



INFORME DE ACTIVIDADES GLACIOLÓGICAS

Sierra nevada de El Cocuy y volcán nevado Santa Isabel
Colombia



2006 y 2007



**Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra
nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa
Isabel. Colombia, 2006-2007.**

Autores

Jorge Luis Ceballos Liévano, IDEAM

jorgec@ideam.gov.co

Eduardo Tobón Quecano, Pnud-Ideam

edutobon@ideam.gov.co

Subdirección de Ecosistemas e Información
Ambiental

Foto portada:

Glaciar Ritacuba Negro (5335m.) y estación
meteorológica automática satelital, sierra
nevada de El Cocuy. Foto J. Ceballos, (2007)

Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales

Carrera 10 No. 20-30. Bogotá D.C., Colombia
Tel: 057 1 3527160

Este documento se puede citar parcialmente con previa autorización de los autores.
Bogotá D.C., marzo de 2008.

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

IDEAM:

Fernando Salazar, Christian Euscátegui, William Arteaga, Gabriel Saldarriaga, Antonio Gómez, Hernando Wilches, Gilberto Alvarado, Luz Dary Yepes, Mario Gómez, Francisco Reyes, Alberto Buriticá, Francisco Bernal

INGEOMINAS:

Jair Ramírez

PNN Los Nevados:

Jorge Lotero, Milton Arias, Elkin, Clemencia Barrero, Jairo Largo

PNN El Cocuy:

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

Universidad de Caldas:

Elkin González

Universidad de Zurich, Suiza:

*Christian Huggel, Wilfried Haeberli
Michael Zemp (World Glacier Monitoring Service –WGMS-)*

IRD, Quito, Ecuador:

Bernard Francou y Eric Cadier

INAMHI, Ecuador

Bolívar Cáceres

CIAT

Maria Cecilia Roa, Clara Roa, Sandra Brown

Geógrafa y montañista:

Esther Heggin (Suiza)

CONTENIDO

INTRODUCCION	5
2- EVOLUCIÓN GLACIAR EN COLOMBIA	6
2.1 LA ÚLTIMA GLACIACIÓN EN COLOMBIA	6
2.2 LOS NEVADOS COLOMBIANOS DESDE LA PEQUEÑA EDAD DEL HIELO (PEH) O NEOGLACIAL	7
2.3. EI CLIMA ACTUAL EN LA ALTA MONTAÑA	11
2.4. GLACIARES COLOMBIANOS ACTUALES	14
3. MONITOREO GLACIAR EN COLOMBIA	16
3.1. PARÁMETROS FÍSICOS MONITOREADOS EN LOS GLACIARES COLOMBIANOS	16
3.2. CRITERIOS EMPLEADOS PARA DEFINIR LAS ÁREAS PILOTOS EN LOS NEVADOS DE SANTA ISABEL Y EL COCUY.	16
3.3. INSTRUMENTACION GLACIAR	17
3.4. EQUIPOS UTILIZADOS	25
3.5. TRABAJO DE CAMPO	26
4. GLACIAR CONEJERAS (Volcán Nevado Santa Isabel)	33
4.1 CARACTERISTICAS GENERALES.	33
4.2 INSTRUMENTACIÓN	34
4.3. BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO	35
4.4. GEOMETRÍA DEL GLACIAR	45
4.5 METEOROLOGÍA Y MICROMETEOROLOGÍA	47
5. GLACIAR RITACUBA NEGRO (Sierra nevada de El Cocuy)	54
5.1 CARACTERISTICAS GENERALES.	54
5.2 INSTRUMENTACIÓN	55
5.3. BALANCE DE MASA	56
5.4. GEOMETRÍA DEL GLACIAR	60
5.5. METEOROLOGÍA Y MICROMETEOROLOGÍA	60
5.6. HIDROLOGÍA	66
6. LABORES CON LA COMUNIDAD RELACIONADAS CON LAS ACTIVIDADES DE GLACIOLOGÍA.	67
6.1. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL.	67
6.2. SIERRA NEVADA DE EL COCUY O GÜICÁN.	69
6.3. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS EN FUNCIÓN DEL SISTEMA GLACIAR	69
7. REFERENCIAS	74

INTRODUCCION

Este documento técnico corresponde al primer informe compilado de las actividades y resultados de glaciología llevadas a cabo en el IDEAM durante 2006 y 2007.

Como primer informe de este tipo y para enmarcar el estudio, se incluye una caracterización general e histórica de los nevados colombianos, el proceso de instrumentación glaciar, el trabajo de campo y criterios para el seguimiento glaciar, además de los temas que serán recurrentes en los siguientes informes como el balance de masa glaciológico, geometría glaciar, meteorología e hidrología de alta montaña. Se espera incluir en próximos informes las investigaciones de temas aún por explorar como el balance energético (micro-meteorología glaciar), fotogrametría digital de alta resolución y liquenometría.

Si bien las observaciones a los nevados colombianos se vienen realizando con algún detalle y frecuencia desde hace dos décadas (Igac, Ideam, Ingeominas, Corpocaldas), se han intensificado las actividades de investigación y seguimiento en la alta montaña colombiana como respuesta a la necesidad imperante de profundizar en el conocimiento de la influencia del calentamiento global actual en los geosistemas asociados, principalmente en el glaciar.

Por ello, en marzo de 2006 se instaló la primera red de 12 balizas en el glaciar Conejeras en el nevado Santa Isabel, la cual se amplió a dos más en mayo de 2007, con el fin de tener información en la parte alta del glaciar, de igual forma, se instaló un pluviómetro totalizador en diciembre de 2006 cerca de los 4600 m. y una estación automática satelital. En el glaciar Ritacuba Negro en la sierra Nevada de El Cocuy, se instalaron en diciembre de 2006 cinco balizas, un pluviómetro totalizador y una estación meteorológica automática satelital.

Esta instrumentación ha permitido mejorar el conocimiento que se tenían de estas áreas nevadas y gracias al apoyo constante de los funcionarios de Parques Nacionales ha sido posible tener datos casi de forma mensual, lo cual se constituye en un gran avance dentro del desarrollo de la glaciología en el país como por ejemplo tener el primer balance de masa glaciológico anual que se tiene de un glaciar colombiano.

A finales del 2007 se inicio el proceso de construcción de dos canaletas tipo Parshall en la cuenca del glaciar Conejeras para estimar caudales de fusión glaciar. De igual manera, se realizaron aforos en el canal de Cardenillo que recoge aguas producto de la fusión del glaciar Ritacuba Negro.

Adicionalmente, se han continuado las mediciones de retroceso longitudinal, cálculo de áreas y levantamientos topográficos, complementando de tal manera el estudio sobre las zonas nevadas.

Complementariamente, estas actividades de alta montaña no han estado desligadas de la comunidad y de la población que vive cerca de los nevados de estudio. En consecuencia, se adelantó una investigación para conocer el grado de vulnerabilidad de la población frente a la pérdida de la disponibilidad del recurso hídrico en zonas cercanas al glaciar en dos cuencas piloto. Asimismo y mediante talleres y charlas se han socializado los trabajos y resultados de glaciología y los proyectos de estudio sobre el Cambio Climático con las administraciones municipales, funcionarios de los Parques Nacionales, colegios urbanos y rurales, a niños y adultos, campesinos, gente de las cabeceras municipales y en eventos científicos.

2-. EVOLUCIÓN GLACIAR EN COLOMBIA

2.1 LA ÚLTIMA GLACIACIÓN EN COLOMBIA

Hace 70.000 años aproximadamente ocurrió un descenso térmico pronunciado que generó sobre las cimas de las montañas colombianas un fuerte crecimiento en la zona glaciar. Este fue el inicio de la última glaciación sobre el territorio colombiano (Flórez, 1992).

A partir de las investigaciones realizadas por Van der Hammen, Raasveld, Gonzáles, Thouret, Salomons, Melief, Van Geel y Flórez, entre otros, se ha establecido la evolución de nuestros glaciares durante los últimos 48.000 años a partir del estudio de los depósitos dejados por el avance de las masas glaciares conocidos como morrenas.

El período de máxima extensión glaciar se denomina pleniglacial; sin embargo, este no fue homogéneo, por tanto es posible diferenciarlo en diferentes ciclos los cuales pueden resumirse a continuación:

Según Van der Hammen, et. al. (1980), ocurre entre los 48.000 y 30.000 años A.P. y se denomina como pleniglacial medio, fue reconocido, a partir de morrenas antiguas recubiertas por bosques, a alturas entre 2600 y 2200 m., en la sierra nevada de El Cocuy, y de 3300 y 2900 m., en el Parque Los Nevados, Thouret et al (1996). Durante este periodo en Colombia, los glaciares ocuparon áreas por encima de los 3.000 (\pm 200) metros sobre el nivel del mar, cubriendo una superficie de 17.109 Km². (Florez, 1992). Para aquel tiempo, la Sabana de Bogotá tenía vegetación de páramo.

Posterior a este periodo se tiene el pleniglacial superior, el cual ocurre entre los 27.000 y 24.000 años. Se registra nuevamente un enfriamiento marcado que se hace evidente por la presencia de morrenas con alturas entre 2800 y 3400 m. para la sierra nevada de El Cocuy y la sierra nevada de Santa Marta. Para el Parque Los Nevados, se tienen morrenas a 3300 m. en el lado oriental y 3500 m. en el flanco occidental.

El pleniglacial máximo ocurre entre 24.500 y 20.400 años. Presenta un clima frío y seco, con condiciones de súper páramo a 3100 metros de altitud en el páramo de Sumapáz. Entre los 21.000 y 14.000 años, la extensión de los glaciares era mucho menor; sin embargo, se da un avance glaciar dejando morrenas entre 3500 y 4000 msnm. El límite del bosque se hallaba a una elevación menor y el clima era más seco, resultando en una zona de páramo relativamente ancha y seca.

Entre 14.000 y 13.300 años, se presenta un aumento de la temperatura y la humedad, que cambia entre 13.000 y 12.400 años, tiempo en el cual los glaciares nuevamente avanzan, dejando amplias morrenas a alturas entre 3800 y 3900 m.. Estas condiciones se modifican hacia un período caliente y húmedo entre los 12.400 y 11.000 años.

Durante los 11.000 y 10.000 años, período denominado tardiglacial, donde la humedad y temperatura aumentan, se inicia la retirada glaciar y se forman algunas morrenas a 3800 (\pm 200) m. y se conoce como el fin de la última glaciación y el comienzo del interglacial o época actual. Este ascenso continuó hasta un óptimo térmico entre los 6.000 y 7.000 años A.P. (Flórez, 1992) .

A partir de aquel óptimo térmico la temperatura ha descendido gradualmente, pero con periodos cortos de menor o mayor temperatura como el actual.

El último avance glaciario (formación de hielo) ocurrió entre los siglos XVII y XIX, época conocida mundialmente como la Pequeña Edad de Hielo o Neoglaciación, período durante el cual los glaciares colombianos aumentaron un poco. De esta época hacia el presente, los glaciares han ido en pleno retroceso.

2.2 LOS NEVADOS COLOMBIANOS DESDE LA PEQUEÑA EDAD DEL HIELO (PEH) O NEOGLACIAL

Las masas glaciares se han considerado como importantes indicadores de los cambios climáticos ocurridos en el planeta, encontrando una relación directa entre la dinámica glaciaria con dichos cambios; de esta forma ha sido posible comprender algunas variaciones importantes tanto en la temperatura, como en las áreas nevadas; una de ellas ocurrida entre los siglos XVII al XIX, donde a nivel mundial se registró un periodo frío debido a cambios en la radiación emitida por el sol, y fue conocida como la Pequeña Edad del Hielo (PEH), la cual permitió un aumento significativo en el área glaciaria, donde el límite de hielo descendió hasta los 4.200 m. en el sur del país, cerca de la frontera con Ecuador. En la parte central de los Andes colombianos llegó hasta 4.400 m (+/- 100 m) de altitud, en tanto que al norte, en la sierra nevada de Santa Marta, el límite se mantuvo a 4.600 m (+/- 100 m). De acuerdo con Flórez (1992,) lo anterior sugiere una diferencia controlada no solo por la altitud sino también por la latitud.

La reconstrucción de las áreas nevadas del pasado ha sido posible, gracias a la información resultado de la interpretación de fotografías aéreas y trabajos en campo realizados por diferentes investigadores en las últimas décadas, y complementada con datos obtenidos a través de crónicas de viajeros durante la época de Colonia española, campesinos de la región y algunos montañistas.

Estos trabajos han permitido conocer la evolución del área de los actuales nevados colombianos desde la PEH (para esta época a partir de fotointerpretación de morrenas) la cual se muestra en la figura 1 para las masas glaciares actuales en Colombia.

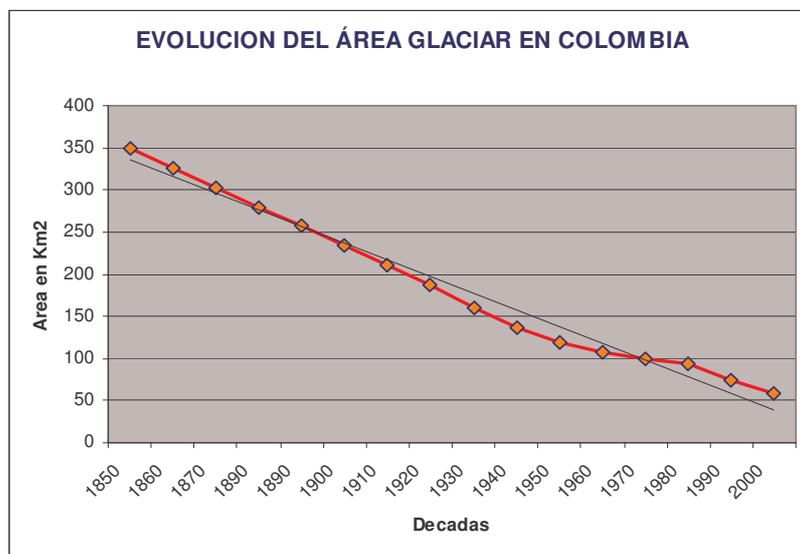


Figura 1. Evolución del área de los glaciares colombianos actuales desde la PEH.

De tal forma para el final de este periodo, las zonas nevadas que hoy se conocen contaban con un área glaciaria de 348,9 Km², el cual se ha reducido en cerca de un 84% en los últimos 150 años, teniendo las mayores pérdidas durante los últimos 20 años.

A partir de mediados del siglo XX ha sido posible conocer mejor el área de las zonas nevadas, y de acuerdo con interpolaciones realizadas se ha establecido el área para cada uno de los seis nevados actuales, encontrando tres periodos marcados, el primero entre las décadas del 40 y 50 donde se da a nivel general una rápida pérdida; el segundo entre 1960 a 1980 donde la tasa de pérdida disminuye, y el tercero desde la década del 80 hasta el presente donde nuevamente se incrementa el proceso de fusión (figura 2). Esta variación se puede relacionar directamente con información climática a nivel global (figura 3) donde se presenta un aumento de temperatura en la década del 40 y un periodo estable en las décadas del 60 y 70 para nuevamente incrementarse fuertemente desde la década del 80.

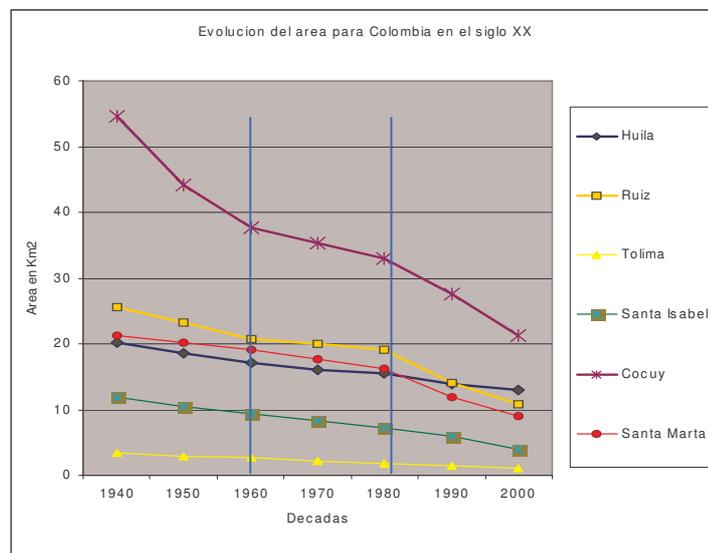


Figura 2. Evolución del área de los glaciares actuales en Colombia desde mediados del siglo XX.

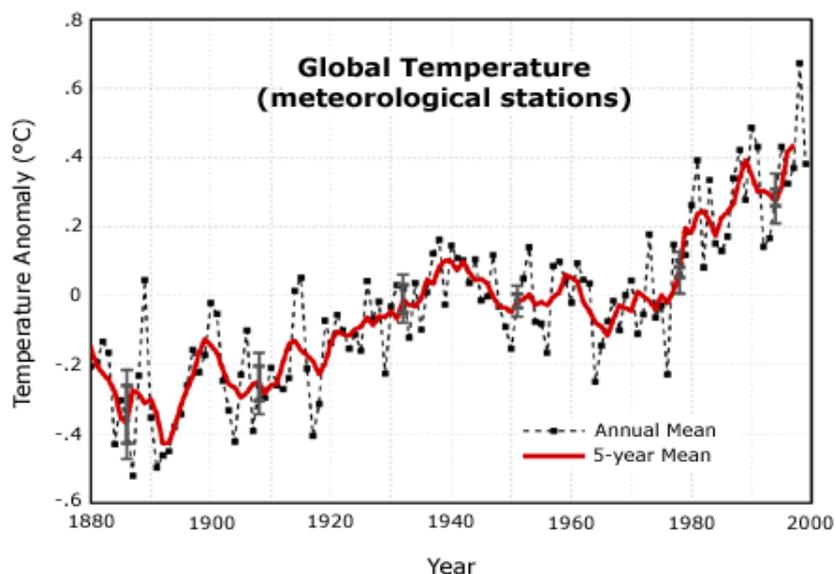


Figura 3. Variaciones en la temperatura mundial en el último siglo. Amstrong 2002.

Por otra parte los trabajos y crónicas dejadas por los primeros exploradores han permitido conocer un poco más sobre los nevados colombianos. En sus relatos describen zonas nevadas antiguas así como los nevados del Quindío y Palomas en la cordillera Central y el cerro Nevado en la cordillera Oriental. De igual forma, en sus pinturas plasmaron la dimensión y majestuosidad que presentaban en la época y que pueden servir como referente de lo que hoy en día conocemos (figuras 4 y 5).

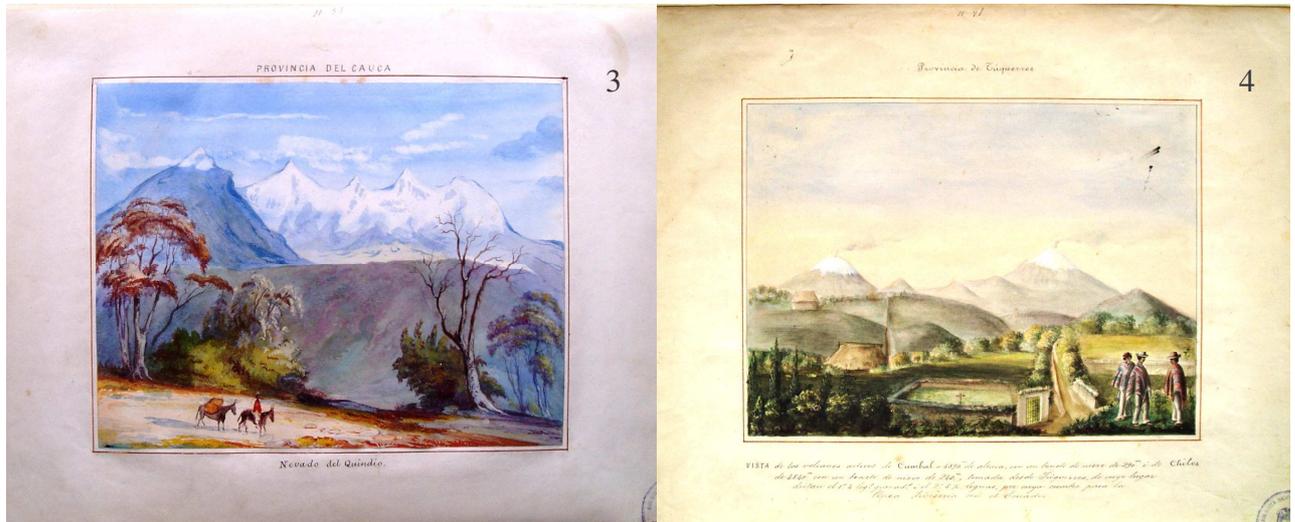


Figura 4. Acuarelas de la comisión Corográfica: la izquierda muestra un dibujo del nevado del Quindío y la derecha de los nevados de Chiles y Cumbal al sur del país, todos ya desaparecidos.

Para finales del siglo XIX (1889), en Colombia se contaban aproximadamente 19 nevados, de los cuales cuatro se conocían como nevados temporales, ya que su cubierta de nieve solo era evidente en la época de lluvias.



Figura 5. Acuarela que muestra lo que hoy es el Parque Los Nevados desde el cráter de la Olleta, nevados de el Ruiz, Santa Isabel, Tolima y mesa de Herveo en esa época nevada.

Se consideraban como cerros nevados para esa época los nevados de: Coconucos, Puracé, Pan de Azúcar, Huila, Quindío, Tolima, Paloma, Ruiz, Mesa de Herveo (Páramo del Ruiz), Santa Isabel, Cisne, El Cocuy, Santa Marta, Cumbal y Chiles, mientras que solo permanecían cubiertos de hielo temporalmente el Cerro Nevado, Galeras, Barragán y el Sotará, tabla 1.

Tabla 1. Nevados presentes en Colombia a finales del siglo XIX. (Modificado del Atlas de la República de Colombia, 1849).

NEVADO	ALTURA m.s.n.m	DEPARTAMENTO
Santa Marta	5833	Magdalena–Cesar
Huila	5700	Cauca
Tolima	5616	Tolima
Cocuy	5583	Boyacá
Ruiz	5300	Caldas
Quindío	5150	Quindío-Tolima
Santa Isabel	5100	Caldas
Puracé	4908	Cauca – Huila
Barragán (Temporal)	4930	
Cumbal	4890	Nariño
Mesa de Herveo	4885	Caldas-Tolima
Chiles	4840	Nariño
Cerro Nevado (Temporal)	4810	Cundinamarca
Coconucos	4800	Cauca
Sotará (Temporal)	4600	Cauca – Huila
Pan de Azúcar		Cauca – Huila
Volcán Galeras (Temporal)	4100	Nariño
Cisne	4250	Caldas – Tolima
Paloma		Caldas – Tolima

Para la cordillera Oriental, el Cerro Nevado al sureste de la ciudad de Bogotá, se constituyó como el último pico nevado existente hasta el siglo pasado, el cual según los campesinos de la región desapareció finalmente en el año de 1917, producto de un temblor que afectó toda la región.

A partir de comunicación verbal con campesinos de la región y de fotografías aéreas fue posible establecer las zonas nevadas que desaparecieron para el siglo pasado (Flórez, 1992) Tabla 3. De esta manera de los 19 nevados presentes para finales del siglo XIX, solo se conservaron 13, hasta la primera mitad del siglo XX, quedando tan solo seis masas glaciares actuales.

Tabla 2. Glaciares colombianos desaparecidos durante el siglo pasado. (Flórez, 1992)

Glaciar ó Nevado	Año	Localización Lat. – Long.	Departamento
Volcán Puracé	1940	2°19' - 76°24'	Cauca-Huila
Volcán Galeras	1948	1°14' - 77°22'	Nariño
Volcán Sotará	1948	2°06' - 76°36'	Cauca-Huila
Volcán Chiles	1950	0°50' - 71°56'	Nariño

Volcán Pan de Azúcar	1960	2°16' - 76°21'	Cauca-Huila
Volcán Quindío	1960	4°43' - 75°23'	Risaralda-Tolima-Quindío
Volcán del Cisne	1960	4°51' - 75°21'	Caldas-Tolima
Volcán Cumbal	1985	0°58' - 77°54'	Nariño

Como se mencionó anteriormente, tan solo quedan actualmente seis nevados o glaciares en el país, los cuales equivalen aproximadamente al 2% de los glaciares tropicales a nivel mundial, (tabla 3).

Tabla 3. Glaciares tropicales a nivel mundial. Modificado de Jordan 1985 y Haeberli 1989 en IGAC 1993.

PAIS	SUPERFICIE 1985-1989 Km ²	SUPERFICIE 1997-2000 Km ²
Uganda (Rwenzori)	2.5	0.96*
Kania (Mt. Kenia)	0.7	0.4*
Tanzania (Kilimanjaro)	5.5	2.6*
Suma África	8.7	3.96
Indonesia/ Irían jaya	6.9	2.1*
México	11.4	0.26*
Colombia	108.5	47.18
Venezuela	2.7	2**
Ecuador	112.8	89.8**
Perú	1972	1595*
Bolivia	562	449**
Chile	4	3.1**
Suma Suramérica	2762	2186
Suma del trópico	2789	2196

*datos aproximados tomados de Internet.

** Datos aproximados calculados a partir de información estadística.

En conclusión, se puede afirmar que desde la Pequeña Edad del Hielo, los glaciares colombianos al igual que los del resto del mundo, experimentan una pérdida de masa asociada en las últimas décadas al aumento térmico de la atmósfera relacionado a la acumulación de gases de efecto invernadero.

2.3. EL CLIMA ACTUAL EN LA ALTA MONTAÑA

En general la alta montaña colombiana presenta un clima intertropical frío, con fluctuaciones de la temperatura interanual pequeñas, por el contrario, grandes fluctuaciones diarias y una distribución bimodal de la precipitación durante el año debido al desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical, que marca los periodos de máxima nubosidad y precipitación.

Estas variaciones establecen cuatro periodos diferenciados al año dos húmedos de marzo a mayo y de septiembre a noviembre y dos secos de diciembre a febrero y de junio a agosto aproximadamente.

En general, el rango de precipitación para la alta montaña se encuentra entre los 1.500 a los 3.000 mm, anuales, sin embargo, estos disminuyen con la altitud; cerca de 1.500 mm anuales para las zonas de páramo por encima de los 4.000 m.

Las temperaturas disminuyen con la altura, presentan un rango promedio máximo de 12 a 14 °C y mínimo de 0 a -3 °C, no obstante este rango es más acentuado cerca de la zona nival donde la variación entre el día y la noche es bien contrastado. Su valor depende en si del comportamiento de los demás elementos climatológicos como son: Radiación solar tanto incidente (onda corta) como reflejada (onda larga), humedad relativa, precipitación y viento.

La humedad relativa es alta, en general superior al 70% y frecuentemente llega a su nivel máximo de saturación (100%). Presenta una variabilidad alta la cual aumenta con la altitud, esta es producto de las complejas interrelaciones atmosféricas pero está condicionada principalmente por la temperatura, el viento, la nubosidad y la radiación global.

La radiación solar presenta ciclos diarios estables, obteniendo su máximo valor a medio día, con un rango entre los 600 a 1000 w/m². Sus variaciones son debidas a la presencia de vapor de agua en la atmósfera, precipitaciones y al tipo de superficie.

El viento, en general, puede llegar a valores altos de velocidad, los cuales oscilan entre 0 y más de 20 m/s (72 km/h). Sus mayores valores se presentan al anochecer y al amanecer, cuando son más notorias las diferencias térmicas locales relacionadas con la radiación solar.

Tendencia actual

A partir de la información de estaciones meteorológicas ubicadas por encima de los 3700 m. se ha podido comprender la variación en elementos como temperatura y precipitación en la alta montaña.

Así, en la estación denominada “Las Brisas” la cual se encuentra a 4.200 m. en el Parque Nacional Los Nevados y dispone de información desde el año 1981, la temperatura muestra un importante aumento en las últimas décadas, la cual es más acentuada en las temperaturas máximas y mínimas, donde el ascenso esta cerca de 2 °C, mientras que las medias presentan un aumento de aproximadamente 1 °C (figura 6). En promedio se tiene un aumento de 0,06 °C por año.

La precipitación y la humedad relativa muestran una disminución durante el periodo analizado, la primera según la tendencia general tiene una disminución de más o menos 200 mm en 24 años, con cerca de 8 mm de perdida anual en promedio, mientras que la humedad se ha reducido aproximadamente 5% en el mismo periodo (figura 7); mostrando así indicios de un cambio en el clima de la alta montaña, y que de acuerdo con Gutiérrez y Zapata 2007, se ha reflejado en un cambio en los patrones de circulación atmosférica y una reducción en la nubosidad, situaciones que sin duda han afectando los ecosistemas de alta montaña y principalmente el sistema glaciar.

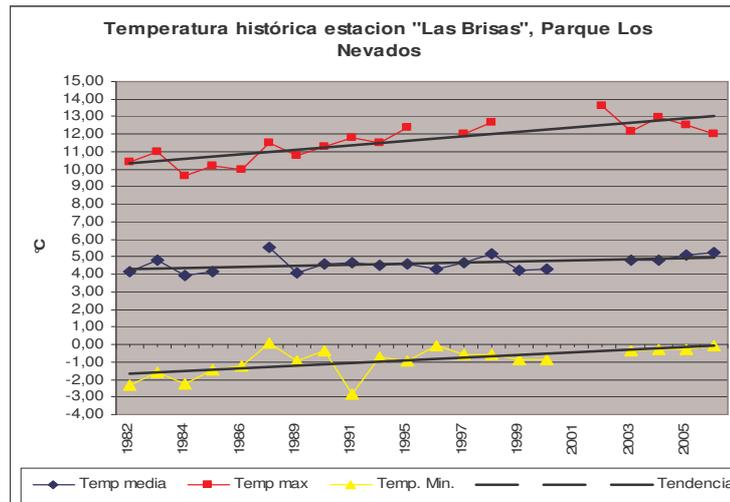


Figura 6. Temperatura histórica anual para la estación Las Brisas, en el Parque Nacional Los Nevados.

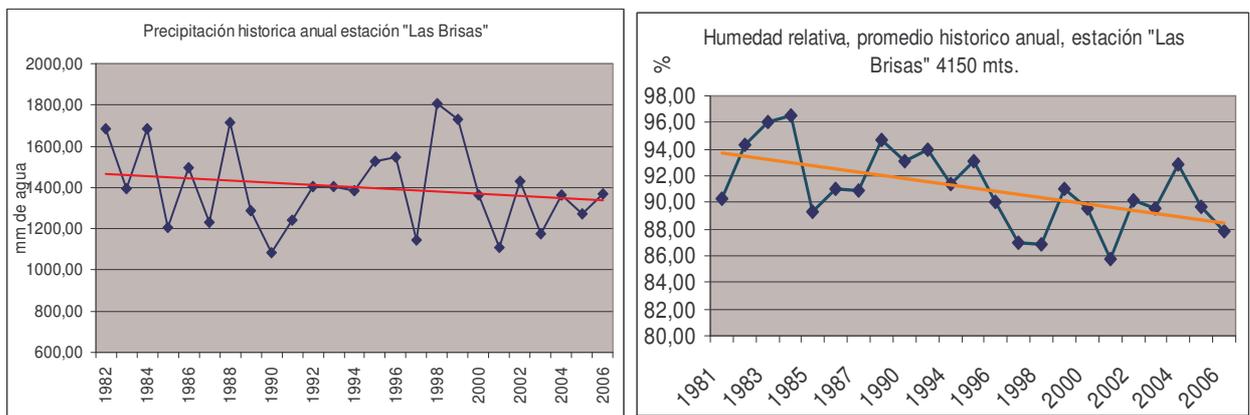


Figura 7. Precipitación y humedad relativa histórica anual para la estación Las Brisas. Parque Nacional Los Nevados.

De otro lado, la información climática de la estación “Sierra Nevada” ubicada en la parte media de la cuenca del río Lagunillas en la sierra nevada de El Cocuy o Güicán, permite confirmar lo anterior donde se pueden observar cambios mucho más acentuados en temperatura y precipitación (figura 8), las cuales pueden explicar de cierta forma el fenómeno de retroceso y pérdida de los glaciares a nivel regional.

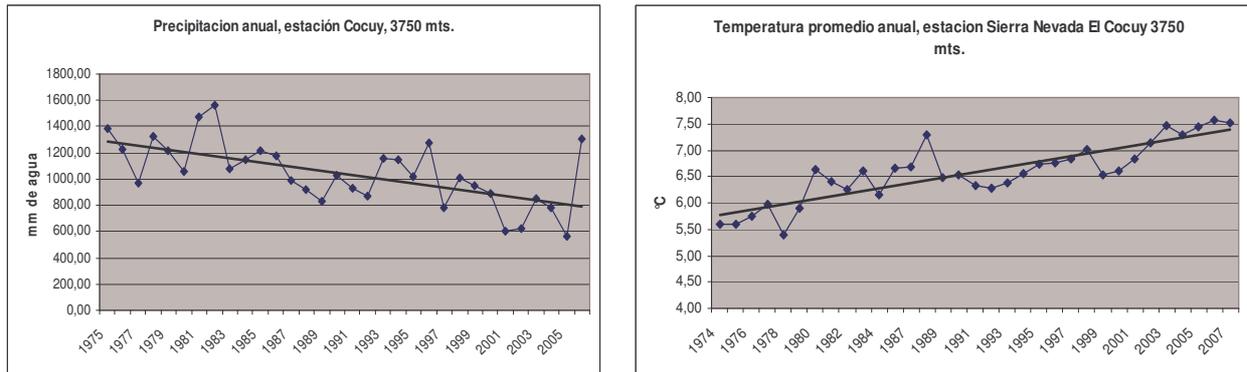


Figura 8. Precipitación y temperatura media anual en la estación Sierra Nevada del Cocuy.

2.4. GLACIARES COLOMBIANOS ACTUALES

Sobre el territorio colombiano existen actualmente seis nevados o glaciares de montaña, siendo áreas protegidas bajo la figura territorial de Parque Nacional Natural. De norte a sur del país son:

- ❖ Sierra Nevada de Santa Marta (Relieve periférico, 5775m.)
- ❖ Sierra Nevada del Cocuy (Cordillera Oriental, 5330m.)
- ❖ Volcán Nevado del Ruiz (Cordillera Central, 5320m.)
- ❖ Volcán Nevado Santa Isabel (Cordillera Central, 5110m.)
- ❖ Volcán Nevado del Tolima (Cordillera Central, 5280m.)
- ❖ Volcán Nevado del Huila (Cordillera Central, 5655m.)

Estos nevados, como comúnmente se suelen llamar en Colombia, ocupan un área actual de 47.18 Km², cifra calculada con base en el procesamiento de imágenes Landsat, Spot y QuickBird de 2006 y 2007 (figura 9).

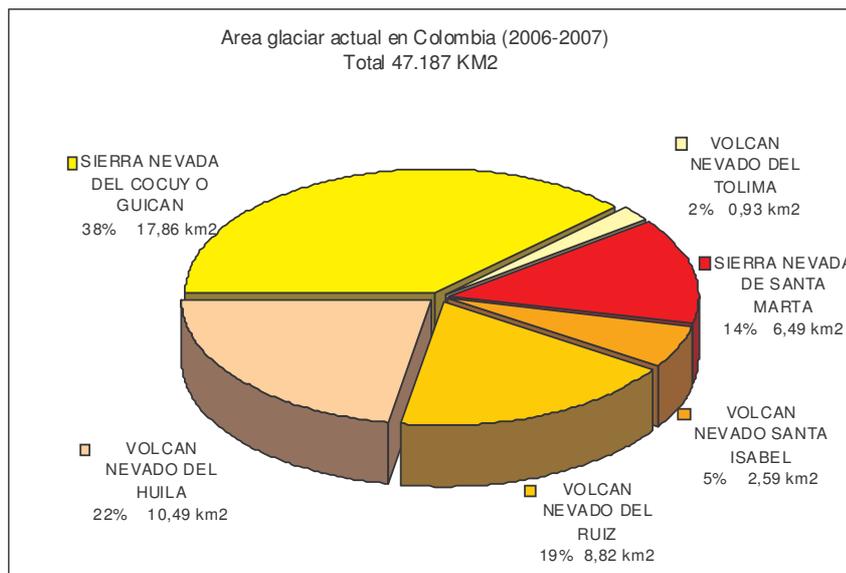


Figura 9. Área actual de los glaciares colombianos.

A partir de los cálculos realizados con fotografías aéreas e imágenes de satélite se tiene el cálculo de áreas de la última década, encontrando que el porcentaje que pierden los glaciares colombianos es cada vez más alto pasando de 2,69% de pérdida anual en promedio entre el periodo 1997 – 2003 a 3,5 % para el periodo 2003 – 2007 (tabla 4).

Tabla 4. Evolución reciente de los glaciares colombianos actuales.

NOMBRE DEL GLACIAR	AÑO	ÁREA TOTAL (Km ²)	PERDIDA TOTAL ENTRE PERIODOS (Km ²)	PERDIDA ANUAL ÁREA (Km ²)	PERDIDAS EN % ANUAL
Sierra nevada de Santa Marta	1995	11,1			
	2002	8,4	2,72	0,34	3,06
	2007	6,5	1,89	0,38	4,51
Sierra nevada del Cocuy	1994	23,7			
	2003	19,8	3,9	0,43	1,83
	2007	17,9	1,9	0,49	2,45
Volcán nevado del Ruiz	1997	11,76			
	2002	10,32	1,4	0,29	2,45
	2007	8,82	1,5	0,3	2,91
Volcán nevado Santa Isabel	1996	5,3			
	2002	3,3	2,0	0,33	6,29
	2006	2,6	0,7	0,18	5,38
Volcán nevado del Tolima	1996	1,2			
	2002	1,0	0,1	0,024	2,01
	2006	0,9	0,1	0,027	2,60
Volcán nevado del Huila	1996	13,3			
	2001	13,0	0,4	0,07	0,53
	2007	10,5	2,5	0,41	3,17
TOTAL APROX.	1995 - 1997	63,7			
TOTAL APROX.	2002-2003	55,8	7,912	0,24805556	2,69 % (promedio)
TOTAL APROX.	2006-2007	47,2	8,608	0,29625	3,5 %(promedio)

De persistir la actual tendencia de pérdida de área entre 2 y 5% anual, se estima que en un plazo de tres a cuatro décadas no existan glaciares en Colombia o una mínima masa permanezca en las cumbres más altas y húmedas. A pesar del acelerado proceso, éste se debe considerar como natural dentro de la extensa historia climática terrestre, pero fuertemente incrementado en las últimas décadas por el aumento térmico de la atmósfera asociado a la acumulación de gases de efecto invernadero.

3. MONITOREO GLACIAR EN COLOMBIA

3.1. PARÁMETROS FÍSICOS MONITOREADOS EN LOS GLACIARES COLOMBIANOS

Siguiendo metodologías recomendadas por GNHA, IRD, Univ. Zurich, WGSM y en concordancia con las condiciones y políticas institucionales, en Colombia se está haciendo seguimiento a los siguientes parámetros:

3.1.1. Retroceso del frente glaciar: Mediante puntos fijos cerca al límite inferior de lenguas glaciares. Se mide dos veces al año la distancia del punto de referencia al frente del glaciar para así obtener índices de retroceso longitudinal.

3.1.2. Balance de masa: Con la ubicación de estacas graduadas sobre el hielo en áreas de referencia se estima la pérdida de espesor así como la posible acumulación, la cual se expresa en milímetros de agua.

3.1.3. Aguas de fusión: A partir de la instalación de obras civiles se espera determinar el caudal, producto de la fusión glaciar y poder estimar con el un balance hídrico y su relación con la regulación de caudales para así cuantificar los posibles impactos de la desaparición de los nevados.

3.1.4. Cálculo de áreas: El cálculo de área glaciar debe ser realizado cada tres a cinco años, este intervalo de tiempo ha sido sugerido a Colombia por la WGMS (World Glacier Monitoring Service). Hasta el momento ha sido elaborado con base en la interpretación y procesamiento digital de fotografías aéreas así como de imágenes de satélite (Landsat ETM, QuickBird, y Spot).

3.1.5. Parámetros atmosféricos: Mediante la instalación y operación de estaciones climatológicas de alta montaña: Hasta el momento se cuenta con tres estaciones automáticas de alta montaña para monitorear las siguientes variables atmosféricas: Radiación global, temperatura (ambiental y de la roca o del suelo), humedad relativa, precipitación y dirección y velocidad del viento.

3.2. CRITERIOS EMPLEADOS PARA DEFINIR LAS ÁREAS PILOTOS EN LOS NEVADOS DE SANTA ISABEL Y EL COCUI.

Ha sido importante a la hora de definir las áreas glaciares a ser monitoreadas, los siguientes criterios:

Representatividad del glaciar: Esto indica que el glaciar monitoreado represente las condiciones climáticas locales y regionales. Además que tenga un rango altitudinal suficientemente amplio que permita definir área de ablación y de acumulación.

Tamaño del Glaciar: Es importante para los análisis comparativos estudiar zonas glaciares de gran y poca extensión ya que a partir de trabajos realizados en otros glaciares se ha comprobado que la respuesta es distinta, siendo los pequeños los más vulnerables, ya que responden más rápidamente a los pequeños cambios atmosféricos. (Ramírez, en Francou 2004). Sin embargo, debe tener una extensión que permita hacer seguimiento por varios años.

Morfología de la Cuenca: Es fundamental para la medición de un balance glaciológico e hidrológico una cuenca con sus límites bien definidos, permitiendo esto tener datos coherentes con la realidad.

Estado del frente e hidrología: Hace relación a la existencia de un frente glaciar limpio, es decir sin hielo muerto cubierto de escombros pegado al glaciar. Además que de dicho frente salga una corriente definida la cual pueda ser medida.

Viabilidad, accesibilidad y seguridad: Estas características son básicas para el monitoreo de un glaciar a largo plazo, lo primero es determinar que cuente con buenas rutas de acceso, que sea posible instrumentarlo es decir que sea uniforme y en lo posible que no se encuentre muy agrietado, y que no presente lugares peligrosos, como zonas de avalanchas, desprendimiento de bloques, seracs o pendientes muy fuertes.

3.2.1. Glaciar de estudio No. 1: Glaciar “Conejeras” en el Nevado de Santa Isabel.

A partir de observaciones en campo y análisis de fotografías aéreas, e imágenes de satélite se escogió como área de interés el glaciar Conejeras el cual presenta características adecuadas en cuanto a su accesibilidad, seguridad (poco agrietado, pendiente moderada y superficie uniforme), frente glaciar limpio, dentro de una microcuenca bien definida de la cual fluyen dos corrientes de fusión glaciar las cuales pueden ser medidas, además cuenta infraestructura cercana para apoyo logístico y presencia institucional continua (Parques Nacionales).

Tiene desventajas como poca diferencia altitudinal y baja altitud de su cima pero esto se convertiría en una ventaja comparativa ya que su baja altura lo hace más dinámico y ofrece respuestas al clima aparentemente más rápidas y claras. Su tamaño también es reducido.

3.2.2. Glaciar de estudio No. 2: Glaciar “Ritacuba Negro” en la sierra nevada de El Cocuy.

El trabajo para la determinación del lugar en la sierra nevada de El Cocuy fue similar al realizado en el volcán Santa Isabel, siendo escogido el glaciar Ritacuba Negro al norte de la sierra, el cual cumple las características requeridas de acceso, tamaño, frente glaciar, representatividad y morfología de la cuenca, sin embargo presenta problemas de seguridad en su ascenso por su fracturamiento en la mayor parte del glaciar.

3.3. INSTRUMENTACION GLACIAR

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, desde 2006 se han intensificado las actividades de glaciología tendientes básicamente a instrumentar los glaciares de estudio con los elementos básicos y mantener una red de observación que permite tener una serie de datos fiables. La instrumentación glaciar primordialmente ha consistido de:

3.3.1. Pluviómetro Totalizador

Con este sencillo instrumento es posible tener una buena aproximación de la cantidad de precipitación (líquida y sólida) caída en un lugar durante un año hidrológico. Se construye con una lámina de acero cuyas dimensiones y proceso de construcción se muestran en la figura 10, las cuales han sido estandarizadas para Bolivia y Ecuador y ahora utilizadas en Colombia. El pluviómetro totalizador puede acumular una cantidad aproximada de 2000 cm³ y es vaciado alrededor del año de uso liberando las tuercas de fijación de la base e inclinando el tanque separando el aceite para su adecuada disposición final. Para facilitar el vaciado es posible adaptar un desagüe en la parte inferior pero se corre el riesgo de fugas accidentales o intencionales.

Se utiliza como bloqueador de la evaporación una capa de aceite de automotor grado 40, que forme una capa de 10 mm. de espesor (Francou, 2004). Las mediciones están programadas para hacerlas mensualmente utilizando un flexómetro.

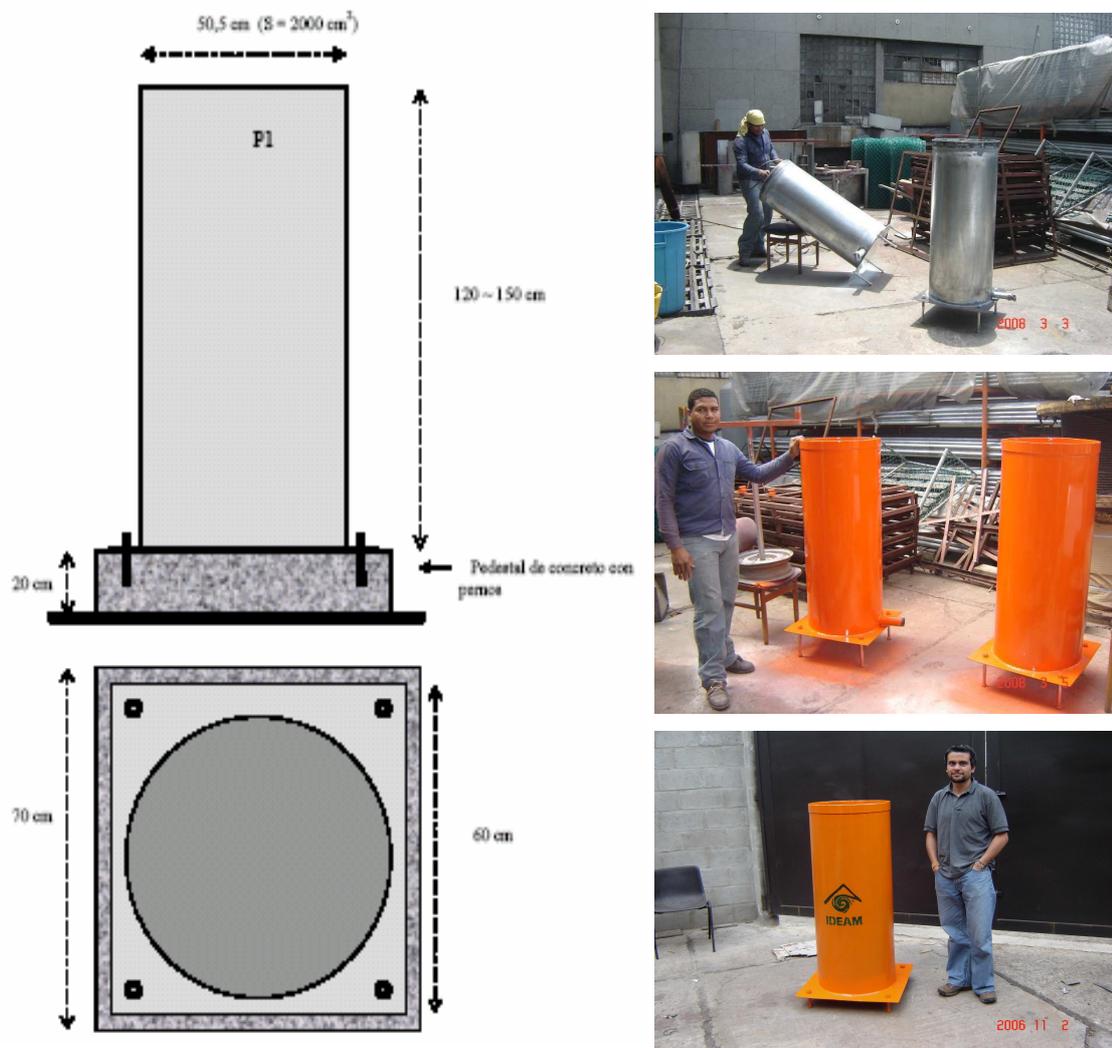


Figura 10. Dimensiones y proceso de construcción de un pluviómetro totalizador en el taller del IDEAM.

A finales del 2006 se instaló un pluviómetro en cada glaciar monitoreado, cerca del límite del hielo, tabla 5 y figura 11.

Tabla 5. Ubicación de los pluviómetros totalizadores instalados.

LUGAR	COORDENADAS	INSTALACIÓN
Base del glaciar Conejeras (Volcán Nevado Santa Isabel)	Lat N: 4° 49' 04,3'' Log W: 75° 22' 30'' Altitud: 4672 m	Instalado en diciembre de 2006 realizando mediciones mensuales.
Base del glaciar Ritacuba Negro (Sierra nevada de El Cocuy)	Lat N: 6° 30' 42,8'' Log W: 72° 18' 43,8'' Altitud: 4715 m.	Instalado en diciembre de 2006 realizando mediciones mensuales.



Figura 11. Pluviómetros totalizadores instalados: Izq. Glaciar Conejeras. Der. Glaciar Ritacuba Negro.

Se tiene programado para 2008 la instalación y operación de por lo menos dos pluviómetros totalizadores en la cuenca del río Cardenillo que drena las aguas de derretimiento del glaciar Ritacuba Negro.

Para la cuenca del río Claro que nace en al norte del glaciar Conejeras, la captura de datos de precipitación a otras altitudes se obtendrá de la red de monitoreo a instalar en el estudio sobre “Ciclos del agua y del carbono en alta montaña” que adelanta el Ideam.

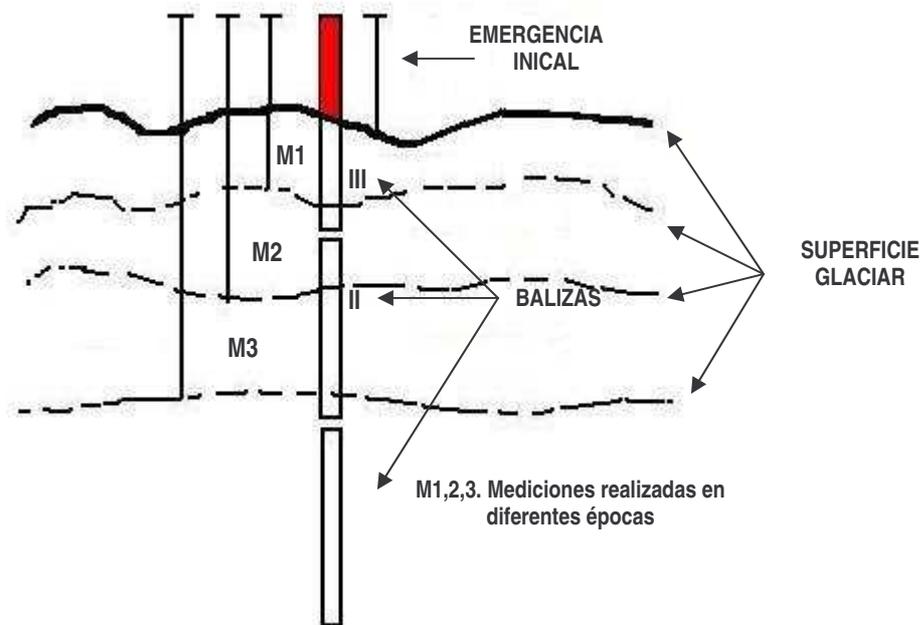
3.3.2. Red de balizas de ablación glaciar

Mediante las balizas o estacas es posible medir la pérdida o acumulación de espesor de la masa de hielo/nieve en diferentes partes del glaciar de manera que se pueda obtener un balance de masa glaciológico. Estas han sido instaladas para los glaciares monitoreados en mayor proporción para la zona de ablación, teniendo doce para el glaciar Conejeras y cinco para el Ritacuba Negro, sin embargo se instalaron dos adicionales en el glaciar Conejeras con el fin de determinar la posible acumulación.

Para las mediciones se ha tratado de hacer de forma mensual sin embargo cuestiones operativas y de tiempo no han permitido la medición en todas las ocasiones.

Las balizas son en tubería PVC de una pulgada de diámetro, enterradas sobre el glaciar a una profundidad no menor a 5 metros, dejando sobresalir en la superficie un tramo de algunas decenas de centímetros conocida como emergencia de la baliza.

Las balizas se clavan en secciones de dos metros y cada sección va unida a la otra con cordel o cable metálico. Cada sección de estaca se identifica con un número romano (I, II, III...). La sección I es la inferior. La idea de las secciones es dar flexibilidad a las balizas, disminuir el riesgo de pérdida total y que a medida que se funde el hielo no quede un solo tubo sobresaliendo figura 12. A su vez cada baliza se identifica en su tramo superior mediante una plaquita metálica en la que se inscribe un número consecutivo (1,2,...14). Finalmente fueron georreferenciadas con GPS de precisión y algunas con GPS de navegación.



Como se mencionó, en el glaciar Conejeras se instaló inicialmente una red de doce balizas en marzo de 2006, y luego fue ampliada en dos más en la parte alta del glaciar en mayo de 2007 (Tabla 6).

Tabla 6. Datos de las balizas instaladas en el glaciar Conejeras.

Código de la baliza	COORDENADAS			Emergencia Inicial (m)
	Norte	Este	Alt	
01	1024459	856261	4721	0,48
02	1024432	856240	4716	0,30
03	1024392	856198	4717	0,22

04	1024268	856237	4757	0,31
05	1024307	856294	4755	0,33
06	1024358	856364	4754	0,42
07	1024304	856508	4789	0,54
08	1024206	856461	4792	0,47
09	1024083	856339	4799	0,54
10	1023894	856406	4823	0,52
11	1024002	856540	4810	2,20
12	1024137	856638	4817	2,23
13	1023721	856429	4857	2,00
14	1023546	856460	4920	0,71

Para el glaciar Ritacuba Negro se instaló en diciembre de 2006, una red de 5 balizas en la parte baja del glaciar, cubriendo solo un sector debido al fuerte agrietamiento presente en la mayor parte de este (Tabla 7).

Tabla 7. Red de balizas instaladas, en el glaciar Ritacuba Negro.

Código de la baliza	Emergencia inicial Mts.	Georreferencia		
		Norte	Este	Altitud m.s.n.m
01	0,54	1.212.183	1.195.352	4734
02	0,46	1.212.231	1.195.506	4729
03	0,44	1.212.154	1.195.506	4780
04	0,42	1.212.208	1.195.147	4792
05	0,45	1.212.189	1.195.757	4850

3.3.3. Canaletas Parshall

Dentro del Proyecto Piloto Nacional de Adaptación (INAP) fue diseñada una red de monitoreo para el estudio de los ciclos del agua y del carbono en la alta montaña en Colombia que permitirá estimar los efectos del cambio climático en estos ecosistemas. De esta forma, en el PNN Los Nevados fue seleccionada la cuenca del río Claro en donde uno de sus nacimientos de agua se origina en el glaciar Conejeras. Curiosamente este nacimiento en realidad son dos corrientes de agua que se originan en este glaciar para lo cual fue necesario diseñar dos estructuras de aforo tipo venturi (canaletas Parshall) con el fin de medir la cantidad de agua proveniente del glaciar (figura 13). Estas fueron instaladas en diciembre de 2007 (figura 14) y serán puestas en operación en el 2008 con sensores de nivel ultrasónico.

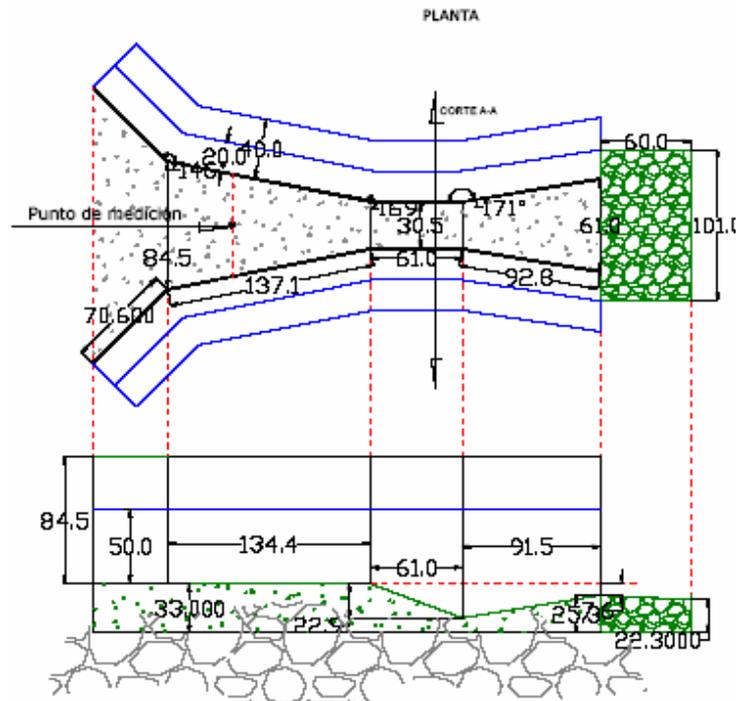


Figura 13. Diseño de las canaletas Parshall emplazadas cerca al frente glaciar del Conejeras (medidas en cm)



Figura 14. Canaleta Parshall instalada cerca del glaciar Conejeras

3.3.4. Estación meteorológica automática satelital

Debido a la importancia de las zonas glaciares como fiel indicador de los cambios en el clima terrestre, se han instalado estaciones meteorológicas automáticas satelitales en la alta montaña colombiana con el fin de comprender cómo los diferentes parámetros atmosféricos afectan directa e indirectamente estas áreas. La estaciones transmiten vía satélite (Goes), al sistema Hydras desde el cual es posible acceder a los datos de cada sensor en tiempo real en la sede central del IDEAM en Bogotá.

Actualmente se cuenta con tres estaciones ubicadas en las zonas peri glaciares de los nevados del Tolima, Santa Isabel y sierra nevada de El Cocuy (Tabla 8).

Tabla 8. Estaciones meteorológicas automáticas satelitales instaladas por encima de los 4500 mts.

LUGAR	VERTIENTE	LONGITUD /LATITUD	ALTITUD	FECHA DE INSTALACIÓN
Sierra Nevada de El Cocuy, glaciar Ritacuba Negro	Oeste	72° 19 04.1 W 6° 30 40 N	4665	11 de diciembre de 2006
Volcán Nevado Santa Isabel	Oeste	75° 23 2 W 4° 48 20 N	4750	30 de septiembre de 2005
Nevado del Tolima	Este	75° 14 54 W 4° 25 0.2 N	4700	12 de diciembre de 2006

Cada estación cuenta con ocho sensores (Tabla 9), que miden las variables de: Dirección de velocidad máxima del viento cada hora, dirección del viento cada 10 minutos, humedad del aire a 2m, precipitación sólida diaria, presión atmosférica, radiación global, radiación UVB, temperatura máxima del aire 2 m, temperatura máxima virtual, temperatura mínima del aire 2 m, temperatura mínima virtual, temperatura media aire 2 m, temperatura del “suelo” 10 cm, temperatura media virtual y velocidad máxima del viento.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de los sensores.

SENSOR	MARCA	TIPO	FRECUENCIA	UNIDAD
Precipitación sólida	OTT	Digital	Horaria	Milímetros
Humedad del aire	THIES	Análogo	10 minutos	%
Temperatura del aire	THIES	Análogo	Horaria	°C
Radiación global	THIES	Análogo	Horaria	W/m2
Dirección del viento	THIES	Ultrasónico	10 minutos	16 sectores
Velocidad del viento	THIES	Ultrasónico	10 minutos	m/s
Temperatura “suelo”	IMKO	Análogo	Horaria	°C
Presión atmosférica	VAISALA	Análogo	Horaria	Hpa
Radiación UVB	THIES	Análogo	Horaria	w/m2

Las estaciones son diseñadas e instaladas por profesionales del Ideam quienes han estandarizado ese proceso (figura 15). Técnicos de las Áreas Operativas realizan las operaciones de mantenimiento cada seis meses.

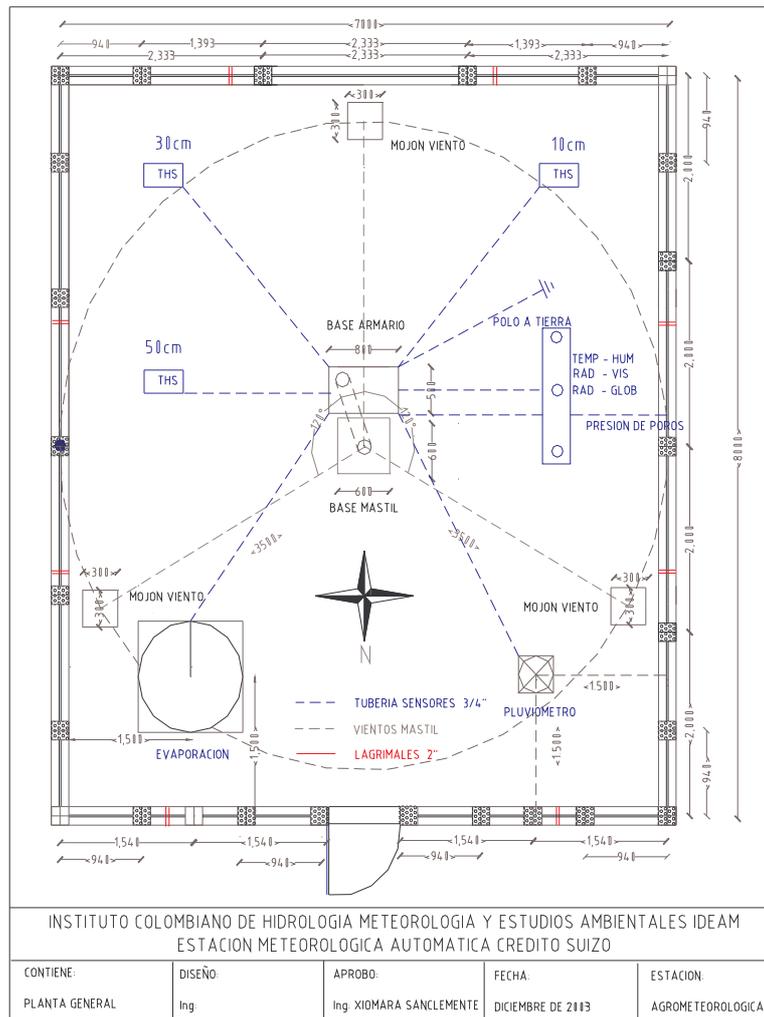


Figura 15. Vista en planta de una estación meteorológica automática satelital. (Grupo de Redes, IDEAM)

El proceso de instalación de una estación automática sigue ciertos pasos que permitan su correcta transmisión y operación:

- Selección previa del lugar óptimo. Deben considerarse factores como: representatividad del zona a medir, seguridad, topografía, estabilidad de la superficie y recepción adecuada de la señal GPS .
- Logística y preparación para la elaboración de las bases e instalación de la malla de cerramiento. (compra de materiales, contratación de obreros, alquiler de mulas, permisos y correspondientes en la zona)
- Elaboración de la base e instalación de la malla de cerramiento.
- Instalación de sensores, y puesta a prueba de cada sensor, de la unidad procesadora, de los equipos de transmisión y sus antenas (yagi y GPS).
- Ubicación del pararrayos y polo a tierra para cada sensor.
- Verificación de la recepción de la información en el sistema Hidras.



Figura 16. Izquierda: Estación meteorológica en el glaciar Ritacuba Negro. Derecha. Nevado Santa Isabel

3.4. EQUIPOS UTILIZADOS

Con el fin de mejorar los trabajos glaciológicos en el país, el Ideam ha adquirido una serie de equipos que le permiten cumplir con los objetivos propuestos en el tema.

3.4.1. Perforadora del hielo

Con el fin de mantener la red de balizas de ablación se utiliza una maquina de perforación de hielo la cual utiliza vapor de agua caliente para derretir el hielo utilizando gas propano-butano como fuente de energía y formar un orificio de 2 pulgadas por más de 6 metros de profundidad.

Desde diciembre de 2007 se dispone de una maquina perforadora tipo Heucke (figura 18) en remplazo de la máquina francesa utilizada durante los años 2006 y 2007 amablemente facilitada por Ingeomionas (figura 17).



Figura 17. Perforación en el glaciar Conejeras, marzo 2006, con la perforadora del Ingeominas



Figura 18. Perforadora Heucke. Trabaja con gas butano/propano. Un repuesto de gas modelo *Camping Gaz CV 470* alcanza para dos agujeros en hielo de 10-12 metros de profundidad a 5000 metros de altitud.

3.4.2. Radar de penetración de hielo.

Para medir los espesores de hielo se cuenta con un Radar de impulso con osciloscopio marca *Fluke Scopmeter 97*, el cual consiste en un equipo electrónico que mediante la generación y recepción de ondas eléctricas (transmisor-antenas dipolo-receptor), puede calcular el tiempo entre la emisión y arribo de ondas a través del hielo y mediante una fórmula predefinida calcular el espesor para un punto (figura 19).

3.5. TRABAJO DE CAMPO

Las campañas de campo revisten especial importancia ya que de la buena organización (preparación, coordinación y logística) depende la captura frecuente y acertada de la serie de datos que son base para los análisis y resultados esperados dentro del proyecto.

Es importante dar a conocer algunos aspectos sobre el trabajo que se desarrolla en campo, ya que en ocasiones, por desconocimiento no se valora ni se reconoce la dificultad que tienen esas tareas y su gran importancia para el estudio.



Figura 19. Radar de impulso para determinar espesores de hielo

3.5.1. Aspectos logísticos

Previo a cada campaña de campo es fundamental realizar algunos preparativos logísticos los cuales consisten en la programación de las actividades a realizar, los días, tiempos de recorrido y equipo requerido para cada actividad (carpas, aislantes, botiquín de primeros auxilios, equipo de ascenso, menaje, cuerdas, equipo personal, herramientas, GPS etc.), compras extras (gas, gasolina, pintura, cintas, plásticos, tubos, etc.), además de cartografía o fotografías aéreas. Paso seguido se deben realizar los respectivos contactos con los funcionarios de Parques para informar sobre el trabajo, así como acordar y confirmar el alquiler de transportes terrestres y/o semovientes para el equipo en el caso de que sea necesario y coordinar apoyo con otras instituciones (Ingeominas, Parques Nacionales) (tabla 10). Este trabajo se debe hacer con al menos dos semanas de anterioridad ya que la gente de alta montaña maneja de diferente forma el tiempo.

Tabla 10. Contactos utilizados por Ideam para apoyo de operaciones de campo

	Nombre	Tipo de apoyo	Correo electrónico	Teléfono	Dirección/Ciudad
1	Jorge Lotero	Jefe Parque Los Nevados, permisos alojamiento	jefenevados@epm.net.co	(6) 8864104 - 8864703 -3005724157	calle 76b # 18-14, Barrio la Alta Suiza Manizales Caldas
2	Fabio Muñoz	Jefe Parque El Cocuy, permisos y coordinación logística.	pnnccocuyjp@yahoo.com	3132824352 - 0987890359	oficina municipio El Cocuy
3	Jair Ramírez	Ingeominas, apoyo con equipo de topografía	jairamir@ingeominas.gov.co -jaraca59@yahoo.com	3158295766	Ingeominas Bogotá
4	Milton Arias	Funcionario Parque Los Nevados, apoyo para la medición de ablación en el glaciar Conejeras	parquenevados@epm.net.co	(6) 8864104 - 8864703	calle 76b # 18-14, Barrio la Alta Suiza Manizales Caldas
5	Víctor Buitrago, Jorge Carvajal, Joaquín Valderrama, Omar López	Funcionarios Parque El Cocuy, que apoyan el proceso de medición de la ablación en el glaciar Ritacuba Negro.	pnnccocuy@hotmail.com	(098)7890359, oficina el Cocuy, 3118854994 (Víctor Raúl), 3114425505 (Joaquín)	oficina municipio El Cocuy
6	Juan Diego Serna	Transporte terrestre Manizales-Parque Nevados (Cabaña del Cisne o Potosí)		0368738467 - 3155413378	Manizales Caldas
7	Elkin Gonzáles	Montañista, guía y apoyo logístico	elkkinpg@yahoo.es	3103735843	Manizales Caldas
8	Fernando Alonso	Finca Potosí, apoyo semovientes, Parque Nevados.		(096)8701351 - 3168607753	Potosí, Villamaría Caldas.
9	Candido Correa	Apoyo semovientes, parque El Cocuy.		3107533307	Güicán, Boyacá.
10	Eliana Clariza Castro	Coordinadora área operativa 9 (Cali)		3108900977	Cali, Valle.
11	Juvenal Rosas	Coordinador área operativa 6 (Duitama)		3124661145	Duitama, Boyacá

Para ambos glaciares se tiene el inconveniente con el alquiler de semovientes ya que en las zonas hay muy pocas personas que hagan este trabajo y en ocasiones no disponen de animales o de tiempo lo que obliga a duplicar el esfuerzo haciendo varios ascensos durante la estadía.

El trabajo de medición en la red de ablación es relativamente simple, solo se requiere de un GPS, para localizar las estacas en caso de neblina, un flexómetro o una sonda de nieve para medir la emergencia y una libreta de campo. Las mediciones pueden tomar entre de 3 a 4 horas dependiendo de las condiciones climáticas y de la superficie glaciar.

El proceso de perforación de hielo es un poco complicado, en primer lugar debido al transporte del equipo. Otro inconveniente que se puede encontrar durante la perforación es la presencia de capas de ceniza que tapan la boquilla de inyección de vapor y demoran el trabajo. Normalmente esta operación puede tardar entre 40 y 55 minutos para un orificio de diez metros de profundidad.

El equipo básico para el trabajo fuera de la ropa térmica de alta montaña y los lentes con filtro UV, es un par de crampones, un piolet y en algunos casos arnés mosquetón y cuerda.

En definitiva, el trabajo en campo es una labor difícil y en ocasiones de riesgo ya que los lugares de trabajo pueden presentar grietas y escarpes peligrosos.

3.5.2. Rutas y accesos

Al Glaciar Conejeras:

El transporte al nevado Santa Isabel (glaciar Conejeras) se puede realizar de dos formas: por vía aérea entre la ciudad de Bogotá a Manizales trayecto que dura 30 minutos, desde donde se toma un vehículo 4x4 hacia el PNN Los Nevados-cabaña El Cisne, en un trayecto de cerca de 3 horas. La otra vía es terrestre desde la ciudad de Bogotá hasta el páramo de Letras (vía Cambao – Mariquita - Fresno), luego descenso por 5 Km hasta el sitio conocido como “El Ocho” donde se toma la vía al PNN Los Nevados, específicamente hasta la cabaña El Cisne a 4000 m. el recorrido total es de 8 horas (385 Km).

El sitio “Brisas” es la entrada principal al Parque (4150m.) donde se debe reportar la entrada. Las entidades de investigación no están obligadas a pagar los derechos de entrada al área. El horario de entrada por seguridad está restringido desde las 2:30 pm. También se puede llegar a la cabaña del Cisne vía Manizales – Villamaría – La Cueva – Potosí – El Cisne en un trayecto de 3.5 horas en vía destapada y dificultosa. Por ambos accesos del parque es recomendable vehículo doble tracción.

Para las labores de glaciología se ha tenido el apoyo de alojamiento en la cabaña El Cisne (4100 m.) de propiedad del Parque. Allí es necesario hacer aclimatación y preparación del equipo de ascenso. En caso de no tener alojamiento en esta cabaña existe en el mismo lugar el Centro de Visitantes El Cisne que lo administran particulares pero se debe hacer previos contactos.

Desde la cabaña El Cisne se debe hacer el ascenso hasta el campamento base a pie o a caballo en un tramo señalizado de 4 Km hasta los 4700 m donde se encuentra el glaciar Conejeras. El tiempo de recorrido según la adaptación, condiciones atmosféricas y equipo llevado varía entre 2 y 3 horas.

Para las mediciones de retroceso del frente glaciar en los varios puntos alrededor del nevado se deben calcular muy bien los tiempos de recorrido, aprovisionarse de alimento y GPS ya que no existen caminos demarcados para llegar a ellos.

Al Glaciar Ritacuba Negro:

En el caso de la sierra nevada de El Cocuy la única forma es vía terrestre desde Bogotá hacia el municipio de El Cocuy (375Km) tardando entre 10 y 12 horas vía Tunja - Duitama – Belén – Cerinza – Soatá – Tipacoque – Capitanejo (comienza vía destapada) – El Espino – Panqueba – El Cocuy. También desde Soatá se puede tomar la vía Boavita – La Uvita – San Mateo – Guacamayas – El Cocuy, la cual está siendo pavimentada.

Desde El Cocuy (sede principal de las oficinas del Parque) se toma la vía Güicán – Cabañas de Kanwara – Parada de Romero (4000m) por vía destapada (42Km). Desde este punto y a pie o a caballo se asciende por 7 Km al campamento base a 4700 m. en un tiempo de 2.5 a 4 horas.

Es recomendable hacer adaptación en las cabañas Kanwara que administra la gobernación de Boyacá o en cabañas de particulares alrededor de esta área.

Si se tienen que hacer mediciones de retroceso en la parte sur de la sierra se debe tomar la vía El Cocuy – hacienda La Esperanza y luego a pie o caballo hasta la Laguna Grande de la Sierra o hasta la “casa de Los Herrera” para ascender a pie o caballo hasta el glaciar Lagunillas o el Pulpito del diablo. Para ambos lugares el ascenso es de 2.5 a 3 horas aproximadamente dependiendo de la adaptación, el clima y el equipo. Las medidas de retroceso en el Pulpito del diablo se pueden hacer en un día con buena preparación física. En la Laguna Grande, debido a que se tiene varios puntos, es necesario montar un campamento para dos o tres días.

Para medir retrocesos glaciares en los Cerros de la Plaza se toma el mismo camino desde los Herrera hasta el paso de Cusirí y luego hasta la laguna de la Plaza donde se debe hacer campamento para luego al siguiente día subir a los Cerros.

3.5.3. Campañas de campo realizadas durante el 2007

La tabla 11, presenta un resumen de las salidas de campo realizadas durante el 2007.

Tabla 11. Campañas de campo realizadas durante el proyecto.

FECHA	LUGAR	OBJETIVOS	RESULTADOS
9 al 12 de febrero/ 2007.	Volcán Nevado Santa Isabel	Reemplazar el grupo de balizas inferiores instaladas en marzo de 2006, realización de mediciones de ablación en la red de balizas y ubicación de un punto para medir la acumulación en la cima norte del glaciar.	Perforación y reemplazo de las balizas 1 a la 8, ubicadas entre los 4690 y 4792 m.s.n.m. Ubicación de un punto de medición para la acumulación de nieve, sobre la cima norte del Santa Isabel.
9 al 13 de marzo/ 2007.	Volcán Nevado Santa Isabel	Realización de recorridos a varias cuencas y observaciones hidrológicas y glaciológicas por parte de expertos del IRD de Francia, como parte del trabajo de cooperación técnico-científica de esta institución con el IDEAM, y efectuar las rutinarias medidas de ablación.	Medición de las balizas en el glaciar Conejeras, verificación del estado de la red de balizas por parte de funcionarios del IRD y recomendaciones para el monitoreo, definición de sitios óptimos para las mediciones de caudales de fusión glaciar y evaluación de la acumulación en la cumbre norte del Conejeras.
21 al 24 de marzo/2007.	Volcán Nevado Santa Isabel	Realizar el primer taller de socialización con la comunidad, en el tema de cambio climático y vulnerabilidad del sistema glaciar. Acompañar y prestar apoyo al proceso de monitoreo y evaluación del desarrollo de las actividades de la Segunda Comunicación Nacional, dentro del componente de glaciares.	Se realizó el taller de socialización dirigida a los funcionarios del parque, donde se explicaron temas de cambio climático y el trabajo que realiza el instituto en el tema de glaciares, junto con charlas de sensibilización con la comunidad y en especial dirigidas a niños, con el fin de que comprendieran la importancia de cuidar el agua.
16 al 22 de abril/2007	Sierra nevada de El Cocuy	Evaluar la estación meteorológica automática la cual presentaba problemas. Realización de mediciones de ablación en el glaciar Ritacuba Negro. Estimación de las posibles áreas para la ampliación de la red de balizas y ubicación del lugar donde podría realizarse la instalación de la estación hidrológica para este glaciar.	Se puso en operación la estación meteorológica, se realizaron las mediciones de ablación, y se determinó una zona óptima para la ampliación de la red de balizas y para la ubicación de la estación hidrológica con la cual se determinarían caudales de fusión; también se realizó una reunión con los funcionarios del parque y se entregó una base de datos para que se maneje la información de igual forma.
29 de mayo al 3 de junio / 2007	Volcán Nevado Santa Isabel	Ampliar la red de balizas, buscando determinar una posible zona de acumulación. Reemplazo de las balizas superiores 9 a 12. Realización de marcas sobre un talud, con el fin de evaluar la velocidad del movimiento en la superficie del glaciar. Levantamiento topográfico. Mediciones rutinarias de ablación, y del pluviómetro totalizador.	Instalación de dos nuevas balizas en la cumbre centro del glaciar. Reemplazo de las balizas 9 a 12. Se realizaron 3 marcas sobre talud SW del glaciar conejeras. Se inició el levantamiento topográfico pero no fue posible terminarlo por malas condiciones atmosféricas. Finalmente se realizaron las mediciones de ablación y de acumulación en el pluviómetro totalizador.

12 al 16 de junio / 2007	Volcán Nevado Santa Isabel	Poner en operación la estación de alta montaña con la cual se obtiene la información para la realización de análisis climáticos. Hacer mediciones de retroceso longitudinal en la zona Sur del nevado Santa Isabel	Se puso en operación la estación automática y se revisó su correcta transmisión. Se hizo el recorrido para la realización de las mediciones de retroceso, pero el mal tiempo y la cubierta de nieve impidió encontrar las marcas.
9 al 14 de julio / 2007	Sierra nevada de El Cocuy	Realizar mediciones de retroceso longitudinal en varios puntos de los glaciares Cóncavo y Toti. Apoyar la realización de aforos y la evaluación del sitio óptimo para la implementación de una estación que permita conocer el caudal de fusión de el glaciar Ritacuba Negro. Poner en funcionamiento nuevamente los sensores de la estación meteorológica automática. Realizar las mediciones en las balizas de ablación ubicadas al norte del glaciar Ritacuba Negro. Apoyar el proceso de socialización con la comunidad sobre el proyecto glaciares en el municipio de Güicán.	Se hicieron medidas de retroceso longitudinal en 5 puntos de los glaciares Toti y Cóncavo, encontrando una fuerte pérdida en el glaciar Toti en los últimos dos años. Se apoyo el aforo para determinar el caudal en un sector del río cardenillo encontrando un total de 228 lt/s. Se realizaron medidas ablación encontrando un cambio muy fuerte en la morfología glaciar. Finalmente se apoyo el proceso de socialización con la comunidad en el municipio de Güicán con un total de 50 asistentes, entre estudiantes, miembros del gobierno municipal y publico general.
9 al 12 de agosto /2007	Sierra nevada de El Cocuy	Realizar mediciones de ablación en el glaciar Ritacuba Negro. Evaluar junto con expertos de la Universidad de Zurich el estado actual del glaciar, así como los trabajos realizados hasta el momento, las condiciones de seguridad y viabilidad para continuar las mediciones. Estimar una nueva cuenca que pudiera sustituir o ampliar los trabajos realizados hasta el momento.	Se realizaron las mediciones en la red de balizas, encontrando una pequeña acumulación de nieve en la parte alta. Junto con los expertos se encontró una zona optima para ampliar la red de balizas y se propuso tener en cuenta el glaciar Ritacuba Blanco como indicador adicional de la acumulación por encima de los 5000 mts, debido a su homogeneidad y fácil acceso.
21 al 25 de agosto /2007	Volcán Nevado Santa Isabel	Evaluar el estado de las balizas instaladas. Realizar las mediciones de ablación y observar la acumulación en la zona alta del glaciar entre otras observaciones y mediciones de interés. Visita a la escuela Aspar, e instalación de un pluviómetro dado por el IDEAM.	Se instaló un pluviómetro en la Escuela Aspar, con el fin de incentivar el trabajo e interés mostrado por los niños de esta zona. Se realizaron medidas de ablación, sin embargo la gruesa cobertura de nieve y las condiciones climáticas no permitieron encontrar dos balizas. Se realizaron medidas para estimar la velocidad del movimiento glaciar en uno de los tres puntos marcados encontrando un valor aproximado de 1,8 m/s.
1 al 3 de noviembre de 2007	Volcán Nevado Santa Isabel	Recoger en las instalaciones de Ingeominas en la ciudad de Manizales, el equipo de perforación con el cual se realizaron los trabajos en la sierra nevada de El Cocuy. Realizar mediciones de ablación en la red balizas instaladas en el glaciar Conejeras, como parte de las actividades para determinar el balance de masa para este glaciar. Desocupar el pluviómetro totalizador instalado en diciembre de 2006, y cambiar el aceite que impide que la precipitación se evapore.	Se visitó la ciudad de Manizales para recoger el equipo de perforación, donde además se sostuvo una reunión con el montañista Elkin Gonzáles con el propósito de conseguir más información útil al proyecto. Finalmente se visitó la oficina de parques para coordinar aspectos logísticos. Se ascendió al glaciar Conejeras, y se evaluó el estado de la red de balizas y del glaciar. Se hicieron las mediciones de las balizas de ablación, y de las marcas dejadas en el talud para determinar el movimiento glaciar. Finalmente se puso en operación del pluviómetro totalizador instalado a finales de noviembre del 2006.
6 al 10 de Diciembre de 2007	Sierra nevada de El Cocuy	Hacer mediciones de ablación en el glaciar Ritacuba Negro en la sierra nevada de El Cocuy, evaluar su estado. Reemplazar las balizas de la parte inferior instaladas en diciembre de 2006, y ampliar la red hacia la parte alta del glaciar. Desocupar el pluviómetro totalizador instalado en diciembre de 2006, y cambiar el aceite que impide que la precipitación se evapore.	Visita al municipio de El Cocuy (Boyacá), donde se tuvo una conversación con el jefe de el parque nacional El Cocuy y algunos funcionarios, se preparó el equipo y se coordinó la logística final para el trabajo en el glaciar Ritacuba Negro. Ascenso al glaciar Ritacuba negro, levantamiento del campamento base y preparación final del equipo. Reemplazo de las balizas inferiores, medición de la ablación en las balizas encontradas, búsqueda de las balizas perdidas evaluación del estado del glaciar y nueva perforación en la zona media del glaciar. Puesta en operación del pluviómetro totalizador instalado en diciembre de 2006 y vaciado del pluviómetro de la estación meteorológica de alta montaña.

<p>3 al 7 de diciembre de 2007</p>	<p>Sierra nevada de El Cocuy</p>	<p>Realizar en conjunto de funcionarios del IDEAM, y el IRD de Francia una evaluación del estado actual de la masa glaciar, en el Ritacuba Negro. Realizar mediciones de ablación en las cinco balizas instaladas en el glaciar Ritacuba Negro. Revisar el correcto funcionamiento de la estación de alta montaña instalada cerca al glaciar de estudio. Realizar una visita de reconocimiento al glaciar Ritacuba Blanco. Realizar una medida de retroceso longitudinal en el glaciar Pan de Azúcar al sur de la sierra.</p>	<p>Ascenso al glaciar Ritacuba Negro, revisión del funcionamiento de la estación meteorológica, medición de las balizas de ablación ubicadas en la zona norte, y verificación de una posible zona para ampliar la red. Ascenso al glaciar Ritacuba Blanco, para evaluar su estado y determinar la posibilidad de ampliar la red de monitoreo en esta zona. Ascenso al glaciar Pan de Azúcar para hacer mediciones de retroceso longitudinal.</p>
<p>19 al 21 de diciembre de 2007</p>	<p>Volcán Nevado Santa Isabel</p>	<p>Hacer entrega del equipo de perforación prestado por el Ingeominas, en la ciudad de Manizales. Realizar las medidas de ablación en el glaciar Conejeras y estimar el estado y dinámica del glaciar.</p>	<p>Se entregó el equipo de perforación en la ciudad de Manizales. Se ascendió al glaciar Conejeras, se evaluó el estado del glaciar, se hicieron las mediciones de ablación y se estimó la velocidad de movimiento glaciar.</p>

4. GLACIAR CONEJERAS (VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL)

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Hace parte del Volcán Nevado Santa Isabel con punto central localizado en las coordenadas geográficas 4º 48' latitud norte y 75º 23' de longitud oeste, con 5110 m. de altura en su punto máximo, marcando la divisoria de aguas de la cordillera Central.

Este volcán nevado corresponde político-administrativamente a los municipios Santa Isabel y Murillo en el departamento del Tolima, Villamaría en Caldas y Santa Rosa de Cabal y Pereira en Risaralda. El glaciar Conejeras esta en jurisdicción del municipio de Villamaría. Este volcán de basamento ígneo metamórfico hace parte del Parque Nacional Natural Los Nevados, al cual también pertenecen los volcanes-nevados del Ruiz y Tolima, siendo considerados por Ingeominas como activos.

La tabla 12 muestra las características básicas actualizadas del glaciar Conejeras (figura 20).

Tabla 12. Características generales del glaciar Conejeras.

Ubicación	Vertiente Noroccidental, nevado Santa Isabel, Villamaría Caldas.
Distancia de Bogotá	275 Km. por vía terrestre, 8 horas aprox.
Rango altitudinal (aprox)	4700 - 4950
Superficie	0,3 km ² , 11,5% del área total del nevado.
Exposición general	Noroeste
Espesor máxima del hielo	Desconocido
Inicio del programa de observación	Retroceso del frente: Nov. 2001 ; Balance: Marzo de 2006
Balance de masa (glaciológico)	Si (14 balizas, mensual)
Topografía	Si (anual)
Balance hidrológico	No
Estación meteorológica	A 1,4 Km. Aprox.
Frecuencia de visitas	Mensual
Instituciones	IDEAM (Responsable), Parques Nacionales (Medición de balizas), Ingeominas (perforación inicial, topografía inicial)

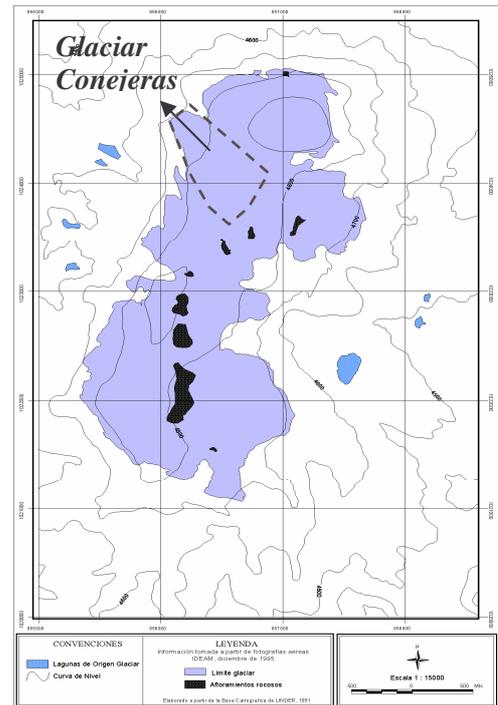


Figura 20. Glaciar Conejeras. Izq. Vista en campo. Der. Ubicación dentro del nevado Santa Isabel.

4.2 INSTRUMENTACIÓN

El Conejeras fue el primer glaciar que fue objeto de una instrumentación para su observación, tabla 13, figura 21.

Tabla 13. Instrumentación del glaciar Conejeras.

INSTRUMENTO	FECHA DE INSTALACIÓN	DISTRIBUCIÓN
Balizas de ablación	14 balizas : 12 en Marzo de 2006 y 2 en mayo de 2007	Entre los 4710 y los 4950 m
Un pluviómetro totalizador	Diciembre de 2006	4650 m.
Una estación meteorológica automática satelital	Octubre de 2005.	4750 m y a 1,4 Km. del glaciar
Un punto de retroceso longitudinal	Noviembre de 2001	Borde glaciar.
Dos canaletas tipo Parshall	Diciembre de 2007	4660 m.

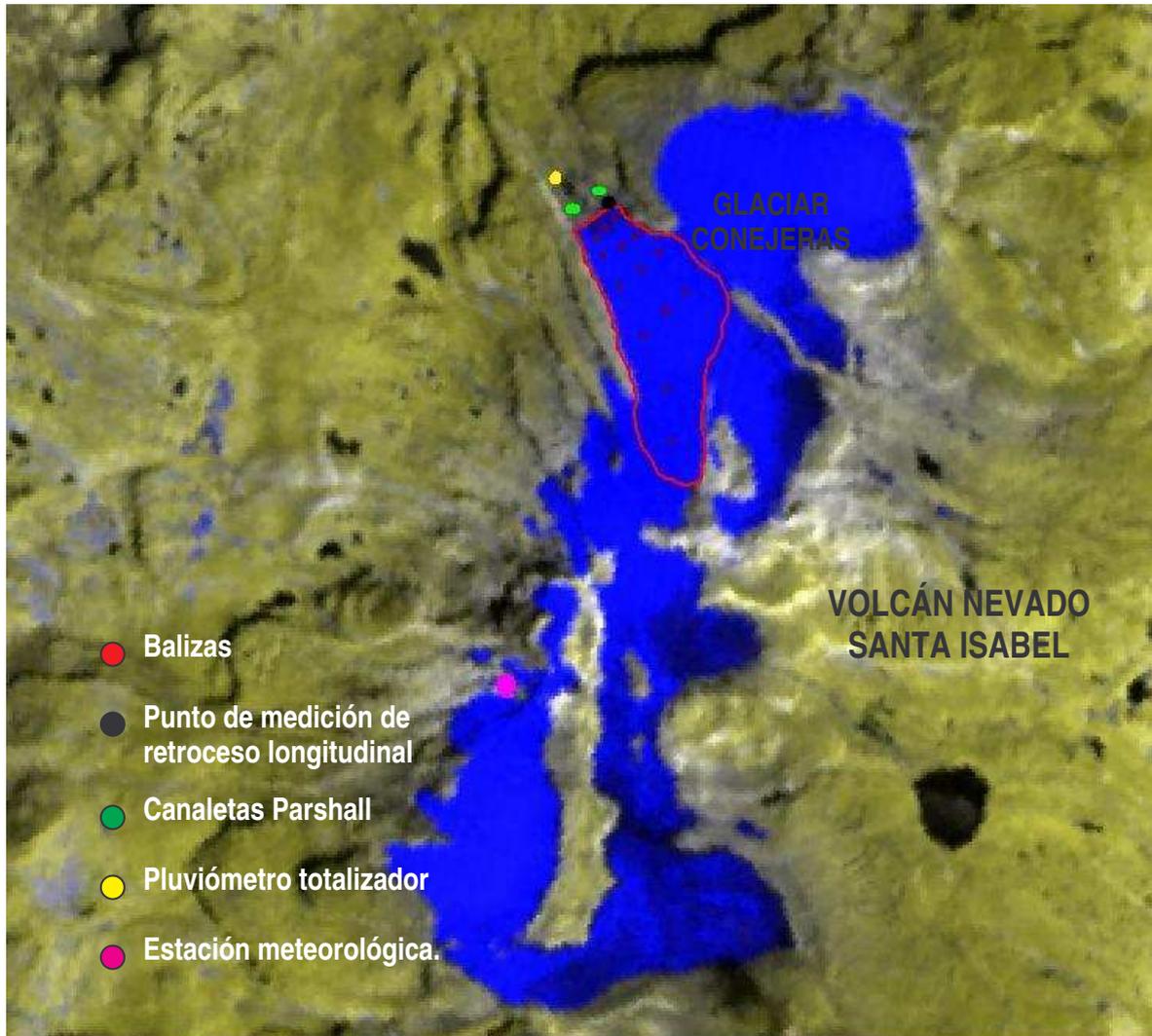


Figura 21. Instrumentación del glaciar Conejeras.

4.3. BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO

4.3.1. Zona de acumulación

De acuerdo con las observaciones realizadas se estima que el glaciar Conejeras no posee una zona de acumulación permanente. Sin embargo, durante los periodos de “invierno” fuerte puede tenerse una pequeña área donde se presentan pequeñas acumulaciones, por lo pronto estos periodos han coincidido con fenómenos de tipo La Niña.

Durante el periodo de abril a diciembre de 2006, no se reportó ninguna, acumulación de importancia, teniendo solo pérdidas. Por otra parte el periodo enero a diciembre de 2007, presentó una acumulación por encima de los 4850 m, sin embargo, esta respondió a una época invernal muy fuerte en Colombia influenciada por un fenómeno La Niña, la cual se marcó entre junio y diciembre de este año (tabla 14).

Tabla 14. Acumulación presentada para las balizas 13 y 14 durante el periodo de junio a diciembre de 2007.

Periodo	Baliza	Altura, mts.	Acumulación, mm.
Junio - Diciembre 2007	13	4857	217
	14	4920	318

4.3.2. Zona de ablación.

Para obtener el balance de masa se utilizaron los datos obtenidos de las mediciones mensuales realizadas por el grupo de glaciología del Ideam, junto con el fundamental apoyo de los funcionarios de Parques Nacionales.

a. Método para el cálculo.

El balance para esta zona es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$b_i = \rho_0 \cdot \Delta h + (\rho_2 h_2 - \rho_1 h_1)$$

Donde b_i corresponde al balance de masa en el sitio i , ρ_0 a la densidad del hielo (generalmente entre 0.82 a 0.92 g cm⁻³) y Δh a su cambio de espesor. El primer término de la ecuación representa el balance del hielo, mientras que el segundo representa el balance del material poroso (nieve, neviza) que cambia en función del tiempo (ie entre dos mediciones sucesivas). (Francou & Pouyand, 2004).

b. Red de balizas instaladas.

Para este glaciar se cuenta con un total de 14 balizas, codificadas con números arábigos, figura 22.

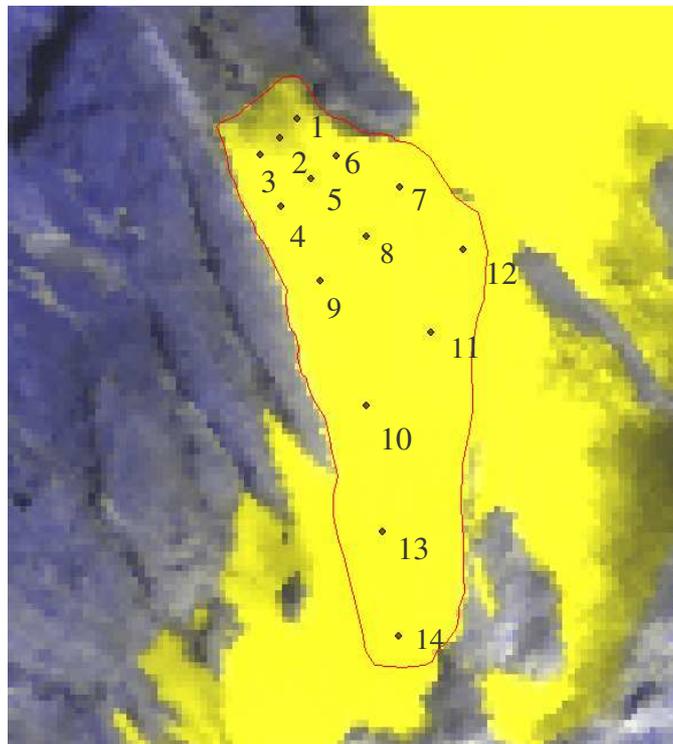


Figura 22. Red de balizas instaladas en el glaciar Conejeras y su codificación

c. Balance mensual para cada baliza.

Durante el periodo abril a diciembre de 2006, se contó con una red de 12 balizas ubicadas entre los 4716 y los 4823 mts, tabla 15.

Tabla 15. Balance de cada baliza durante el periodo abril a diciembre de 2006.

No. Baliza	Altura msnm	Balance mm de agua.
1	4721	-3726,685
2	4716	-3701,47
3	4717	-3899,72
4	4757	-2997,24
5	4755	-3174,185
6	4754	-3089,54
7	4789	-2830,105
8	4792	-2300,863
9	4799	-2041,282
10	4823	-1269,503
11	4810	-1748,053
12	4817	-1562,678

Para el año 2007, se contó con la información de 14 balizas ubicadas entre los 4714 y los 4920 mts, tabla 16.

Tabla 16. Balance de cada baliza durante el periodo enero a diciembre de 2007.

No. Baliza	Altura, msnm	Balance
1	4715	-3127,053
2	4714	-2713,85
3	4714	-2680,822
4	4744	-1835,465
5	4744	-1453,575
6	4755	-1923,019
7	4808	-1570,118
8	4787	-1306,92
9	4781	-692,4845
10	4823	-1041,08
11	4810	-752,0378
12	4817	-1206,007
13	4857	1178,6042
14	4920	1426,9699

Lo anterior permite concluir que a pesar que no se tuvo registro completo en el 2006, el proceso de fusión fue mayor en cada baliza con relación a todo el 2007, lo cual fue producto de la menor pérdida y pequeña acumulación desde junio de este último año.

d. Balizas representativas y rangos altitudinales

El cálculo del balance de masa debe establecerse por rangos altitudinales que permita comprender la dinámica del glaciar en función de la altura; para ello se determinaron las balizas representativas para cada rango, ya que en algunos casos las balizas se pierden o se dañan y se toman solo las que muestren valores reales.

Como se observó en la figura 22, la distribución de las balizas es en filas de tres para las doce primeras, ocupando cada grupo alturas similares, por tanto debido a lo pequeño del glaciar se toman todas como representativas, haciendo un promedio por cada grupo definiendo cinco rangos altitudinales, tabla 17.

Tabla 17. Rangos altitudinales y puntos representativos.

Balizas	Rango altitudinal m.s.n.m	Altura m.s.n.m	Punto Representativo
De 1 - 3	4700-4730	4715	Promedio B. 1-3
De 4 - 6	4730-4760	4745	Promedio B. 4-6
De 7 - 9	4760-4810	4785	Promedio B. 7-9
De 10 - 12	4810-4840	4820	Promedio B. 10-12
13 - 14	4840-4920	4880	Promedio B. 13-14

e. Balance ponderado.

Para establecer el balance mensual por rangos altitudinales es necesario conocer el área total del glaciar y el área de cada rango, para de esta forma establecer la superficie relativa del glaciar la cual se constituye en el porcentaje de cada rango. A partir de los datos del balance mensual, se calculó el balance mensual ponderado para cada rango altitudinal. La tabla 18 muestra el balance ponderado para el periodo monitoreado durante el 2006, mientras que la tabla 19, muestra el año 2007.

Tabla 18. Balance ponderado mensual por rango altitudinal para el año 2006.

Rango alt.	Sup. Relativa	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
4700-4730	0,08	-23,71	-29,30	-36,91	-39,50	-34,20	-28,80	-35,49	-20,93	-40,85	-289,61
4730-4760	0,16	-32,54	-57,69	-50,06	-60,13	-65,14	-48,18	-53,33	-31,12	-92,82	-490,86
4760-4810	0,22	-14,60	-24,96	-46,99	-55,65	-72,39	-85,68	-70,41	-37,89	-112,50	-520,85
4810-4840	0,41	-16,33	-47,99	-37,33	-68,33	-74,72	-45,86	-126,78	-17,85	-197,52	-632,29

Tabla 19. Balance ponderado mensual por rango altitudinal para el año 2007.

Rango alt.	Sup. Relat	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
4700-4730	0,1	-55,5	-47,3	-42,4	-31,4	-17,8	-2,2	-7,2	-19,0	2,7	2,7	1,7	-2,3	-217
4730-4760	0,2	-102,6	-95,0	-68,2	-41,1	-16,8	13,0	8,5	-8,7	4,7	4,7	18,8	6,4	-276
4760-4810	0,2	-163,1	-129,6	-85,1	-48,5	-13,9	13,2	20,4	44,1	25,1	25,1	31,5	21,6	-259
4810-4840	0,4	-279,9	-229,8	-173,9	-98,9	-11,9	69,4	72,1	59,9	36,3	36,3	63,6	42,6	-414
4840-4920	0,1						11,7	13,7	26,6	21,1	21,1	38,1	39,5	171

f. Evolución de la capa de nieve.

Para el 2006 la cubierta de nieve fue baja durante todo el año presentando como máximo 14 cm en la parte alta durante el mes junio, los meses de abril, mayo y diciembre no presentaron nieve, mientras que de agosto a octubre se presenta un aumento progresivo en el espesor, el mes noviembre aunque pudo tener cobertura no se tomaron los datos (figura 23).

Durante el 2007 la situación cambio considerablemente, luego de un fuerte verano influenciado por “El Niño”, el cual duró hasta finales de marzo, luego inició un aumento progresivo en la cubierta de nieve, la cual se intensifico por un periodo “La Niña”, entre junio y diciembre (figura 24), lo que permitió un menor déficit del glaciar.

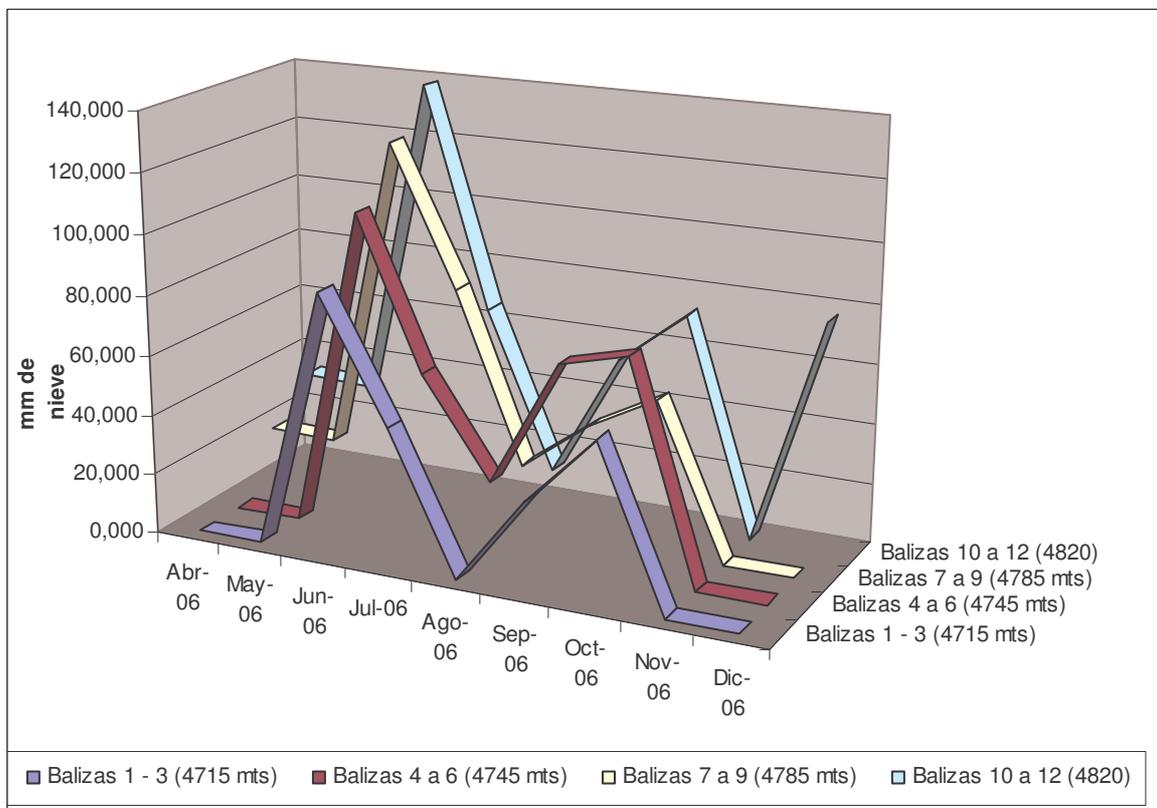


Figura 23. Cubierta de nieve por rangos altitudinales para el glaciar Conejeras durante el 2006

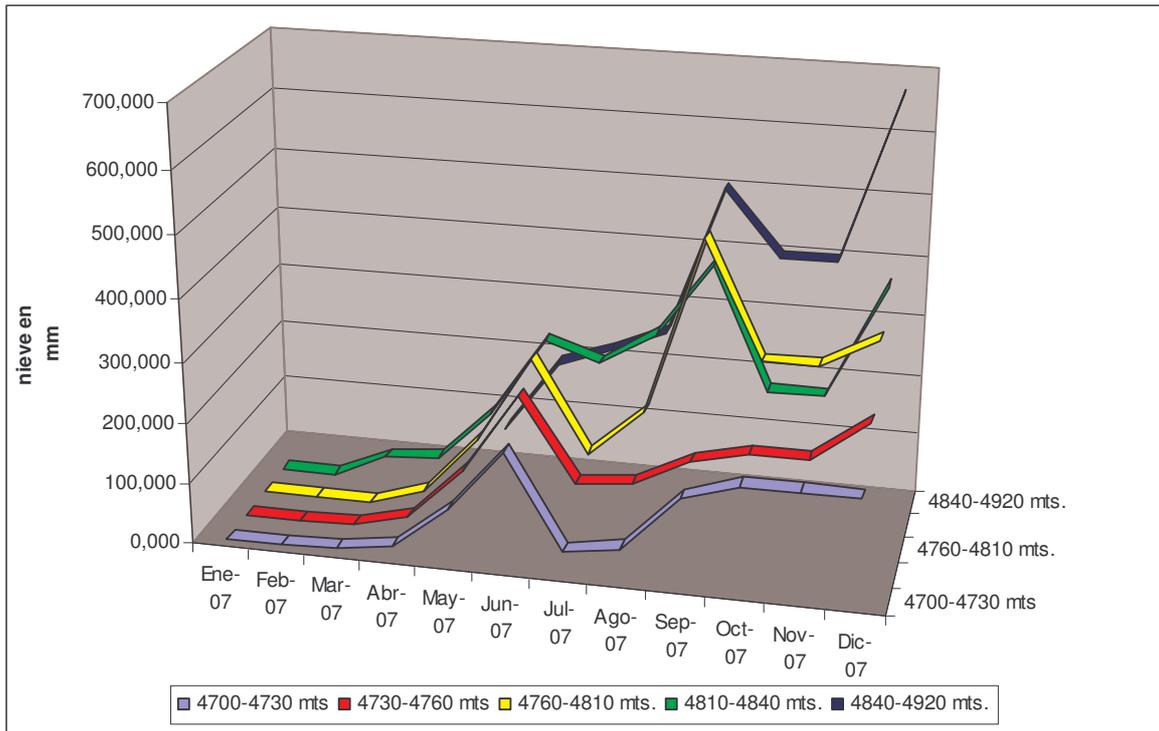


Figura 24. Cubierta de nieve por rangos altitudinales para el glaciar Conejeras durante el 2007.

g. Gradiente vertical del balance.

Para determinar el gradiente por altitud se tomaron las balizas ubicadas en la parte central del glaciar es decir la 2, 5, 8 y 11, presentando un desnivel de 94 metros entre la 2 y la 11.

Para el año 2006 se tomó solo el periodo entre abril a diciembre, obteniendo un gradiente de 21,66 mm/m, figura 25, mientras que para el 2007 se tomó el año completo, obteniendo un total de 20,52 mm/m, figura 26.

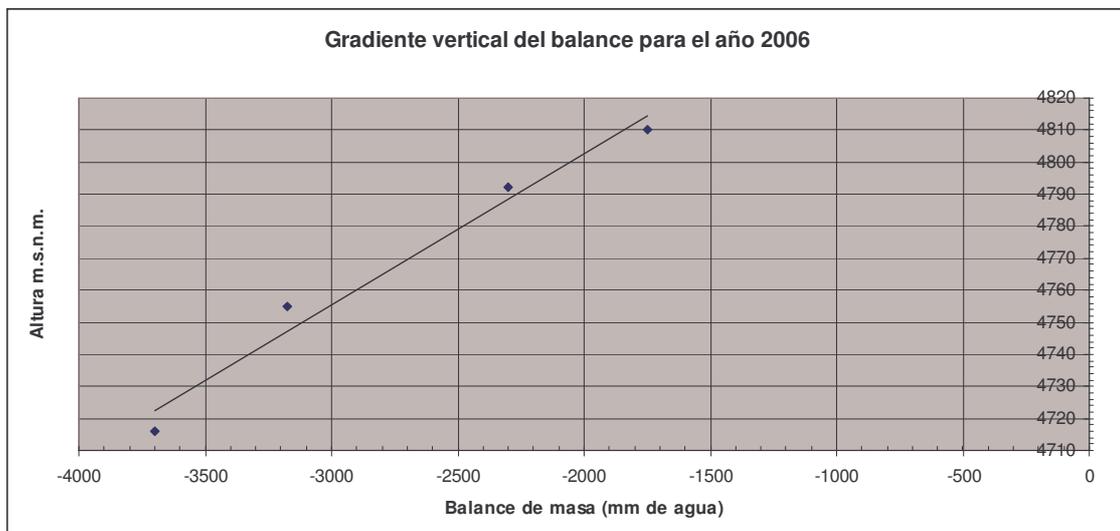


Figura 25. Variación del balance anual para las balizas seleccionadas en función de la altura para el periodo abril –diciembre de 2006.

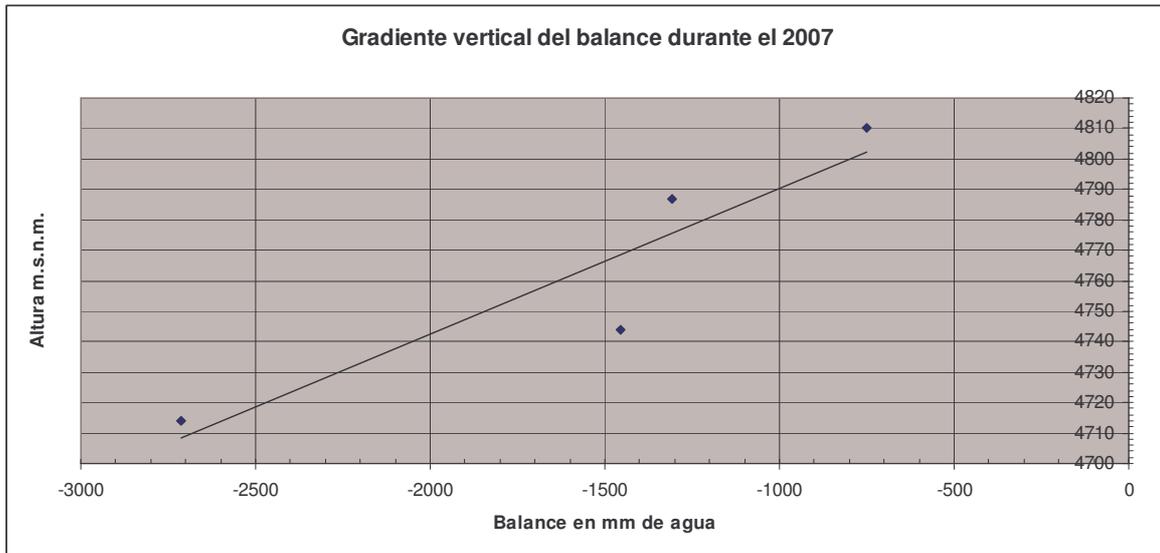


Figura 26. Variación del balance anual para las balizas seleccionadas en función de la altura para el año 2007.

h. Evolución mensual del balance en la zona de ablación.

Para este balance se toma la información medida en campo mes a mes, convirtiéndose en un balance no ponderado. De tal forma durante el periodo abril – diciembre de 2006, se tuvo un balance negativo de -10780 mm de agua (tabla 20) mientras que durante el 2007, disminuyó considerablemente, teniendo un valor de -5465 mm de agua (tabla 21).

Tabla 20. Balance mensual no ponderado por rango altitudinal para el periodo abril a diciembre de 2006.

Rango alt.	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
4700-4730	-309	-382	-481	-515	-446	-375	-463	-273	-532	-3776
4730-4760	-205	-363	-315	-378	-410	-303	-335	-196	-584	-3087
4760-4810	-67	-115	-216	-255	-332	-393	-323	-174	-516	-2391
4810-4840	-39	-116	-90	-165	-180	-111	-306	-43	-477	-1527
Suma	-309	-382	-481	-515	-446	-375	-463	-273	-532	-10780

Tabla 21. Balance mensual no ponderado por rango altitudinal para el año 2007.

Rango alt.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
4700-4730	-724	-616	-552	-409	-232	-28	-94	-248	36	36	22	-30	-2841
4730-4760	-645	-598	-429	-258	-106	82	53	-54	30	30	118	40	-1737
4760-4810	-748	-595	-390	-223	-64	61	94	202	115	115	144	99	-1190
4810-4840	-675	-555	-420	-239	-29	167	174	145	87	87	153	103	-1000
4840-4920						89	104	202	160	160	289	299	1303
Suma	-2792,5	-2363,0	-1791,0	-1128,4	-430,2	369,9	330,9	245,9	428,1	428,1	726,6	511	-5465

i. Balance ponderado por la superficie.

El balance ponderado para la zona de ablación para el periodo de abril a diciembre de 2006 fue de -1.934.5 mm de agua, siendo diciembre el mes con mayores pérdidas y noviembre donde el balance fue menor, figura 27.

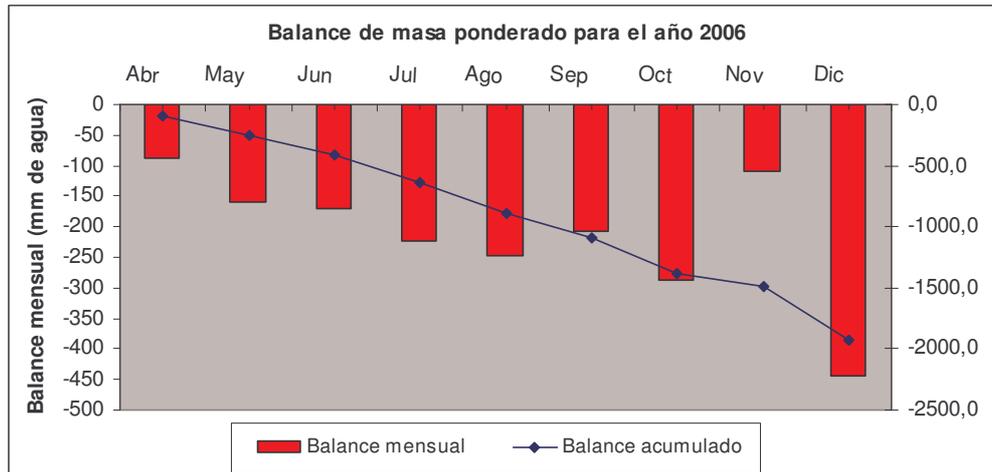


Figura 27. Balance ponderado de la zona de ablación durante abril a diciembre de 2006.

Durante el 2007, el balance ponderado fue de -996.1 mm de agua, teniendo las mayores pérdidas durante enero y febrero, lo cual coincidió con un periodo El Niño el cual inició desde diciembre de 2006, por otra parte, desde junio se tuvo un balance positivo lo que permitió una relativa recuperación del glaciar (o menor déficit?), y a su vez también se obtuvo para esta época una influencia de La Niña.

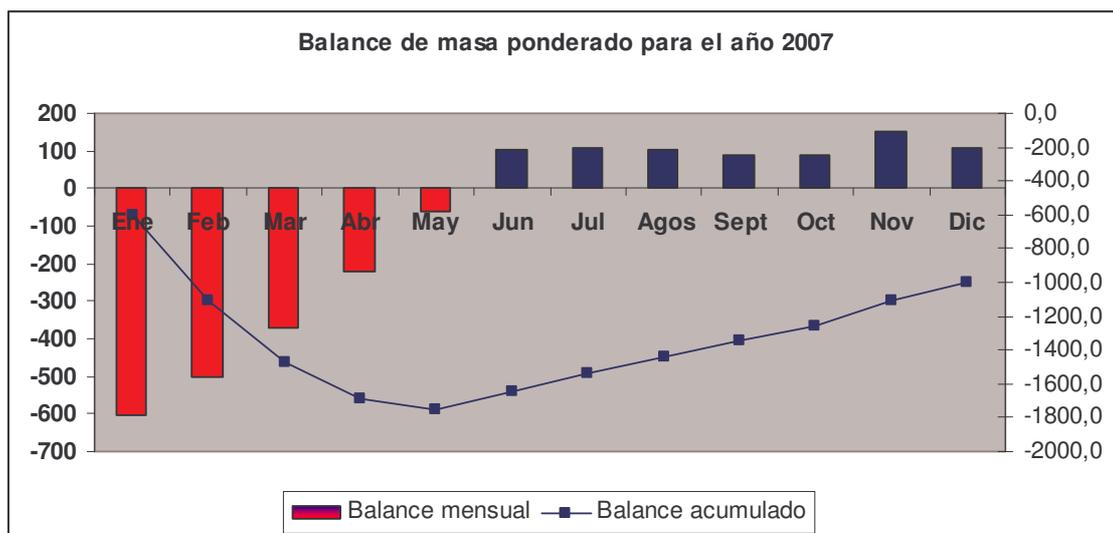


Figura 28. Balance ponderado de la zona de ablación durante el año 2007.

4.3.3. Balance anual del glaciar (zona de ablación + zona de acumulación)

a. Balance neto específico.

Para el caso del Santa Isabel por no tener una zona de acumulación permanente el balance de masa ponderado para la zona de ablación es igual al balance de masa neto específico para los años de medición. La tabla 22 muestra el balance del periodo analizado para el 2006, mientras que la tabla 23 para el año 2007.

Tabla 22. Balance neto específico para el periodo abril a diciembre de 2006.

Balizas	Rango alt.	Superficie del rango	Sup. Relativa	Balance	Ponderado
De 1 - 3	4700-4730	0,02414	0,08	-3775,96	-289,6839
De 4 - 6	4730-4760	0,05005	0,16	-3086,99	-491,0197
De 7 - 9	4760-4810	0,06858	0,22	-2390,75	-521,0645
De 10 - 12	4810-4840	0,1304	0,41	-1526,75	-632,7089
Suma		0,314659	1,0000		-1934,5

Tabla 22. Balance neto específico para el año 2007.

Balizas	Rango alt.	Superficie del rango	Sup. Relativa	Balance	Ponderado
De 1 - 3	4700-4730	0,02414	0,08	-2840,58	-217,9232
De 4 - 6	4730-4760	0,05005	0,16	-1737,35	-276,3452
De 7 - 9	4760-4810	0,06858	0,22	-1189,84	-259,3261
De 10 - 12	4810-4840	0,1304	0,41	-999,71	-414,2960
13-14	4840-4920	0,041489	0,13	1302,79	171,7775
Suma		0,314659	1,0000		-996,1

b. Isolineas del balance

Este mapa fue construido de forma preliminar para el año 2006–2007 con la información del balance acumulado por balizas, en el cual se puede observar una zona de acumulación temporal por encima de los 4850m. donde aproximadamente se situó la línea de equilibrio (figura 29).

Finalmente para este periodo se pudo obtener el ARR el cual dio un valor de 0.1318 es decir que esta área equivale al 13,18% del área total del glaciar monitoreado, sin embargo este valor es un valor parcial, ya que se debe a unas condiciones climáticas particulares influenciadas por un fenómeno tipo La Niña.

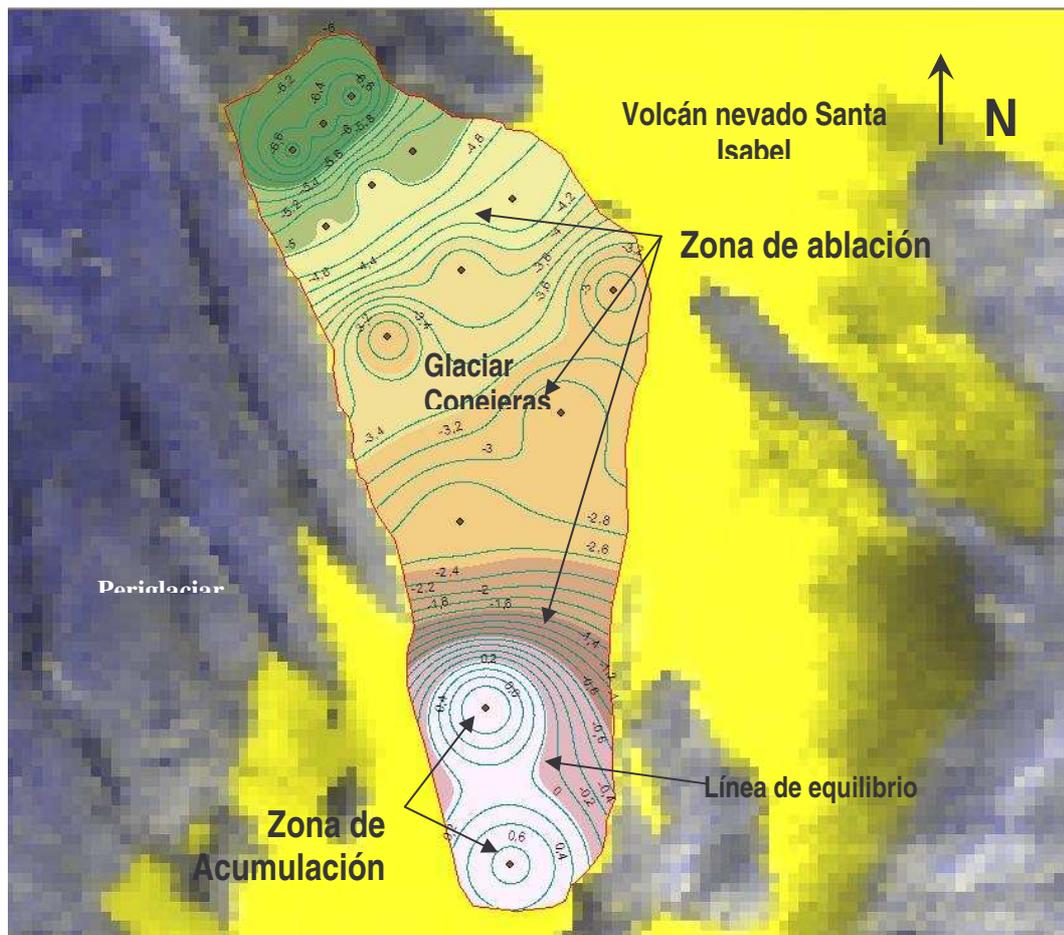


Figura 29. Mapa aproximado de Isolineas para la zona de ablación en el glaciar Conejeras durante el periodo 2006 - 2007. (valores en mts.)

C. Perfil altitudinal del balance.

A partir del balance no ponderado y de los cinco rangos altitudinales se estimó el perfil altitudinal del balance para el año 2007, obteniendo la Línea de Equilibrio (ELA), en 4865 m.s.n.m. figura 30.

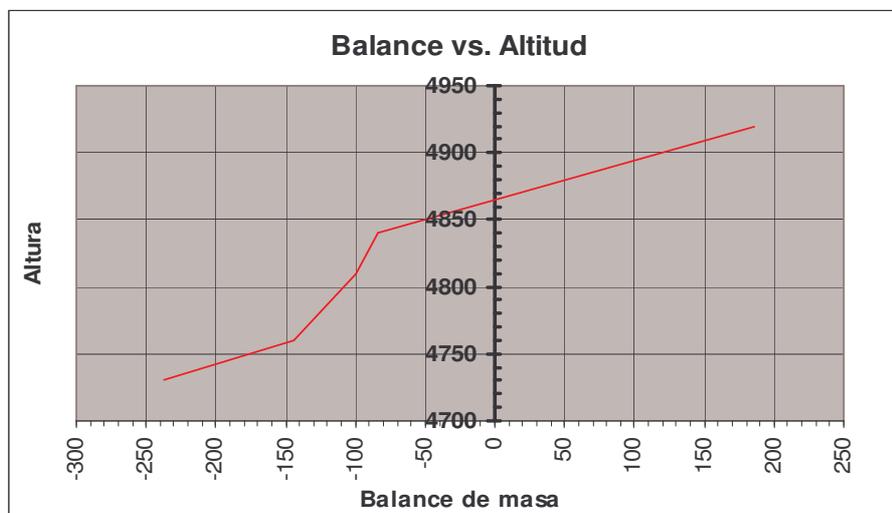


Figura 30. Perfil altitudinal del balance no ponderado para el año 2007

4.4. GEOMETRÍA DEL GLACIAR

4.4.1. Retroceso del frente glaciar

Desde 1988 se tienen registros de campo del retroceso del frente glaciar para varios puntos del Santa Isabel medidos por el Igac y a partir del año 1996 por el IDEAM.

La tabla 23 muestra los puntos de seguimiento al retroceso en el Santa Isabel y la figura 31 muestra su ubicación.

El punto de interés es el SI-PNorte, ubicado sobre el glaciar Conejeras, el cual se viene haciendo seguimiento desde el año 2001, encontrando hasta el 2008 una pérdida total de 159,9 m., dando en promedio un retroceso anual de 22 metros, siendo uno de los más altos para este nevado (tabla 224). La figura 32 muestra el resumen del retroceso del frente glaciar para 12 puntos en el nevado Santa Isabel.

Tabla 23. Puntos de retroceso monitoreados en el nevado Santa Isabel.

Código del punto	Periodo de medición	Retroceso entre periodos (m.)	Observaciones
SI-4 IZQ	27/07/91 – 18/05/06	271	Punto de monitoreo activo
SI-4 GEN	07/02/90 – 23/02/03		Se perdieron las marcas
SI-4DER	22/02/89 – 17/08/04	175	Eliminada por avalancha
SI-N	06/11/01 – 04/12/06	88	Punto de monitoreo activo
SI-P norte	06/11/01 – 13/02/08	159.9	Punto de monitoreo activo
SI-8 Norte	18/06/03 - 04/12/06	26	Punto de monitoreo activo
SI-8	18/02/89 – 04/12/06	418	Punto de monitoreo activo
SI-2	29/03/88 – 04/12/06	370	Punto de monitoreo activo
SI-PNE	25/05/03 – 19/05/06	50	Punto de monitoreo activo
SI-Este	25/02/03		Se tienen programadas nuevas medidas
SI-Sur	25/02/03		Se tienen programadas nuevas medidas

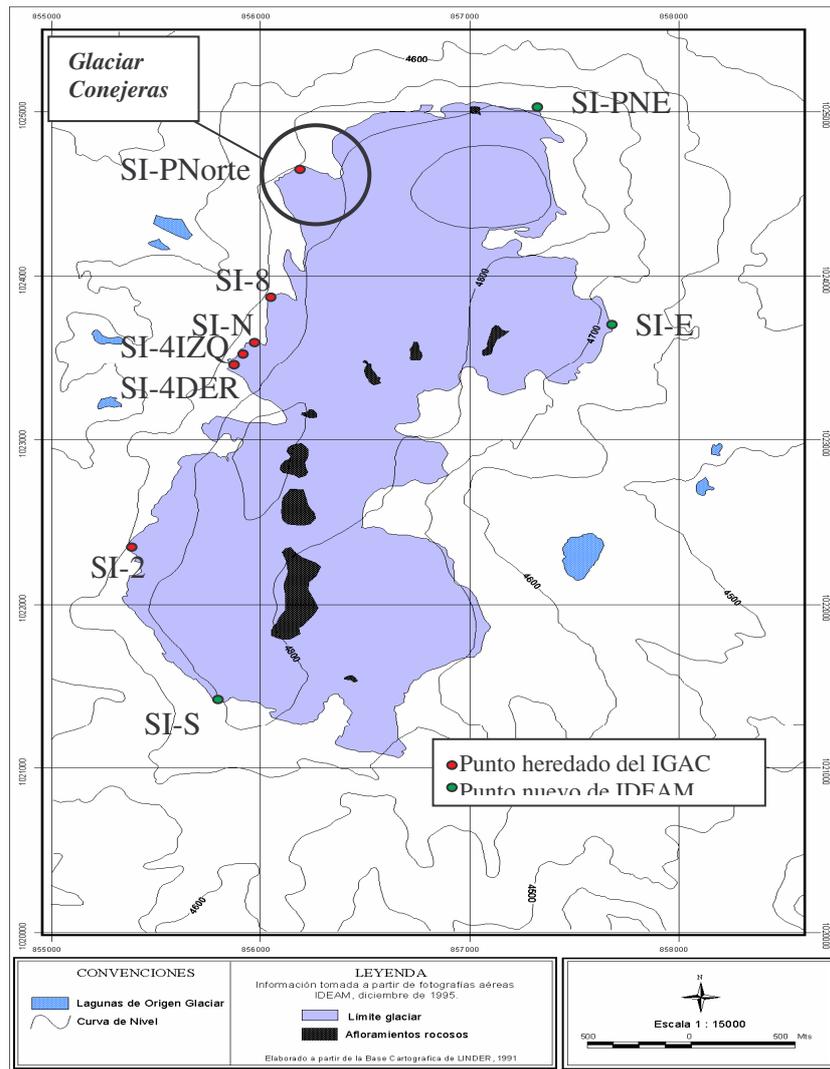


Figura 31. Ubicación de los puntos de retroceso monitoreados en el nevado Santa Isabel.

Tabla 24. Mediciones de retroceso del frente glaciar del punto SI-P-Norte en el glaciar Conejeras.

Periodo de medición		Diferencia de tiempo para el periodo		Retroceso (m.)		Velocidad de retroceso	
Inicio	Final	(Días)	(Meses)	entre fechas	total	m/mes	m/año
	06-Nov-01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06-Nov-01	23-Feb-03	474,0	15,8	23,6	23,6	1,5	17,9
23-Feb-03	18/08/2004	542,0	18,1	34	57,6	1,9	22,6
18/08/2004	24/02/2005	190,0	6,3	9,5	67,1	1,5	18,0
24/02/2005	26/06/2005	122,0	4,1	8,2	75,3	2,0	24,2
24-Feb-05	04-Mar-06	373,0	12,4	27,7	103,0	2,2	26,7
04-Mar-06	04-Dic-06	275,0	9,2	13,9	116,9	1,5	18,2
04-Mar-06	13-Feb-08	711,0	23,7	43	159,9	1,8	21,8

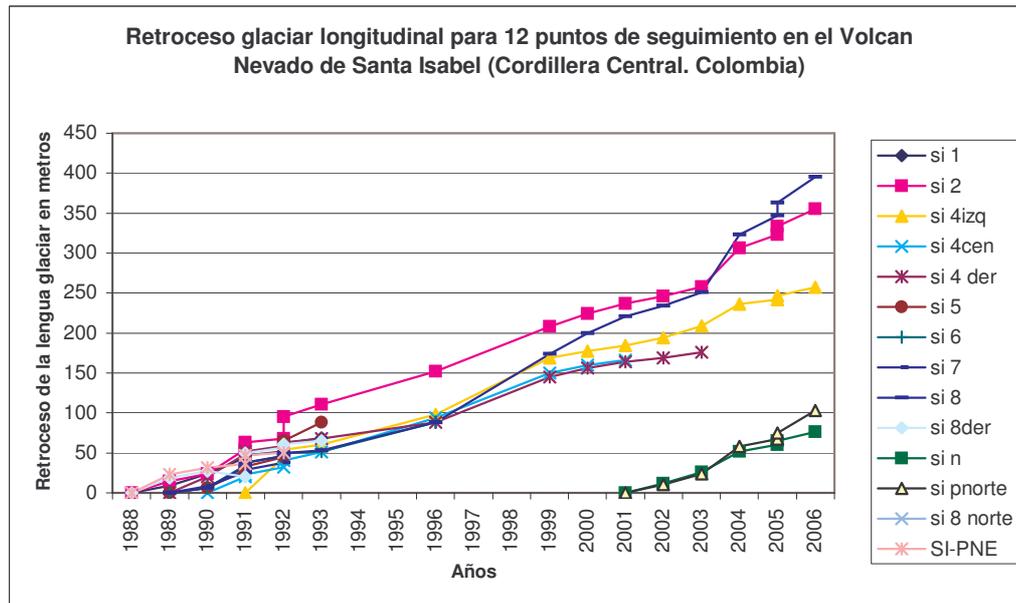


Figura 32. Retroceso longitudinal de la lengua SIP- Norte correspondiente al glaciar Conejeras.

4.5 METEOROLOGÍA Y MICROMETEOROLOGÍA

4.5.1. Precipitaciones para el año 2006 – 2007.

Para el año 2006, solo se cuenta con información completa de la estación meteorológica Las Brisas ubicada a 4150 m., y a 12 Km. aproximadamente del glaciar Conejeras. Para este año la precipitación a esta altura fue de 1.367 mm, siendo mayo el mes con mayor valor con 212 mm, y julio el menor con 30 mm (figura 33). Solo desde diciembre de ese año se instaló un pluviómetro totalizador por encima de los 4500 m.

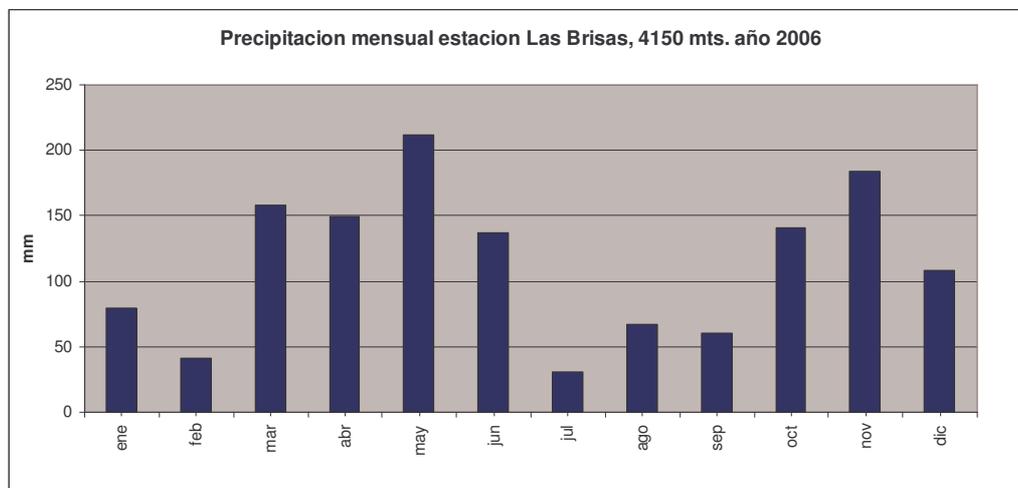


Figura 33. Precipitación mensual en la estación meteorológica Las Brisas para el 2006

Para el 2007 se cuenta con el registro completo del totalizador ubicado a 4600 m., cerca del borde del glaciar (figura 34). Para este año el total acumulado fue de 1.368 mm, presentando la mayor acumulación en el mes de mayo con 210 mm y la menor en agosto con solo 10 mm. De otro lado, la estación Las Brisas, solo reporta información hasta junio de ese año y al compararla con la del totalizador relación es consistente.

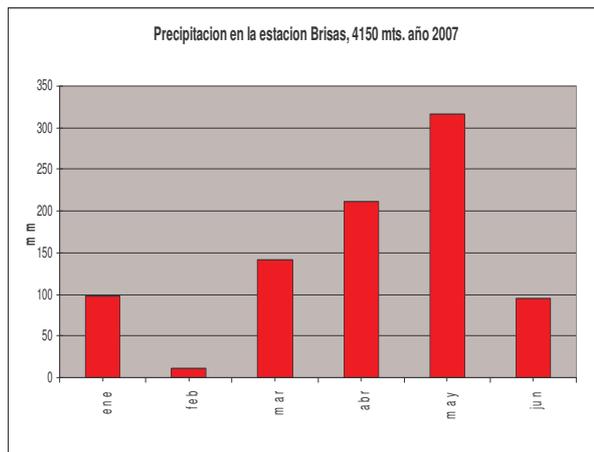
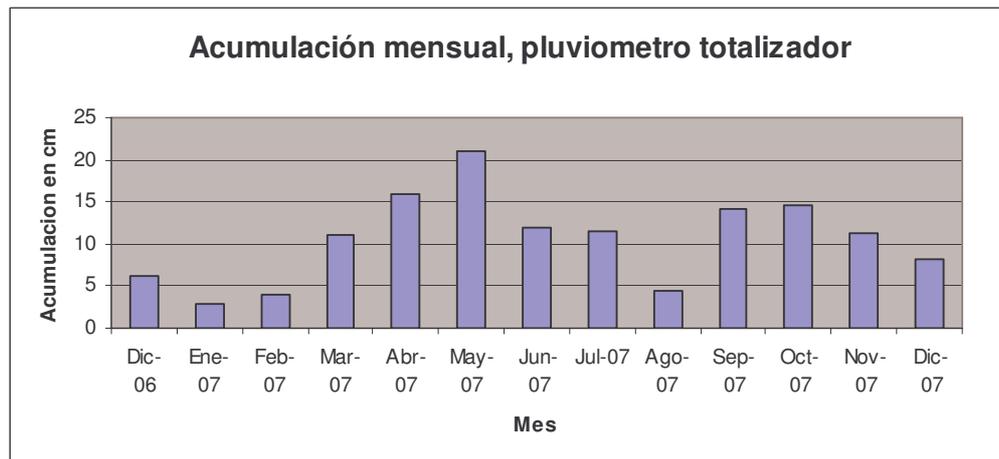


Figura 34. Precipitación mensual en el pluviómetro totalizador (arriba) y el de la estación Las Brisas (abajo) para el 2007

Durante este periodo se obtuvo un total acumulado de 863 mm, en la estación Las Brisas, mientras que en el totalizador fue de 669 mm, lo cual muestra un gradiente altitudinal coherente. Sin embargo, es necesario ampliar la red de pluviómetros y pluviografos para establecer el rango de este gradiente. Finalmente al comparar el periodo de información en la estación Las Brisas para el 2006 y 2007, se observa un aumento de casi 100 mm, lo cual es concordante con el periodo La Niña que se tuvo durante el 2007.

4.5.2. Información de la estación meteorológica automática.

Se cuenta con una estación meteorológica automática satelital localizada a 4750 m. y a 1,4 Km. aproximadamente del glaciar. Desde su instalación en septiembre del 2005, la estación ha presentado fallas tanto en sus sensores como el equipo de transmisión lo cual ha dificultado la tarea de procesar y analizar la información. Hasta el mes de agosto del 2007 luego de varios

mantenimientos el equipo presentó problemas de transmisión por lo cual las series diarias no son completas, teniendo en algunos casos vacíos semanales. Desde septiembre se encuentra fuera de servicio por hurto.

a. Operación de la estación meteorológica

Como se mencionó, la estación ha presentado inconvenientes desde su instalación y actualmente luego del robo de los paneles solares se encuentra fuera de línea. La tabla 25 presenta un resumen de la operación mes a mes de cada sensor.

Tabla 25. Operación mensual para las estaciones de alta montaña Santa Isabel.

ESTACION SANTA ISABEL SENSOR/OPERACIÓN	2005				2006								2007												
	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abril	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	
Dirección de velocidad máxima del viento cada hora.																									
Dirección del viento cada 10 minutos.																									
Humedad del aire a 2m.																									
Precipitación sólida diaria.																									
Presión Atmosférica.																									
Radiación Global.																									
Temperatura máxima del aire 2 m.																									
Temperatura máxima virtual.																									
Temperatura mínima del aire 2 m.																									
Temperatura mínima virtual.																									
Temperatura media aire 2 m.																									
Temperatura del suelo 10 cm.																									
Temperatura media virtual.																									
Velocidad máxima del viento.																									

b. Información procesada.

Humedad del aire:

En general los valores son altos para los ocho meses de registro, superiores al 94%, con una variabilidad diaria mínima, con tan solo uno o máximo dos días al mes donde se presentan valores inferiores al 50% (figura 35).

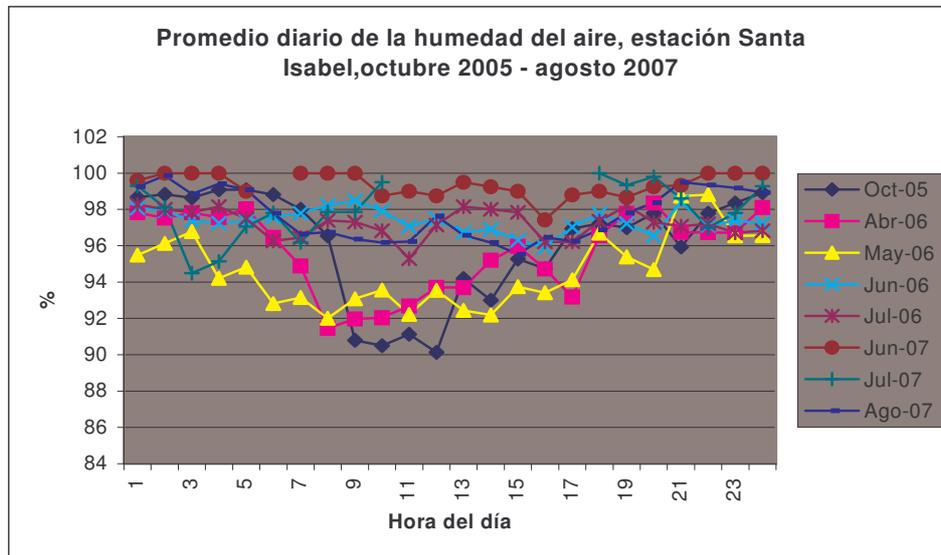


Figura 35. Humedad del aire, estación Santa Isabel glaciar, Octubre 2005 – agosto 2007.

Radiación global:

Su unidad de medida es el watio/m², indica la cantidad de energía de onda corta proveniente del Sol, que recibe la superficie terrestre por unidad de área. Presenta valores diarios normales altos en hora del día, máximos entre las 12m y 2 pm. Los meses con buen registro describen una variación diaria alta (figura 36).

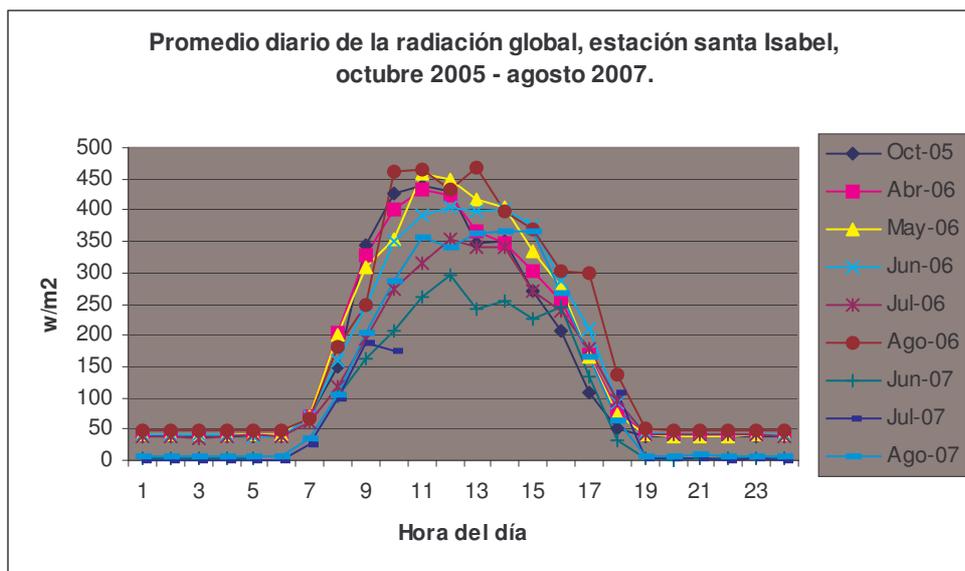


Figura 36. Radiación global, estación Santa Isabel glaciar, Octubre 2005 – agosto 2007.

Temperatura del “suelo”:

De todos los parámetros analizados es el que presenta el mejor y más completo registro diario y mensual; al parecer refleja bastante bien las condiciones de temperatura general de la región por lo menos para los últimos meses donde la temperatura se muestra con los registros más bajos lo cual se puede correlacionar bastante bien con el balance de masa.

En general la tendencia muestra valores altos en el día y bajos en la noche y madrugada, con una variación alta entre días, visto de manera mensual (figura 37).

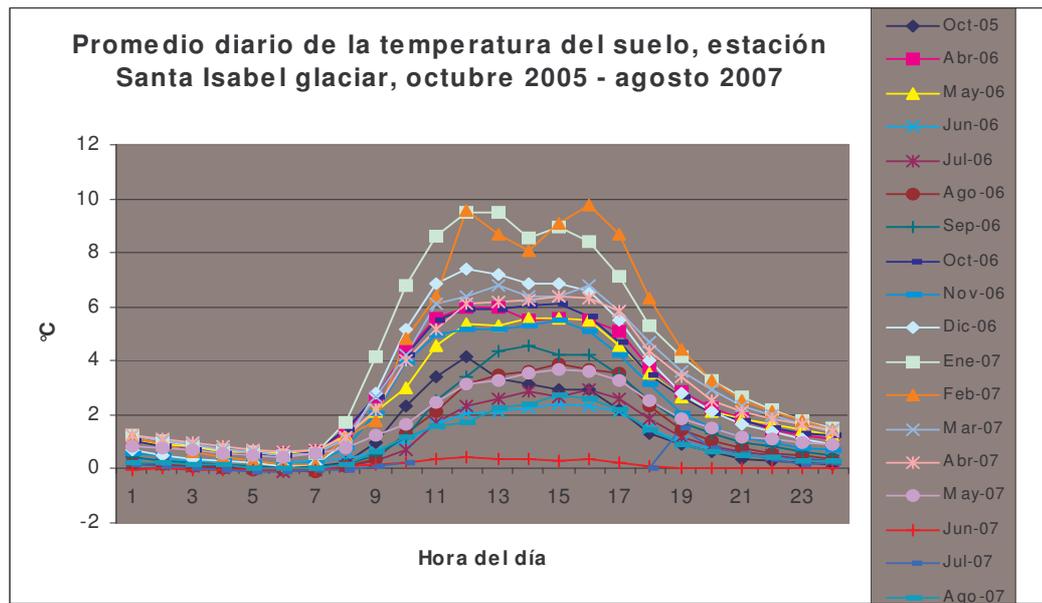


Figura 31. Temperatura del “suelo”, estación Santa Isabel glaciar, octubre 2005 – agosto 2007.

Temperatura máxima y mínima del aire:

La falta de información no permite hacer un buen análisis para estas variables (figura 38 y 39).

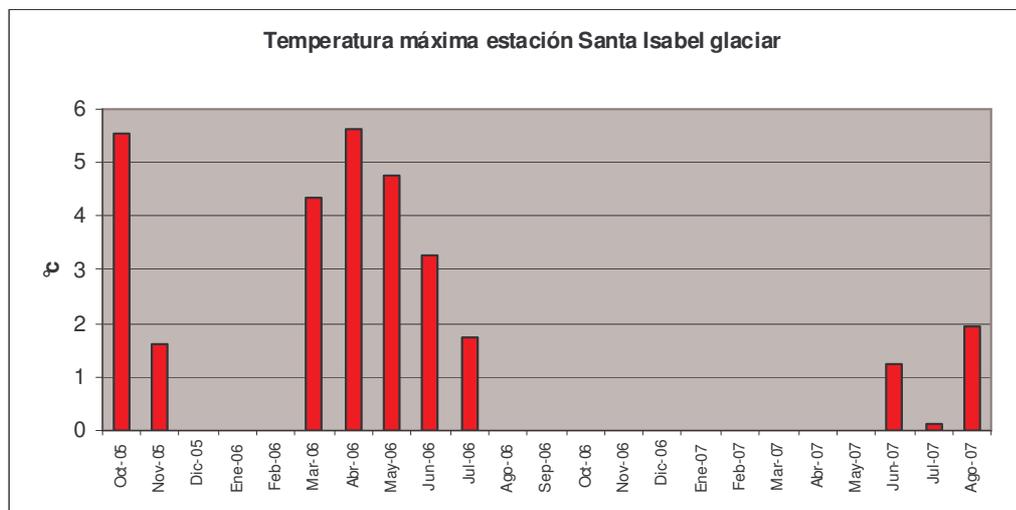


Figura 38. Temperatura máxima del aire, estación Santa Isabel glaciar, Octubre 2005 – agosto 2007.

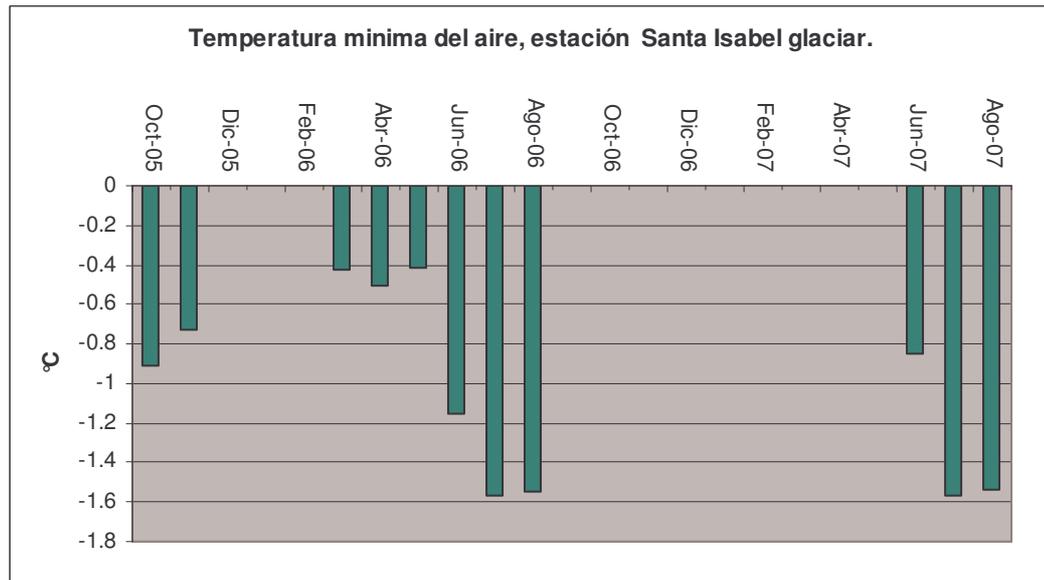


Figura 39. Temperatura mínima del aire, estación Santa Isabel glaciar, Octubre 2005 – agosto 2007.

Velocidad máxima del viento:

La unidad de medida de la velocidad del viento es m/s; es un parámetro que aunque está condicionado por otras variables atmosféricas como la temperatura, radiación global, entre otras, condiciona a su vez otras variables como la humedad y la precipitación.



Figura 40. Velocidad máxima del viento, estación Santa Isabel glaciar, Octubre 2005 – agosto 2007.

4.6. HIDROLOGIA

Luego de varias visitas de campo se determinaron dos puntos para ubicar las estaciones hidrológicas (figura 41) debido a que dos corrientes independientes drenan las aguas de fusión glacial. De tal forma, en diciembre de 2007 se inició la construcción de dos canaletas tipo Parshall, con el fin de medir en estos puntos los caudales de fusión de este glaciar mediante la futura instalación de sensores de nivel ultrasonico.



Figura 41. Puntos escogidos para la instalación de las estaciones hidrológicas en el glaciar Conejeras.

5. GLACIAR RITACUBA NEGRO (SIERRA NEVADA DE EL COCUY)

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Hace parte de la sierra nevada de El Cocuy la cual se localiza sobre las cumbres más altas de la cordillera Oriental colombiana entre las latitudes norte 6° 21' a 6° 34' y entre los 72° 15' a 72° 20' de longitud oeste, siendo la única área glaciaria actual sobre esta cordillera. Administrativamente la sierra pertenece a los municipios de Chita, El Cocuy y Güicán en el Departamento de Boyacá y a los de la Salina en Casanare y Tame en Arauca. Es Parque Nacional Natural por la parte alta (páramo y glaciar) por la vertiente oeste hasta el bosque altoandino. La zona de interés pertenece al municipio de Güicán, vereda el Tabor. La tabla 26 muestra las características básicas del glaciar Ritacuba Negro, figura 42.

Tabla 26. Características generales del glaciar de estudio.

Ubicación	Vertiente occidental, al norte de la sierra nevada de El Cocuy, municipio de Güicán, Boyacá.
Distancia de Bogotá	475 Km. por vía terrestre, 10-12 horas aprox.
Rango altitudinal (aprox)	4700 – 5300 aprox.
Superficie	2,9 Km ² , 16,23% del área total de la sierra.
Exposición general	Oeste, controlado estructuralmente por areniscas buzando al oeste
Espesor máxima del hielo	Desconocido
Inicio del programa de observación	Retroceso del frente: Dic. 2005; Balance: Dic. 2006
Balance de masa (glaciológico)	Si (5 balizas, mensual)
Topografía	Si (anual)
Balance hidrológico	No
Estación meteorológica	Si
Frecuencia de visitas	Mensual (incompletas)
Instituciones	IDEAM (Responsable), Parques Nacionales (Medición de balizas), Ingeominas (primera perforación y topografía)

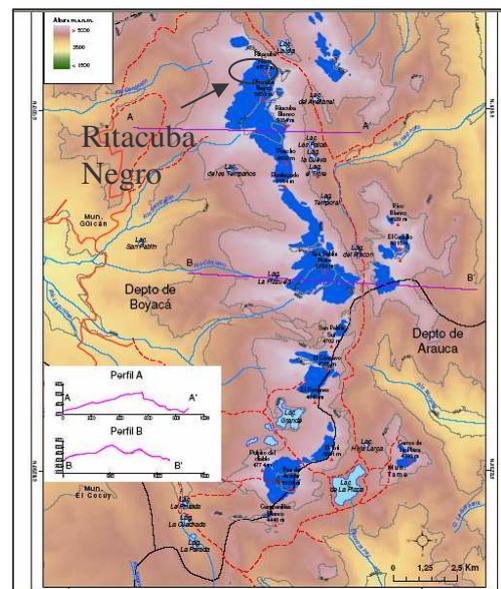


Figura 42. Izq. Vista del glaciar de estudio Ritacuba Negro (5300m). Der. Sierra Nevada de El Cocuy o Güicán

5.2 INSTRUMENTACIÓN

En diciembre de 2005 se inicio el programa de observación para este glaciar, ubicando dos puntos de medición de retroceso longitudinal y el sitio para la estación meteorológica satelital, pero hasta diciembre del siguiente año se instalaron los equipos (tabla 27 y figura 43).

Tabla 27. Instrumentación del glaciar Ritacuba Negro.

INSTRUMENTO	FECHA DE INSTALACIÓN	DISTRIBUCIÓN
Balizas de ablación	5 balizas : Diciembre de 2006	Entre los 4720 y los 4850 m
Un pluviómetro totalizador	Diciembre de 2006	4700
Una estación meteorológica automática satelital	Diciembre de 2006	4800 m a 100 m del glaciar
Punto de medición de retroceso	2 puntos, Diciembre de 2005	Borde glaciar.

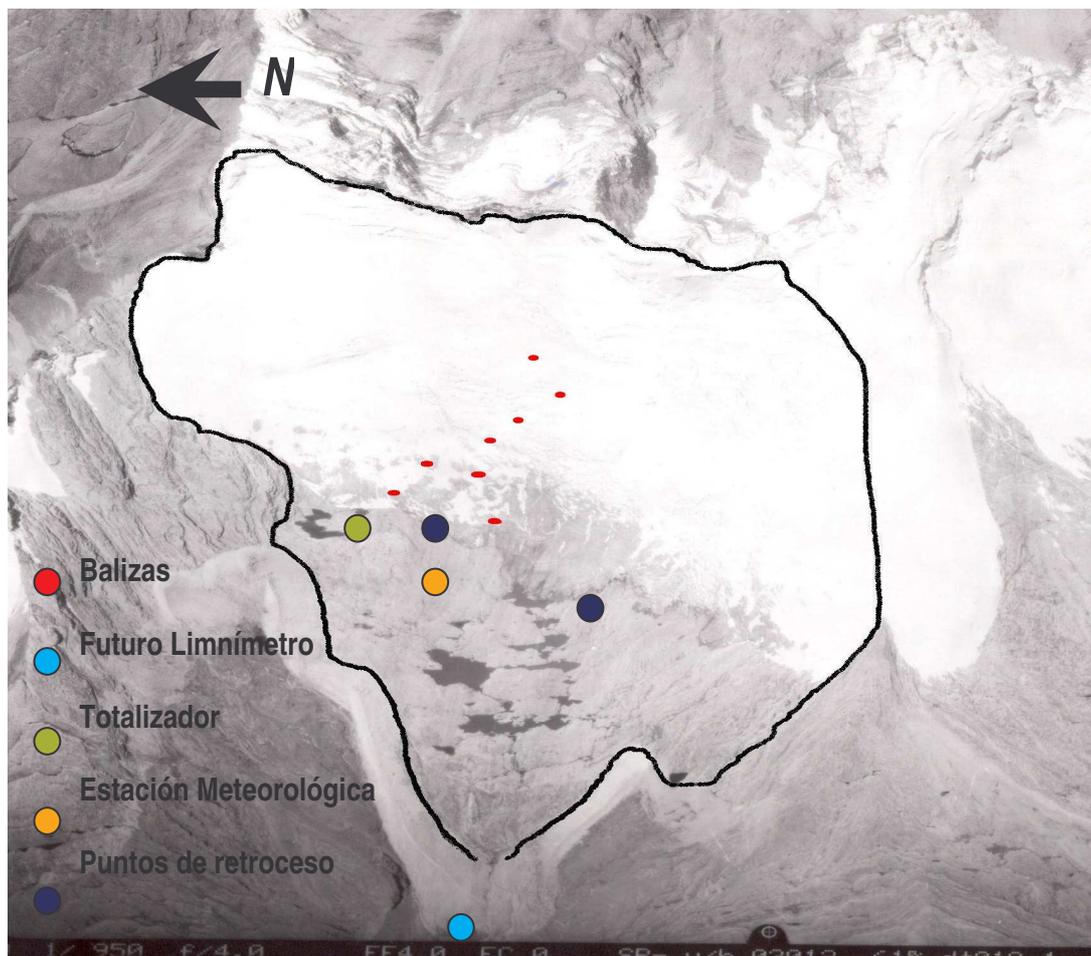


Figura 43. Instrumentación del glaciar Ritacuba Negro.

5.3. BALANCE DE MASA

5.3.1. Zona de acumulación.

Debido a que fueron instaladas solo cinco balizas en la zona de ablación, aun no sea ha determinado el área de acumulación la cual con seguridad existe por encima de los 4900 a 5000 m. Sin embargo, para el 2007 se presentó una pequeña acumulación por encima de la baliza 5 a 4850m. La dificultad de instalar más balizas ha sido el fuerte agrietamiento del glaciar que impide un seguro ascenso.

5.3.2. Zona de ablación.

Al igual que para el glaciar Conejeras, el balance de masa se basó en los datos obtenidos de las mediciones mensuales con el apoyo fundamental de los funcionarios de Parques Nacionales.

a. Red de balizas de ablación instaladas

Para este glaciar se cuenta con un total de 5 balizas, codificadas con números arábigos (figura 44).

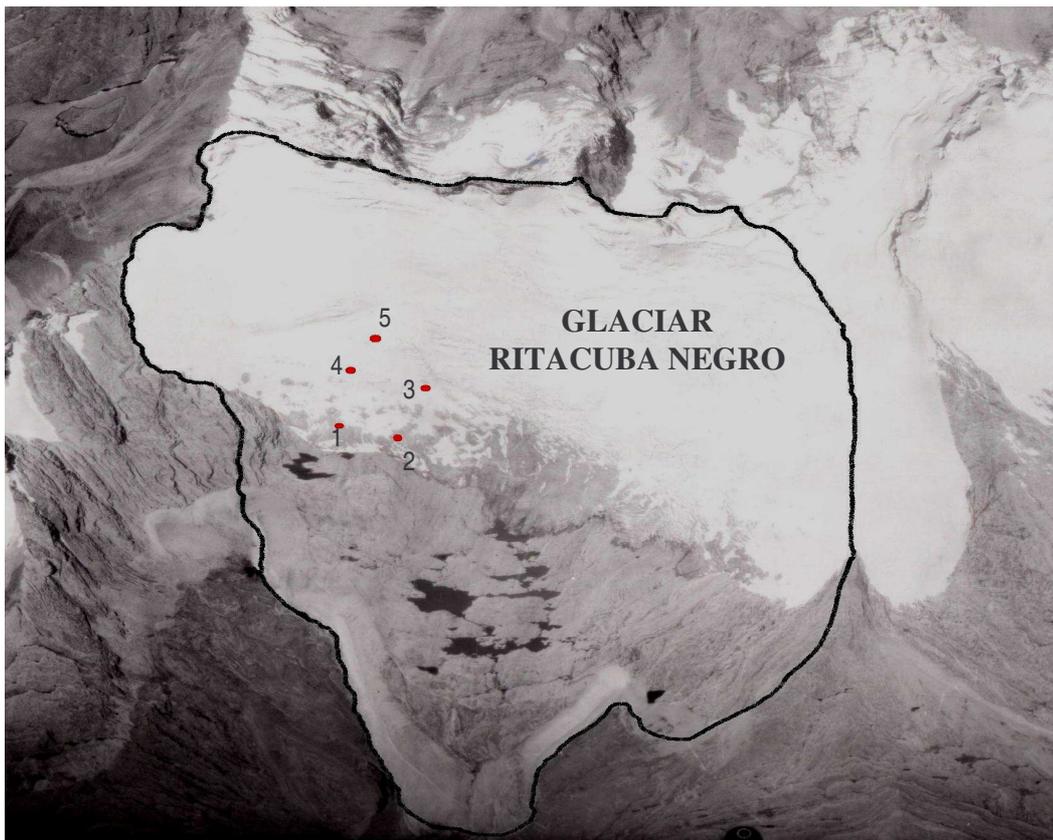


Figura 44. Códigos de la red de balizas instaladas en el glaciar Ritacuba Negro.

b. Balance mensual para cada baliza.

Durante el periodo de enero a diciembre de 2007, se contó con una red de 5 balizas ubicadas entre los 4729 y los 4850 m. (tabla 28).

Tabla 28. Balance de cada baliza para el año 2007.

No. Baliza	Altura, msnm	Balance Mm eq agua
1	4729	-5691,61
2	4734	-5910,82
3	4780	-2865,9
4	4792	-1557,32
5	4850	765,939

c. Balizas representativas y rangos altitudinales.

Como se aprecia en la figura 44, las balizas instaladas solo cubren una pequeña parte del glaciar, teniendo poco espaciamiento entre sí y poca representatividad, por ello se promedian las balizas 1-2 y las demás se toman solas (tabla 29).

Tabla 29. Rangos altitudinales y puntos representativos.

Balizas	Rango altitudinal m.s.n.m	Altura m.s.n.m	Punto Representativo
1 – 2	4720-4750	4735	Promedio B. 1-2
3	4750-4780	4765	Baliza 3
4	4780-4810	4795	Baliza 4
5	4810-4860	4830	Baliza 5

d. Balance ponderado

Como se mencionó anteriormente, para establecer el balance mensual por rangos altitudinales es necesario conocer el área total del glaciar y el área de cada rango, para de esta forma establecer la superficie relativa del glaciar la cual se constituye en el porcentaje de cada rango. No obstante, para este glaciar aun no se ha definido un área, por lo cual no se tiene un balance ponderado..

e. Evolución de la capa de nieve

Para el año 2007 la cubierta de nieve fue baja durante el primer semestre, a partir de lo cual se produjo una acumulación considerable principalmente en la parte alta, mientras que la parte baja se mantuvo con cobertura casi nula (figura 45).

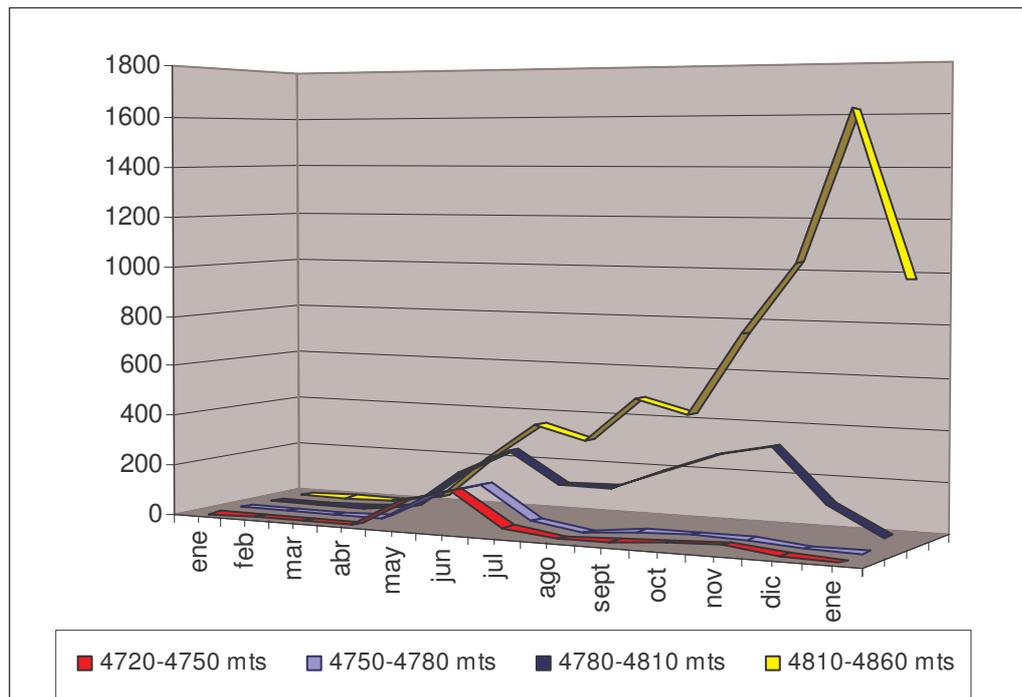


Figura 45. Cubierta de nieve por rangos altitudinales para el glaciar Ritacuba Negro durante el 2007.

f. Gradiente vertical del balance.

Para determinar el gradiente por altitud se tomaron todas las balizas, presentando un desnivel de 121 metros entre la 1 y la 5 baliza.

Para el año 2007 se obtuvo un total de 45 mm/m (figura 46).

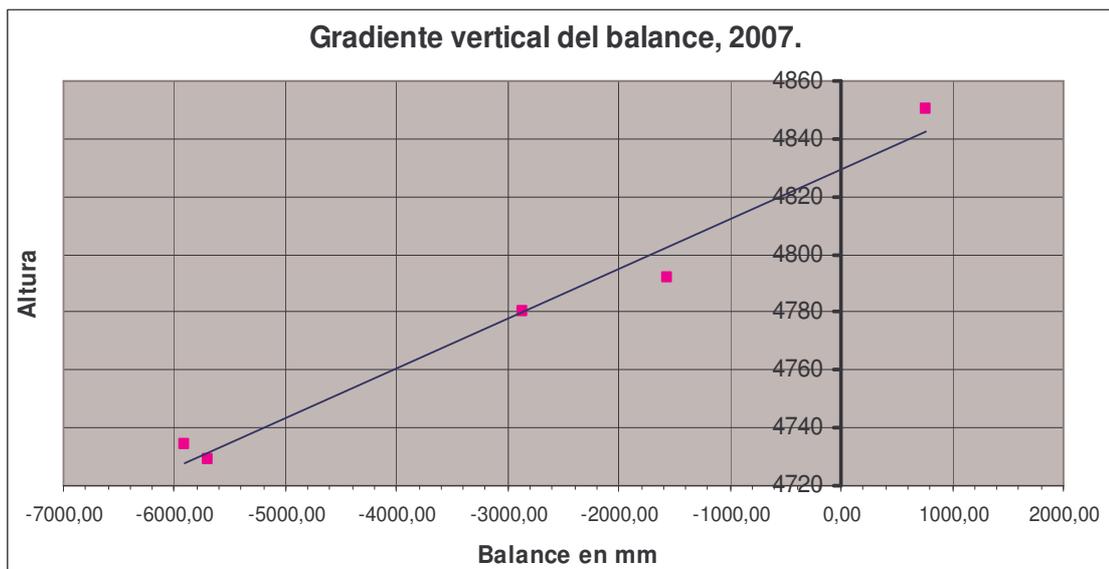


Figura 46. Variación del balance anual para las balizas seleccionadas en función de la altura para el año 2007.

g. Evolución mensual del balance en la zona de ablación.

Para este balance se toma la información medida en campo mes a mes, convirtiéndose en un balance no ponderado. De tal forma durante el 2007, se tuvo un valor de -9458 mm de agua (tabla 30).

Tabla 30. Balance mensual no ponderado por rango altitudinal para el año 2007.

Rango altitudinal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Suma
4720-4750	-605,8	739,4	739,7	772,2	590,7	128,3	376,3	122,7	144,5	232,4	542,6	224,0	582,7	-5801
4750-4780	-562,1	513,7	410,7	597,0	463,7	7,2	-43,0	-1,9	87,7	122,8	20,1	184,4	327,2	-2865
4780-4810	-448,7	576,2	455,5	484,6	418,6	49,5	131,6	156,5	155,4	179,6	314,4	35,0	195,7	-1557
4810-4860	-393,8	444,1	261,1	355,2	294,3	197,1	152,1	133,1	301,0	413,3	648,9	391,1	277,8	765
Suma	-2010	2273	1866	2209	1767	125,4	135,6	165,0	399,5	483,4	440,9	17,7	827,8	-9458

h. Balance promedio de la zona de medición.

Para este glaciar se tiene un balance aproximado obtenido de los promedios por rangos altitudinales, siendo para el 2007 de -2226 mm de agua, figura 47.

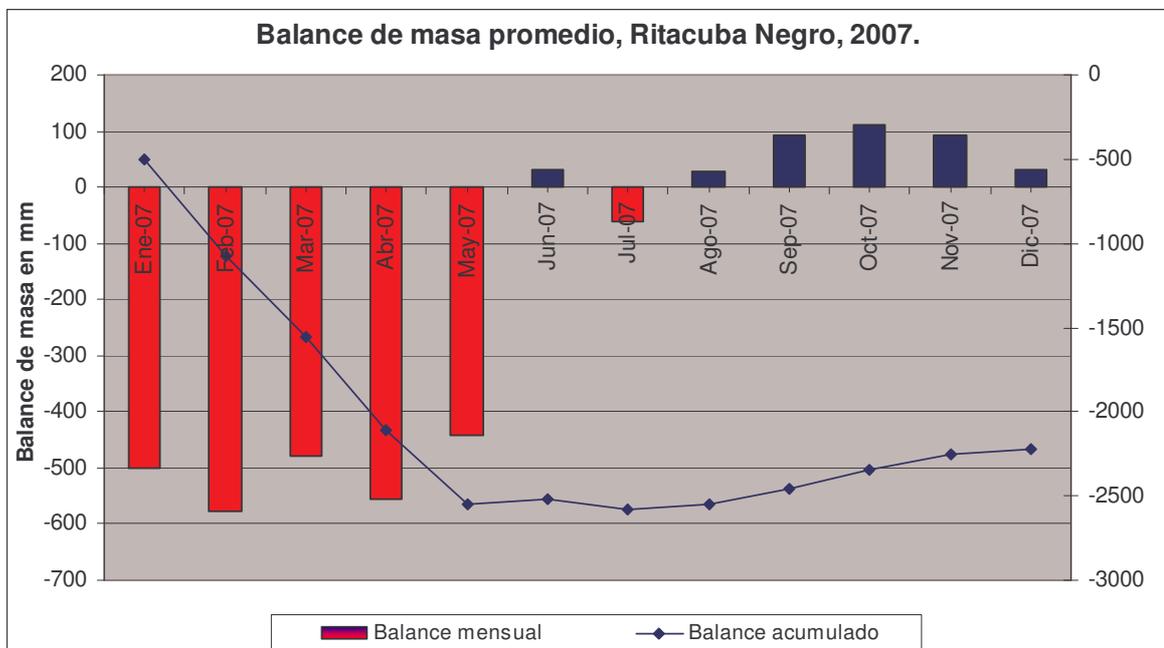


Figura 47. Balance de masa promedio (mensual y acumulado) para el glaciar Ritacuba Negro durante el año 2007.

5.4. GEOMETRÍA DEL GLACIAR

5.4.1. Retroceso del frente glaciar

Se cuenta con dos puntos de monitoreo, los cuales se ubicaron en diciembre de 2005, y tienen solo una medición de diciembre de 2006, el punto A, ubicado en la parte central del glaciar tuvo un retroceso de 22,8 metros y el punto B localizado en la parte sur, tuvo una pérdida para ese año de 37 metros, lo cual se considera alto teniendo en cuenta que el promedio de la sierra es entre 18 y 26 metros por año. La figura 48 resume el retroceso longitudinal del frente glaciar en la sierra para varios puntos de medición.

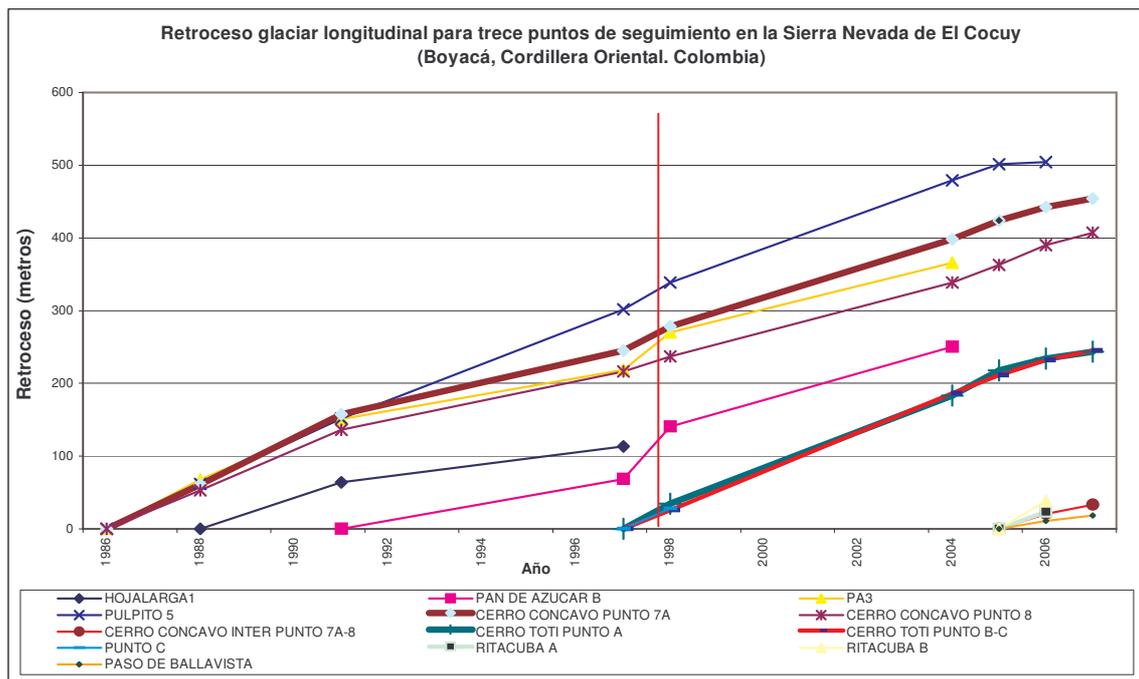


Figura 48. Retrocesos anuales históricos para los puntos medidos en la sierra nevada de EL Cocuy.

5.5. METEOROLOGÍA Y MICROMETEOROLOGÍA

5.5.1. Precipitaciones para el año 2007.

Para el año 2007, se cuenta con la información del pluviómetro totalizador ubicado a 4665 metros, el cual registro una acumulación total de 1180 mm, figura 49.

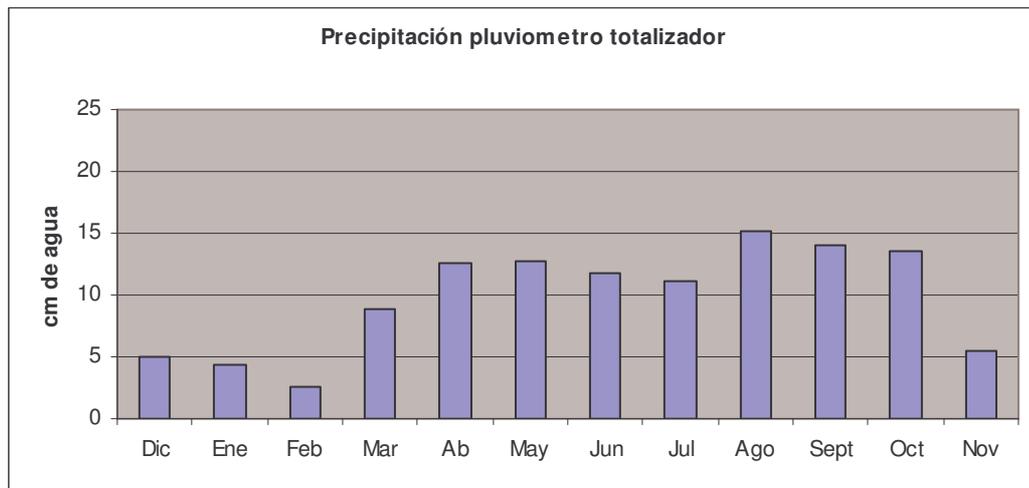


Figura 49. Acumulación en el pluviómetro totalizador a 4700 mts para el 2007.

Por otra parte se tiene la información del pluviómetro de la estación meteorológica de alta montaña (figura 50). Desafortunadamente el sensor ha presentado fallas y no ha sido posible tener un registro continuo por lo cual en todos los casos no refleja fielmente las condiciones mensuales.

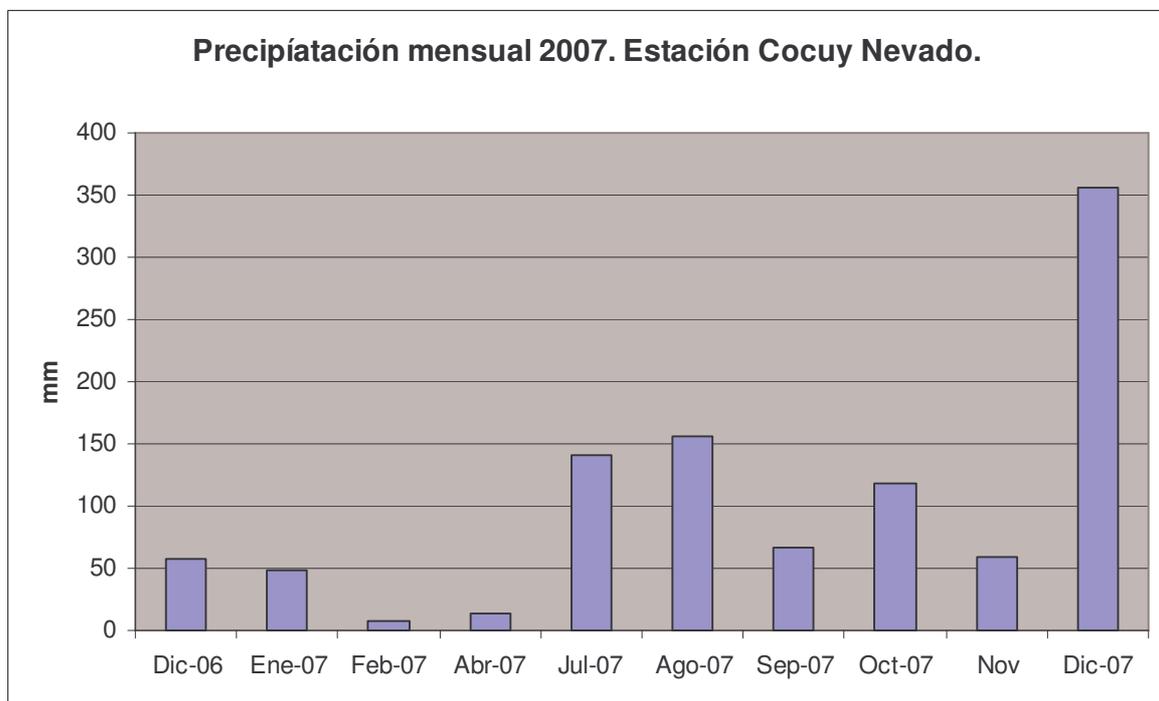


Figura 50. Precipitación de la estación meteorológica El Cocuy glaciar, diciembre 2006 –diciembre 2007.

4.5.2. Información de la estación meteorológica.

Se cuenta con una estación meteorológica automática ubicada a 4665 m. y a 100 m. aproximadamente de la base del glaciar..

a. Operación de la estación.

Instalada en diciembre de 2006, ha presentado problemas en su funcionamiento, pero el registro que se tiene es aceptable para la mayoría de los sensores. Se encuentra operando sin novedad, (tabla 32)

Tabla 32. Operación mensual para la estación de alta montaña, Nevado de EL Cocuy.

ESTACION COCUY														
SENSOR/OPERACIÓN	2006		2007											
	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dirección de velocidad máxima del viento cada hora.														
Dirección del viento cada 10 minutos.														
Humedad del aire a 2m.														
Precipitación sólida diaria.														
Presión Atmosférica.														
Radiación Global.														
Radiación UVB.														
Temperatura máxima del aire 2 m.														
Temperatura máxima virtual.														
Temperatura mínima del aire 2 m.														
Temperatura mínima virtual.														
Temperatura media aire 2 m.														
Temperatura del suelo 10 cm.														
Temperatura media virtual.														
Velocidad máxima del viento.														

b. información procesada.

A partir de la información descargada en bases de datos en excel de la estación de alta montaña de El Cocuy, y mediante el software Hydras, se procesó la información de cada parámetro para obtener una tabla con los datos por hora y así realizar un análisis mensual a partir de la elaboración de gráficos que permiten ver la tendencia de cada variable. Aunque se cuenta con información para todo el año solo se ha procesado hasta el mes de agosto.

Velocidad máxima del viento:

En general presenta una tendencia diurna donde las velocidades son más altas en horas de la mañana cerca de las 6 a 8 am. hora en la que disminuye levemente hasta encontrar las menores velocidades entre las 5 y las 7 pm, hora a partir de la cual vuelve a aumentar (figura 51). Los meses con mayores velocidades promedio y mayores variaciones en la velocidad diurna fueron febrero seguido de julio, y agosto mientras que marzo y octubre presentaron los valores mínimos en velocidad y abril la menor variación diurna.

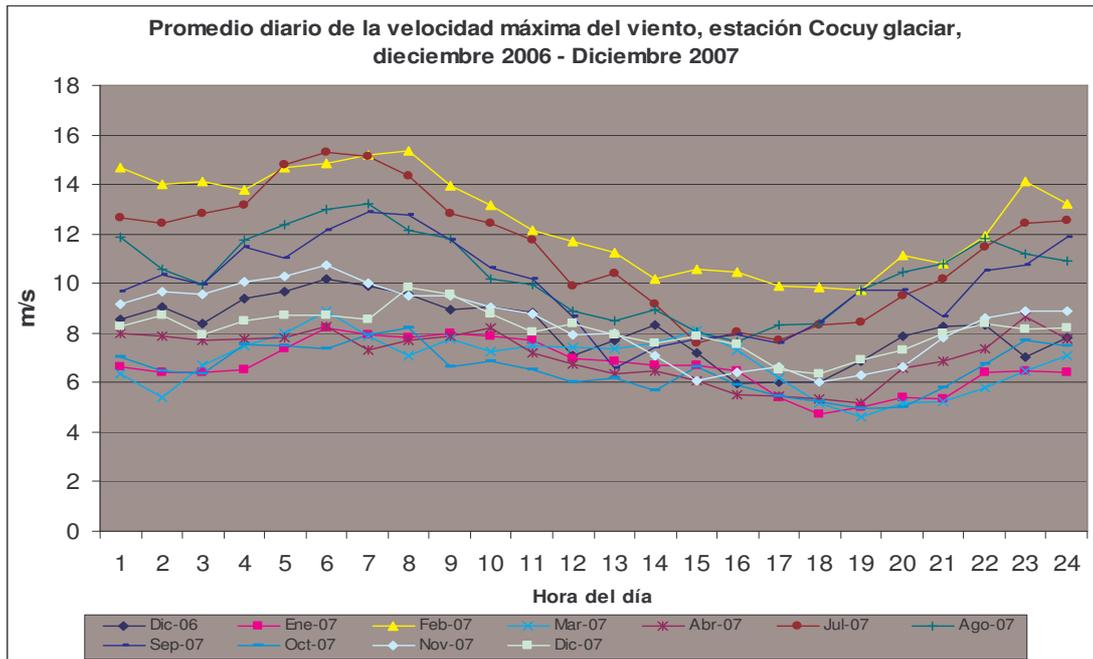


Figura 51. Velocidad máxima del viento, estación Cocuy glaciar, diciembre 2006 – diciembre 2007.

Humedad del aire:

Los valores de humedad son en general altos superando el 70%, los meses de diciembre de 2006 y enero y diciembre de 2007, que se constituyen en meses secos, mostraron valores por debajo de 68% en promedio, con valores mínimos en horas de la mañana y la noche. El mes de febrero aunque solo se obtuvo registros de 5 días presentó los valores más bajos con un promedio de 13%, indicando condiciones muy secas. Para los meses de abril a noviembre la humedad aumenta teniendo promedios superiores del 80%, de otro lado se observa que la variabilidad diurna es menor para los meses más húmedos, en comparación con los meses secos donde es bastante alta (figura 52).

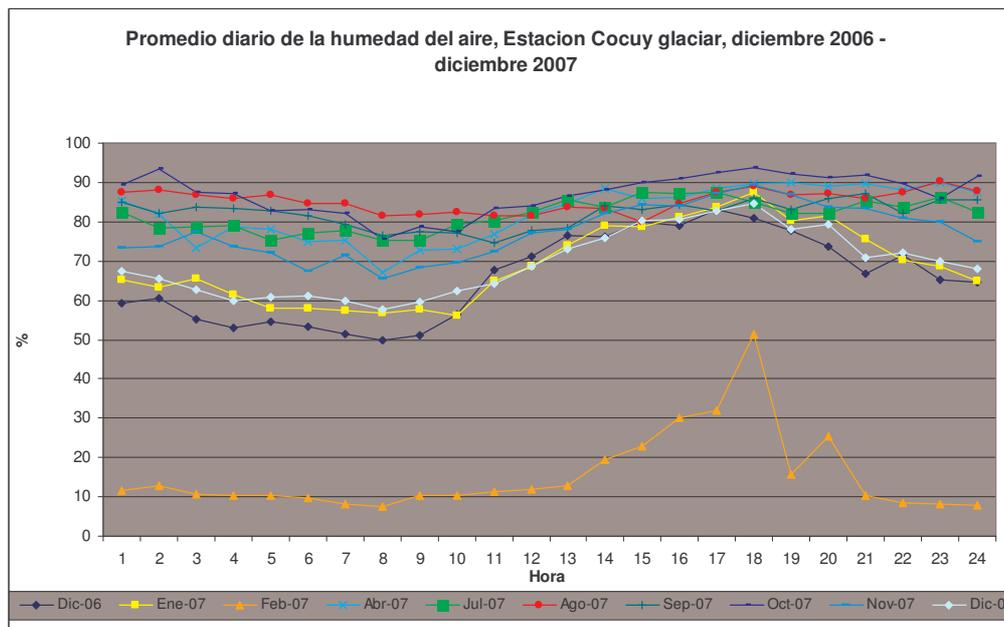


Figura 52. Humedad relativa del aire, estación Cocuy glaciar, diciembre 2006 – diciembre 2007.

Radiación global:

Presenta una variabilidad diurna contrastada entre el día y la noche, los valores altos entre las 6 am y las 6 pm tienen como pico máximo cerca de medio día entre las 11am y la 1 pm donde los valores pueden sobrepasar los 1000 w/m² (figura 53). El mes con mayores valores promedio fue febrero a pesar de tan solo tener 5 días de registro, con 735 w/m² en promedio y el más bajo fue octubre con 407 w/m².

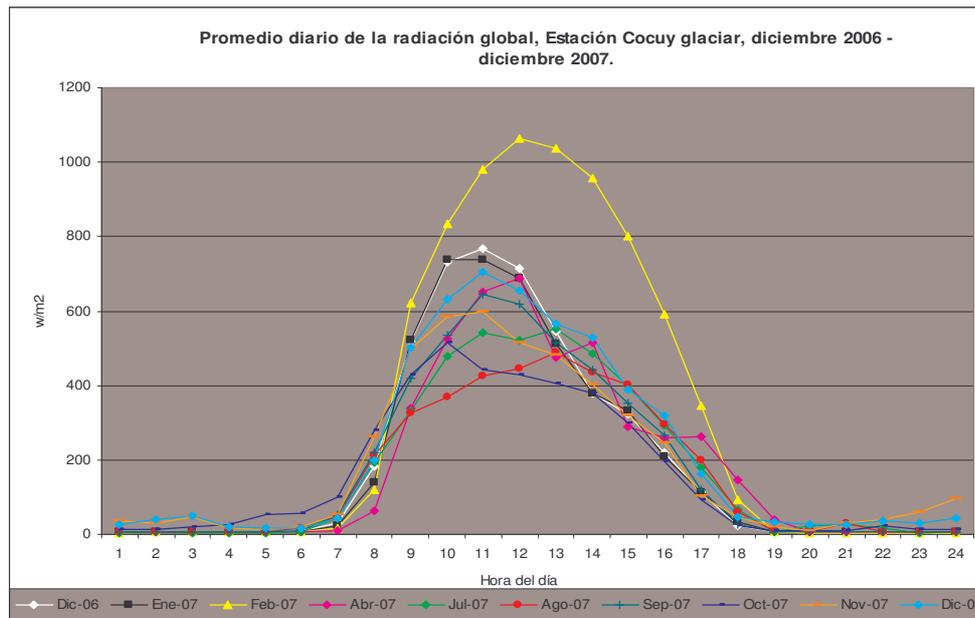


Figura 53. Radiación global, estación Cocuy glaciar, diciembre 2006 – diciembre 2007.

Esta variable se relaciona de forma inversamente proporcional con la humedad; a partir de las graficas es claro que los meses mas húmedos presentan la menor radiación global y viceversa.

Temperatura máxima del aire:

Esta dada en °C, al igual que la radiación presenta valores máximos diurnos entre las 8 am, y las 6 a 7 pm, y mínimos en la madrugada, los valores máximos son cercanos a los 11°C en horas del medio día, y los más bajos en -4°C entre las 5 y 6 de la mañana. Los promedios más altos se observaron en el mes de febrero con más de 5°C y los mínimos en agosto con valores inferiores a 1°C, en promedio (figura 54).

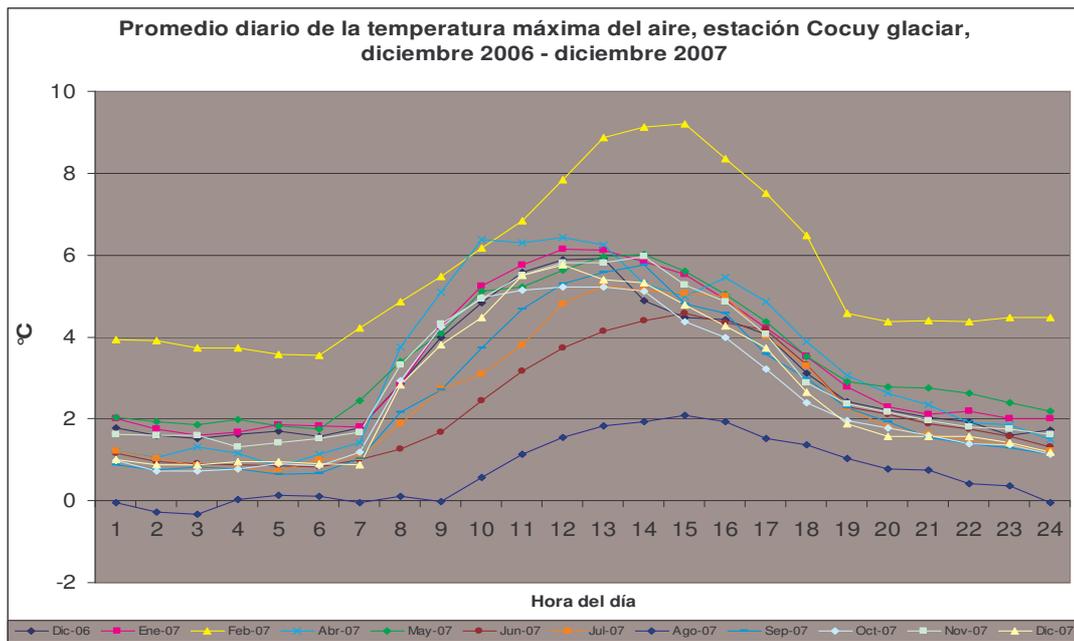


Figura 54. Temperatura máxima del aire estación Cocuy glaciar, diciembre 2006 – diciembre 2007.

Temperatura del suelo:

Se observa una clara tendencia en las curvas diarias, con una variación definida y contrastada, en los meses secos donde los valores disminuyen desde la madrugada presentando mínimos entre las 6 y las 8 de la mañana, donde pueden alcanzar valores bajo cero, desde esta hora la curva aumenta hasta horas de la tarde siendo los mayores valores entre las 3 y 5 pm, donde finalmente la curva desciende completando el ciclo. Durante los meses más húmedos la variación diurna es menor y la curva se desplaza poco a poco teniendo los valores mínimos entre las 8 y las 10 am, con máximos entre las 5 y 7 pm (figura 55). Como valores extremos se tiene un rango que oscila entre los 20°C y -1°C, siendo el mes con mayor promedio febrero y el más bajo julio.

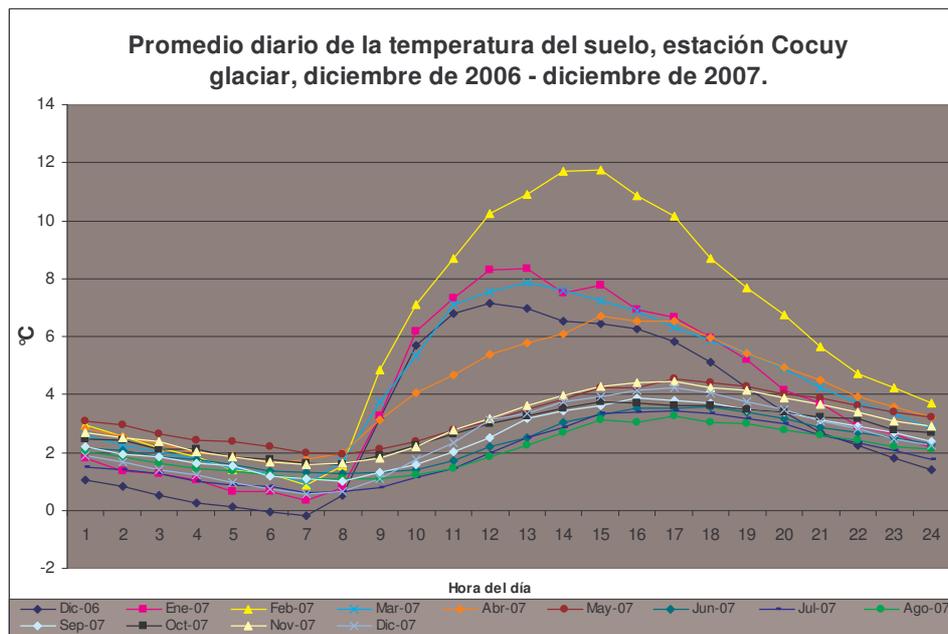


Figura 55. Temperatura del suelo, estación Cocuy glaciar, diciembre 2006 – diciembre 2007.

5.6. HIDROLOGÍA

Durante el 2007, se realizaron dos campañas con el fin de determinar el punto adecuado para la instalación de un limnómetro y se realizaron varios aforos para la construcción de la curva de calibración, De ellas se definió un punto ubicado en la cuenca del río Cardenillo, el cual concentra en un drenaje las aguas de fusión del glaciar Ritacuba Negro. Luego de realizar algunos aforos se instaló una mira con el fin de iniciar la curva de calibración para este punto, figura 56.



Figura 56. Río Cardenillo, sitio elegido para mediciones de caudal

6. LABORES CON LA COMUNIDAD RELACIONADAS CON LAS ACTIVIDADES DE GLACIOLOGÍA.

Es de vital importancia involucrar a la comunidad dentro de las actividades glaciológicas ya que son ellos los que directamente se ven afectados por los cambios y procesos dados en la alta montaña, lo que los convierten en poblaciones vulnerables.

De igual forma es fundamental crear conciencia en los niños, puesto que serán ellos de adultos los que tendrán que enfrentar los mayores cambios. Capacitar y sensibilizar a las nuevas generaciones es la principal tarea y el mejor legado que se les puede dejar.

6.1. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL.

Dentro del marco del proyecto de la Segunda Comunicación Nacional (SCN) ante la Convención Marco de Cambio Climático, se realizó el primer taller de socialización con la comunidad en el tema de cambio climático y vulnerabilidad del sistema glaciar, durante los días 21 al 24 de marzo de 2007 en el Parque Nacional Los Nevados.

En este taller se presentó el objetivo y alcances del proyecto de SCN, además se trataron temas de cambio climático, evolución de los glaciares y las actividades de seguimiento y monitoreo realizados por el Ideam, dirigido a los funcionarios del Parque y a los niños y padres de la zona (figura 57 y 58).



Figura 57. Niños de las escuelas Potosí y Aspar localizadas en alta montaña en la región del glaciar Santa Isabel



Figura 58. Actividad lúdica con los niños de la comunidad donde hicieron dibujos de la alta montaña siendo una gran oportunidad para interactuar aún más con ellos.

Instalación de un pluviómetro en la escuela Aspar

En esta escuela localizada a 3500 m. y cerca al PNN Los Nevados se instaló en agosto de 2007 un pluviómetro con el fin que los niños aprendieran la técnica diaria de medición de la precipitación. Se impartió una instrucción y desde aquella fecha en coordinación con la profesora se tienen datos de lluvia del área. (figura 59).



Figura 59. Niños de la escuela Aspar.

6.2. SIERRA NEVADA DE EL COCUI O GÜICÁN.

Con el fin de difundir algunos resultados de los trabajos glaciológicos y de la recopilación de información que se tenía hasta la fecha, se realizó en el mes de abril de 2007 una conferencia con la comunidad de Güicán donde se discutieron temas como el calentamiento global, gases efecto invernadero, los glaciares en el mundo, la dinámica glaciaria en el país y el proyecto de seguimiento y observación de estos ecosistemas. Este evento contó con la participación de cerca de 50 personas de la comunidad y estudiantes de Güicán (figura 60).



Figura 60. Socialización del proyecto con la comunidad de Güicán.

6.3. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS EN FUNCIÓN DEL SISTEMA GLACIAR

Como parte de las actividades del proyecto se propuso la tarea de determinar las formas de ocupación y utilización de los recursos en la alta montaña y específicamente del agua de fusión para en dos cuencas glaciares para el componente de Vulnerabilidad y Adaptación de la SCN.

Esta actividad se realizó mediante un muestreo específico (por encuestas y observaciones de campo), junto con recopilación de información secundaria (información catastral, planes de manejo, acueductos, etc.) en la cuenca del río Claro en el Nevado Santa Isabel y en la cuenca del río Lagunillas en la Sierra Nevada de El Cocuy.

Dicho trabajo fue realizado por dos estudiantes de pregrado en Geografía de la Universidad Nacional de Colombia (Johanna Marín y Andrea Prieto). A partir de esta investigación se han obtenido interesantes resultados los cuales se condensan a manera de comparación entre las dos áreas en la tabla 33. En la figura 61 y 62 se presentan los diagramas sobre captación de agua para cada cuenca. Como conclusiones generales se tienen las siguientes:

- La cuenca de Río Claro tiene una menor división de la tierra y en general pocas personas tienen la propiedad de ésta, mientras que en la cuenca del río Lagunillas en una menor extensión se presentan varios predios.
- En general se tiene población joven y con alta migración para la cuenca del Río Claro. En la cuenca del río Lagunillas se tienen proporciones similares entre población infantil y adultos mayores, y aunque se tiene una fuerte migración de población adulta, la gente presenta un mayor arraigo a la tierra que en Río Claro.
- En ambos casos el nivel de educación es bajo y se limita a primaria incompleta.
- Aunque el nivel de ingresos en ambos casos es bajo, es más difícil la situación en el Lagunillas.
- No se cuentan con servicios públicos ni manejo de aguas residuales para Río Claro a diferencia de Lagunillas donde tienen acueducto pozos sépticos y servicio de electricidad.
- En general se tienen áreas fuertemente intervenidas pero es mucho más fuerte en la cuenca del Lagunillas.
- A partir de la investigación se observó un mayor consumo de agua por persona en la cuenca del Lagunillas.
- La actividad ganadera es predominante para ambas cuencas, mientras que la agrícola se ha visto fuertemente disminuida.
- En el caso de río Claro la fuente de captación de agua es de nacederos o directamente del río, siendo muy poca el aporte directo de fuentes glaciares, mientras que en el caso de Lagunillas existen un aporte importante de aguas de fusión glaciar que abastecen un acueducto que provee a cerca de 300 familias.

De lo anterior y teniendo en cuenta que la zona de El Cocuy es más seca y los procesos de fusión glaciar son más altos en la sierra nevada es posible afirmar que en términos generales existe una alta vulnerabilidad de la población de la cuenca del río Lagunillas en relación con Río Claro.

Tabla 33. Correlación entre la información del estudio. Modificado de Prieto y Marín 2007.

CUENCA RÍO CLARO (NEVADO DE SANTA ISABEL)	CUENCA LAGUNILLAS (SIERRA NEVADA DE EL COCUY)
ÁREA DE LA CUENCA	
65 Km ²	33 Km ²
TENENCIA DE LA TIERRA	
Agregados: Reciben sueldo por cuidado de la tierra y ordeño, dividen los gastos y ganancias del cultivo por mitad con el dueño. Dejan una vaca para consumo y gastos diarios	Aparceros: No reciben sueldo, solo un porcentaje muy bajo por cultivo y ganado; todo el dinero lo suministra el dueño de la tierra. Propietarios: Ellos mismos manejan la tierra y el ganado, pagan dependiendo del trabajo a jornaleros por épocas. Arrendatarios: Pagan un arriendo anual por la tierra.
Grandes extensiones de tierra (latifundio), 12 predios aproximadamente	Extensiones pequeñas de tierra (minifundios), 33 predios aproximadamente
GRUPO DOMESTICO	
Procedencia	
En ambos casos la mayor parte de la población es de la misma región	
Número de personas por predio	
Entre 3 o 5	Entre 3 y 4

Edad de la población	
En general adultos entre los 26 a 50 años, la población de adultos mayores es muy baja.	Principalmente niños entre 1 a 18 años, seguido de población adulta mayor, se presenta una fuerte migración de la población joven
Escolaridad	
Primaria incompleta	
Fuente principal de ingresos	
Principal es su salario, seguido del cultivo y una parte que les queda de la venta diaria de leche	Principalmente lo que reciben de la venta de leche, en segundo lugar el porcentaje por cosecha y en algunos casos jornales extras
VIVIENDA	
Servicios Públicos	
No tienen por parte del municipio, solo la electricidad que es generada por plantas eléctricas proporcionadas por el dueño de la tierra.	Servicio de acueducto y electricidad proporcionada por el municipio
Cocina	
Leña principalmente, traída de la misma finca o en algunos casos dada por el dueño, y gas en segundo plano. No se tienen planes de reforestación	Leña principalmente, traída de la misma finca, y gas en segundo plano. Se hace una cuenta de cerca de 60 árboles de eucalipto al año para toda la cuenca. Se cuenta con planes de reforestación
Aguas Residuales	
No se tiene manejo de aguas residuales	Se cuenta con pozo séptico para los baños, el agua de la cocina va a la tierra o a quebradas
Consumo de agua aproximado por persona	
122.68 lts/día/persona	136.66 lts/día/persona
COBERTURA Y USO DEL SUELO	
Actividad pecuaria	
Ganado de leche principalmente, luego doble propósito, y cerdos en pequeñas cantidades.	Vacuno doble propósito, ovejas en la parte altas de la cuenca y caballos (usados para como transporte y turismo en la parte alta)
Promedio de cabezas	
4500	150
Agrícola	
Uso intensivo de pesticidas y fertilizantes químicos, nada orgánico	
Papa únicamente, la cual es para comercio y una pequeña parte de consumo, tienen entre 1 y 2 cosechas al año con 3700 cargas en total	Papa principalmente, destinada al comercio y al consumo en menor proporción, 2 cosechas al año.
No rotan el cultivo pero dejan descansar la tierra para pastos.	No rotan el cultivo ni lo dejan descansar
Bosque	
Se tiene en todos los predios en parches aislados, principalmente a lo largo de quebradas y en partes altas de pendiente fuerte.	Muy poco zona fuertemente intervenida.
En general no se tiene una percepción sobre cambios en el bosque ni en el uso del suelo ya que la población no vive en el área mucho tiempo	La población ha observado una diferencia en el bosque importante así como en el uso del suelo y a que antes se cultivaba cebada y trigo pero por costos y falta de mano de obra, ahora se ha incrementado la parte pecuaria.

USO DEL AGUA	
Fuente y método de captación para consumo doméstico	
La principal fuente de agua son los nacederos y es transportada por medio de mangueras	La principal fuente de agua son los acueductos y nacederos y el agua es transportada por medio de mangueras
Fuente y método de captación para uso agropecuario	
El agua lluvia es la fuente de agua más utilizada para el riego de pastos. Los nacederos y los drenajes se utilizan para el riego de cultivos y para los bebederos de animales. El agua es captada y transportada por medio de mangueras.	Para riego de pastos y cultivos se utiliza agua lluvia, aguas residuales, agua del río y del canal de riego. Además el agua para los animales se toma algunas veces del acueducto y del canal por medio de mangueras y zanjas.
Abastecimiento	
Permanente	Permanente
Calidad	
En términos generales, la población afirma que el agua que consumen es de buena calidad y por eso la toman directamente de los grifos. Sin embargo, los predios que transportan el recurso por zanjas o que la toman directamente de los drenajes, observan sedimentos en el agua que captan. Es importante señalar que la inexistencia de un adecuado manejo de aguas residuales afecta fuertemente la calidad del recurso.	Se puede afirmar que la población abastecida por nacederos tienen mejor calidad de agua que los beneficiados por los acueductos y canales de riego, debido a que su transporte se hace por zanjas y canales a cielo abierto, generando contaminación del agua por caída de animales muertos, excrementos y sedimentos. También cabe señalar que no se tiene un buen manejo de las aguas residuales y estas van a las quebradas contaminando el agua para los pobladores que toman del río aguas abajo.
RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS	
No existe un manejo adecuado de residuos. Las aguas residuales son dirigidas a los drenajes más cercanos por medio de zanjas o tubos. Las basuras son enterradas o quemadas.	El manejo de aguas residuales se da únicamente para el agua usada en el baño, a través de pozo séptico. Los residuos sólidos se queman o entierran.
CONOCIMIENTO DEL TERRITORIO	
Debido a la alta movilidad de la población no existe una apropiación del territorio, lo cual conlleva a un alto desconocimiento del mismo. Sin embargo, pocos pobladores hacen referencia a dos cambios importantes: retroceso del nevado y aumento de la temperatura. La importancia del nevado es asociada con el recurso agua y su valor paisajístico.	La población ha observado un ascenso en la temperatura, en el uso de la tierra y ascenso de la vegetación de páramo. También resulta preocupante para ellos el retroceso del glaciar, el cual es atribuido a la visita de turistas. La importancia del nevado es asociada con el recurso agua y su valor paisajístico.

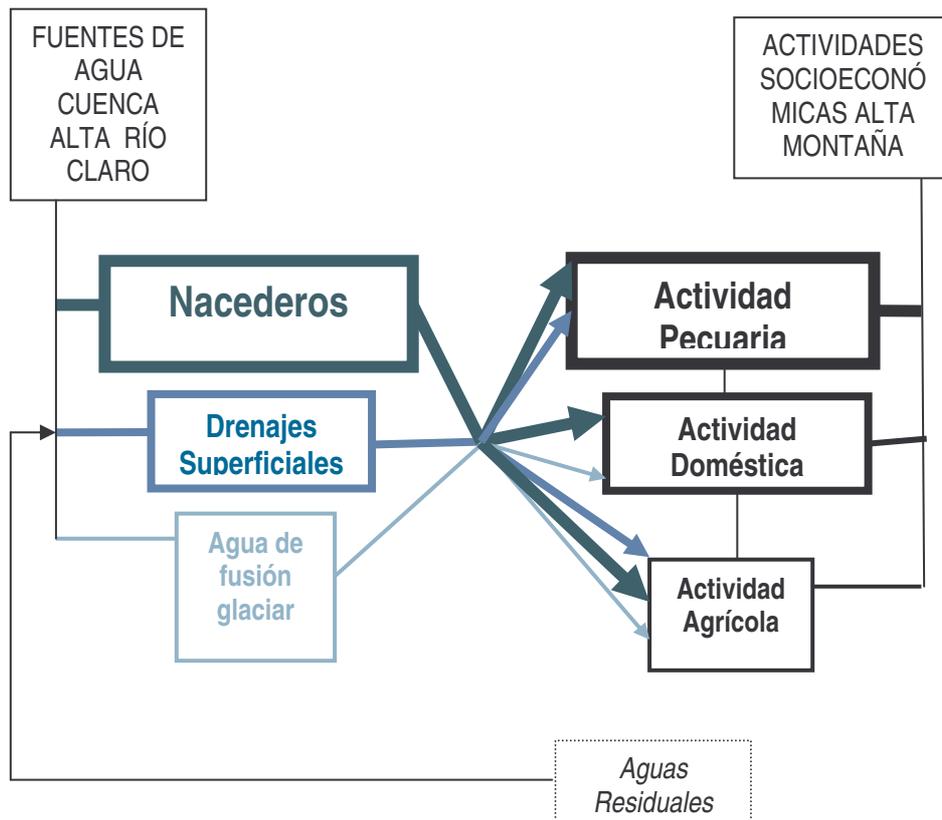


Figura 61. Fuentes de captación de agua en la cuenca de río Claro. Prieto 2007.

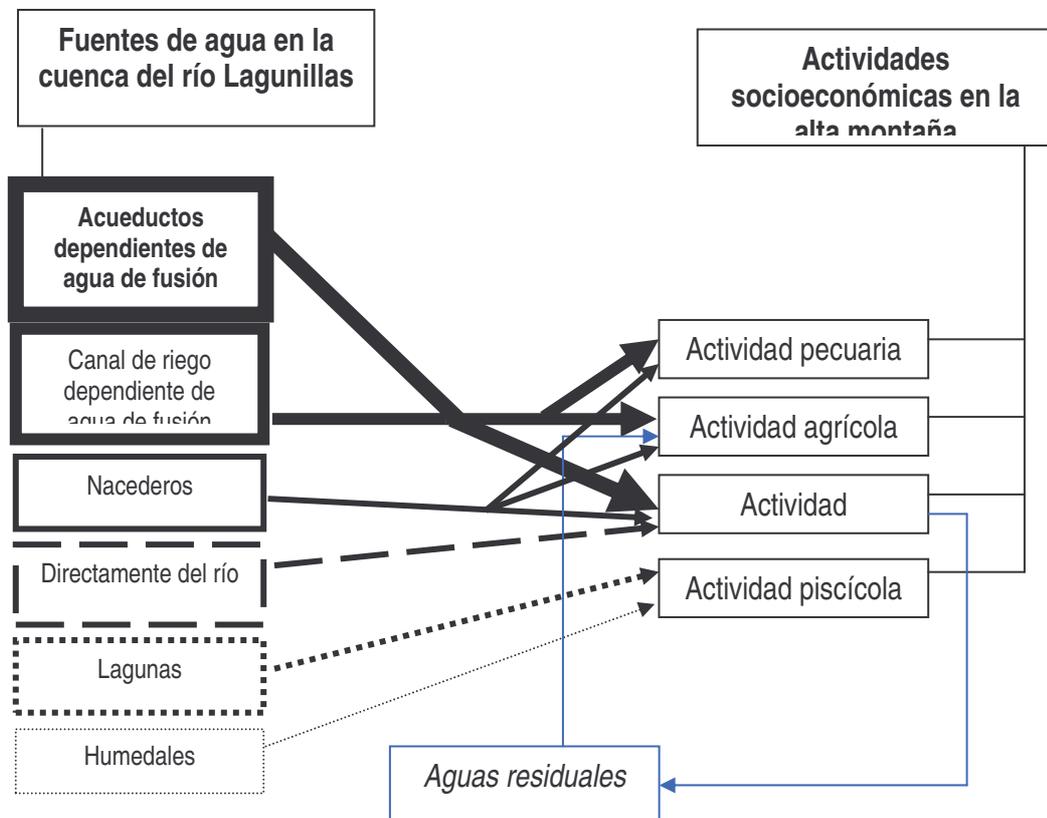


Figura 62. Fuentes de captación de agua en la cuenca del río Lagunillas. Marín 2007.

7. REFERENCIAS

ACUARELAS DE LA COMISION COROGRAFICA. Biblioteca Nacional, Bogota.

AMSTRONG R., et al. (2002): State of the Cryosphere. The National Snow & Ice Data Center. Disponible en internet: < <http://nsidc.org/sotc/intro.html>>

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

CEBALLOS, J. & EUSCATEGUI, C. (2001): Informe técnico de la comisión efectuada al volcán nevado Santa Isabel. Informe IDEAM. Bogotá. Inédito. 18p.

BRUNNSCHWILER, D., 1981. Glacial and periglacial form system of the Colombian Quaternary, en: Revista CIAF, 6, 1-3: 53-76.

FLOREZ, A. (1992): Los nevados de Colombia: Glaciales y Glaciaciones, en: Análisis Geográficos No. 22, IGAC, 95p. Bogotá.

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

GONZALEZ, E.,VAN DER HAMMEN, T. And FLINT, R., 1965. Late Quaternary glacial and vegetational sequence in valle de Lagunillas, sierra de el Cocuy, Colombia. Leidse Geol. Meded., 32: 157 – 182.

GUTIERREZ M. ZAPATA P. 2007. Hacia el entendimiento de las señales de Cambio Climático o variabilidad climática en la oferta hídrica superficial de cuencas hidrográficas en zonas de alta montaña. Estudio de caso: río claro, parque nacional natural Los Nevados. Escuela de Ingeniería de Antioquia.

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.

PRIETO R. ANDREA, 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. Informe final IDEAM – PNUD – UNIVERSIDAD NACIONAL. Bogotá. Pg 130.

RAASVELDT, H. C, 1957. Las glaciaciones de la sierra Nevada de Santa Marta. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat., 9: 469 – 482.

SALOMONS, J. (1986). Paleocology of volcanic soils in de colombian central cordillera. Thesis, Univ. Amsterdam, 212 p.

TOBON, E. (2004). Contribución a los proyectos de investigación realizados por la subdirección de geomorfología del IDEAM. “Actualización del mapa de sistemas morfogénicos. Caracterización y monitoreo de los glaciares colombianos. Cartografía de las formaciones superficiales del macizo colombiano”. Tesis de Grado. Universidad de Caldas. Manizales. Colombia.

VAN DER HAMMEN, T. (1981): Glaciares y Glaciaciones en el Cuaternario de Colombia: Paleocolgía y Estratigrafía. Rev. CIAF, Vol. 6,1-3: 635-637.

VAN DER HAMMEN, T., BARELDS J., DE JONG H. & DE VEER A. (1980/81): Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 32: 247-340.