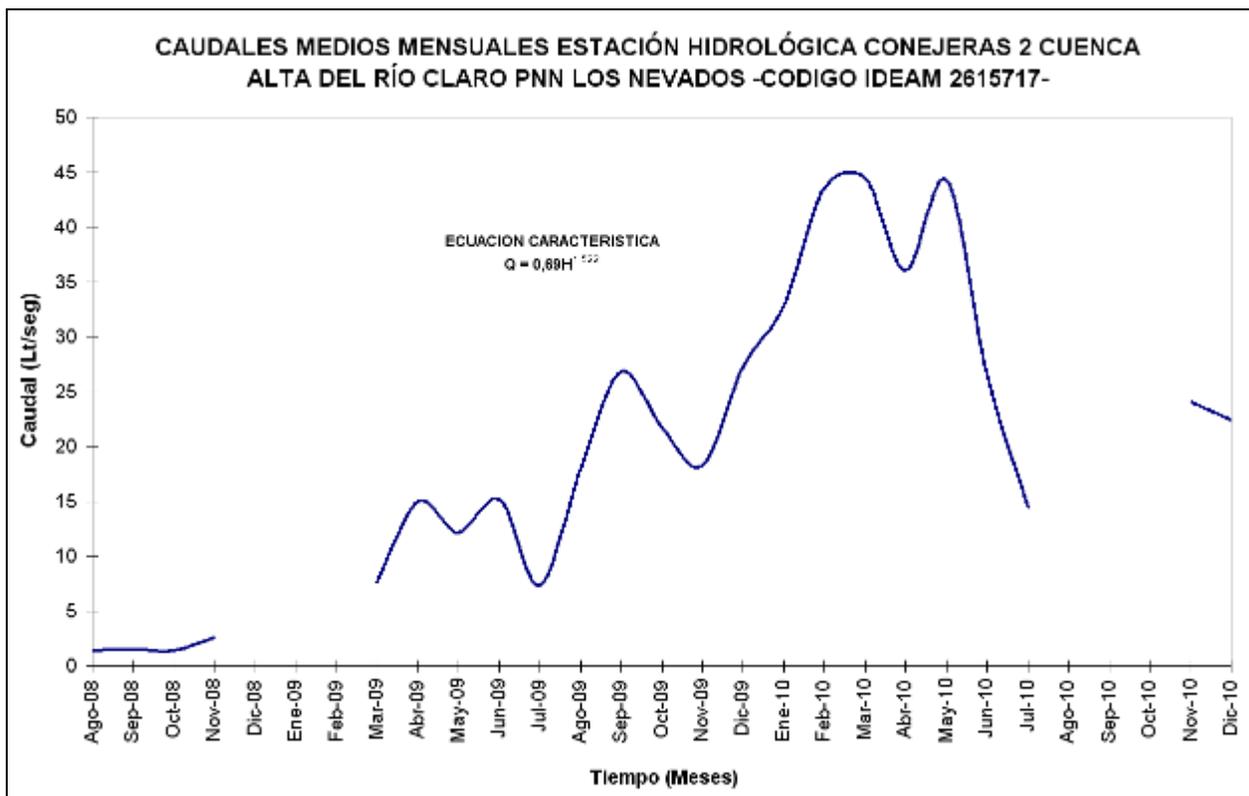


Figura 41. Serie histórica de datos de caudal proveniente de la fusión glaciar estación Conejeras 2.

En la Figura 41 se observan algunos sectores sin información debido a fallas electrónicas en el sensor de nivel.

Se destaca en el periodo noviembre de 2009 - abril de 2010 un incremento significativo en los caudales por influencia del fenómeno climático regional “El Niño” el cual generó un aumento en la fusión del glaciar (Figuras 41 y 42).

- Serie Temperatura y Humedad del aire:

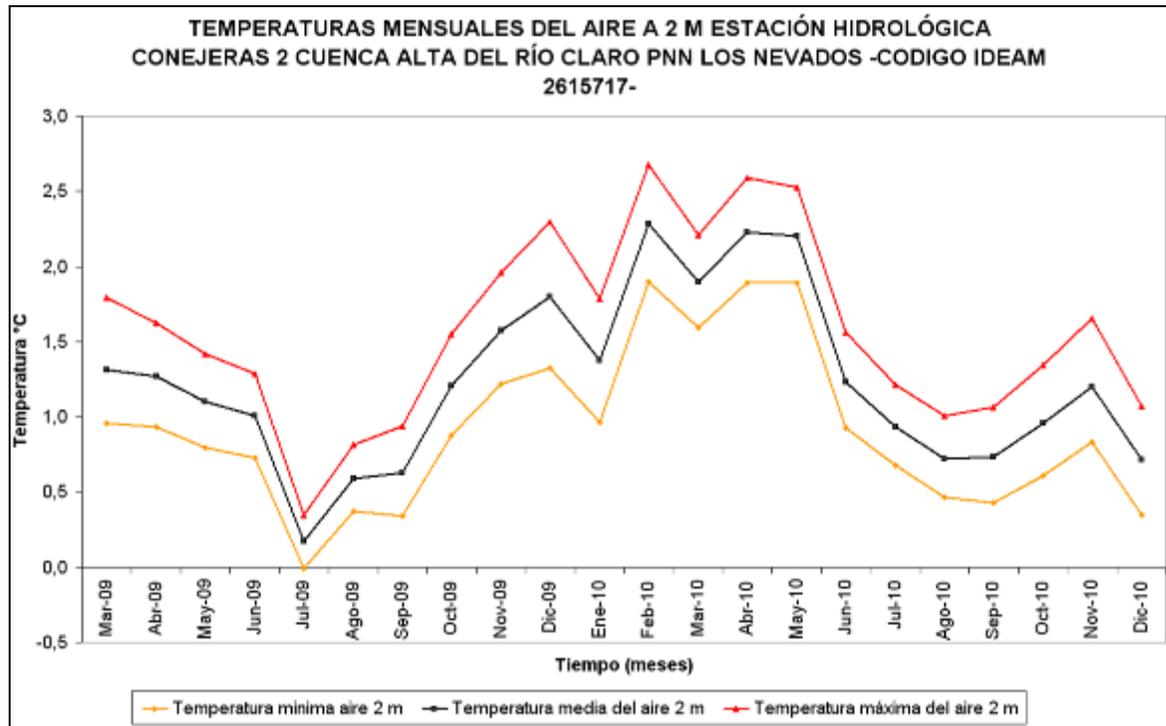


Figura 42. Serie histórica de datos de temperatura máxima, media y mínima del aire a 2 m estación Conejeras 2.

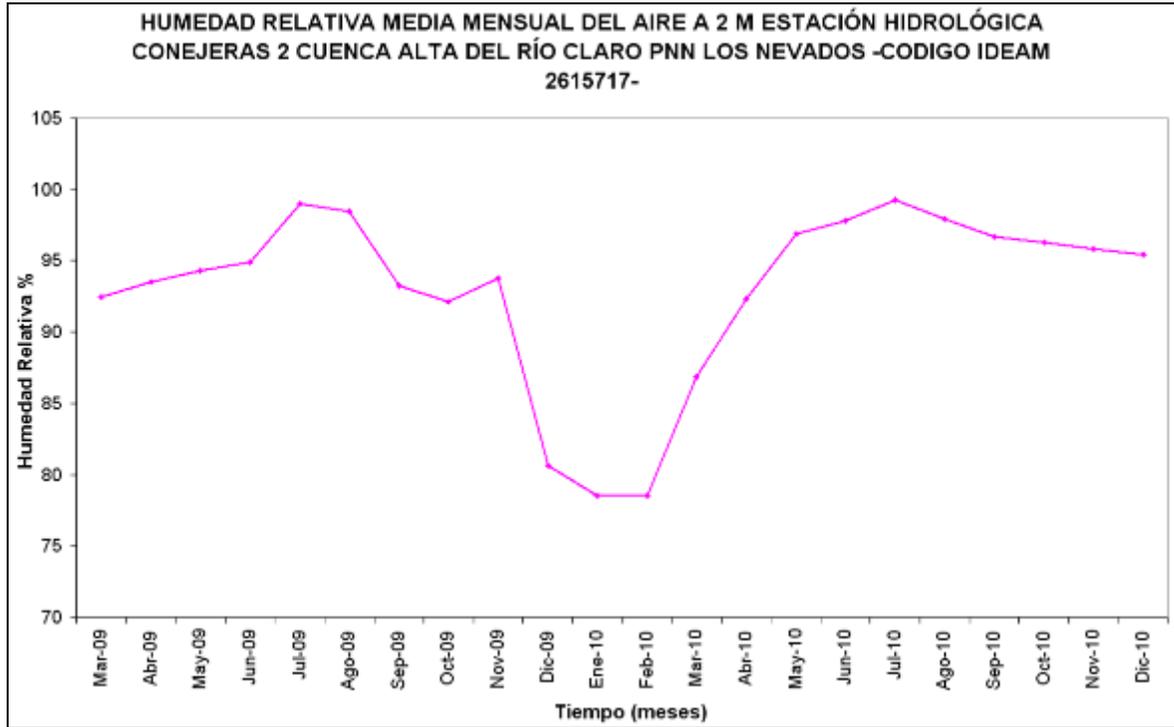


Figura 43. Serie histórica de datos de humedad relativa del aire a 2 m estación Conejeras 2.

- **Pluviómetro totalizador borde glaciar Conejeras (4680 m.)**

Este pluviómetro, instalado en diciembre de 2006, permite cuantificar la precipitación mensual en el borde del glaciar. La información capturada hasta la fecha se representa en la Figura 44.

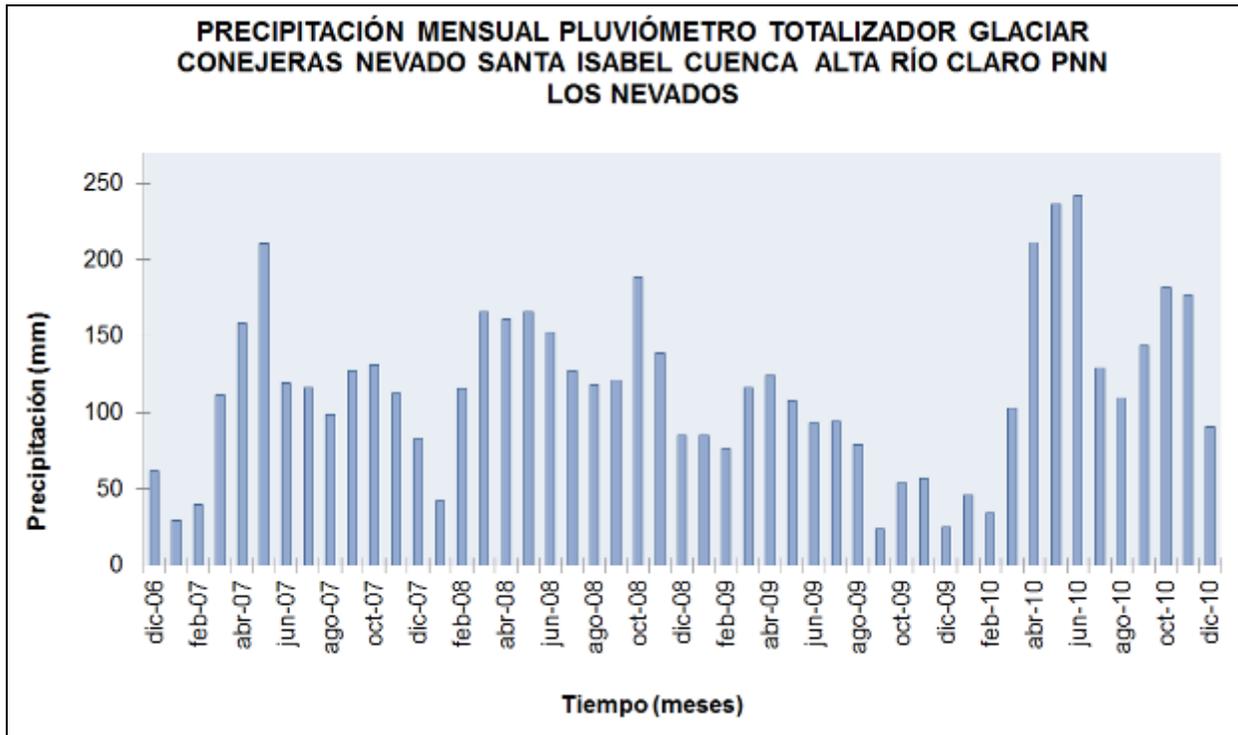


Figura 44. Serie histórica de datos de precipitación registrada por el pluviómetro totalizador glaciar Conejeras.

- **Estación meteorológica automática satelital Nevado Santa Isabel, (4661 m.)**

Esta estación fue instalada en mayo de 2010 y captura información de precipitación, temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento y radiación global. Para el caso de este informe no se representan los datos debido a la corta serie de datos. Los análisis de esta información serán objeto de análisis en el próximo informe anual de actividades (año 2011).

- **Estación meteorológica automática Sendero Conejeras (4412 m.)**

Esta estación fue instalada en agosto de 2008 y captura información de temperatura y humedad del aire (Figuras 45 y 46) y precipitación (Figura 47). La representación de los datos capturados por la estación hasta diciembre de 2010 son los siguientes:

- *Temperatura y humedad del aire:*

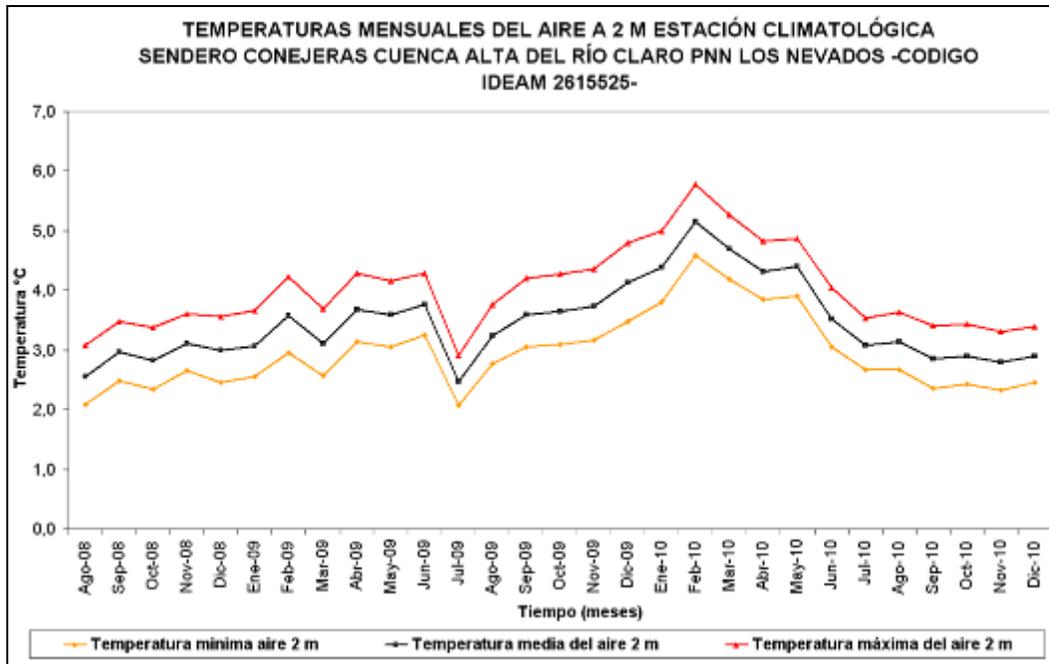


Figura 45. Serie histórica de datos de temperatura máxima, media y mínima del aire a 2 m estación Sendero Conejeras.

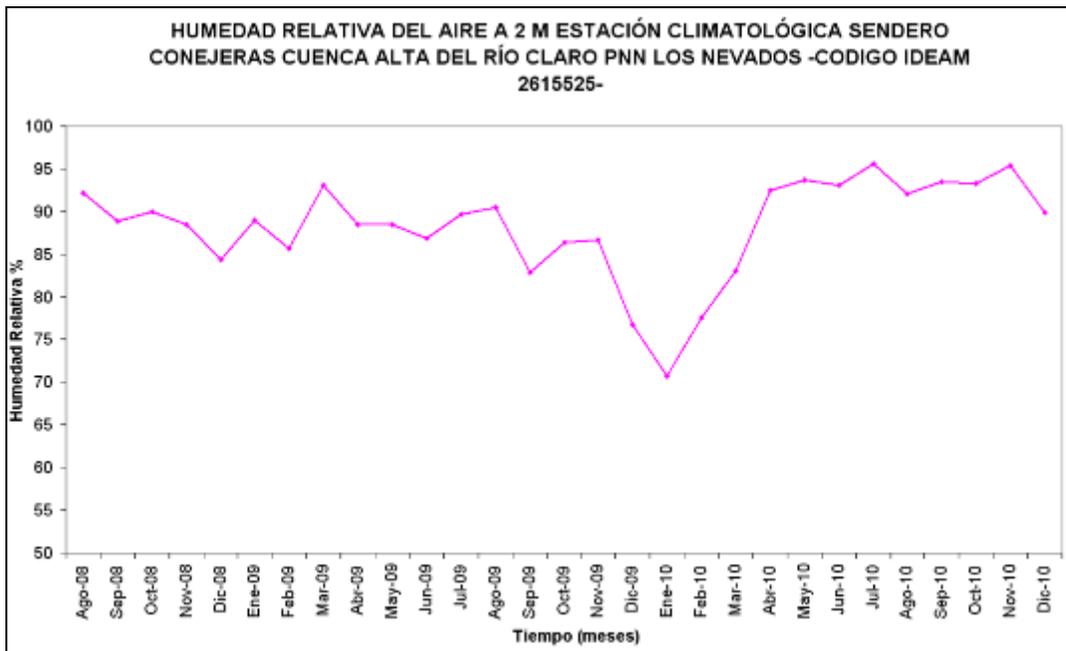


Figura 46. Serie histórica de datos de humedad relativa del aire a 2 m estación Sendero Conejeras.

- *Precipitación:*

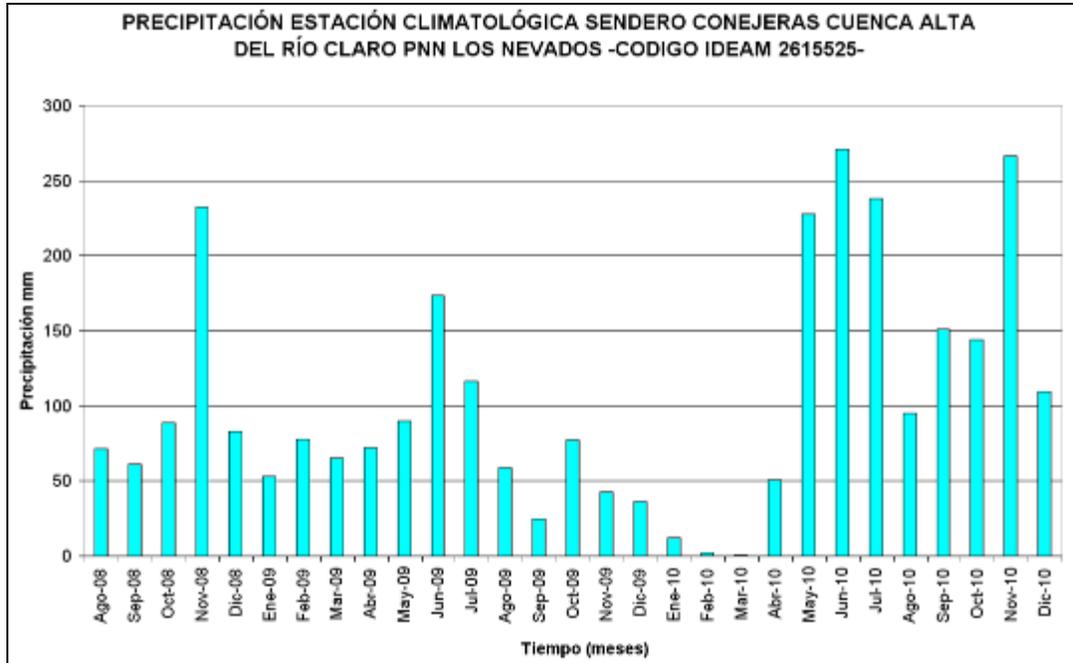


Figura 47. Serie histórica de datos precipitación estación Sendero Conejeras.

- **Estación meteorológica automática Sendero Laguna Verde (4304 m.)**

La estación meteorológica Sendero Laguna Verde fue instalada en mayo de 2008 y captura información de temperatura y humedad del aire (Figuras 48 y 49) y precipitación (Figura 50). La representación de los datos capturados por la estación hasta diciembre de 2010 son los siguientes:

- *Temperatura y humedad del aire.*

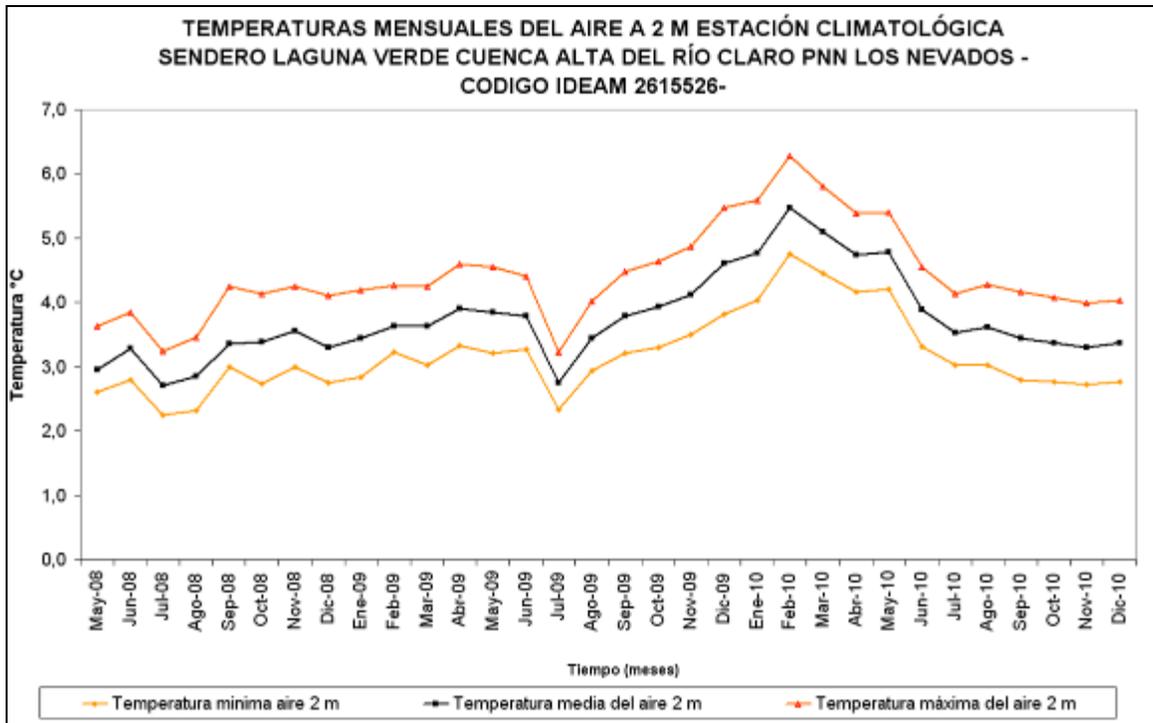


Figura 48. Serie histórica de datos de temperatura máxima, media y mínima del aire a 2 m estación Sendero Laguna Verde.

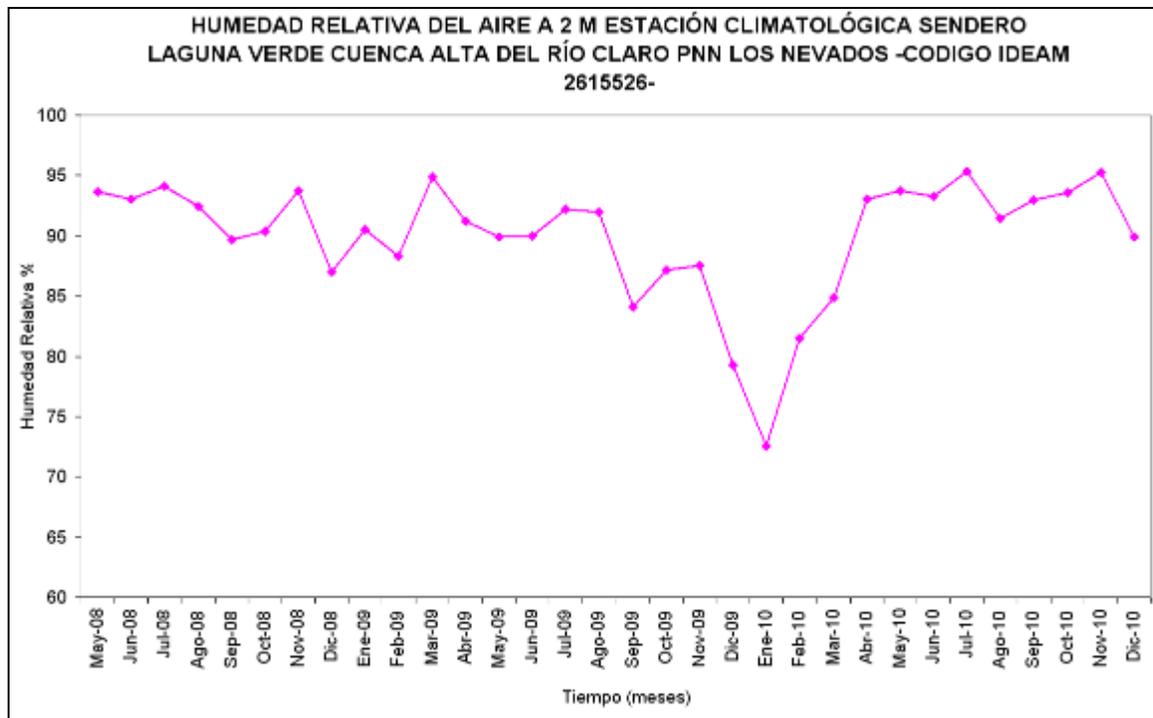


Figura 49. Serie histórica de datos de humedad relativa del aire a 2 m estación Sendero Laguna Verde.

- *Precipitación.*

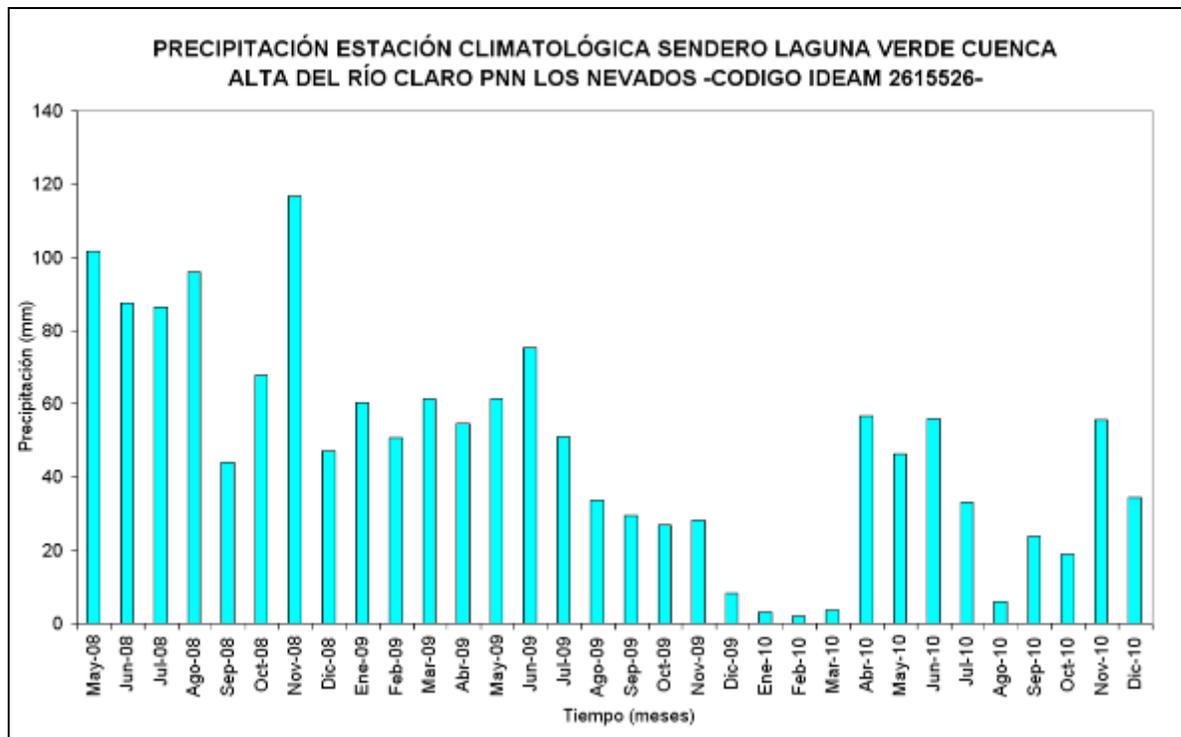


Figura 50. Serie histórica de datos precipitación estación Sendero Laguna Verde.

- **Estación hidrológica automática Sietecuales (3780 m.)**

La estación hidrológica Sietecuales fue instalada en diciembre de 2008 y captura datos de nivel instantáneo, máximo y mínimo. Hasta 2010 solo hay disponible la información de nivel debido a que la sección donde se realizan las mediciones no cuenta con curva de calibración.

- **Estación meteorológica automática satelital PNN Los Nevados (3637 m.)**

Esta estación se encuentra ubicada en la zona de páramo de la cuenca del río Claro y captura información de temperatura y humedad del aire, presión atmosférica, temperatura y humedad del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad precipitación y dirección y velocidad del viento.

Estos equipos fueron instalados en el 2008 pero los valores de la serie histórica están en proceso de análisis y validación y serán presentados en el informe de actividades glaciológicas 2011.

- **Estación meteorológica automática San Antonio (3052 m.)**

La estación meteorológica San Antonio fue instalada en mayo de 2008 y captura información de temperatura y humedad del aire (Figuras 51 y 52), precipitación (Figura 53) y nivel de agua (la sección carece de curva de calibración). La representación de los datos capturados por la estación hasta diciembre de 2010 son los siguientes:

- *Temperatura y humedad del aire:*

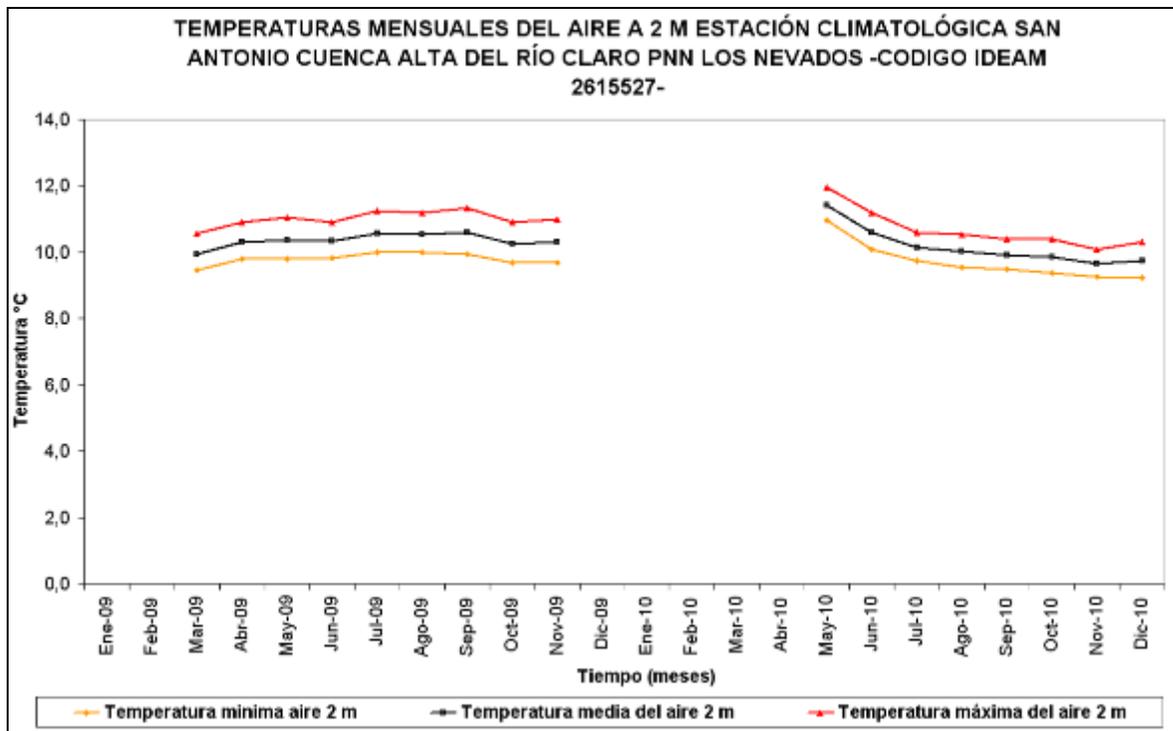


Figura 51. Serie histórica de datos de temperatura máxima, media y mínima del aire a 2 m estación San Antonio.

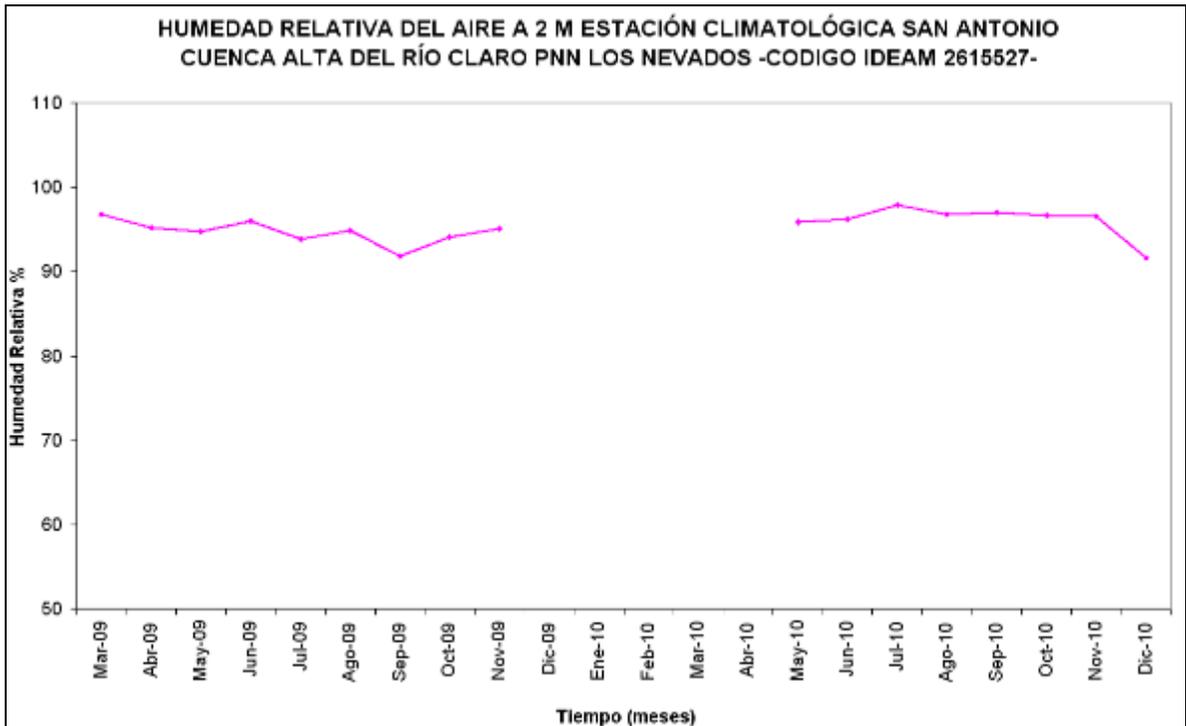


Figura 52. Serie histórica de datos de humedad relativa del aire a 2 m estación San Antonio.

- *Precipitación:*

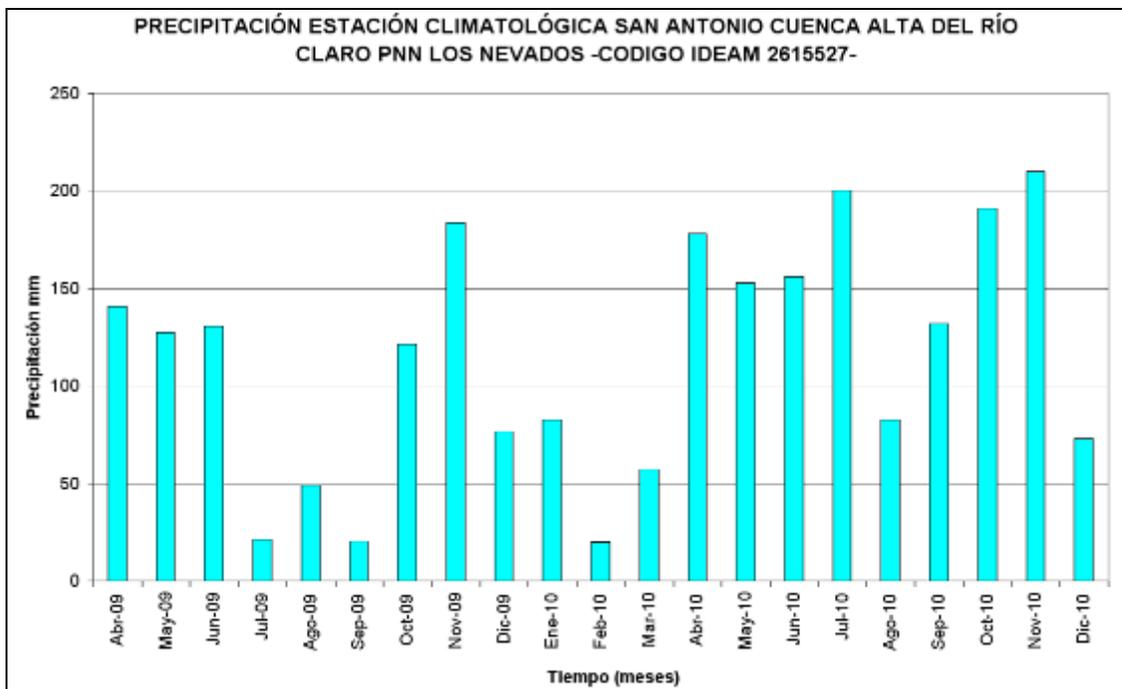


Figura 53. Serie histórica de datos precipitación estación San Antonio.

- **Estación hidrológica río Claro (2714 m.)**

Esta estación captura datos de nivel de agua del río Claro en el punto de cierre de la cuenca. La representación de los datos capturados por la estación hasta diciembre de 2010 son los siguientes (Figura 54):

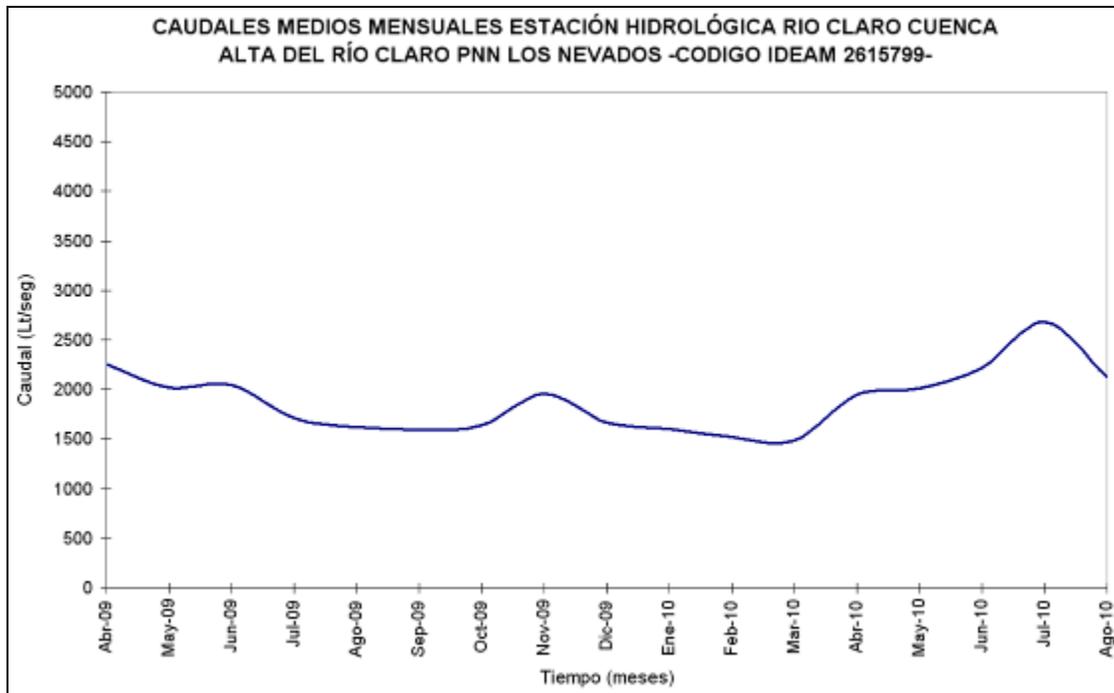


Figura 54. Serie histórica de datos de caudal estación río Claro.

7.1.2 Análisis hidrológico volcán nevado Santa Isabel – cuenca alta de Río Claro.

Luego de estimar el comportamiento de los caudales provenientes de la fusión glaciaria y compararlos con el comportamiento hidrológico de la cuenca se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Al totalizar los valores se obtiene que para el periodo de registro abril de 2006 - diciembre de 2010 (57 meses) la lámina escurrida por el glaciar Conejeras (0.22 Km²), en el volcán nevado Santa Isabel fue de 5697 mm.
- b) Con respecto al rendimiento hídrico se identificó su comportamiento con relación con la variabilidad del régimen hidrológico en Colombia (región Andina) (Figura 56). A diferencia de una cuenca normal en la que los caudales tiene una relación directamente proporcional con la precipitación, las zonas glaciares

presentan una relación inversa, es decir que la precipitación no influye en el aumento de sus caudales sino que por el contrario los disminuye (Figura 57).

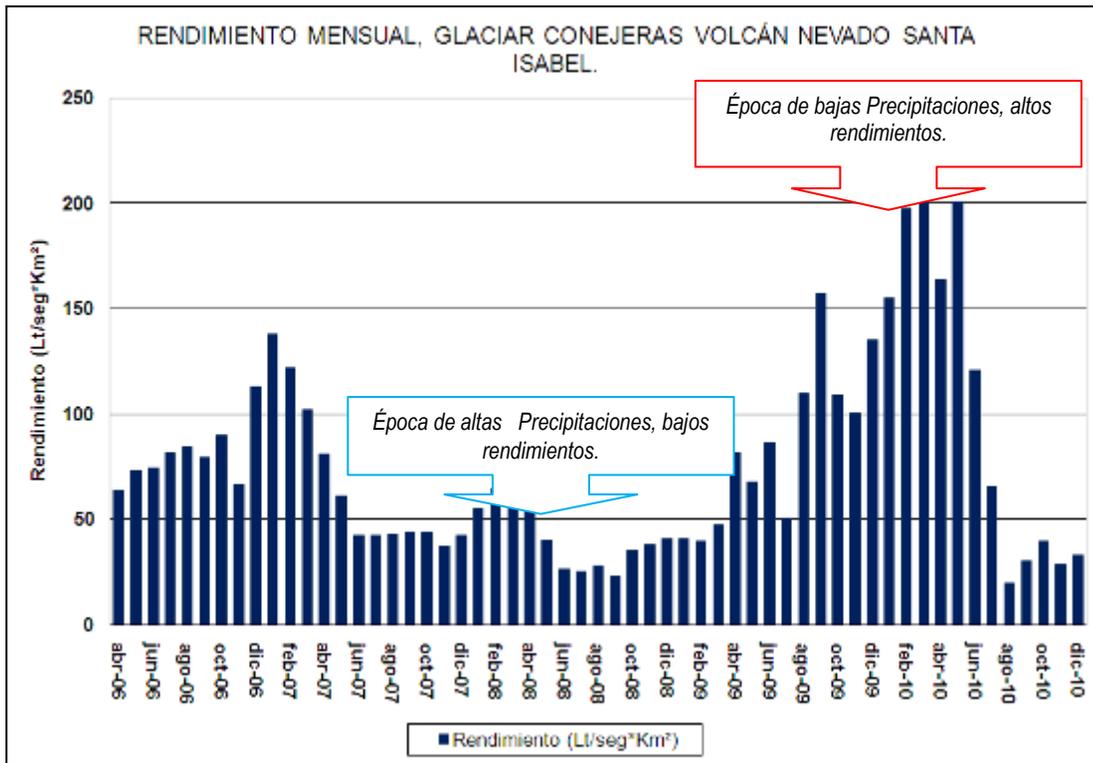


Figura 56. Rendimiento hídrico del glaciar Conejeras, volcán nevado Santa Isabel.

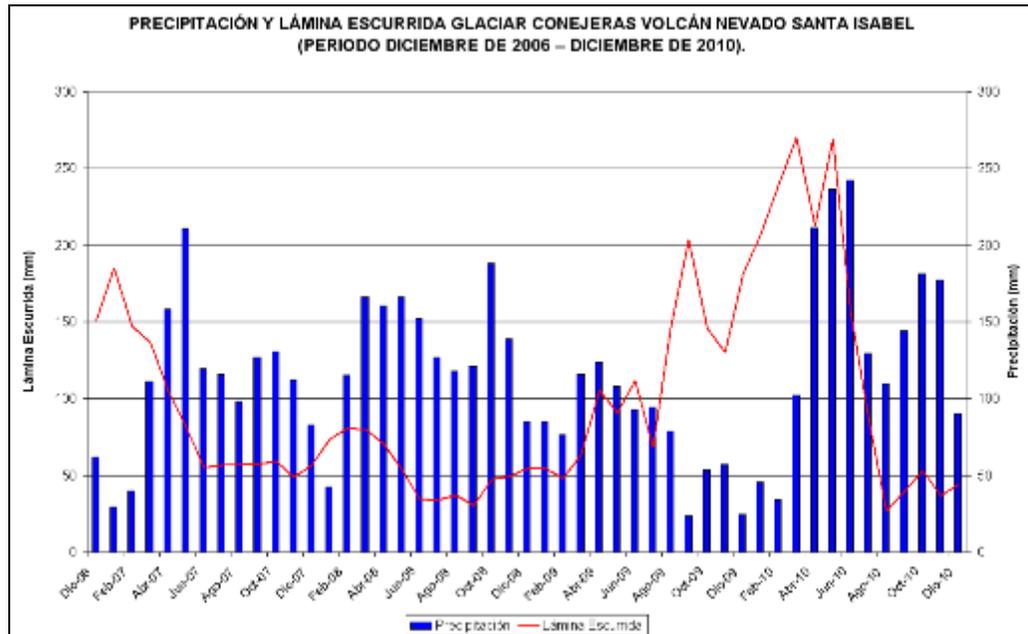


Figura 57. Lámina escurrida y precipitación. Glaciar conejeras volcán nevado Santa Isabel.

- c) De acuerdo con los caudales, rendimientos y láminas escurridas provenientes de la fusión glaciaria y los datos provenientes de la estación hidrológica río Claro (municipio de Villamaría, departamento de Caldas) se realizó el cálculo de los aportes hídricos mensuales provenientes del glaciar Conejeras a la cuenca del río Claro.

Para realizar esta estimación se extrapolo el rendimiento del glaciar Conejeras a toda la superficie de glaciar del volcán nevado Santa Isabel que drena hacia el río Claro (0,6 Km²).

Para el cálculo de los caudales del río Claro, a la altura del cierre de cuenca (2700 m de altitud), se utilizó la ecuación de calibración de la sección hidráulica, la cual fue estimada por medio de los aforos realizados por las subdirecciones de Ecosistemas e Información Ambiental e Hidrología. La ecuación es la siguiente:

$$Q = 2,81e^{(H - 0,047)}$$

Q: Caudal (m³/seg)

H: Nivel (m)

Los caudales medios mensuales y los rendimientos hídricos obtenidos por medio de los niveles registrados por la estación hidrológica del IDEAM “Río Claro” son los siguientes (Figura 58):

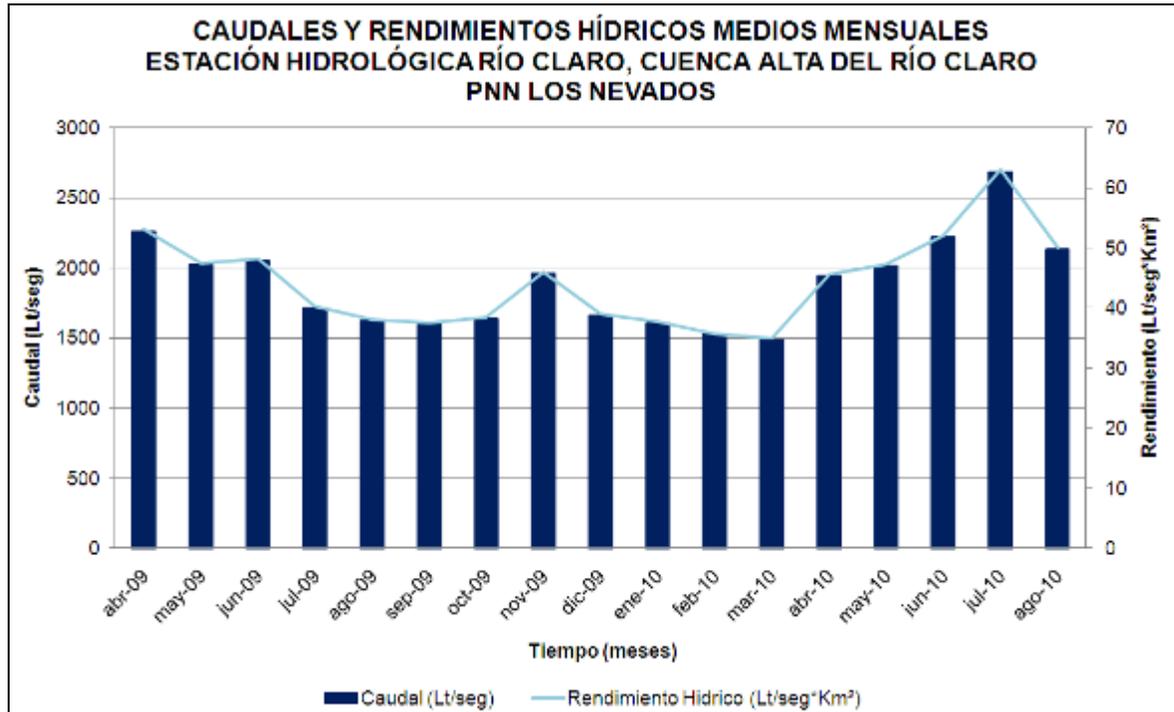


Figura 58. Caudales y rendimientos hídricos estación hidrológica río Claro.

De acuerdo con la información presentada anteriormente se estima que el aporte de escorrentía superficial del área glaciar del volcán nevado Santa Isabel a la cuenca del río Claro es de 8% en época seca y del 1% en época húmeda o lluviosa (Figura 59).

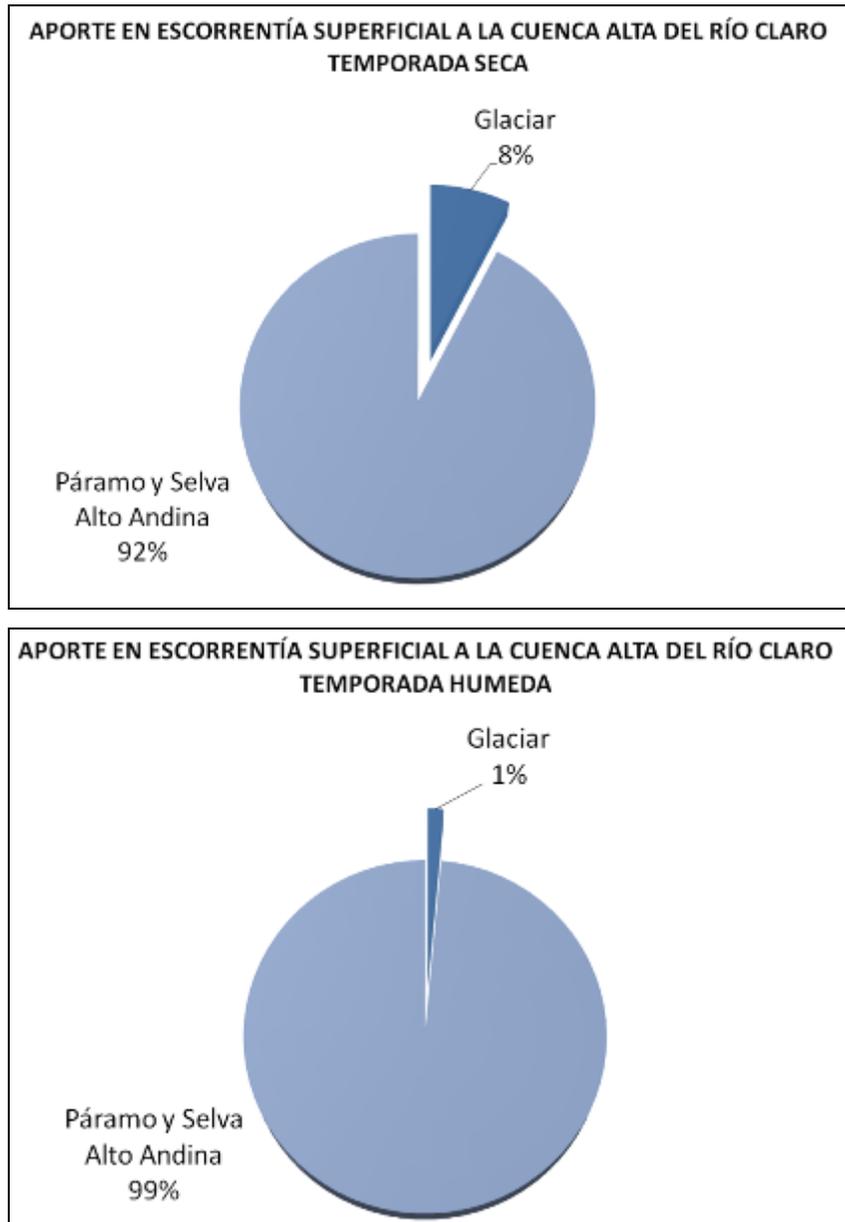


Figura 59. Aporte hídrico en escorrentía superficial del glaciar Santa Isabel a la cuenca alta del río Claro.

Cabe resaltar que al comparar el rendimiento hídrico del glaciar con respecto al de la cuenca completa, el glaciar presenta un caudal específico que puede alcanzar los 200 Lt/seg*Km² mientras que la cuenca completa presenta un rendimiento máximo de 63 Lt/seg*Km². Por ende podríamos afirmar que la producción neta por Km² del glaciar triplica la producción neta de toda la cuenca (Figura 60).

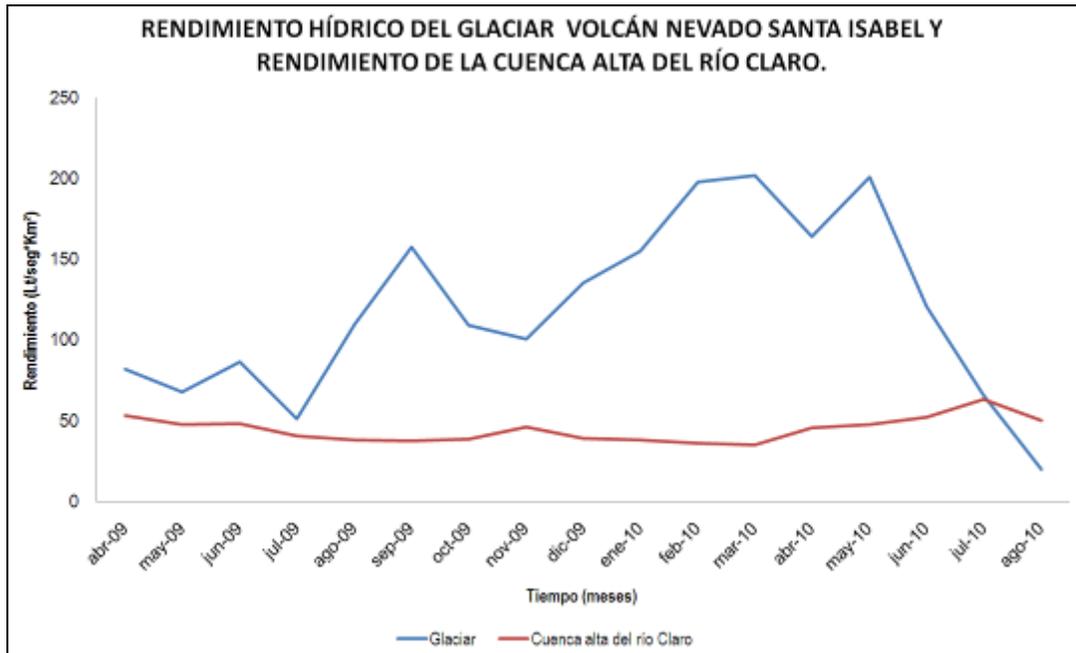


Figura 60. Rendimientos en la cuenca alta del río Claro.

- d) Luego de totalizar las pérdidas de masa del glaciar Conejeras por medio del balance de masa glaciológico (6933 mm), y estimar los aportes en escorrentía superficial del glaciar (5697 mm) para el periodo de observación (abril de 2006 – diciembre de 2010) se estimó que los aportes del glaciar en infiltración y/o sublimación son del 18% (Figura 61).

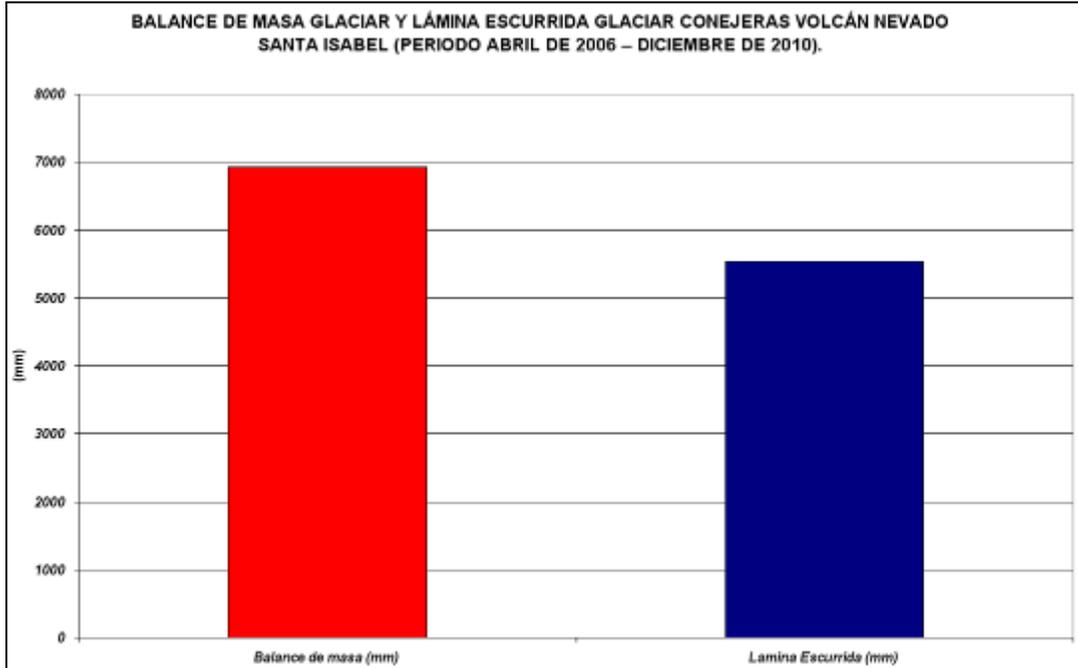


Figura 61. Lámina de agua escurrida y balance de masa glaciar Conejeras volcán nevado Santa Isabel.

El diferencial que se evidencia entre el balance de masa y el escurrimiento superficial del glaciar Conejeras (Figura 61) es de 1394 mm que posiblemente ingresaron a la cuenca por medio de procesos de infiltración y/o sublimación.

- e) Finalmente y de acuerdo con la información disponible en el IDEAM, el rendimiento hídrico del glaciar, del páramo y del bosque alto andino se discrimina de la siguiente manera (Tabla 12):

Tabla 12. Rendimiento hídrico de la cuenca alta de río Claro.

Superficie	Rendimiento Lt/seg.*km ²
<i>Glaciar</i>	118
<i>Páramo¹</i>	48
<i>Bosque Alto Andino²</i>	67
<i>Total Cuenca</i>	30

¹Cuenca quebrada Sietecuerales ²Cuenca quebrada San Antonio.

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 11 es posible afirmar que el rendimiento hídrico del glaciar supera ampliamente el rendimiento hídrico de cualquiera de las superficies o coberturas existentes en la cuenca alta del río Claro.

7.2 SIERRA NEVADA DE EL COCUY.

La instrumentación hidrometeorológica existente en la sierra nevada de El Cocuy se encuentra localizada en las cuencas altas de los ríos Cardenillo y Playitas (Figura 62) zona hidrográfica a la cual drenan las aguas provenientes del derretimiento de los glaciares Ritacuba Negro y Blanco respectivamente.

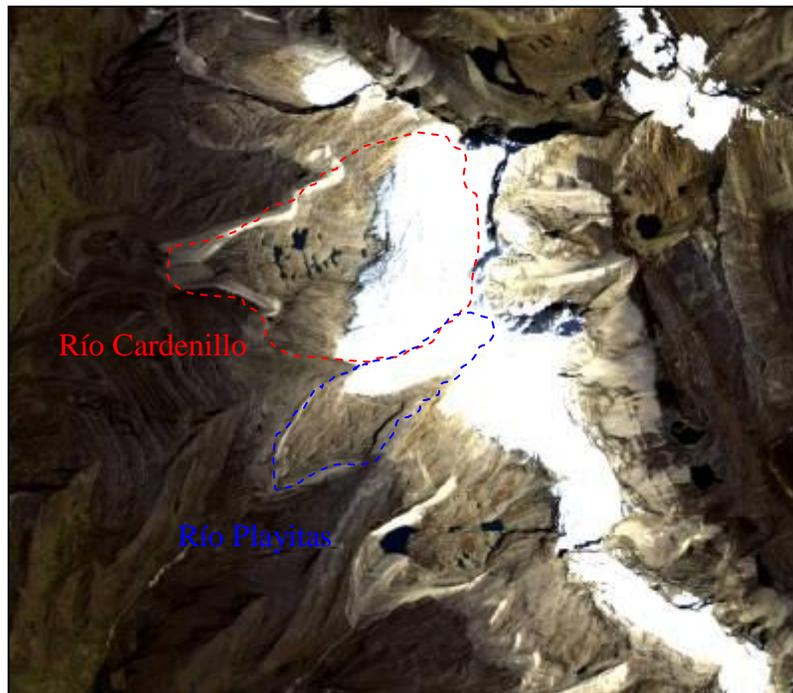


Figura 62. Cuencas de estudio sierra nevada de El Cocuy.

7.2.1 Pluviómetros totalizadores ubicados en el glaciar Ritacuba Blanco (cuenca río Playitas)

Esta cuenca se encuentra ubicada al noroccidente de la sierra nevada de El Cocuy (Figura 63). En ella se encuentran instalados tres pluviómetros totalizadores a diferentes altitudes (Figura 64) y se capturan datos de precipitación de manera bimensual. (Tabla 13).



Figura 63. Cuenca alta río Playitas, sierra nevada de El Cocuy.

Tabla 13. Ubicación de los pluviómetros totalizadores en la cuenca alta del río Playitas.

Pluviómetro	Latitud N.	Longitud W.	Altitud (m)
N° 1	6° 28' 46.8"	72° 20' 25"	4036
N° 2	6° 29' 02"	72° 19' 56.3"	4366
N° 3	6° 29' 41.4"	72° 19' 6.3"	4852



Figura 64. Fotografías de los pluviómetros totalizadores ubicados en la cuenca alta del río Playitas sierra nevada de El Cocuy.

Los valores de precipitación mensual en la cuenca alta del río Playitas se representan en la Figura 65.

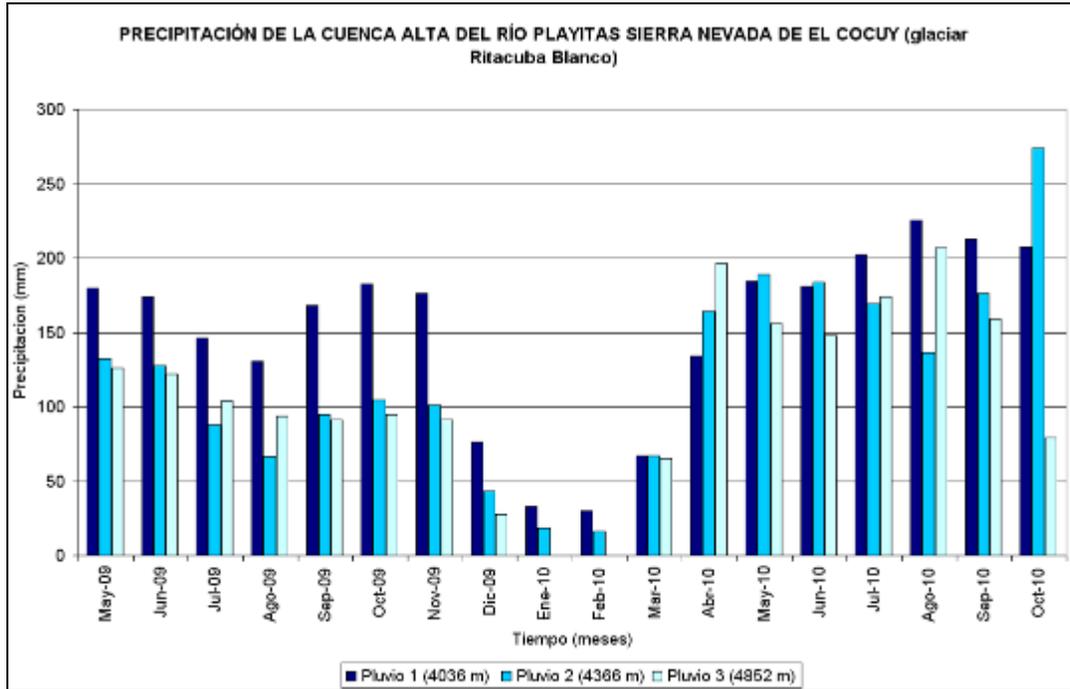


Figura 65. Medidas de precipitación capturadas por medio de los pluviómetros totalizadores ubicados en la cuenca del río Playitas.

7.2.2 Datos medios mensuales de la estación meteorológica automática satelital nevado de El Cocuy (4676 m.)

Esta estación automática satelital se encuentra ubicada en las coordenadas 72° 19' 4.1'' longitud Oeste, 6° 30' 40.6'' latitud Norte, a una altitud de 4665 m. Fue instalada el 11 de diciembre de 2006 y está equipada con los siguientes sensores (Tabla 14):

Tabla 14. Sensores instalados en la estación automática satelital nevado de El Cocuy.

Sensor	Unidad de medida	Frecuencia de medición
Temperatura del aire a 2 m	°C	Hora
Temperatura máxima del aire a 2 m	°C	Hora
Temperatura mínima del aire a 2 m	°C	Hora
Humedad relativa del aire a 2 m	%	Hora
Radiación UVB	W/m ²	Hora
Radiación Global	W/m ²	Hora
Precipitación sólida	mm	10 minutos

Velocidad del viento	m/s	10 minutos
Presión atmosférica	Hpa	1 hora
Temperatura del suelo a 30 cm	°C	1 hora

Los datos capturados por medio de los sensores han sido analizados y procesados iniciando con la construcción de la serie histórica de datos. Los resultados de los análisis de esta información serán presentados en el informe de actividades glaciológicas 2011.

De manera general se han cuantificado las principales variables meteorológicas encontrando que:

- La temperatura promedio es de 1,7 °C,
- La radiación ultravioleta tiene valores medios de 0,3 W/m².
- La humedad relativa oscila entre el 80% y el 100 %
- La presión atmosférica es de 531 mb.
- La precipitación es de 970 mm anuales.
- El viento tiene valores máximos hasta de 20 m/seg.

8. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS COMUNIDADES HUMANAS DE ALTA MONTAÑA A LA PÉRDIDA DE LOS GLACIARES.

Los glaciares colombianos no son masas de hielo aisladas de la realidad social y de los territorios habitados por la gente de la alta montaña. Los cerros nevados tienen una funcionalidad social y cultural, siendo componentes con distinto grado de importancia de los espacios geográficos construidos por los hombres y las mujeres que habitan en su área de influencia. Las mediciones y análisis hidroglaciológicos realizados por el IDEAM durante los últimos años, son una base interesante para la construcción de conocimiento que relacione las características socioculturales de la gente de la alta montaña con las masas de hielo, y que permita analizar las implicaciones del cambio climático global y de la consecuente deglaciación, en las dinámicas de esas poblaciones. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y partiendo de las experiencias piloto en las cuencas del Río Claro (Villamaría, Caldas) y del Río Lagunillas (El Cocuy, Boyacá), durante el año 2010 se adelantaron análisis sobre la vulnerabilidad de las comunidades asentadas en la alta montaña (áreas por encima de los 2700msnm) del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy, a la pérdida del agua superficial de fusión glaciar.

8.1 Teoría y método de análisis.

Pese a que “El término ‘vulnerabilidad’ no tiene una definición aceptada universalmente” (Downing et.al., 2006; p.71), las aproximaciones de diferentes autores con trabajos al respecto⁴ coinciden en tres términos clave: fenómeno amenazante⁵, exposición⁶ y sensibilidad⁷. Estos tres elementos jugarían un papel importante en la evaluación de la vulnerabilidad de grupos humanos frente a eventos extremos.

⁴ El IPCC (1997) en una de las definiciones más difundidas, toma el concepto de vulnerabilidad como “el grado en que un sistema natural o social podría resultar afectado por el cambio climático.” (IPCC, 1997; p.1). Por otro lado, la evaluación de la vulnerabilidad de las zonas costeras al ascenso del nivel del mar, realizada por el IDEAM (2001) conceptualiza el término “como el grado de daño o pérdida de un elemento (corporal, estructural, social, económico) expuesto como resultado de la ocurrencia de un fenómeno amenazante” (IDEAM, 2001; p.7). UN-PIGA (2009) en su estudio sobre vulnerabilidad y riesgo en el volcán Machín, define el término como “la susceptibilidad o característica intrínseca de un elemento o grupo de elementos de ser dañado total o parcialmente por el impacto de una amenaza.”(UN-PIGA, 2009; p.23). Prieto (2008), define la vulnerabilidad como “el grado de exposición en la que se encuentran determinados grupos sociales y sus medios de supervivencia por los impactos derivados del cambio climático en el recurso hídrico superficial de origen glaciar” (Prieto, 2008; p.20). Y por último, el IDEAM (2010b) en el marco de la Segunda Comisión Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, adhiere a los lineamientos propuestos por el IPCC y define la vulnerabilidad como “el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos” (IDEAM, 2010b; p. 225)

⁵ El término fenómeno amenazante o *amenaza*, se puede utilizar para “describir un evento climático definido físicamente que tiene el potencial de causar daños” (PNUD, 2006; p.248). Para efectos de la investigación adelantada por el IDEAM, la amenaza estaría dada por la pérdida de la escorrentía superficial asociada al agua de fusión glaciar, en un escenario de desaparición total o parcial de los picos nevados del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy.

⁶ Se define como “la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los eventos peligrosos” (Cardona, 2003; p.13). Para términos del presente estudio, la exposición resultaría de la relación de las comunidades locales presentes en el área de estudio, con el agua de escorrentía superficial proveniente de los glaciares.

El texto de Chavarro et.al. (2008) presenta un modelo conceptual en el que, con alguna modificación, cabrían esos tres conceptos presentados hasta el momento para definir la vulnerabilidad. Teniendo como base el mismo esquema, es necesario introducir un componente más al análisis de la vulnerabilidad: la capacidad adaptativa, entendida como “la propiedad de un sistema de ajustar sus características o su comportamiento para poder expandir su rango de tolerancia bajo la variabilidad climática existente o condiciones climáticas futuras” (PNUD, 2006; p.248). En el contexto del estudio, se diferenció la capacidad adaptativa en dos: capacidad intrínseca de adaptación, entendida como el conjunto de procesos propios de la estructura social y cultural de las comunidades que les permite reaccionar ante un cambio climático; y la capacidad extrínseca de adaptación, como el conjunto de mecanismos institucionales que permiten una mejor adaptación a los cambios en el entorno.

Así las cosas, tendríamos el siguiente esquema conceptual para definir la vulnerabilidad (Figura 66):

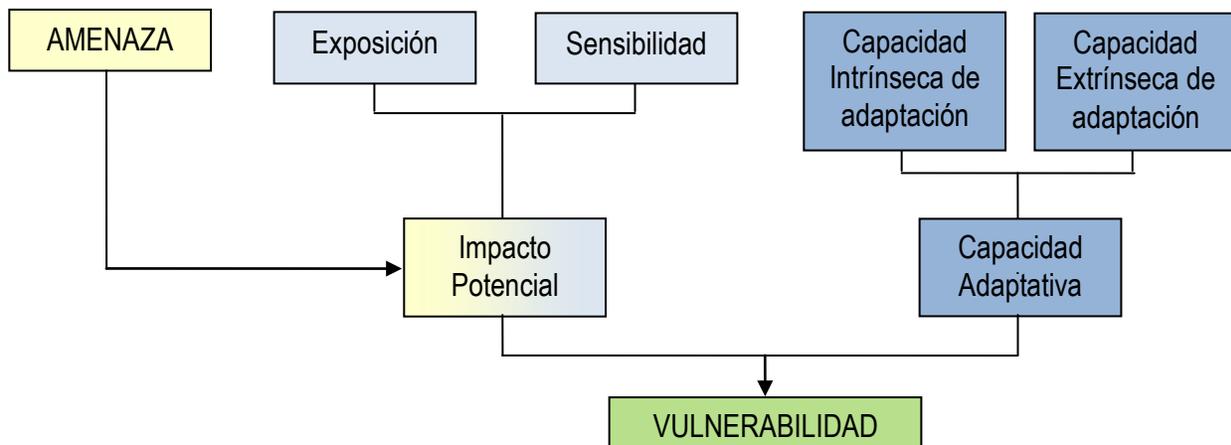


Figura 66. La vulnerabilidad y sus componentes. Elaboración propia a partir de Chavarro et.al. 2008

A partir del esquema anterior y siguiendo la conceptualización propuesta por Chavarro et.al (2008), podemos definir la vulnerabilidad como el conjunto de las “Características del elemento expuesto en cuanto se refiere a (la) capacidad de recibir, mitigar, asimilar y recuperarse ante el impacto de un fenómeno extremo” (Chavarro et.al., 2008; p.9). Como plantea la necesidad de identificar las características de los elementos o sujetos expuestos, esa definición permite introducir al estudio una consideración importante: cualquier relación de vulnerabilidad (alta, media o baja) de grupos humanos frente al cambio climático, se define a partir de dos características o estructurantes básicos: uno biogeofísico, que incluye la descripción y análisis de las

⁷ “grado al cual (sic) un sistema se ve afectado, ya sea positiva o negativamente, por estímulos relacionados con el clima” (PNUD, 2006; p.250) Para comprender la sensibilidad es necesario analizar las características propias del sistema expuesto, es decir los factores de vulnerabilidad (Macchi, 2008).

características climáticas, hidrológicas, geomorfológicas, ecosistémicas y edafológicas (según corresponda a las necesidades de investigación) que identifican a los espacios geográficos de las comunidades estudiadas; y uno sociocultural, en el cual se analizan las formas social y culturalmente aceptadas de uso y apropiación de ese entorno biogeofísico cambiante por efectos del cambio climático, así como las relaciones de dependencia entre la gente y los elementos del entorno (en este caso, el agua superficial de fusión glaciar). Esa relación entre elementos socioculturales y biogeofísicos resulta fundamental y básica para entender por qué una comunidad es más o menos vulnerable frente al cambio climático, complementando los enfoques más inclinados a describir la vulnerabilidad a partir de la modelación de los cambios previstos en los ecosistemas y de la cuantificación de los elementos expuestos.

Ahora bien, con el fin de operativizar el esquema de la vulnerabilidad, es posible definir una ecuación general para relacionar conceptualmente las categorías de amenaza, exposición, sensibilidad y adaptación, y así estimar la vulnerabilidad de las poblaciones humanas con relación a la pérdida de agua superficial de deshielo:

$$VP= E+S-(CAi+CAe)$$

Dónde:

VP: Vulnerabilidad de la población.

E: Grado de exposición.

S: Sensibilidad.

CAi: Capacidad intrínseca de adaptación.

CAe: Capacidad extrínseca de adaptación.

La aplicación de la anterior ecuación no es necesariamente numérica. Si bien se asignan ponderaciones numéricas a las variables incluidas en cada categoría, lo más importante es que brinda la capacidad de entender la vulnerabilidad en términos descriptivos; es decir, argumentando cómo es la exposición, cuáles las variables sensibles y cómo son las capacidades de adaptación de cada comunidad o vereda. Para tales efectos, cada variable se agrupa en una matriz como la que se expone a continuación, matriz que al final permite tener una lista de chequeo con las características que hacen más o menos vulnerables a las comunidades frente al proceso de derretimiento glaciar (Tabla 15):

Tabla 15. Matriz de evaluación de la vulnerabilidad. Las condiciones de cada vereda estudiada se detallan en esta matriz, la cual permite identificar cuál es la exposición, la sensibilidad y las capacidades adaptativas de cada comunidad y de su espacio geográfico.

VEREDA	EXPOSICIÓN	SENSIBILIDADES				CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	
		RELACIÓN OFERTA-DEMANDA HÍDRICA	PERCEPCIÓN DE LAS ZONAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA Y SITIOS DE CAPTACIÓN	COBERTURA DEL SUELO	USO DEL ESPACIO	CAPACIDAD INTRÍNSECA DE ADAPTACIÓN	CAPACIDAD EXTRÍNSECA DE ADAPTACIÓN

La matriz fue utilizada con información primaria y secundaria reunida durante la investigación. Haciendo una exhaustiva revisión de las fuentes escritas existentes, se utilizaron elementos del Estudio Nacional del Agua del IDEAM, la información consignada en los POMCA (Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas) de las cuencas estudiadas, los documentos de ordenamiento territorial de cada municipio, las bases de datos Sisbén, los archivos de concesiones de aguas, el mapa de coberturas del suelo realizado por el IDEAM, estadísticas agropecuarias municipales, los estudios de estado actual de páramos, los planes y programas sobre cambio climático y alta montaña de las Corporaciones Autónomas, y el conjunto de tesis y disertaciones académicas existentes y que tratan distintos aspectos de las zonas estudiadas relevantes al estudio. Toda esa información fue corregida y complementada con el trabajo en campo, consistente en herramientas de tipo cualitativo y pensadas para interactuar con las comunidades.

En resumen, y teniendo como base la propuesta de Downing, et.al. (2006), podemos señalar los siguientes pasos generales para el manejo de la información y la evaluación de la vulnerabilidad dentro del estudio (Figura 67).

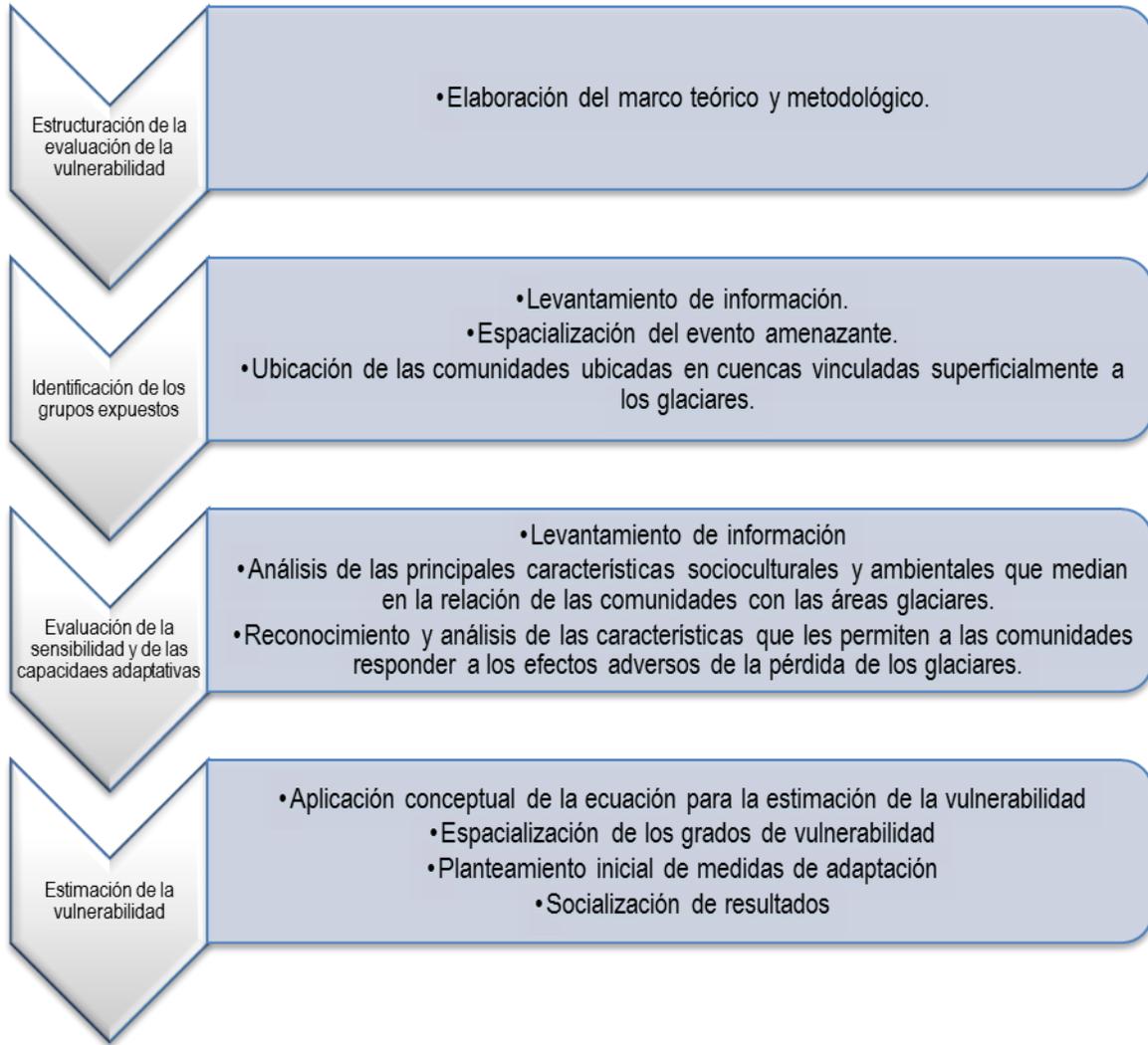


Figura 67. Pasos para la evaluación de la vulnerabilidad.

Como se mencionó en líneas anteriores, el trabajo de campo fue básico para complementar la información que reside en fuentes secundarias y de archivo. Teniendo en cuenta las limitaciones existentes sobre la disponibilidad de la información socioeconómica y cultural de la alta montaña colombiana, se diseñaron un conjunto de herramientas para abordar los trabajos de campo, interactuar con las comunidades locales y sacar el máximo provecho a las comisiones y trabajos de campo. En el siguiente esquema se exponen las herramientas implementadas en el estudio de la vulnerabilidad a la pérdida de los glaciares (Figura 68):

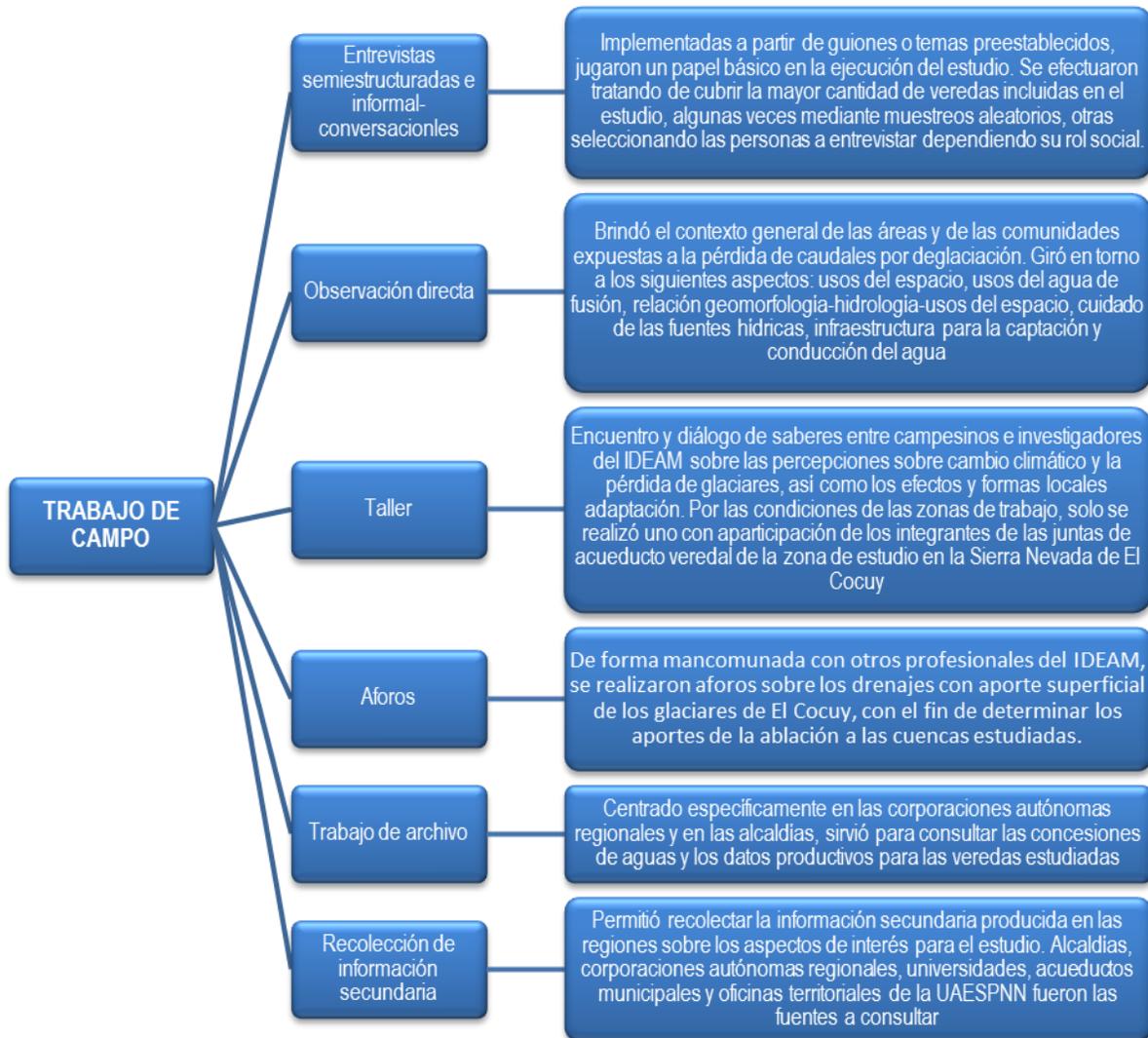


Figura 68. Herramientas implementadas en el trabajo de campo para la estimación de la vulnerabilidad de las comunidades humanas, frente al proceso de derretimiento glaciar en la alta montaña del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy.

Los trabajos de campo se enmarcaron en las comisiones ejecutadas por el IDEAM correspondientes a las labores mensuales del equipo de glaciares en las cimas nevadas de las áreas de estudio. De esta forma, se realizaron cinco comisiones distribuidas de la siguiente forma:

- 5 al 14 de abril de 2010: Cascos urbanos de los municipios con jurisdicción sobre el área de estudio del PNN Los Nevados y reconocimiento del área circundante al Volcán Nevado del Ruiz (costado occidental).

- 3 al 10 de mayo de 2010: Cascos urbanos de los municipios con jurisdicción sobre el área de estudio de la Sierra Nevada de El Cocuy y reconocimiento del valle del Río Lagunillas.
- 8 al 20 de junio de 2010: Veredas del área de estudio en los municipios de Manizales, Villamaría, Santa Rosa de Cabal, Pereira y Murillo.
- 21 al 30 de julio de 2010: Veredas del área de estudio en los municipios de Güicán y El Cocuy.
- 1 al 2 de septiembre de 2010: Cortolima y veredas del área de estudio en el municipio de Anzoátegui, Tolima.

De esta forma, se obtuvo una cantidad de información primaria y secundaria que fue fundamental en el desarrollo de los objetivos del estudio. Entre la información recopilada, podemos mencionar:

- Localización de los sistemas de abastecimiento hídrico vinculados a las aguas superficiales de deshielo.
- Percepciones locales sobre el cambio climático y la pérdida de los glaciares.
- Formas de uso y cuidado de las fuentes hídricas.
- Usos sociales otorgados a los glaciares.
- Concesiones de agua expedidas por Cortolima, Corpocaldas, CRQ, CARDER y Corpoboyacá, para los municipios y cuencas objeto de estudio.
- Aforos de las cuencas provenientes de la Sierra Nevada de El Cocuy.
- POT's, EOT's y PBOT's de los municipios objeto de estudio.
- POMCAS de las cuencas del Río Chicamocha, Río Chinchiná, Río Otún, Río Coello, Río Recio, Río Totare y Río Lagunilla.
- Estudios de Estado Actual de los Páramos de los departamentos de Tolima, Caldas y Boyacá.
- Planes de Manejo de los Parques Nacionales Naturales Los Nevados y El Cocuy.
- Bases de datos Sisbén para las veredas objeto de estudio, excepción de los municipios de Murillo, Casabianca, Villa Hermosa, Santa Isabel y Anzoátegui⁸, en donde, pese a la gestión, no se ha conseguido acceder a la información.
- Cartografía de áreas protegidas para las zonas de estudio, suministrada por la UAESPNN en formato .shp.
- Cartografía veredal de las zonas de estudio en formato shp y cad.
- Encuestas UMATA a los productores de las veredas de la zona de estudio en la Sierra Nevada de El Cocuy, con información básica sobre sistemas productivos.

⁸ En estos casos la información poblacional necesaria se obtuvo de los POMCAS realizados por Cortolima.

8.1.2 Áreas de estudio.

El IDEAM ha adelantado estudios en la alta montaña del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy, con el fin de conocer las relaciones de las comunidades locales con los glaciares y analizar los impactos del cambio climático. El análisis de vulnerabilidad en el PNN Los Nevados incluyó los espacios geográficos⁹ establecidos por encima de los 2700 m de altitud, tanto en la vertiente oriental como occidental del parque; en total 32 veredas (Figura 69) habitadas por unas 3153 personas (según datos Sisbén), todas ellas pertenecientes a comunidades campesinas¹⁰. El caso de la Sierra Nevada de El Cocuy es diferente. Las vertientes de la Sierra son territorios distintos, habitados por comunidades con marcos culturales diferentes, más allá de las estrechas relaciones que han sostenido a través del tiempo. Por el costado oriental, la Sierra es habitada por hombres y mujeres del pueblo U'wa, que si bien incluyen como componente fundamental de su territorio el conjunto de cerros nevados, no tienen asentamientos permanentes por encima de los 2700 m de altitud, y no hacen uso del agua superficial de fusión glaciar por razones que se explicarán en líneas posteriores. Por ende, el estudio de vulnerabilidad a la pérdida de agua superficial de fusión glaciar para la Sierra Nevada de El Cocuy, se centró en las 12 veredas de la vertiente occidental (Figura 70), habitadas según información Sisbén por 3513 hombres y mujeres, con costumbres propias de las comunidades campesinas.

⁹ La alta montaña entendida como espacio geográfico, se estructura a partir de una compleja amalgama de relaciones ambientales entre las comunidades locales y el entorno biogeofísico. En ese sentido, la alta montaña se piensa, se interpreta, se transforma y se le otorga un uso social a los elementos del espacio biogeofísico, como las áreas glaciadas.

¹⁰ Fals Borda (1973), explica claramente esos elementos que caracterizan a las comunidades campesinas de los Andes. Aún teniendo en cuenta que las dinámicas campesinas han variado con la irrupción de la economía de mercado, las actuales relaciones ciudad-campo, la consolidación del discurso ambientalista y las llamadas nuevas ruralidades, las características expuestas por el autor, definen buena parte de la vida social de las comunidades que habitan alrededor del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy: identidad con el trabajo de la tierra, dependencia de las actividades agropecuarias, dinámicas de socialización ligadas al compadrazgo, organización territorial en torno a las veredas, entre otras.

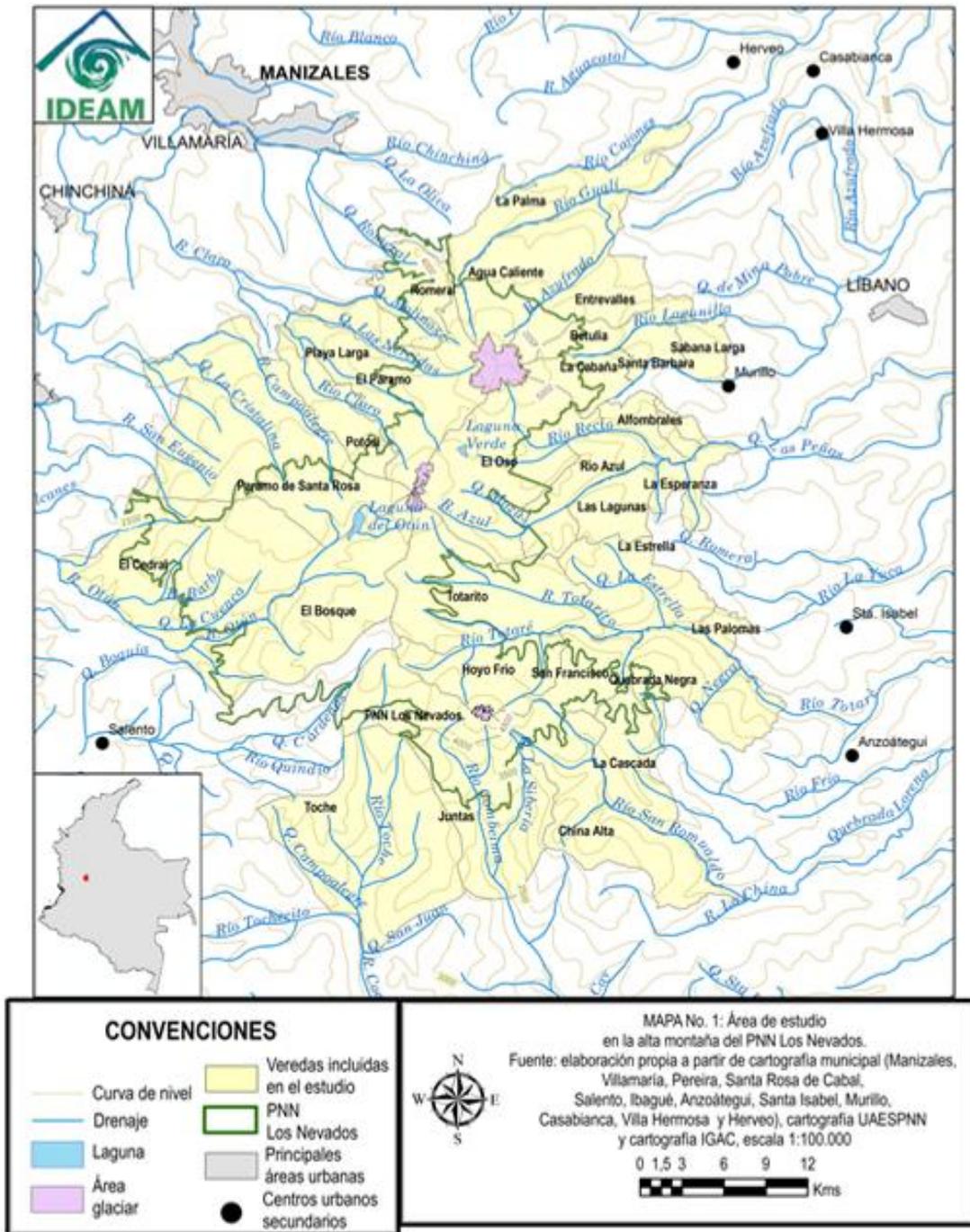


Figura 69. Zona de estudio PNN Los Nevados.

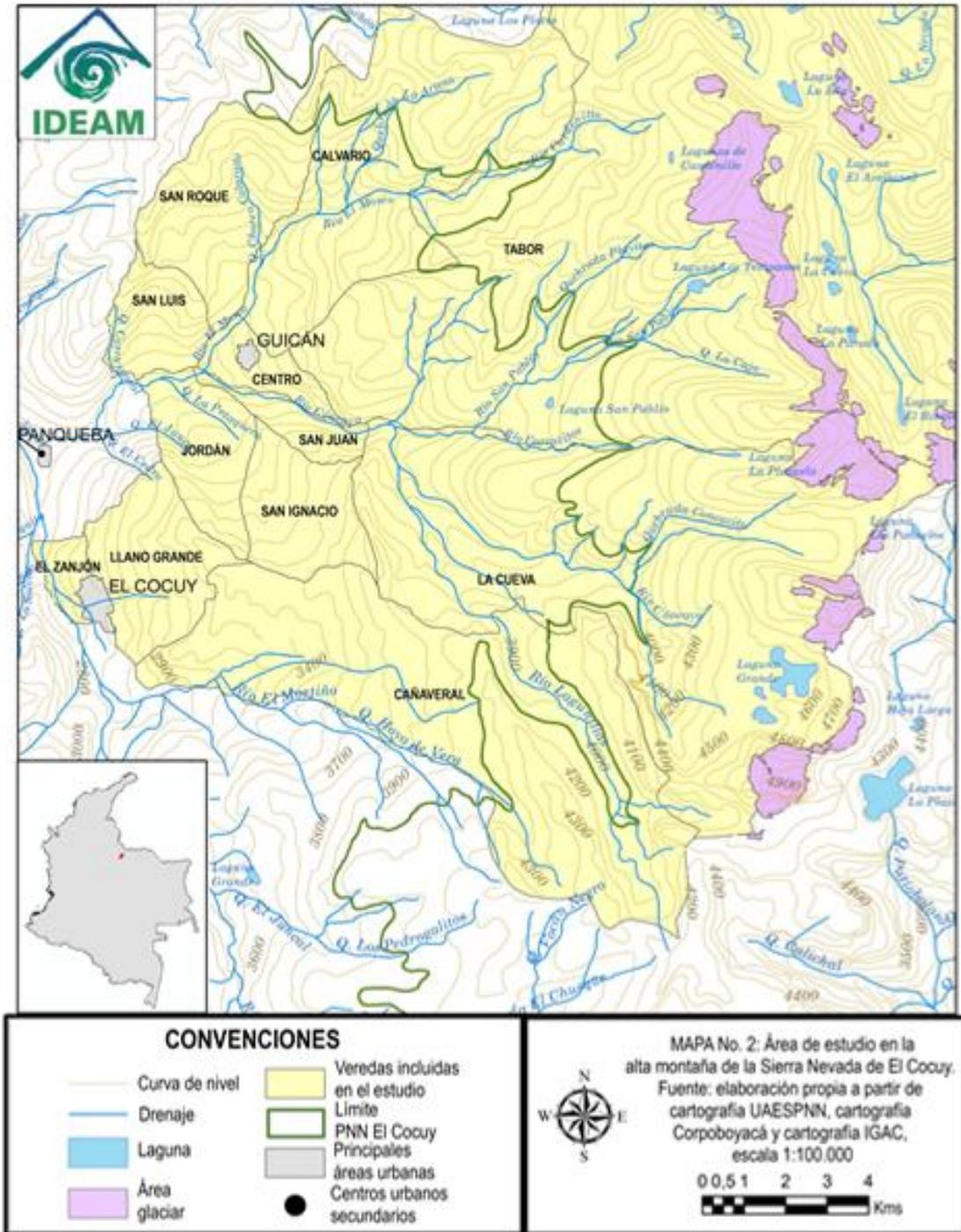


Figura 70. Zona de estudio PNN El Cocuy.

8.1.3 Resumen de los resultados obtenidos.

El cambio climático, entendido como “cualquier cambio en el clima que ocurra con el tiempo, ya sea a causa de la variabilidad natural o de la actividad humana” (Lim, et. al. 2005; p.248), viene generando en las altas montañas colombianas un efecto generalizado, que se expresa en el aumento de las temperaturas y en la disminución de las precipitaciones (Pabón y Hurtado, 2002; IDEAM, 2010b).

Los cambios en esas dos variables meteorológicas repercuten directamente en la dinámica glaciar de las montañas nevadas de La Sierra Nevada de El Cocuy y el PNN Los Nevados. El glaciar, entendido como una “masa de hielo en movimiento que incluye detritos rocosos y se caracteriza por el balance entre la alimentación (acumulación) y la fusión (ablación)” (IDEAM-UN, 1997; p.23), depende en buena medida de la temperatura y la precipitación para mantenerse en el tiempo con una relación favorable ablación-acumulación. La isoterma 0°C, es decir el punto donde inicia la precipitación sólida que alimenta al glaciar, se ubica altitudinalmente respondiendo a las variaciones en la temperatura atmosférica. En un escenario como el actual, la isoterma 0°C se ubica aproximadamente a 4800 m de altitud (IDEAM, 2010) pero, a medida que aumenta la temperatura de la alta montaña, tiende a ubicarse progresivamente a mayor altitud, reduciendo el área de alimentación del glaciar (acumulación) y aumentando la zona de pérdida (ablación). Si tenemos en cuenta que los glaciares del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy son glaciares ecuatoriales de montaña limitados altitudinalmente, es de esperar que, gradualmente, la isoterma 0°C alcance la cima montañosa y que poco a poco los glaciares del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy queden totalmente en zona de ablación y de precipitación líquida.

La virtual desaparición de las áreas glaciadas del PNN Los Nevados y de la Sierra Nevada de El Cocuy, redundaría en la pérdida de una de las entradas al sistema hídrico de la alta montaña de esas zonas. Vale la pena mencionar que los glaciares retienen agua en estado sólido, que liberan a sus cuencas por medio del proceso de fusión. Esquemáticamente, una cuenca con superficie parcialmente glaciada, presenta el comportamiento expuesto en el siguiente esquema (Figura 71):

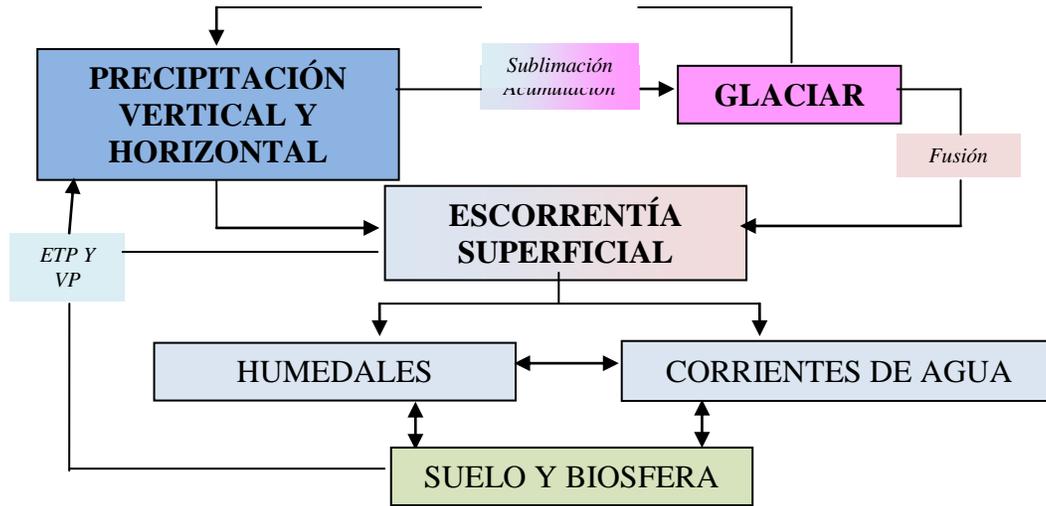


Figura 71. Modelo simplificado del comportamiento superficial de una cuenca con área parcialmente glaciar.

A partir de la pérdida de las áreas glaciares del PNN Los Nevados de la Sierra Nevada de El Cocuy, las cuencas superficialmente vinculadas a ellos perderían el caudal aportado por la fusión del hielo, generando impactos potenciales en los caudales, especialmente en las temporadas secas cuando los glaciares aportan la mayor cantidad de agua. Si bien es cierto que la desaparición de un glaciar es sucedida por sistemas lagunares represados por morrenas (v.p.ej. Laguna del Otún y Laguna Verde en el PNN Los Nevados, o la Laguna Grande de la Sierra en El Cocuy), y dichos sistemas también son considerados como reservorios de agua (Florez y Ríos, 1998; Duque y Carranza, 2008), en un escenario caracterizado por el descenso en los niveles de precipitación, las cuencas necesitarían del agua del deshielo para regular los caudales en las temporadas secas interanuales.

El agua de esas cuencas parcialmente glaciadas, puede ser fundamental para los hombres y las mujeres que habitan la alta montaña. En el esquema siguiente se plasman gráficamente las principales actividades humanas relacionadas con las fuentes hídricas de la alta montaña, sean o no provenientes de los glaciares (Figura 72):



Figura 72. Actividades de las comunidades que habitan la alta montaña, relacionadas con el recurso hídrico. Fuente: elaboración propia.

Así las cosas, integrando las Figuras 71 y 72 en un marco de cambio climático, tendríamos un marco general para analizar las implicaciones de la deglaciación sobre la gente de la alta montaña (Figura 73):

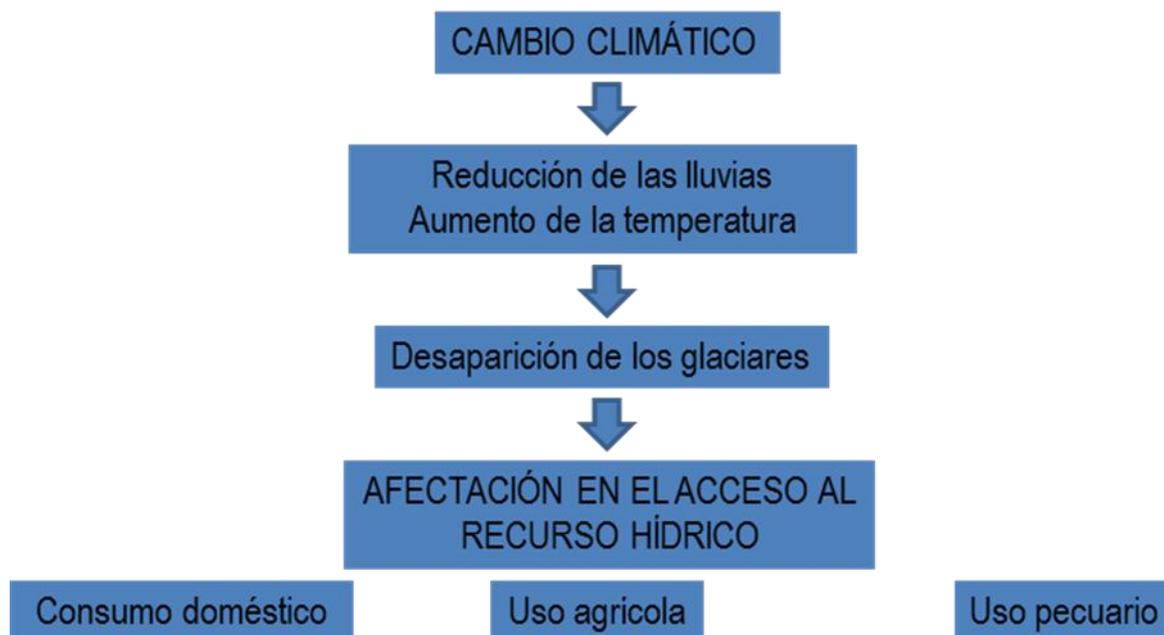


Figura 73. Descripción general de la amenaza para el presente estudio de vulnerabilidad.

A partir del marco general de la Figura 73, se aplicó la teoría y método expuestos en la primera parte de este acápite para estimar la vulnerabilidad. Así las cosas, el siguiente cuadro condensa las características analizadas en términos de exposición, sensibilidad y capacidades adaptativas (Tabla 15):

Tabla 16. Descripciones, cualidades y ponderaciones de las variables o características tenidas en cuenta para la estimación de la vulnerabilidad de las comunidades de alta montaña, a la pérdida de agua superficial de fusión glaciar en el PNN Los Nevados y en la Sierra Nevada de El Cocuy¹¹

VARIABLE-CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	CUALIDAD	PONDERACIÓN NUMÉRICA
Exposición	Comunidades que habitando o no una cuenca parcialmente glaciada, toman el agua directamente de los drenajes afectados por el fenómeno amenazante, es decir, de aquellas corrientes de agua que están relacionadas superficialmente con los glaciares.	Exposición directa	5
	Comunidades que habitan cuencas con aporte superficial de agua de fusión, pero que en la actualidad no tienen vinculados sus sistemas de abastecimiento hídrico a dichas corrientes	Exposición indirecta	0
Relación oferta-demanda hídrica	Baja oferta hídrica respecto a la demanda en un escenario de pérdida de agua de fusión glaciar	Alta sensibilidad	5
	Oferta hídrica superior a la demanda, en un escenario de pérdida de agua fusión glaciar	Baja sensibilidad	0
Percepción y uso de fuentes hídricas	Percepción de un sistema hídrico ligado a las aguas del nevado, en calidad y cantidad, con vinculación directa a los drenajes con aporte superficial de agua de fusión	Alta sensibilidad	5
	Percepción de un sistema hídrico ligado a los nacimientos y fuentes menores, con formas de ordenamiento del espacio que impiden acceder fácilmente a los drenajes vinculados superficialmente a los glaciares	Baja sensibilidad	0
Cobertura del suelo	Veredas con coberturas de espacios "naturales" por debajo de la media (45%), con más porcentaje de coberturas de espacios "materialmente antropizados" que "seminaturales"	Alta sensibilidad	3
	Veredas con coberturas de espacios "naturales" por debajo de la media (45%), con más porcentaje de coberturas "seminaturales" que de espacios "materialmente antropizados"	Sensibilidad media-alta	2

¹¹ Como se puede apreciar, los valores numéricos más altos se han otorgado a la exposición directa, al alto grado de sensibilidad por la relación oferta-demanda y a la percepción de las zonas de importancia hídrica y sitios de captación. Conceptualmente, se considera que esas tres variables estructuran en una mayor medida las relaciones de dependencia y de vulnerabilidad entre las comunidades y los glaciares. La exposición directa, por ejemplo, permite definir quienes toman agua de drenajes superficialmente vinculados a los glaciares, condición básica y necesaria para analizar la vulnerabilidad; de otro lado, una relación oferta-demanda del recurso hídrico en la cual los valores de escorrentía sean más bajos que los necesarios para las actividades socioculturales de las comunidades locales, evidenciará un escenario de escasez que en últimas, sería la consecuencia directa de la pérdida de agua superficial de fusión glaciar. Por último, la percepción de las zonas de importancia hídrica da cuenta de la concepción que sobre el ciclo hídrico tienen las comunidades locales. Entender al glaciar como la principal fuente de abastecimiento estructura el uso del recurso hídrico, así como la búsqueda de sitios de captación asociados a los glaciares.

	Veredas con coberturas de espacios "naturales" por encima de la media (45%) con porcentaje de coberturas de espacios "materialmente antropizados" superiores a 10% y mayor que las coberturas "seminaturales"	Sensibilidad media-baja	1
	Veredas con coberturas de espacios "naturales" por encima de la media (45%) con más porcentaje de coberturas "seminaturales" que de espacios "materialmente antropizados"	Baja sensibilidad	0
Uso del espacio	Sistema papero y sistema papa-ganadería	Alta sensibilidad	3
	Sistema maíz-ganadería	Sensibilidad media-alta	2
	Ganadería extensiva y agricultura diversificada y ganadería	Sensibilidad media-baja	1
	Conservación	Baja sensibilidad	0
Capacidad intrínseca de adaptación	Comunidades que perciben el cambio climático, tienen prácticas locales de conservación del recurso y una organización social y gestión del recurso agua.	Alta	3
	Comunidades con dos de las características de la capacidad intrínseca de adaptación	Media-alta	2
	Comunidades con una sola de las características de la capacidad intrínseca de adaptación	Media-baja	1
	Comunidades sin características de la capacidad intrínseca de adaptación	Baja	0
Capacidad extrínseca de adaptación	Con planes de manejo, estudios, planes y/o proyectos enfocados al estudio del cambio climático en la alta montaña, y procesos de divulgación y participación entre las comunidades locales	Alta	3
	Con planes de manejo, estudios, planes y/o proyectos enfocados al estudio del cambio climático en la alta montaña, y procesos de divulgación en las comunidades locales mínimos o incipientes	Media-alta	2
	Con planes de manejo, sin líneas de investigación planteadas sobre cambio climático en la alta montaña, pero con investigaciones y proyectos sobre uso sostenible de la alta montaña y del recurso hídrico	Media-baja	1
	Sin planes de manejo, sin líneas de investigación, planes y/o proyectos enfocados al estudio del cambio climático en alta montaña o temas similares	Baja	0

A partir de las categorizaciones anteriores y cruzando la información primaria y secundaria recopilada, se analizaron las características de las comunidades a escala veredal, arrojando los siguientes resultados generales (Tabla 17, Tabla 18):

Tabla 17. Resumen de los elementos para estimar la vulnerabilidad, veredas del área de estudio del PNN Los Nevados.

VEREDA	EXPOSICIÓN	SENSIBILIDAD				CAPACIDAD ADAPTATIVA	
		GRADO DE SENSIBILIDAD RELACIÓN OFERTA-DEMANDA HÍDRICA	GRADO DE SENSIBILIDAD POR PERCEPCIÓN DE LAS ZONAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA Y SITIOS DE CAPTACIÓN	GRADO DE SENSIBILIDAD COBERTURA DEL SUELO	GRADO DE SENSIBILIDAD POR USO DEL ESPACIO	CAPACIDAD EXTRÍNSECA DE ADAPTACIÓN	CAPACIDAD INTRÍNSECA DE ADAPTACIÓN
Páramo de Santa Rosa	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Media alta	Media alta
El Cedral	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Bajo	Media alta	Media alta
El Bosque	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Media alta	Media alta
Potosí	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Páramo	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Playa Larga	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Romeral	Indirecta	Bajo	Bajo	Alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Toche	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
PNN Los Nevados	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Media alta	Media alta
Juntas	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Medio-bajo	Media alta	Alta
La Palma	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Agua Caliente	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Alfómbrales	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
El Oso	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
La Cabaña	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Media alta	Media alta
La Cascada (Murillo)	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Alto	Media alta	Media alta
La Esperanza	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
La Estrella (Murillo)	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Alto	Media alta	Media alta
Las Lagunas	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Media alta	Media alta
Sabanalarga	Indirecta	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Media alta	Media alta
Santa Bárbara	Indirecta	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Media alta	Media alta
Río Azul	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Media alta	Media alta
La Cascada (Anzoátegui)	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Hoyo Frio	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
San Francisco	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
China Alta	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Quebrada Negra	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Alto	Media alta	Media alta

Betulia	Indirecta	Bajo	Bajo	Alto	Medio-bajo	Media alta	Media alta
Entrevallas	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Medio-bajo	Media alta	Media alta
La Estrella (Santa Isabel)	Indirecta	Bajo	Bajo	Medio-alto	Alto	Media alta	Media alta
Las Palomas	Indirecta	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Media alta	Media alta
Totarito	Indirecta	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Media alta	Media alta

Tabla 18. Resumen de los elementos para estimar la vulnerabilidad, veredas del área de estudio de la Sierra Nevada de El Cocuy.

VEREDA	EXPOSICIÓN	SENSIBILIDAD				CAPACIDAD ADAPTATIVA	
		GRADO DE SENSIBILIDAD POR RELACIÓN OFERTA-DEMANDA HÍDRICA	GRADO DE SENSIBILIDAD POR PERCEPCIÓN DE LAS ZONAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA Y SITIOS DE CAPTACIÓN	GRADO DE SENSIBILIDAD POR COBERTURA DEL SUELO	GRADO DE SENSIBILIDAD POR USO DEL ESPACIO	CAPACIDAD EXTRÍNSECA DE ADAPTACIÓN	CAPACIDAD INTRÍNSECA DE ADAPTACIÓN
Cañaveral	Directa	Bajo	Alto	Alto	Alto	Media baja	Media alta
El Zanjón	Directa	Bajo	Alto	Alto	Medio-bajo	Media baja	Media alta
Llano Grande	Directa	Bajo	Alto	Alto	Medio-bajo	Media baja	Media alta
Calvario	Directa	Bajo	Alto	Medio-bajo	Alto	Media baja	Media alta
Jordán	Directa	Bajo	Alto	Alto	Medio-alto	Media baja	Media alta
La Cueva	Directa	Bajo	Alto	Medio-bajo	Alto	Media baja	Media alta
San Ignacio	Directa	Bajo	Alto	Alto	Alto	Media baja	Media alta
San Luis	Directa	Bajo	Alto	Alto	Medio-bajo	Media baja	Media alta
San Roque	Directa	Bajo	Alto	Alto	Alto	Media baja	Media alta
Tabor	Directa	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Media baja	Media alta
San Juan	Indirecta	Bajo	Alto	Alto	Medio-bajo	Media baja	Media alta
Centro	Indirecta	Bajo	Alto	Medio-alto	Medio-alto	Media baja	Media alta

Así pues, operativizando las descripciones anteriores según las ponderaciones numéricas del cuadro 2 y haciendo uso de la fórmula propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad ($VP=E+S-(CAi+CAe)$), tendríamos un escenario de alta vulnerabilidad con un valor ponderado de 21 puntos, caracterizado por:

- Exposición directa al fenómeno amenazante
- Demanda de agua por encima de la oferta
- Percepción y uso de drenajes vinculados superficialmente a glaciares

- Coberturas de espacios "naturales" por debajo de la media (45%), con más porcentaje de coberturas de "espacios materialmente antropizados" que "seminaturales"
- Uso del espacio dedicado a sistemas paperos o de papa-ganadería
- Desconocimiento del fenómeno amenazante.
- Inexistencia de prácticas locales de conservación del recurso hídrico.
- Baja organización en torno a la gestión del agua.

Las características anteriormente enlistadas, nos darían el contexto de un espacio altamente vulnerable a la pérdida de agua superficial de fusión glaciar, el escenario más crítico y que puede resultar más afectado por el fenómeno amenazante. Sin embargo, las características de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de las comunidades estudiadas y de sus espacios geográficos, permiten afirmar que ese escenario altamente vulnerable a la pérdida de agua superficial de fusión glaciar, no está presente ni en la alta montaña del PNN Los Nevados, ni en la alta montaña de la Sierra Nevada de El Cocuy.

Los diferentes grados de vulnerabilidad se determinan dividiendo el valor máximo (21) en cuatro rangos: alto, medio-alto, medio-bajo y bajo, los cuales presentan una correspondencia conceptual y cualitativa. Adicionalmente se establece un rango más en la base, definiendo la vulnerabilidad nula con valores por debajo de cero. A continuación se muestran los rangos numéricos y literales de la vulnerabilidad (Tabla 19):

Tabla 19. Descripción y rangos numéricos de los grados de vulnerabilidad a la pérdida de agua de fusión glaciar.

GRADO DE VULNERABILIDAD A LA PÉRDIDA DE AGUA DE FUSIÓN GLACIAR	RANGO NUMÉRICO	DESCRIPCIÓN CUALITATIVA
Nula	≤0	No presenta asentamientos expuestos directamente al fenómeno amenazante, y por ende, no tiene afectación actual. En algunos casos, no se registran habitantes. Las condiciones de sensibilidad permiten inferir una tendencia en el mediano plazo a seguir en esa condición.
Baja	0,1-5,25	La mayor parte de sus asentamientos no están expuestos directamente al fenómeno amenazante, pero pueden presentar casos no representativos de exposición directa. En las veredas agrupadas bajo este grado de vulnerabilidad, las coberturas del suelo no favorecen del todo los procesos de regulación hídrica, y el uso del espacio está dirigido a actividades que demandan cantidades considerables de agua. Estas dos características podrían generar condiciones más altas de vulnerabilidad en el mediano o en el largo plazo.
Media baja	5,26-10,5	Característica de espacios expuestos directa o indirectamente, en los cuales las captaciones para el abastecimiento hídrico están vinculadas a drenajes mayores,

		en algunos casos relacionados con agua superficial de fusión glaciar. Existe un mayor porcentaje de coberturas del suelo relacionadas con espacios "seminaturales" (bosque fragmentado, mosaicos de cultivos y pastos con bosque y pastos enmalezados), y prevalecen los usos enfocados en actividades que demandan una considerable cantidad de agua (sistemas paperos, de papa-ganadería y/o de maíz ganadería). Tienen una capacidad adaptativa desarrollada que favorecería futuros proyectos para contrarrestar los efectos negativos de la deglaciación entre las comunidades.
Media alta	10,6-15,75	En esta categoría se agrupan los espacios expuestos directamente a la amenaza, y con elementos sensibles que, de continuar con la tendencia, pueden generar escasez del recurso hídrico y efectos adversos. Las comunidades que viven en estos espacios dependen de actividades con alta demanda hídrica (sistemas paperos y de papa-ganadería), vinculan sus sistemas de abastecimiento a drenajes que están superficialmente relacionados con el glaciar y generan unas coberturas del suelo de espacios "materialmente antropizados" (pastos y cultivos). Sin embargo, no se establecen escenarios actuales de déficit hídrico, ni condiciones similares que se puedan acentuar por la desaparición glaciar. Tienen una capacidad adaptativa desarrollada. Las comunidades de los espacios agrupados bajo esta categoría, podrían sentir de una forma más acentuada la desaparición de los glaciares en su oferta hídrica.
Alta	15,75-21	Con exposición directa, dependencia de las comunidades al agua de fusión glaciar, elementos que desequilibran la relación de las comunidades con el sistema hídrico y nula o baja capacidad adaptativa.

Al ejecutar la ecuación propuesta para estimar la vulnerabilidad según las características de cada vereda, y encasillar cada resultado en los grados de vulnerabilidad, se obtiene el resultado final del estudio que se espacializa en las Figuras 74 y 75 y se expone a continuación (Tabla 20, Tabla 21):

Tabla 20. Grado de vulnerabilidad a la pérdida de agua de fusión glaciar, veredas expuestas del PNN Los Nevados.

GRADO DE VULNERABILIDAD A LA PÉRDIDA DE AGUA DE FUSIÓN GLACIAR	RANGO	VEREDAS	TOTAL OBTENIDO EN LA PONDERACIÓN
Nula	≤0	Páramo de Santa Rosa	-4
		El Cedral	-2
		Potosí	-1
		Playa Larga	-1
		Romeral	0
		Toche	-1

		PNN Los Nevados	-4
		Juntas	-2
		La Palma	-2
		Agua Caliente	-2
		Alfómbrales	-1
		El Oso	-3
		La Cabaña	-1
		La Esperanza	-3
		Las Lagunas	-1
		Río Azul	-1
		La Cascada (Anzoátegui)	-1
		Hoyo Frío	-3
		San Francisco	-3
		China Alta	-2
		Quebrada Negra	0
		Betulia	0
		Entrevalles	-2
		Totarito	-4
		La Cascada (Murillo)	1
		La Estrella (Murillo)	1
		Sabanalarga	2
		Santa Bárbara	2
		La Estrella (Santa Isabel)	1
		Las Palomas	2
		Páramo ¹²	-2
Baja	0,1-5,25		

¹² Pese a que la sumatoria de las variables para la vereda El Bosque induciría a agrupar dicha unidad territorial en el nivel nulo de vulnerabilidad, El Bosque se incluye en el grado bajo de vulnerabilidad por presentar un asentamiento con exposición directa al fenómeno amenazante (predio Buenos Aires). Pese a que dicho asentamiento no es representativo del conjunto de propiedades de la vereda, la existencia de ese único caso iría en contravía de las características del nivel nulo de vulnerabilidad, en el cual ningún asentamiento estaría directamente expuesto a la amenaza.

		El Bosque ¹³	-1
Media baja	5,26-10,5		
Media alta	10,6-15,75		
Alta	15,75-21		

Tabla 21. Grado de vulnerabilidad a la pérdida de agua de fusión glaciario, veredas expuestas de la Sierra Nevada de El Cocuy.

GRADO DE VULNERABILIDAD A LA PÉRDIDA DE AGUA DE FUSIÓN GLACIARIO	RANGO	VEREDAS	TOTAL OBTENIDO EN LA PONDERACIÓN
Nula	≤0		
Baja	0,1-5,25		
Media baja	5,26-10,5	Tabor	10
		San Juan	6
		Centro	6
Media alta	10,6-15,75	Cañaveral	13
		El Zanjón	11
		Llano Grande	11
		Calvario	11
		Jordán	12
		La Cueva	11
		San Ignacio	13
		San Luis	11
San Roque	13		
Alta	15,75-21		

A nivel general, se puede explicar la condición de vulnerabilidad nula a baja de las comunidades que habitan la alta montaña del PNN Los Nevados por los siguientes estructurantes:

- Mayor escorrentía asociada a la precipitación.
- Utilización de nacimientos y otras fuentes no vinculadas a los glaciares.
- Bajas densidades poblacionales y suelos dedicados especialmente a la ganadería extensiva.
- Coberturas del suelo asociadas al páramo y a la selva altoandina.

¹³ Al igual que en el caso de la vereda El Bosque, la vereda El Páramo presenta al menos un asentamiento expuesto directamente a los efectos del fenómeno amenazante (Hacienda Buenos Aires), hecho que induce a una valoración del grado de vulnerabilidad, diferente a la expresada en términos numéricos.

- Percepción de los nacimientos como fuentes principales de abastecimiento hídrico.

Y por último, se exponen los siguientes factores como principales estructurantes de la condición de vulnerabilidad media-baja a media-alta de las comunidades que habitan la alta montaña de la Sierra Nevada de El Cocuy, frente a la pérdida de agua superficial de fusión glaciar:

- Relación directa con los drenajes superficialmente vinculados a los glaciares: 12 acueductos veredales y 1200 usuarios aproximados.
- Percepción de las áreas nevadas como las principales fuentes hídricas, lo que lleva a vincular los sistemas de abastecimiento a las fuentes relacionadas superficialmente a los glaciares.
- Menor precipitación.
- Mayor densidad poblacional y uso intensivo del suelo.
- Coberturas del suelo que no facilitan la adecuada regulación hídrica.

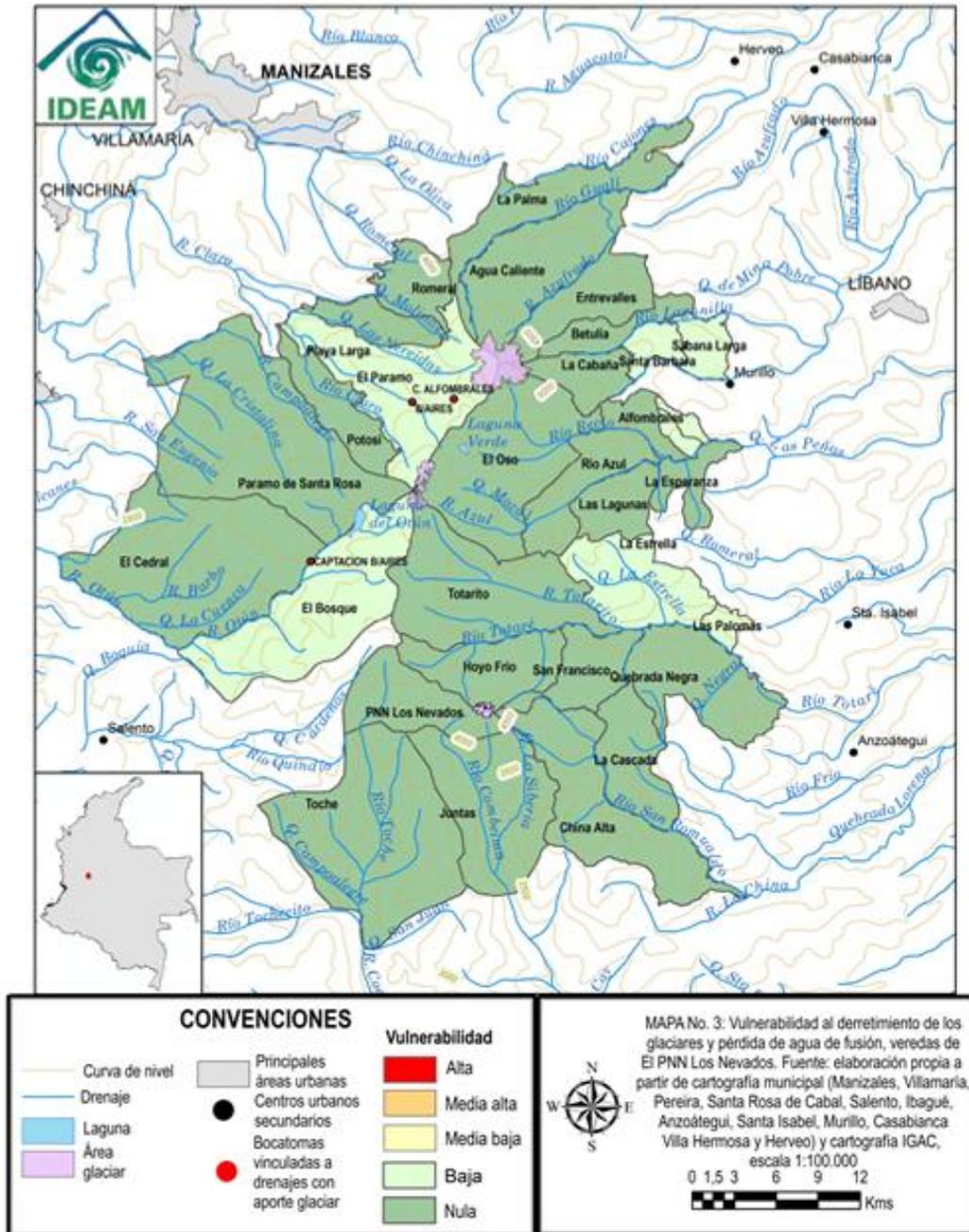


Figura 74. Vulnerabilidad PNN Los Nevados.

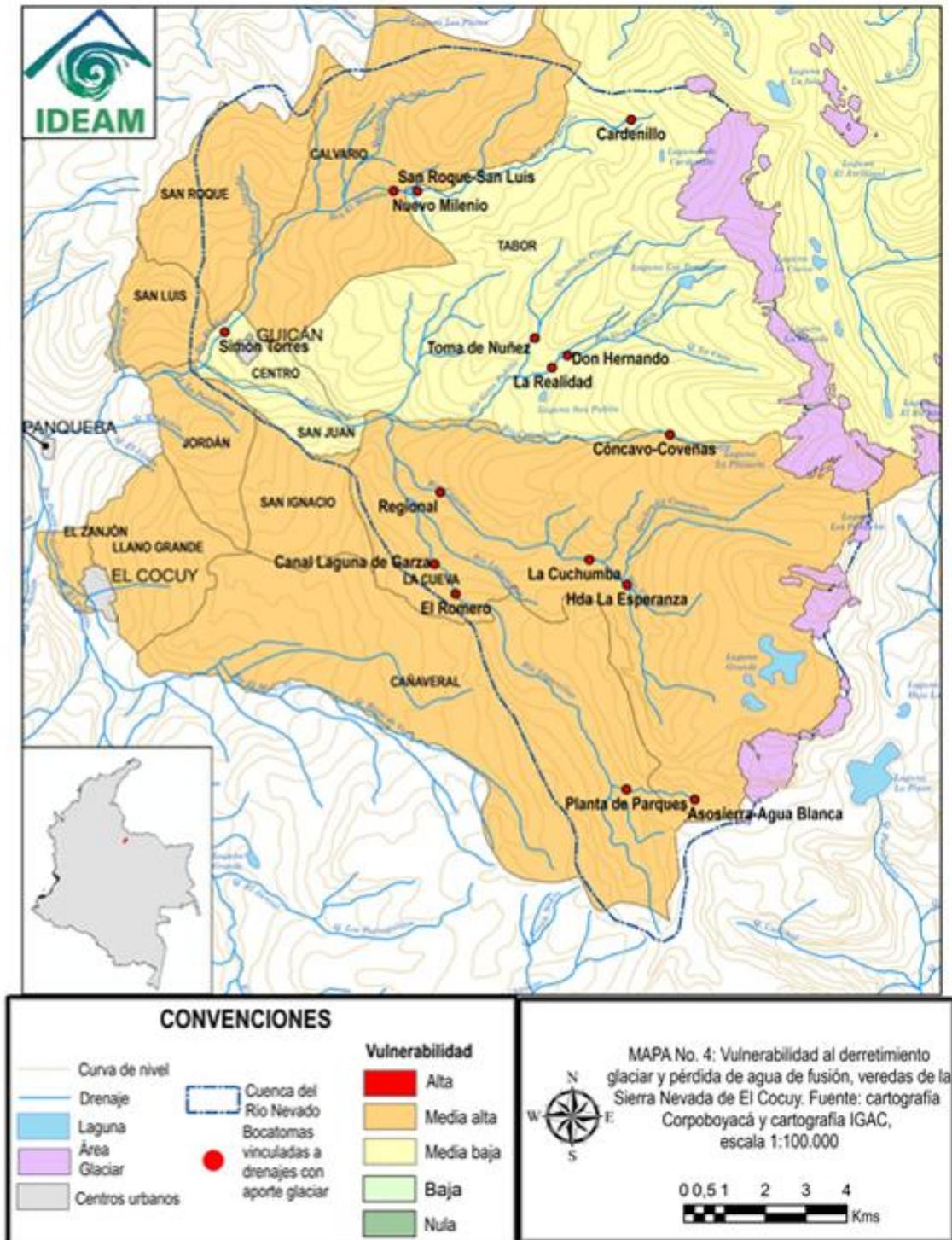


Figura 75. Vulnerabilidad PNN El Cocuy.

8.1.4 Recomendaciones.

A partir de los elementos analizados se pueden definir y sugerir una serie de medidas adaptativas puntuales e inmediatas para cada grado de vulnerabilidad, tal y como se expone en el siguiente cuadro-resumen (Tabla 22):

Tabla 22. Medidas recomendadas para hacer frente al derretimiento de los glaciares, según los grados de vulnerabilidad.

GRADO DE VULNERABILIDAD A LA PÉRDIDA DE AGUA DE FUSIÓN GLACIAR	MEDIDAS RECOMENDADAS
Nula	<ul style="list-style-type: none"> -Generar información sistemáticamente sobre el comportamiento hidrológico y climatológico de la alta montaña, estimulando la participación de la población campesina en su recolección, producción, manejo, uso y aprendizaje. -Mantener la protección de las coberturas de páramo y de los nacimientos y humedales, vinculando a la población que se beneficia de sus bienes y servicios ecosistémicos. -Impulsar proyectos de agricultura y ganadería sustentable.
Baja	<ul style="list-style-type: none"> -Generar información sistemáticamente sobre el comportamiento hidrológico y climatológico de la alta montaña, estimulando la participación de la población campesina en su recolección, producción, manejo, uso y aprendizaje. -Mantener y/o estimular la protección de las coberturas de páramo y de los nacimientos y humedales, vinculando a la población que se beneficia de sus bienes y servicios ecosistémicos. -Facilitar procesos de organización social en torno a la gestión del agua.
Media baja	<ul style="list-style-type: none"> -Generar información sistemáticamente sobre el comportamiento hidrológico y climatológico de la alta montaña, estimulando la participación de la población campesina en su recolección, producción, manejo, uso y aprendizaje. -Estimular la protección de las coberturas de páramo y de los nacimientos y humedales, vinculando a la población que se beneficia de sus bienes y servicios ecosistémicos. -Impulsar medidas sustentables (ecológica y socialmente hablando) para reconvertir los usos del suelo. -Generar mecanismos de pago por servicios ambientales capaces de estimular cambios en las coberturas actuales del suelo.
Media alta	<ul style="list-style-type: none"> -Generar información sistemáticamente sobre el comportamiento hidrológico y climatológico de la alta montaña, estimulando la participación de la población campesina en su recolección, producción, manejo, uso y aprendizaje. -Construir conocimientos en torno a las prácticas agrícolas y de usos del espacio que caracterizan a las comunidades de alta montaña. -Estructurar y aplicar de forma consensuada, medidas de uso eficiente del recurso agua. -Generar estudios sobre los usos tradicionales del recurso agua. -Fortalecer la capacidad de las comunidades locales para organizarse en torno a la gestión del recurso hídrico. -Estudiar las causas de los problemas distributivos en los sistemas de acueducto local, con el fin de generar proyectos sociales y de infraestructura que solucionen dichos conflictos. -Desestimular las prácticas productivas relacionadas con la agricultura vinculada a la economía de mercado (aplicación de paquetes tecnológicos de semillas y agroquímicos), ofreciendo alternativas sustentables (ambiental y socialmente hablando) para las comunidades.

	<ul style="list-style-type: none"> -Estimular la protección de las coberturas de los relictos de vegetación de páramo y de los nacimientos y humedales, vinculando a la población que se beneficia de sus bienes y servicios ecosistémicos. -Generar mecanismos de pago por servicios ambientales capaces de estimular cambios en las coberturas actuales del suelo.
Alta	<ul style="list-style-type: none"> -Generar información sistemáticamente sobre el comportamiento hidrológico y climatológico de la alta montaña, estimulando la participación de la población campesina en su recolección, producción, manejo, uso y aprendizaje. -Fortalecer la capacidad de las comunidades locales para organizarse en torno a la gestión del agua, acompañando la creación de juntas de acueducto veredal, facilitando la creación de espacios formales de discusión y toma de decisiones sobre el manejo del recurso hídrico, y garantizando la transmisión de los conocimientos científico-técnicos. -Estructurar y aplicar de forma consensuada con las comunidades, medidas de uso eficiente del recurso agua. -Generar estudios sobre potabilidad de las aguas, con el fin de realizar acciones encaminadas a la descontaminación de las fuentes hídricas. -Identificar las prácticas agrícolas y usos del espacio que más deterioren las fuentes hídricas y que más demanden agua, con el fin de desestimular su aplicación por medio de actividades y usos sustentables (social y ecológicamente hablando). -Establecer estudios y proyectos aplicados para la recuperación de nacimientos, humedales y zonas de recarga, para disminuir la dependencia de las comunidades locales a los sistemas hídricos relacionados superficialmente con las aguas de deshielo. -Generar mecanismos de pago por servicios ambientales capaces de estimular cambios en las coberturas actuales del suelo.

9. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS.

9.1 Instalación de las estaciones de donación del Proyecto PRAA.

Una de las actividades complementarias más relevantes en el año 2010 fue la instalación de dos estaciones meteorológicas automáticas, una fija y una móvil, donadas por la Secretaria General de la Comunidad Andina al IDEAM bajo el marco del convenio subsidiario de cooperación 009/2009 “Proyecto de Adaptación al Impacto del Rápido Retroceso de los Glaciares en los Andes Tropicales PRAA”.

La instalación de estas estaciones se realizó en los sitios predefinidos por el IDEAM en el volcán nevado Santa Isabel (glaciar Conejeras) y en la Sierra nevada de El Cocuy (La Laguna La Plaza).

9.1.1 Instalación de la estación meteorológica móvil de altitud (EMMA) en el Parque Nacional Natural Los Nevados, volcán nevado Santa Isabel glaciar Conejeras.

La instalación de la Estación Meteorológica Móvil de Altitud EMMA se realizó sobre la zona de ablación del glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel en el departamento de Caldas, Colombia.

La instalación de este equipo tiene como objetivo iniciar la cuantificación y cualificación de los flujos energéticos que se desarrollan sobre el glaciar para comprender la relación existente entre la dinámica del glaciar y el clima.

Esta actividad se desarrolló en el mes de agosto de 2010 con la participación los profesionales del IDEAM, Durespo S.A. y el INAMHI de Ecuador (Figura 76).



Figura 76. Proceso de instalación de la EMMA. Fotografías Jorge Ceballos.

9.1.2 Instalación de la estación meteorológica Laguna la Plaza.

Para la instalación de la estación fija en la laguna La Plaza, departamento de Arauca, Colombia, se utilizó la misma distribución y configuración de la EMMA (Figura 77).



Figura 77. Instalación estación meteorológica fija Laguna La Plaza sierra nevada de El Cocuy, septiembre de 2010.

Para realizar la instalación de la estación fue necesario socializar con los representantes de la Comunidad Indígena del Resguardo Unido U'wa (Figura 78) debido a que la Laguna La Plaza está ubicada dentro de su territorio. En esta actividad se les entregó información relacionada con el proyecto y se les dio una breve explicación del funcionamiento, utilidad e importancia de los equipos instalados (Figura 79).



Figura 78. Socialización realizada a los representantes de la comunidad indígena U'wa. *Fotografía Leonardo Real.*



Figura 79. Estación meteorológica fija Laguna La Plaza, Sierra nevada de El Cocuy. *Fotografía Jorge Ceballos.*

9.2 Estudios de vulnerabilidad y estimación de valor de los servicios ecosistémicos de los glaciares en Colombia.

Con el objeto de comprender la relación entre la comunidad y el glaciar el IDEAM ha iniciado con la estimación de la vulnerabilidad y la cuantificación del valor económico de los glaciares en Colombia.

Para cumplir este objetivo, se iniciaron a finales de 2010, dos consultorías en el marco del proyecto PRAA la cuales tienen los siguientes objetivos:

Contrato SGCAN 130/2010

OBJETO: *“Estimación del valor económico, social y ecológico aproximado de los bienes y servicios ecosistémicos de los glaciares del Parque Nacional Natural Los Nevados y del parque nacional natural el cocuy (Colombia), frente a los procesos de derretimiento”.*

Contrato SGCAN 121/2010

OBJETO: *“Estimación de la vulnerabilidad de los grupos humanos que habitan actualmente la alta montaña, frente a los procesos de derretimiento glaciar para los glaciares del volcán nevado del Huila y la sierra nevada de Santa Marta”.*

Los resultados de estas consultorías serán presentados en el informe de actividades glaciológicas año 2011.

9.3 Diseño e implementación de un instrumento para medir el albedo en el volcán nevado Santa Isabel.

Con el objeto de complementar los estudios glaciológicos en el volcán nevado Santa Isabel, el IDEAM y por medio de un trabajo académico de pregrado de dos estudiantes de la Universidad Distrital de Colombia (Facultad de Ingeniería en Control) impulsó el desarrollo de nuevas tecnologías para el monitoreo de las características de la cobertura nivel sobre el glaciar por medio de fotografías terrestres diarias.

Este trabajo contribuirá con el fortalecimiento de la red de observación glaciar del IDEAM en el PNN Los Nevados y producirá insumos que complementen los estudios relacionados con la variabilidad de la altitud de la línea de

equilibrio y la línea de precipitación sólida (o nieve), el comportamiento del albedo y la recopilación de información para la aplicación de posibles modelos de fusión glaciar.

9.4 Reconstrucción de la dinámica glaciar reciente en la sierra nevada de El Cocuy utilizando Liquenometría (visita investigadores Centre National de Recherche Scientifique -CNRS- (laboratoire de géographie Physique) de Francia).

Esta actividad estuvo en caminata en brindar asistencia técnica a los investigadores del CNRS de Francia, quienes visitaron Colombia para realizar estudios encaminados a la reconstrucción del paleoclima y la dinámica glaciar reciente en la sierra nevada de El Cocuy.

Durante esta visita Vincent Jomelli (investigador principal) realizó recolección de muestras de roca, medición de los diámetros de líquenes y levantamientos topográficos de las morrenas asociadas a los glaciares del norte de la sierra nevada de El Cocuy (Figura 80).



Figura 80. Liquenometría sierra nevada de El Cocuy marzo de 2010.

9.5 Cálculo del balance de masa para el glaciar volcán nevado del Ruiz.

Con el objeto de conocer de manera más amplia la dinámica de los glaciares del PNN Los Nevados el IDEAM instaló cinco (5) balizas en el sector conocido como el glaciar “diablo rojo”. Como resultado preliminar de esta investigación se presenta el balance de masa calculado para el periodo marzo - julio de 2010 (Figura 81 y 82). Cabe resaltar que las mediciones en los glaciares del nevado del Ruiz fueron suspendidas en octubre de 2010 debido a la reactivación del volcán.

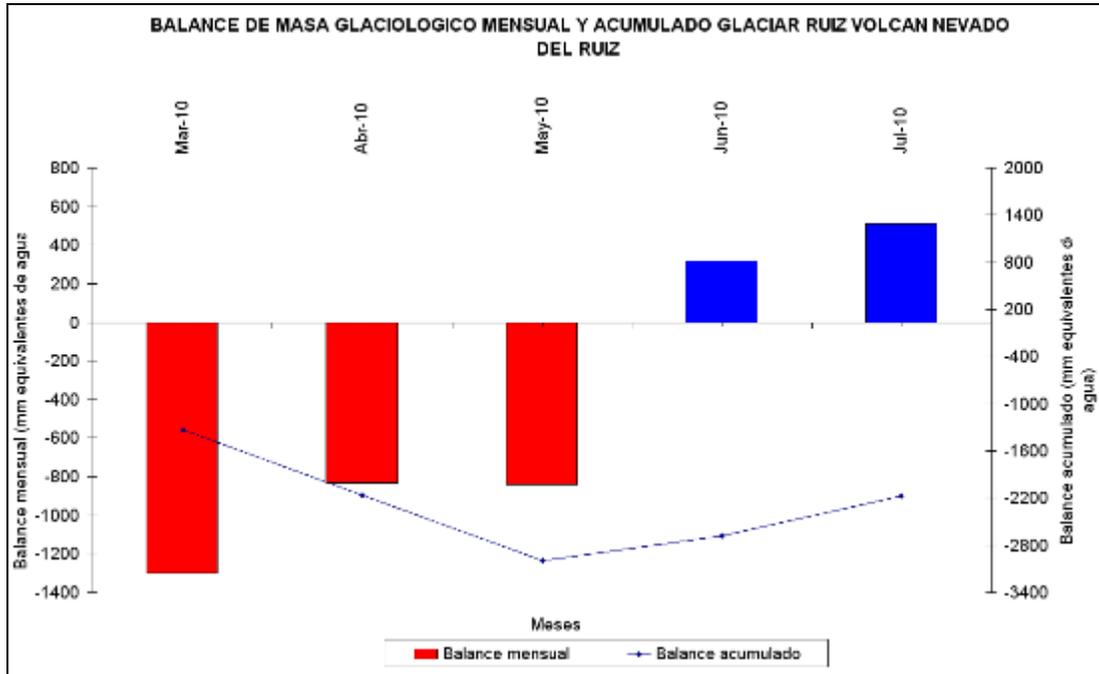


Figura 81. Balance de masa volcán nevado del Ruiz periodo marzo – julio de 2010.

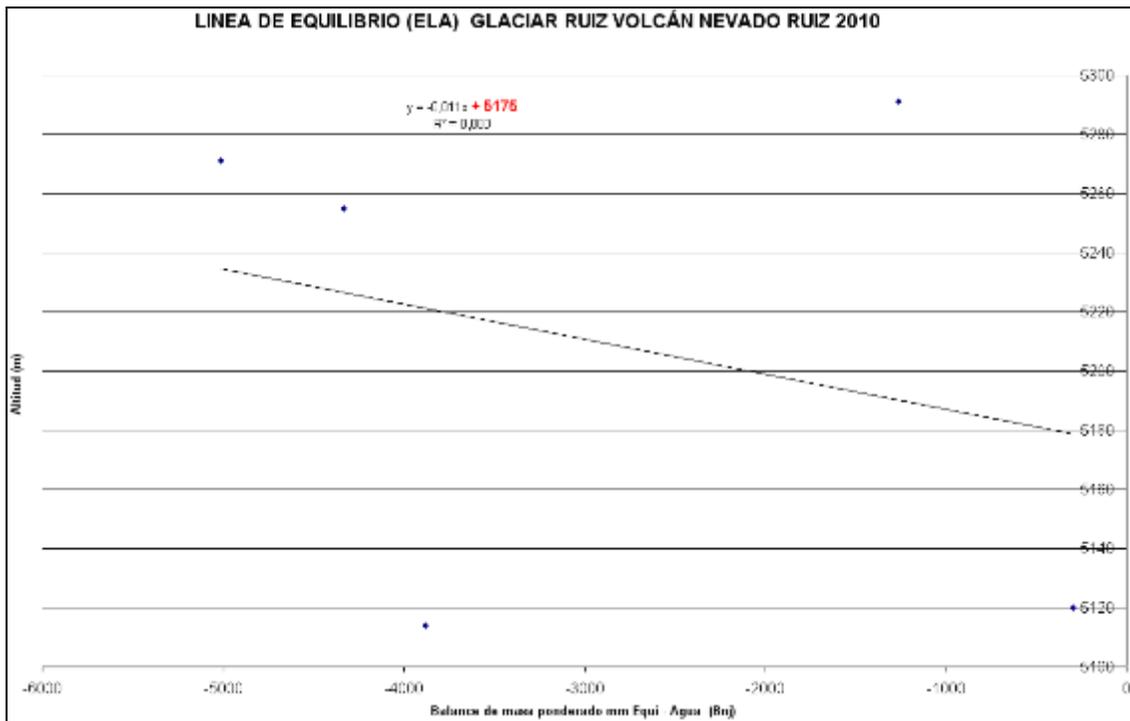


Figura 82. Elevación de la línea de equilibrio volcán nevado del Ruiz periodo marzo – julio de 2010.

Los resultados obtenidos en este corto periodo de tiempo demuestran un desequilibrio del glaciar representado en unas pérdidas de 2169 mm equivalentes de agua para el periodo de observación.

Adicional a esto se cuantifico la altitud de la línea de equilibrio en 5175 m. Cabe resaltar que estos valores, asociados a la dinámica del glaciar, están influenciados por la actividad volcánica y no podemos afirmar que son resultado al 100 % de la influencia del clima.

9.6 Capacitaciones Funcionarios Parques Nacionales Naturales.

De acuerdo con las actividades propuestas en el convenio interadministrativo 009 de 2009 entre el *IDEAM* y la Unidad Administrativa Especial del Sistema Parques Nacionales Naturales *UESPNN* se realizó el taller de capacitación correspondiente al SISTEMA DE OBSERVACIÓN GLACIAR EN COLOMBIA con los funcionarios de los Parques Nacionales Naturales Nevado de El Cocuy, Sierra Nevada de Santa Marta y Nevado del Huila.

Esta capacitación se llevó acabo en el municipio de Iquira, Huila en la Hacienda Tarpeya. Los temas tratados en esta actividad fueron los siguientes:

- Glaciares o Nevados.
- Partes de un glaciar.
- Variables que influyen en la dinámica del glaciar.
- Evolución del área glaciar en Colombia y en el mundo.
- Dinámica meteorológica de la alta montaña (diaria e interanual)
- Cambio Climático.
- Técnicas de observación glaciar: Criterios de selección de un glaciar de estudio.
- Calculo del área glaciar.
- Retroceso del frente glaciar: Métodos, costos.
- Balance de masa glaciológico: Método, instrumentación, costos.
- Ejercicio de cálculo de balance mensual, discusión de resultados.
- Medición de espesores de hielo: Técnicas, instrumentos, costos.
- Redes Hidrometeorológicas, criterios, costos balance hidrológico.
- El trabajo de campo: Logística, equipo, seguridad, costos.

- El balance energético.
- Liquenometría.
- Debate sobre el seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia: El Convenio UAESPPN – IDEAM.
- Red de monitoreo Alternativo, el archivo histórico.
- Diseño preliminar por parte del grupo de un sistema de monitoreo para el PNN Nevado del Huila.

Al taller asistieron alrededor de treinta (30) personas (Figura 83) de los diferentes parques. Adicional a esto contó con la compañía de los funcionarios del Observatorio Vulcanológico de Popayán quienes realizaron presentaciones asociadas al monitoreo y seguimiento de la actividad volcánica reciente en el nevado del Huila.



Figura 83. Participantes capacitación Iquira, Huila Hacienda Tarpeya.

Adicional a esto se planteó la posibilidad de expandir la red de observación a los glaciares de la sierra nevada de Santa Marta.

10. ACTIVIDADES DE DIVULGACION.

Con el objeto de socializar los resultados de los trabajos glaciológicos desarrollados por el IDEAM se realizaron las siguientes actividades de divulgación y capacitación durante el año 2010:

Actividades de divulgación	Fecha
Comunicado a la Cruz Roja colombiana sobre el estado del nevado del Tolima (Bogotá)	20/01/2010
Póster para la Conferencia Internacional de Glaciología "Hielo y Cambio Climático: Una visión desde el sur" Valdivia, Chile con los resultados obtenidos en el monitoreo glaciar en Colombia	21/01/2010
Conferencia sobre Dinámica Glaciar, Universidad Tecnológica de Pereira (Pereira)	12/03/2010
Conferencia sobre avances en glaciología ante representantes del Banco Mundial proyecto INAP (Bogotá)	04/05/2010
Elaboración de un póster sobre glaciología para el Primer Congreso del Clima IDEAM (Bogotá)	14/05/2010
Entrega información cartográfica sobre evolución glaciar a CORPOGUAJIRA	18/05/2010
Entrega información cartográfica sobre evolución glaciar IGAC - SIGOT	21/05/2010
Conferencias sobre glaciología y cambio climático a Fundación Las Mellizas (Armenia, Quindío)	21/05/2010
Documento con los resultados de los estudios de glaciología para la publicación institucional : Estado del Medio Ambiente	01/06/2010
Conferencia "Comprensión de la dinámica glaciar en Colombia" para el Congreso de Ciencias Ambientales - UDCA	08/06/2010
Conferencias sobre Glaciología y Cambio Climático ACODAL (Medellín)	15/07/2010
Conferencias sobre glaciología y cambio climático. Evento de la Contraloría General de la República (Ibagué)	30/07/2010
Documental para el canal institucional TeleAntioquia sobre la dinámica glaciar en Colombia y la instalación de una estación automática móvil en el glaciar Conejeras	18/08/2010
Documental para la Fundación Albatros (Panamá) sobre la dinámica glaciar en Colombia y la instalación de una estación automática en la sierra nevada de El Cocuy	23/09/2010
Conferencia "Vulnerabilidad de las comunidades campesinas al retroceso de los glaciares", Biblioteca Luis Ángel Arango (Bogotá)	04/10/2010
Conferencia "Dinámica glaciar reciente en Colombia y disponibilidad hídrica", Biblioteca Luis Ángel Arango (Bogotá)	07/10/2010
Conferencia "Dinámica glaciar sistemas de monitoreo y vulnerabilidad hídrica", Universidad Libre. (Bogotá)	29/10/2010

Actividades de capacitación y otros	Fecha
Acompañamiento a grupo de estudiantes de geografía de la universidad de Zurich al Parque Natural Los Nevados	01-05/02/2010
Curso básico de seguimiento a la dinámica glaciar a funcionarios del PNN Huila (Iquira, Huila)	15-18/03/2010
Acompañamiento al experto francés Vincent Jomelli para muestreo de líquenes para datación de la Pequeña Edad de Hielo (El Cocuy)	21-25/03/2010
Organización del Curso-Taller "Hidroglaciología en alta montaña" por el Dr. Marcos Villacís de Ecuador (Proyecto PRAA). Bogotá	14-17/06/2010
Conferencia sobre Dinámica Glaciar y Vulnerabilidad en el curso-taller "Estrategias y medidas de adaptación con enfoque en cuencas hidrológicas" inWent. (Bogotá)	04/08/2010
Organización del Curso-Taller de capacitación en "Balance de energía y modelo de fusión en hielo y nieve" por el ecuatoriano Dr. Luis Maisincho. (Proyecto PRAA). Bogotá	09-27/08/2010
Participación en el Encuentro Científico "Glacier Monitoring Strategy - current status and challenges" Zermatt - Suiza	01-05/09/2010
Tercer Foro nacional e internacional "agua, medio ambiente y servicios públicos". Empresa de Acueducto de Bogotá.	08/09/2010
Curso taller glaciología Santiago de Chile 25 -29 octubre PNUMA - CODIA	25/10/2010

11. REFERENCIAS.

CEBALLOS J, TOBON E. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2006-2007. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C., marzo de 2008.

TOBON E. CONTRATO 107 DE 2008. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá Septiembre de 2008.

MENESES I. CONTRATO 086 DE 2008. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá Septiembre de 2008.

FRANCOU, B & POUYAND, B. (2004). Métodos de observación de glaciares en los Andes tropicales. IRD. Bolivia. 243 p.

BOLÍVAR CÁCERES, LUIS MAISINCHO, JEAN-DENIS TAUPIN, BERNARD FRANCOU Y OTROS. GLACIARES DEL ECUADOR: ANTIZANA Y CARIHUYARZO Balance de Masa, Topografía, Meteorología & Hidrología. Informe Año 2004. Noviembre De 2005

RODOLPHE BUCHER, BOLIVAR AZARIN, PIERRE CHEVALLIER, YANN L'HOTE, ABRAHAM MACHACA, LUIS M ISINCHO, JAVIER MENDOZA, JAIR RAMIREZ, BERNARD FRANCOU Y OTROS. Métodos De Observación De Glaciares En Los Andes Tropicales. IRD. Versión-1:2004

TOBON E. Documento técnico correspondiente al componente de glaciares de la SCN y del resumen del componente de glaciares que hace parte del documento final de la SCN, en los capítulos de circunstancias nacionales y vulnerabilidad y adaptación. República de Colombia Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. IDEAM. Bogotá Diciembre de 2007.

CEBALLOS, J. & EUSCATEGUI, C. (1998): Informe técnico de la comisión efectuada a la Sierra nevada del Cocuy. Informe IDEAM. Bogotá. Inédito. 22p.

MARÍN G. JOHANNA, 2008. Cuantificación de la población ubicada en las zonas de alta montaña (nevado cocuy) definidas para el proyecto, identificación de uso del suelo, análisis del recurso hídrico en términos de uso, abastecimiento, calidad y disponibilidad, y análisis de la vulnerabilidad de la población frente a la disponibilidad del recurso agua. Informe final IDEAM – PNUD – UNIVERSIDAD NACIONAL. Bogotá. Pg 95.

KASER GEORG, FOUNTAIN ANDREW, JANSSON PETER. A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers. Technical Documents in Hydrology N° 59. UNESCO. Paris, 2003

PAUL, FRANK. Evaluation of different methods for glacier mapping using Landsat TM. University of Zurich. Switzerland. 2000

Cardona, O. 2003. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CIDERI. Universidad de Los Andes, Bogotá. Recurso electrónico disponible en http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf. Consulta realizada el 2 de febrero de 2010.

Chavarro, M. et.al. 2008. Preparándose para el futuro. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. Material de difusión y socialización sobre cambio climático No.3. Oficina de las Naciones Unidas contra la droga y el delito UNODC Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

MAVDT. Departamento de Geografía Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. Colombia.

Downing, T. et.al. 2006. "Evaluación de la vulnerabilidad para la adaptación al clima". En: PNUD. Marco de políticas de adaptación al cambio climático. Desarrollando estrategias, políticas y medidas. PNUD-GEF. New York. Pp.67-90

Duque, A. y Carranza, J. (comp.). 2008. Los Humedales en Risaralda. Universidad Tecnológica de Pereira. Gobernación de Risaralda. Grupo de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología. Fondo Editorial de Risaralda. Pereira

Fals, O. 1973. El hombre y la tierra en Boyacá: desarrollo histórico de una sociedad minifundista. 2da. Edición. Editorial Punta de Lanza. Bogotá

Flórez, A. y Ríos, K. 1998. "Las lagunas de Alta Montaña". En: Revista Cuadernos de Geografía. Vol.VII, No.1-2. Revista del Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Pp. 25-49

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. 2010a. Informe de Actividades Glaciológicas 2008 – 2009. Volcán Nevado Santa Isabel - Sierra Nevada de El Cocuy. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. IDEAM, Subdirección de Ecosistemas. Bogotá D.C.

_____. 2010b. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, República de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. IDEAM. Bogotá.

_____. 2001. Vulnerabilidad y adaptación de la zona costera colombiana al ascenso acelerado del nivel del mar. Ministerio del Medio Ambiente. IDEAM. Bogotá. Recurso electrónico disponible en <http://www.ideam.gov.co/publica/ascensonivelmar/Vulnerabilidad%20costas.pdf>. Consulta realizada el 2 de febrero de 2010.

IDEAM - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 1997. Geosistemas de la Alta Montaña. IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

IPCC. 1997. Impactos Regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. IPCC. PNUMA. Informe especial del Grupo de trabajo II.

Lim, B. et.al. 2005. Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollo de Estrategias, Políticas y Medidas. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo PNUD. New York.

Macchi, M. et.al. 2008. Indigenous and traditional peoples and climate change. UICN. Recurso electrónico disponible en: http://cmsdata.iucn.org/downloads/indigenous_peoples_climate_change.pdf. Consulta realizada el 10 de febrero de 2010.

Pabón, J. y Hurtado G. 2002. "El Cambio Global y los ecosistemas de Alta Montaña". En: Ministerio del Medio Ambiente. Memorias del Congreso Mundial de Páramos. Vol.I. Ministerio del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. Bogotá.

PNUD. 2006. Marco de políticas de adaptación al cambio climático. Desarrollando estrategias, políticas y medidas. PNUD-GEF. New York.

Prieto, A. 2008. Cuantificación de la población ubicada en la cuenca alta del Río Claro (Volcán Nevado Santa Isabel), identificación de uso del suelo, análisis del recurso hídrico en términos de uso, abastecimiento, calidad y disponibilidad, y análisis de la vulnerabilidad de la población frente a la disponibilidad del recurso agua. Décimo informe proyecto “Preparación De La Segunda Comunicación Nacional De Colombia Ante La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático – CMNUCC”. IDEAM-PNUD-MAVDT. Bogotá D.C.

UN-PIGA. 2009. Estudios y análisis de vulnerabilidad y riesgo en un sector del área de influencia del Volcán Machín. Informe Final. Convenio Interadministrativo CORTOLIMA-MAVDT-Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá, D.C.

ANEXO 1

(Campañas de campo realizadas durante el año 2010)

No.	LUGAR	OBJETIVO PROGRAMADO	ASISTENTES.	FECHA DE REALIZACION	No. De días
1	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciár en la red de balizas, mantenimiento glaciár Conejeras.</p> <p>Descarga de datos de la red de monitoreo.</p> <p>Medida pluviómetro totalizador.</p> <p>Levantamiento topográfico glaciár Conejeras.</p> <p>Coordinación de la excursión Suiza.</p> <p>Instalación red de balizas en el Ruiz.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Gilberto Alvarado.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>-Estudiantes universidad de Zurich.</p>	31 de enero 6 de febrero	7
2	PNN LOS NEVADOS, EL COCUY, IQUIRA.	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciár en la red de balizas, mantenimiento Glaciár Conejeras.</p> <p>Descarga de datos de la red de monitoreo.</p> <p>Medida pluviómetro totalizador.</p> <p>Campaña nocturna medición de niveles y temperatura de los drenajes de fusión glaciár.</p> <p>Descargar los datos de las estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Claro (Conejeras 1 y 2, Páramo Conejeras y Sendero Laguna Verde) en el Parque Nacional Natural Los Nevados.</p> <p>Realizar la campaña de observación Hidroglaciología para cualificar el comportamiento del ciclo diario de los caudales de fusión provenientes del glaciár Conejeras en el volcán nevado santa Isabel.</p> <p>Dar una capacitación a los funcionarios de la unidad de parques nacionales naturales (PNN Nevado del Huila) relacionada con la metodología de monitoreo glaciár desarrollada por el IDEAM. Convenio administrativo 009/2009(IDEAM – UAESPNN)</p> <p>Capturar la información de ablación proveniente de la red de balizas instalada en el glaciár Ritacuba Blanco en la sierra nevada de El Cocuy.</p> <p>Capturar la información de precipitación proveniente de la red de pluviómetros totalizadores instalados en la cuenca alta del río Playitas en la sierra nevada de El Cocuy.</p> <p>Instalar una red de balizas en la zona de ablación del glaciár Ritacuba Negro.</p> <p>Realizar la medida de retroceso longitudinal medido sobre el terreno en el punto PA3 ubicado en el glaciár Pan de Azúcar al sur de la sierra nevada de El Cocuy.</p> <p>Apoyar de manera técnica la comisión científica del</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>- Gilberto Alvarado.</p> <p>-investigadores CNRC.</p>	11 de marzo 31 marzo	21

		Centre National de Recherche Scientifique -CNRS- (laboratoire de géographie Physique) de Francia para desarrollar los estudios de reconstrucción paleograciar por medio de análisis liquenométricos y cosmogénicos en la sierra nevada de El Cocuy.			
3	CASCOS URBANOS DE LOS MUNICIPIOS CON JURISDICCIÓN SOBRE EL PNN LOS NEVADOS	<p>Contactar fuentes de información locales del área de estudio (líderes comunales, investigadores, funcionarios de alcaldías).</p> <p>Definir rutas óptimas para el levantamiento de información primaria según las características locales del PNN los Nevados (acceso, seguridad, conocimiento del área por parte de otros contactos, disponibilidad de información).</p> <p>Levantar información primaria y secundaria (archivo, estudios técnicos, datos demográficos, caudales, bases de datos del sisbén, planes, proyectos en la zona de estudio) en las alcaldías, corporaciones, universidades y otro tipo de entidades de los municipios con jurisdicción sobre el PNN Los Nevados.</p> <p>Establecer un acercamiento con los jefes y funcionarios de parques nacionales naturales encargados de administrar el área del PNN Los Nevados, con el fin de gestionar futuros permisos para trabajo de campo y recoger documentos y estudios de interés.</p>	-Camilo Eduardo Rodríguez.	5 de abril 14 de abril	10
4	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas, mantenimiento Glaciar Conejeras y Glaciar Diablo Rojo</p> <p>Descarga de datos de la red de monitoreo.</p> <p>Medida pluviómetro totalizador.</p>	- Leonardo Real.	6 de abril 9 de abril	4
5	PNN EL COCUY	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Ritacuba Blanco y Ritacuba Negro, mantenimiento.</p> <p>Toma de datos del pluviómetro totalizador en la cuenca del río Playitas.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>-Pasante universidad de Zurich</p>	05 de mayo 08 de mayo	14

6	CASCOS URBANOS DE LOS MUNICIPIOS CON JURISDICCIÓN SOBRE LA SIERRA NEVADA DE EL COCUY	<p>Contactar fuentes de información locales del área de estudio (líderes comunales, investigadores, funcionarios de alcaldías).</p> <p>definir rutas óptimas para el levantamiento de información primaria según las características locales de la sierra nevada de El Cocuy (acceso, seguridad, conocimiento del área por parte de otros contactos, disponibilidad de información)</p> <p>Levantar información primaria y secundaria (archivo, estudios técnicos, datos demográficos, caudales, bases de datos del sisbén, planes, proyectos en la zona de estudio) en las alcaldías, corporaciones, universidades y otro tipo de entidades de los municipios con jurisdicción sobre la sierra nevada de El Cocuy</p> <p>Establecer un acercamiento con los jefes y funcionarios de parques nacionales naturales encargados de administrar el área de la sierra nevada de El Cocuy, con el fin de gestionar futuros permisos para trabajo de campo y recoger documentos y estudios de interés.</p>	-Camilo Eduardo Rodríguez.	3 de mayo 10 de mayo	8
7	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Perforación de hielo para renovar seis balizas.</p> <p>Descarga de datos de la red de monitoreo Pluviómetro totalizador.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p>	12 de mayo 16 de mayo	5
8	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Medidas de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Ruiz.</p> <p>Descarga de datos de la red de monitoreo.</p> <p>Pluviómetro totalizador.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p>	08 de junio 12 de junio	5
9	VEREDAS DE ALTA MONTAÑA EN EL PNN LOS NEVADOS Y CASCOS URBANOS DE LOS MUNICIPIOS CON JURISDICCIÓN EN EL COSTADO ORIENTAL DEL PARQUE	<p>Levantamiento de información sociocultural por medio de entrevistas informales conversacionales y semiestructuradas, información directa y taller participativo.</p> <p>Identificación y georreferenciación de los puntos de captación sobre drenajes superficialmente vinculados a los glaciares del PNN Los Nevados.</p> <p>Levantamiento de información primaria y secundaria (archivo, estudios técnicos, datos demográficos, caudales, bases de datos del sisbén, planes, proyectos en la zona de estudio) en las alcaldías, corporaciones, universidades y otro tipo de entidades de los municipios con jurisdicción sobre el costado oriental del PNN Los Nevados.</p>	-Camilo Eduardo Rodríguez.	8 de junio 20 de junio	13

10	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Toma de datos de densidad de nieve.</p> <p>Toma de datos del pluviómetro totalizador.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p>	06 de julio 10 de julio	5
11	PNN EL COCUY	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Ritacuba Blanco y Ritacuba Negro, mantenimiento.</p> <p>Toma de datos de densidad de nieve.</p> <p>Toma de datos del pluviómetro totalizador en la cuenca del río Playitas.</p> <p>Toma de datos de densidad de nieve en los glaciares de estudio.</p> <p>Realización de aforos en los principales ríos de la vertiente occidental de la sierra nevada de El Cocuy</p> <p>Levantamiento de información sociocultural por medio de entrevistas informal conversacionales y semiestructuradas, información directa y taller participativo.</p> <p>Identificación y georreferenciación de los puntos de captación sobre drenajes superficialmente vinculados a los glaciares de la sierra nevada de El Cocuy.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>- Camilo Eduardo Rodríguez.</p> <p>- Gilberto Alvarado</p>	17 de julio 30 de julio	14
12	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Medidas de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Ruiz.</p> <p>Descarga de datos de la red de monitoreo.</p> <p>Pluviómetro totalizador.</p> <p>Emplazamiento de estación automática para el desarrollo del balance de energía.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>- Ingenieros Durespo</p> <p>- Luis Maisincho INMHI Ecuador.</p> <p>- Periodistas Tv Antioquia</p>	17 al 21 de agosto	5
13	VEREDAS DE ALTA MONTAÑA EN EL PNN LOS NEVADOS, SECTOR ANZOÁTEGUI	<p>Levantamiento de información sociocultural por medio de entrevistas informal conversacionales y semiestructuradas, información directa y taller participativo.</p> <p>Identificación y georreferenciación de los puntos de captación sobre drenajes superficialmente vinculados a los glaciares del PNN los Nevados.</p>	<p>- Camilo Eduardo Rodríguez.</p>	1 de septiembre al 2 septiembre	2
14	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Pluviómetro totalizador.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p>	07 al 11 de septiembre	5

15	PNN EL COCUY	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Ritacuba blanco y negro, mantenimiento.</p> <p>Captura de datos en los pluviómetros totalizadores en la cuenca del río playitas.</p> <p>Emplazamiento de estación automática en el sector de la Laguna La Plaza.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>- Ingenieros Durespo</p> <p>- Periodistas SGCAN.</p> <p>- Gilberto Alvarado.</p>	20 al 27 de septiembre	8
16	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Pluviómetro totalizador.</p>	<p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p>	04 al 06 de octubre	3
17	POPAYÁN-PAÉZ (CAUCA)	<p>Socializar y solicitar el permiso de los cabildos indígenas para realizar el estudio de vulnerabilidad en el v.n. del Huila.</p> <p>Contactar fuentes de información locales del área de estudio (líderes comunales, investigadores, funcionarios de alcaldías).</p> <p>definir rutas óptimas para el levantamiento de información primaria según las características locales del v.n del Huila (permisos de los pueblos indígenas, acceso, seguridad, actividad volcánica) .</p> <p>levantar información primaria y secundaria (archivo, estudios técnicos, datos demográficos, caudales, bases de datos del sisbén, planes, proyectos en la zona de estudio) en la alcaldía de Páez, corporaciones, universidades y otro tipo de entidades con jurisdicción sobre el v.n. del Huila.</p> <p>Establecer un acercamiento con los jefes y funcionarios de parques nacionales naturales encargados de administrar el área del v.n. del Huila, con el fin de gestionar futuros permisos para trabajo de campo y recoger documentos y estudios de interés.</p>	<p>- Camilo Eduardo Rodríguez.</p>	01 al 05 de noviembre	5
18	PNN EL COCUY	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar Ritacuba blanco y negro, mantenimiento.</p> <p>Captura de datos en los pluviómetros totalizadores en la cuenca del río playitas.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Leonardo Real.</p>	08 al 13 de noviembre	8
19	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciaria en la red de balizas del glaciar conejeras, mantenimiento.</p> <p>Pluviómetro totalizador.</p> <p>Cambio de gabinetes en estaciones de alta montaña.</p>	<p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Everth Mejía Automatización.</p>	19 al 25 de noviembre	3

20	SANTA MARTA	<p>Socializar y solicitar el permiso de los cabildos indígenas para realizar el estudio de vulnerabilidad en la sierra nevada de santa marta.</p> <p>Contactar fuentes de información locales del área de estudio (líderes comunales, investigadores, funcionarios de alcaldías).</p> <p>definir rutas óptimas para el levantamiento de información primaria según las características locales de la sierra nevada de santa marta (permisos de los pueblos indígenas, acceso, seguridad, conocimiento del área por parte de otros contactos, disponibilidad de información) .</p> <p>levantar información primaria y secundaria (archivo, estudios técnicos, datos demográficos, caudales, bases de datos del sisbén, planes, proyectos en la zona de estudio) en las alcaldías, corporaciones, universidades y otro tipo de entidades de los municipios con jurisdicción sobre la sierra nevada de santa marta.</p> <p>Establecer un acercamiento con los jefes y funcionarios de parques nacionales naturales encargados de administrar el área de la sierra nevada de santa marta, con el fin de gestionar futuros permisos para trabajo de campo y recoger documentos y estudios de interés.</p>	-Camilo Eduardo Rodríguez.	22 al 26 de noviembre	5
21	PNN LOS NEVADOS	<p>Medidas rutinarias de ablación glaciar en la red de balizas del glaciar Conejeras, mantenimiento.</p> <p>Pluviómetro totalizador.</p> <p>Descarga datos estación móvil automática.</p> <p>Prueba de funcionamiento de radar.</p> <p>Se realizó la medida de frente de retroceso longitudinal.</p>	<p>- Jorge Ceballos.</p> <p>- Ignacio Meneses.</p> <p>- Leonardo Real.</p> <p>-Camilo Eduardo Rodríguez.</p>	09 al 13 de diciembre	5