



GLACIARES DEL ECUADOR: ANTISANA Y CARIHUAYRAZO

Balance de Masa, Topografía, Pluviometría, Meteorología & Hidrología

INFORME DEL AÑO 2005



Luis Maisincho, Bolívar Cáceres, Carla Manciatì, Cristian Loyo, Erick Cuenca, Marcos Villacís, Diego Paredes, Antinea Garces, Remy Laval, Sylvain Mailler, Rodolphe Bucher, Fanny Delachaux, Daniela Freire, Jean-Philippe Chazarin, Bernard Francou, Eric Cadier. Cristina Guamanzara, digitación y edición.

Septiembre del 2007

IRD – INAMHI – EMAAP-Q

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Inventario del equipo ubicado sobre el glaciar y sus alrededores:	2
1.2.	Contexto climático para el 2005:	3
2.	BALANCE DE MASA	5
2.1.	Balance de Masa del Glaciar 15	5
2.1.1.	Zona de acumulación (Glaciar 15 a)	5
2.1.2.	Zona de ablación (Glaciar 15 a)	8
2.1.3.	Balance anual del Glaciar 15a (acumulación + ablación)	15
2.1.4.	Síntesis para el período 1995 – 2005 (Glaciar 15 a)	18
2.2.	Balance de Masa del Glaciar Los Crespos	24
2.2.1.	Zona de acumulación	24
2.2.2.	Zona de ablación Glaciar “Los Crespos”	27
2.2.3.	Balance anual del glaciar en su totalidad (acumulación + ablación) Glaciar “Los Crespos”	33
3.	GEOMETRÍA DEL GLACIAR	36
3.1	Mediciones directas de la ubicación del frente de la lengua del Glaciar 15 α	36
3.2.	Retroceso del frente del Glaciar 15a medido. Período 1996 – 2005	39
3.3.	Longitudes, áreas y volúmenes de las lenguas α y β del Glaciar 15 (1956 – 2005)	40
3.4.	Velocidad superficial de las balizas	47
3.5.	Glaciar del Carihuayrazo	49
4.	PRECIPITACIONES ENTRE 4000 Y 4900 MSNM	51
4.1	Mediciones realizadas en pluviómetro (Totalizadores) y pluviógrafos (HOBO)	52
4.2	Valores brutos	52
4.3	Correlaciones entre estaciones y entre artefactos de medición de precipitación	53
4.4	Correcciones	56
4.4.1	Procesamiento de los datos	56
4.4.2	Correlaciones entre cada pluviómetro totalizador y su respectivo pluviógrafo a nivel mensual.	56
4.4.3	Correlaciones entre los totales diarios de los pluviógrafos	57
4.5	Valores definitivos e Interpretaciones	68
4.5.1	Distribución Anual	68
4.5.2	Distribución Mensual y Estacional:	71
4.5.3	Distribución diaria:	74
5.	METEOROLOGÍA LOCAL EN EL GLACIAR 15 α DEL ANTISANA	78
5.1.	Periodos de funcionamiento de la Sama	78
5.2.	La estación ORE y su representatividad con la climatología local.	83
5.3	Primera comparación de datos ORE y SamaE	89
6.	HIDROLOGÍA	101
6.1	Estaciones hidrológicas	101
6.1.1	Estación “Los Crespos”	102
6.1.2	Estación Humboldt	118
	Referencias bibliográficas	134

Proyecto Greatice en Ecuador IRD - INAMHI - EMAAP-Q Casilla 17-12-857 Quito - Ecuador Tel (+00.5932). 2.269.276; Fax 250.4020 Mail : bolivarc@inamhi.gov.ec ; lmainsc@inamhi.gov.ec ; cadier@ird.fr ; bernard.francou@ird.fr	IRD- GREATICE Maison des Sciences de l'Eau Univ. Montpellier II 300, Av. Emile Jeanbrau 34095 MONTPELLIER Cedex 5 FRANCE Tél : 04 67 14 90 58 Fax : 04 67 14 90 71 www.mpl.ird.fr/hydrologie/greatice	INAMHI Iñaquito 700 y Correa, Quito - Ecuador Tel 2269276 www.inamhi.gov.ec	EMAAP-Q Unidad Ejecutora Ríos Orientales Av. Mariana de Jesús entre Italia y Alemania Quito Ecuador Tel 2.501.225 www.emaapq.com.ec
---	--	---	---

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

ÍNDICE DEL CAPÍTULO:

1.1.	Inventario del equipo ubicado sobre el glaciar y sus alrededores	2
1.2.	Contexto climático para el 2005	3

INTRODUCCIÓN

Este informe presenta los principales resultados obtenidos por el programa de monitoreo de glaciares del Ecuador en el año 2005.

Estos resultados son el fruto de una cooperación entre el Instituto Nacional de Meteorología "INAMHI" y la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito "EMAAP-Q", con la unidad "Greatices" del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo "IRD".

Se contó también con el apoyo de varias Instituciones y Universidades (EPN, Universidad Central, Defensa Civil, IGM, etc.) y de varias universidades Francesas.

El monitoreo de los glaciares del Ecuador tiene como objetivo conocer los vínculos de las variaciones de los glaciares con el clima. Esto toma toda su importancia en el contexto actual del Calentamiento global que provoca una fuerte aceleración del retroceso glaciar. Para eso se calculan y se comparan los balances de los glaciares calculados según 3 métodos:

- Balance de masa, -(cantidad de agua perdida o ganada)
- Balance energético (cantidad de energía disponible para la fusión)
- Balance hidrológico (cantidad de agua que sale del glaciar)

Por otra parte, testigos de hielo extraídos de casquetes fríos de grande altura permiten conocer las variaciones del clima del pasado.

Se pretende también evaluar la variación de los recursos hídricos, relacionándolos con las masas de hielo para elaborar escenarios para el futuro, los cuales tienen una importancia primordial para el abastecimiento de ciudades como Quito.

Se realizaron mediciones y análisis fotogramétricos para conocer el volumen y la superficie de los glaciares de volcanes como el Cotopaxi cuya fusión brusca puede provocar lahares que constituyen una amenaza grande en caso de erupción.

En el presente informe se presentan los resultados obtenidos principalmente en los glaciares 12 y 15 del Antisana, sus respectivos ríos, estaciones meteorológicas y pluviométricas operadas en sus proximidades, complementados con algunos resultados obtenidos en los glaciares del Carihuayrazo.

A partir del 2005 se empezó a almacenar toda la información obtenida dentro de una base de datos "Hydraccess" que facilita su utilización.

Esta información abastece también la base de datos del WGMS (World Glacier Monitoring Service).

El Ecuador forma parte del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos Latinoamericano dentro del Programa Hidrológico Internacional (GTNH-PHI-LAC) del cual participa activamente mediante el suministro de resultados y participación en sus actividades.

Inventario del equipo ubicado sobre el glaciar y sus alrededores:

Los datos mensuales o anuales medidos sobre las balizas de ablación y acumulación, los pluviómetros totalizadores y los sondeos puntuales son utilizados para calcular el balance glaciológico mensual y anual del Glaciar 15α.

Para la elaboración del balance hidrológico de la cuenca se utilizan los datos provenientes de los limnógrafos, los mismos que servirán para relacionarlos con el balance glaciológico.

El balance energético se lo calcula a partir de los datos de micrometeorología obtenidos de las dos estaciones automáticas instaladas sobre el glaciar.

Los datos provenientes del sensor de humedad, del termógrafo automático instalados sobre la morrena y de los pluviógrafos automáticos se los utilizan para documentar el clima del glaciar y del páramo ubicado al pie del glaciar.

Un resumen de los equipos y dispositivos de medidas puntuales utilizados sobre el Glaciar 15α y sus alrededores durante el año 2005 se muestra sobre el Cuadro 1.1 y la Figura 1.1

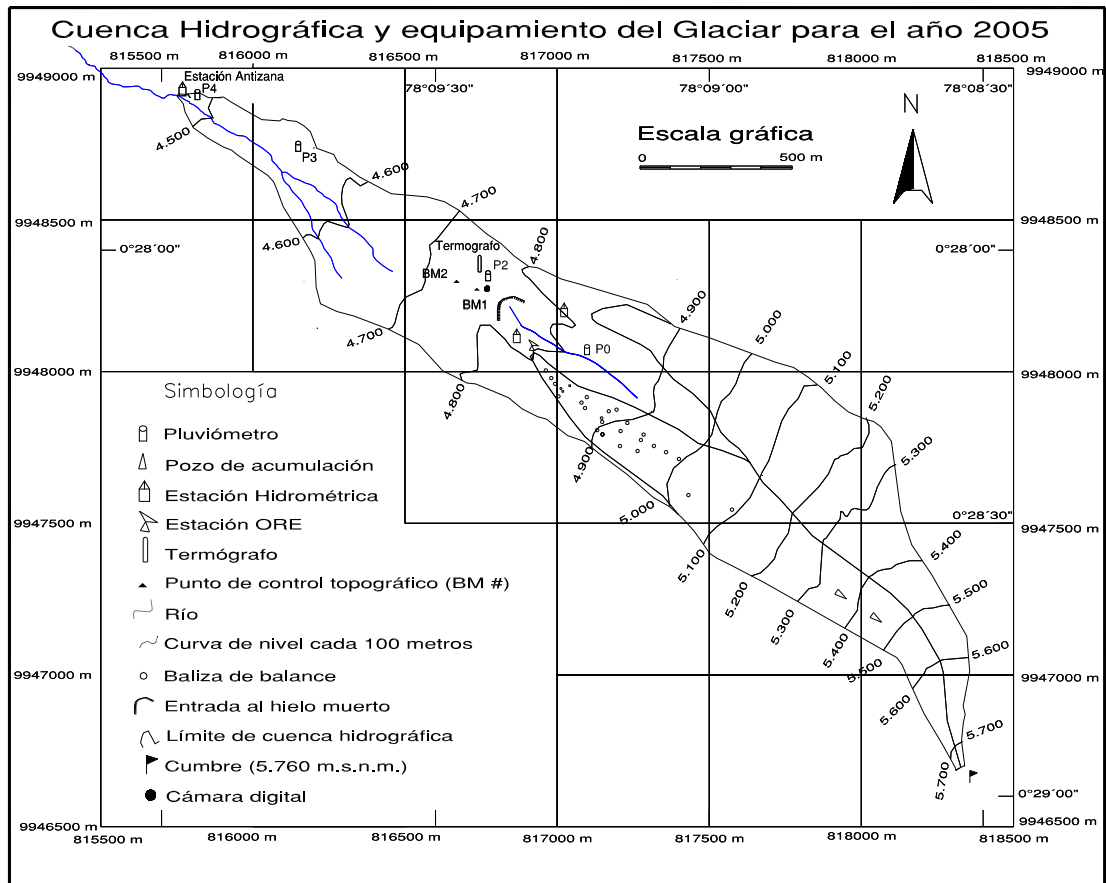


Figura 1.1. Mapa general de la cuenca del Glaciar 15α con el equipamiento.

Equipo	Dispositivo	Ubicación
---	27 Balizas de balance mensual	Ubicadas sobre la zona de ablación a diferente altura
---	3 Pozos de acumulación	5362,5403,5443 m.s.n.m.
1 Estación Campbell	---	4882 m.s.n.m.
1 Estación Campbell móvil	---	Altura variable
6 Pluviómetros totalizadores	---	4000, 4010, 4455, 4555, 4785, 4850 m.s.n.m.
3 Linnígrafos Nimbus	---	4010, 4455 m.s.n.m.
1 Sensor de humedad	---	4785 m.s.n.m.
1 Termografo automático	---	4785 m.s.n.m.
5 Pluviógrafos automáticos	---	4455, 4010, 4000, 4785, 4850 m.s.n.m.
1 Camara automática	---	4785 m.s.n.m.
1 Estación climatológica automática (ORE)	---	4850 m.s.n.m.

Cuadro 1.1. Equipamiento del Glaciar 15 y sus zonas adyacentes

1.2. Contexto climático para el 2005:

El período 1990 – 2005 se ha caracterizado por presentar una sucesión poco común de fases cálidas y frías de El ENSO, siendo las primeras dominantes en duración e intensidad. En los períodos más recientes, después de la fase cálida de los años 1997 – 1998 que produjo un fenómeno de El Niño excepcionalmente intenso, el clima en el Ecuador entro desde el mes de mayo de 1998 en una fase de La Niña (moderada a fuerte) que duró 1999 y 2000. Durante el 2001, la situación del Pacífico evolucionó poco a poco hacia una situación neutra, que finalmente llega a un fenómeno El Niño de pequeña intensidad en 2002. Durante el 2003, 2004 y parte de 2005, el MEI¹ indica la permanencia de una anomalía positiva muy poco intensa (Figura 1.2.). Para los últimos meses del 2005 se presenta una anomalía negativa relacionada con una situación neutra

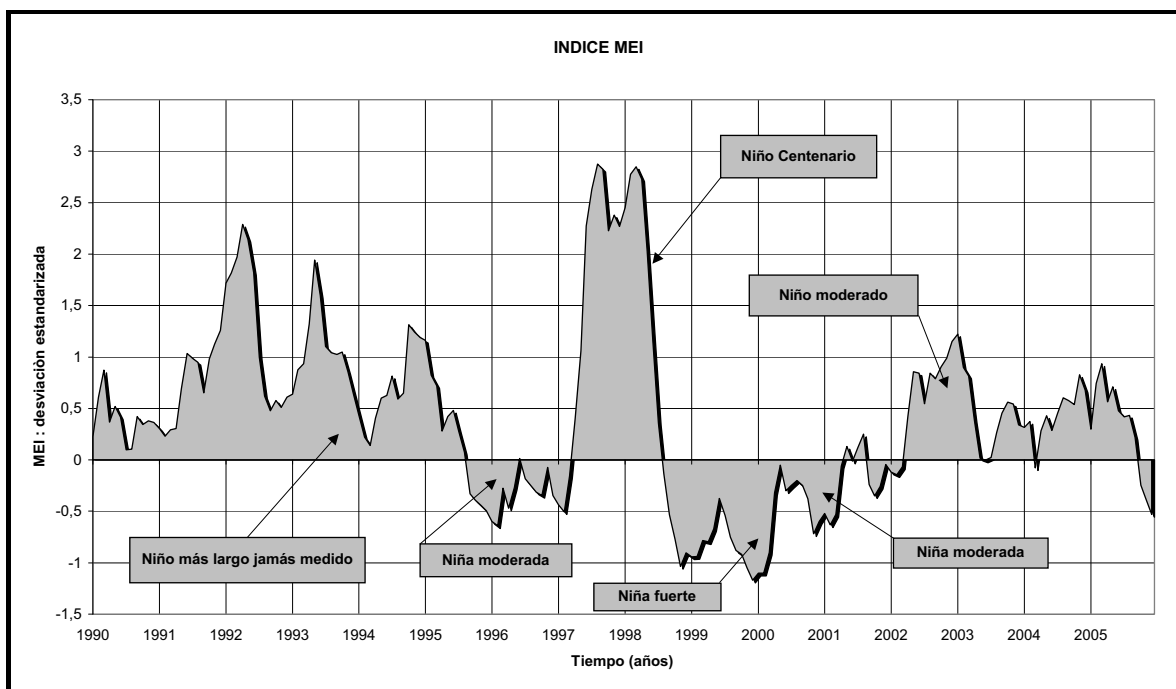


Figura 1.2. Multivariable ENSO index. Período 1990-2005

¹ El MEI es el resultado de la combinación de seis variables del clima sobre el Pacífico ecuatorial que son: presión al nivel del mar, componentes zonales y meridionales del viento sobre la superficie del mar, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire al nivel del mar, fracción de la nebulosidad total del cielo.

Se toma en consideración la primera componente del ACP (Análisis de componentes principales) Estos datos son procesados por el método de las medias móviles tomando períodos de dos meses por ejemplo dic/ene, ene/feb ..., etc. (Wolter & Timlin, 1993).

Se observa que el MEI muestra valores positivos durante casi todo el año observándose un pico en los primeros meses del 2005, para los tres últimos meses se tiene una anomalía negativa moderada.

Una situación de este tipo produce normalmente un balance negativo sobre el Glaciar 15 del Antisana.

CAPÍTULO 2

2. BALANCE DE MASA

Autor Principal: Ing. Bolívar Cáceres

ÍNDICE DEL CAPÍTULO:

2.1.	Balance de Masa del Glaciar 15	5
2.1.1.	Zona de acumulación (Glaciar 15 a)	5
2.1.2.	Zona de ablación (Glaciar 15 a)	8
2.1.3.	Balance anual del Glaciar 15a (acumulación + ablación)	15
2.1.4.	Síntesis para el período 1995 – 2005 (Glaciar 15 a)	18
2.2.	Balance de Masa del Glaciar Los Crespos	24
2.2.1.	Zona de acumulación	24
2.2.2.	Zona de ablación Glaciar “Los Crespos”	27
2.2.3.	Balance anual del glaciar en su totalidad (acumulación + ablación) Glaciar “Los Crespos”	33

Balance de Masa del Glaciar 15

Zona de acumulación (Glaciar 15 a)

La medición de la acumulación se hizo el 15 de noviembre de 2005.

Tres puntos fueron medidos:

- Uno a 5443 m en la parte superior de los glaciares alfa y beta en la parte poco inclinada, al pie de la cumbre principal.
- Uno a 5403 m en la zona de acumulación del glaciar 15 alfa.
- Un tercero a 5363 m.

Pozo 5443 m:

Se realizó una perforación utilizando el PICO con una profundidad de 2.40 metros (medida directa) en el sitio de coordenadas GPS (E-trek Garmin, Navegación sistema WGS 84): 817935 E; 9946928 N (+/- 5 metros). Ubicado en la Arista entre A15 y A17 arriba, se calculó un equivalente en agua de 1041 mm. en este sitio se dejó una pastilla Recco (AC2) la cual servirá para la ubicación del sitio en el próximo ciclo complementariamente en su proximidad se instaló una baliza de acumulación consistente en un tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro con una emergencia de 2.65 metros.

En el Cuadro 2.1 se presentan las mediciones y cálculos realizados para obtener el equivalente en agua producto de la acumulación neta. La superficie de ablación identificada es el hielo y se presenta una buena coherencia de la acumulación con las paredes de las grietas.

Peso (g)	Largo (cm)	Circunferencia (cm)	Radio (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Agua (mm)	Agua acumulada (mm)
174	8	25	3,98	49,74	397,89	0,44	35	35
92	6	23	3,66	42,10	252,58	0,36	22	57
158	7,5	26	4,14	53,79	403,46	0,39	29	86
94	4	24	3,82	45,84	183,35	0,51	21	107
335	14	25,5	4,06	51,75	724,43	0,46	65	171
Promedio	----	----	----	----	----	0,43	----	----

Cuadro 2.1. Densimetría y equivalentes en agua (Glaciar 15 α)

Los resultados son los siguientes:

Espesor de la acumulación: 240 cm de neviza

Espesor medida: 39.5 cm

Densidad promedia estimada: 0.43 g/cm³

Equivalente agua: 1041 mm

Índice de confianza: bueno

Punto 5403 m:

Perforación utilizando el Pico se alcanzó una profundidad de 1.71 metros ubicado en la parte alta de glaciar 15 Beta (sur y arriba de P1) con coordenadas 817817 E; 9946972

(+/- 5 metros en WGMS 84). Se calculó un equivalente en agua de 714 mm. Se dejó una baliza de PVC con una emergencia de 2.21 metros con su respectiva pastilla Recco (AC3) para ubicación.

En el Cuadro 2.2 se presentan las mediciones y cálculos realizados para obtener el equivalente en agua producto de la acumulación neta.

Peso (g)	Largo (cm)	Circunferencia (cm)	Radio (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Agua (mm)	Agua acumulada
210	9	25	3,98	49,74	447,62	0,47	42	42
236	15	25	3,98	49,74	746,04	0,32	47	90
95	5	24	3,82	45,84	229,18	0,41	21	110
176	8,5	24	3,82	45,84	389,61	0,45	38	149
146	6	24	3,82	45,84	275,02	0,53	32	181
Promedio	----	----	----	----	----	0,44	----	----

Cuadro 2.2. Densimetría y equivalentes en agua (Glaciar 15 α)

Los resultados son los siguientes:

Espesor de la acumulación: 171 cm de neviza

Espesor medida: 43.5 cm

Densidad promedia estimada: 0.44 g/cm³

Equivalente agua: 714 mm

Índice de confianza: bueno

Punto 5362:

Perforación utilizando el Pico se alcanzó una profundidad de 1.58 metros ubicado en la arista A15beta y A17 abajo con coordenadas 817882 E ; 9947132 (+/- 5 metros). Se calculó un equivalente en agua de 846 mm. Se dejó una baliza de PVC con una emergencia de 2.18 metros con su respectiva pastilla Recco (AC1) para ubicación.

En el Cuadro 2.3 se presentan las mediciones y cálculos realizados para obtener el equivalente en agua producto de la acumulación neta.

Peso (g)	Largo (cm)	Circunferencia (cm)	Radio (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Agua (mm)	Agua acumulada
252	12	25	3,98	49,74	596,83	0,42	50,67	50,67
277	11	26	4,14	53,79	591,74	0,47	51,49	102,16
328	13	26	4,14	53,79	699,33	0,47	60,97	163,14
390	10	26	4,14	53,79	537,94	0,72	72,50	235,63
325	11	25	3,98	49,74	547,10	0,59	65,35	300,98
Promedio	---	---	---	---	---	0,54	---	---

Cuadro 2.3 . Densimetría y equivalentes en agua (Glaciar 15 α)

Los resultados son los siguientes:

Espesor de la acumulación: 158 cm de neviza

Espesor medida: 57 cm

Densidad promedia estimada: 0.54 g/cm³

Equivalente agua: 846 mm

Índice de confianza: bueno

Cálculo de la acumulación neta a más de 5250 m sobre le Glaciar 15α:

El Cuadro 2.4 y en la Figura 2.1 se resume los datos de acumulación por sobre la línea de neviza (ELA =línea de equilibrio) fijada a los 5150 m (observación directa). Se nota que los valores de acumulación en los rangos altitudinales ubicados entre 5200-5300 y 5500-5760 han sido extrapolados a partir de las mediciones realizadas.

Rangos altitudinales	Acumulación mm d eagua	Observaciones
5600-5760	878	Interpolado
5500-5600	878	Interpolado
5400-5500	878	Medido
5300-5400	780	Medido
5200-5300	520	Interpolado
5150 -ELA	0	Observado

Cuadro 2.4. Cálculos equivalente agua por rango altitudinal (Glaciar 15 α)

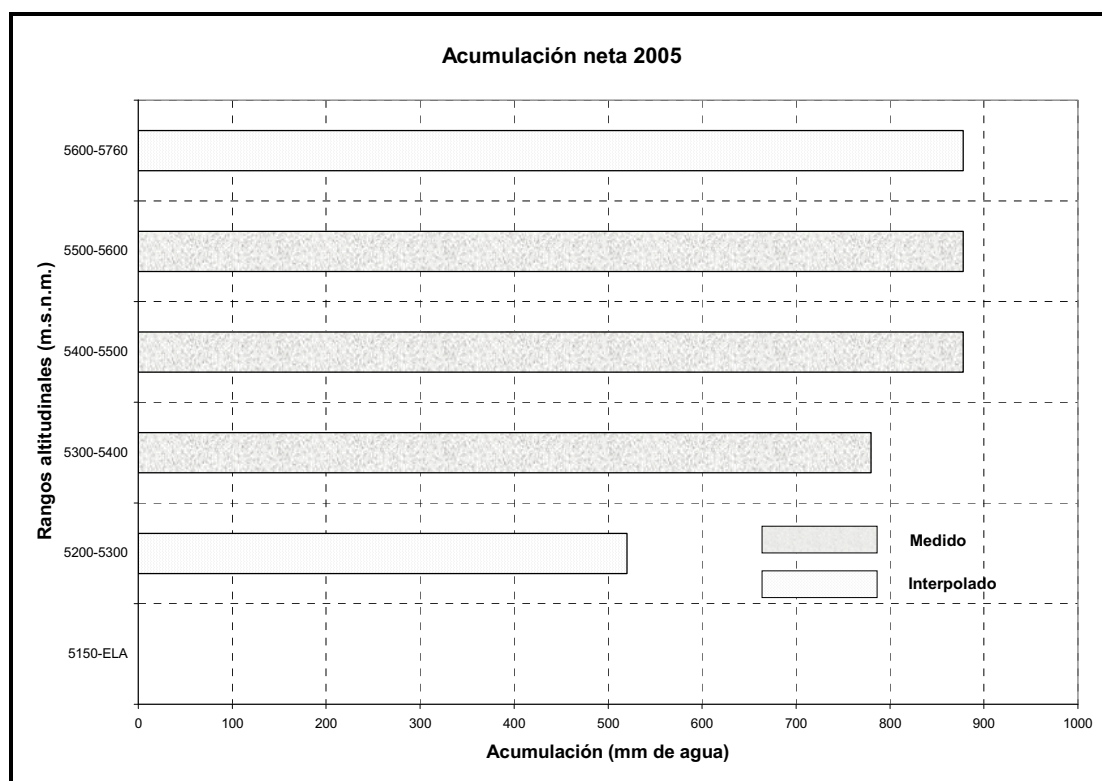


Figura 2.1 Acumulación por rangos altitudinales en el 2005 (Glaciar 15a)

Grado de confianza de la estimación de la acumulación neta:

Varios parámetros permiten el dar a la medición de acumulación neta del glaciar un grado “bueno”.

- Buena identificación de la capa basal (superficie de ablación del fin del 2005),
- Mediciones correctas y claras en los puntos escogidos,
- Línea de neviza bien visible y extensa a lo largo de la lengua alfa en la fecha que se realizó la medición.
- Consistencia con lo observado sobre las paredes de las grietas.

Dentro de los parámetros negativos, hay que tomar en cuenta:

- Ausencia de mediciones entre 5200-5300 y 5500-5760 metros de altitud, debido a las dificultades que se tuvieron durante las mediciones, especialmente la presencia de grietas y el mal tiempo reinante.
- Imposibilidad de localizar las pastillas Recco colocadas en el mes de enero de 2005.
- Pérdida de las balizas de acumulación colocadas en el mismo período.

2.1.2. Zona de ablación (Glaciar 15 a)

a) Método de cálculo tomando en consideración la capa de nieve:

Como en los años precedentes se realizó la medición mensual del balance los primeros días de cada mes, estas incluyen la emergencia total de cada baliza y el espesor total de la nieve que se acumula sobre la capa de hielo. El balance del glaciar se lo calcula sobre la zona de ablación considerando el área que abarca esta.

Para el cálculo del balance se utilizaron las siguientes relaciones:

$$B = -0.9 (H_{m+1} - H_m) + 0.4 (N_m - N_{m+1}) \quad (1)$$

$$B = -0.9 (H_{m+1} - H_m) + 0.4 (N_m + e_{m-1} - e_{m-2}) \quad (2)$$

Donde:

B = balance, equivalente en mm de agua de la cantidad de hielo/nieve perdida por el glaciar en el sitio de cada baliza

H = emergencia de la baliza respecto a la superficie del hielo en cm.

N = espesor de la capa de nieve.

e = emergencia del extremo de la baliza respecto a la superficie superior en cm.

m = mes dado

m ± 1,2 = mes anterior o posterior.

(1) ecuación para el caso de tener las medidas correctas.

(2) ecuación para el caso de tener errores sobre la medida del espesor del hielo.

b) Red de balizas instaladas:

La ubicación de las balizas de balance se muestra sobre la Figura 2.2

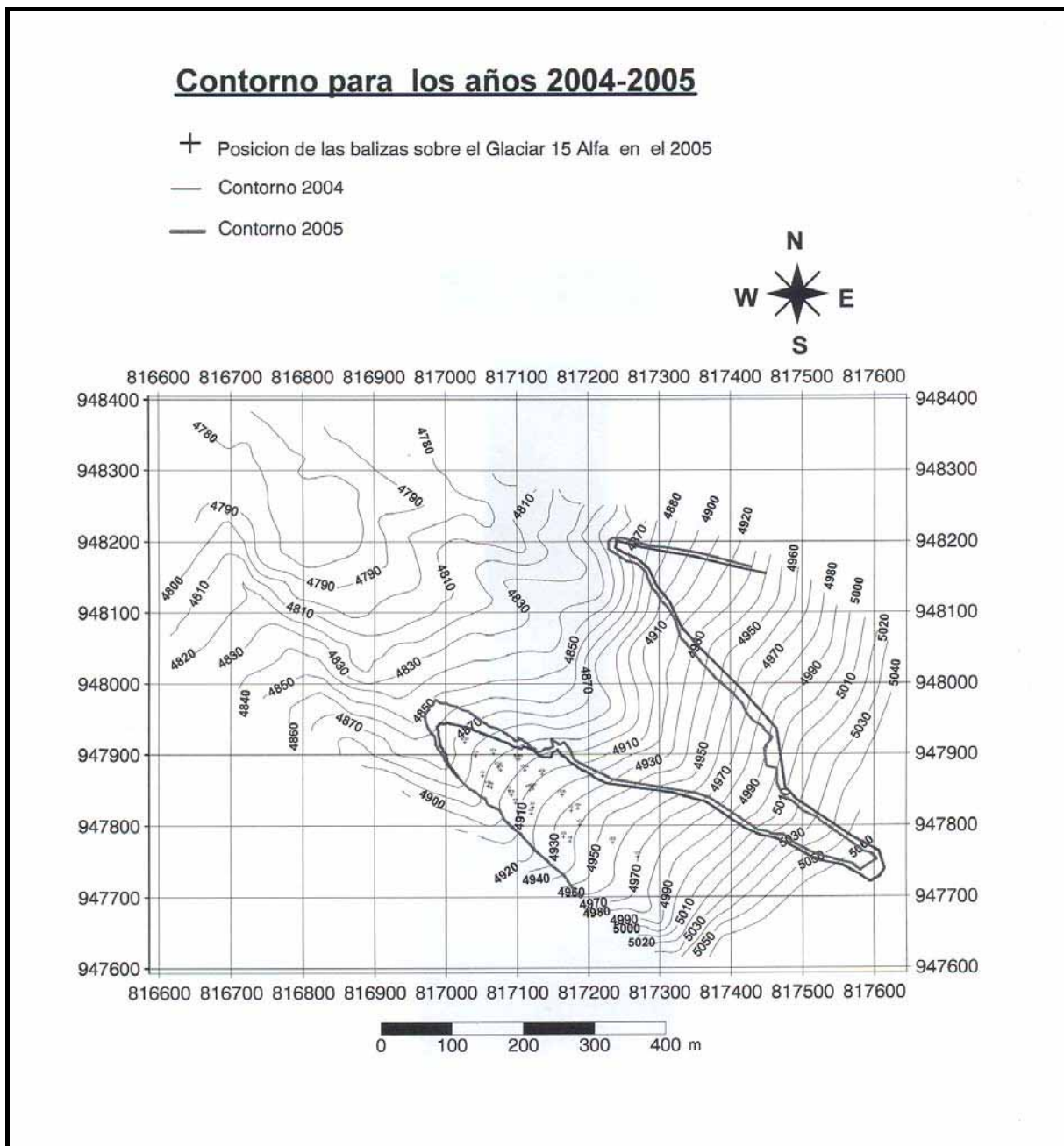


Figura 2.2 . Red de balizas sobre la zona de ablación para el año 2005 (Glaciar 15 a)

c) Balance anual para cada baliza (Glaciar 15 α).

Para conocer el balance durante el año 2005 se utilizaron los datos topográficos iniciales obtenidos en el levantamiento realizado en el 26 de diciembre del 2004, que se comparó con las lecturas realizadas el 1 de diciembre del 2005.

Para el efecto se emplearon las mediciones de catorce balizas instaladas el 26-27 de diciembre del 2004 y trece balizas instaladas en el mes de diciembre del 2003 ubicadas entre los 4865 y 4981 m. Es importante indicar que durante el año se perdieron numerosas balizas debido a las avalanchas o por encontrarse en la cercanía de grietas que en algunos casos impidió su lectura periódica. El balance obtenido para cada una de las balizas consideradas así como su ubicación altimétrica se lo puede ver en el Cuadro 2.5, en el se consideran solo las balizas que han registrado por lo menos cuatro meses de lecturas, las que solo registran uno o dos meses de lectura no se las toma en cuenta en este cuadro.

Nº Baliza	Cotas m.s.n.m.	Balance
1C05	4981	-3990*
2C4	4924	-3390*
2I4	4928	-3980
2C05	4927	-4030
2I05	4927	-4990
3I4	4911	-4300
3C4	4909	-4220
3D4	4908	-4760*
3C05	4950	-4770*
3I05	4901	-2820*
4D4	4900	-3700
4C4	4896	-4650
4I4	4896	-3590
4d05	4885	-2880*
4C05	4880	-2780
4I05	4883	-4170*
5I4	4870	-2450*
5C4	4872	-3270*
5D4	4870	-2290*
5C05	4865	-3450
5I05	4862	-4410
5D05	4891	-5360
6D4	4860	-2880*
7C4	4850	-820*
6C05	4876	-6580
6D5		-2200*
7C5	4865	-2880*

*Cuadro 2.5. Balance de cada baliza durante el 2005. Medida del 26 de diciembre del 2004.
(Glaciar 15 α)*

**Balizas con lecturas anuales incompletas*

d) Balizas representativas y rangos altitudinales (Glaciar 15 α):

Los rangos altitudinales se los estableció en función del levantamiento topográfico realizado y de la serie de datos recogidos durante el año. Estos rangos se muestran en el Cuadro 2.6.

Rango Altitudinal m.s.n.m	Altura m.s.n.m.	Punto de medición representativo
5600-5760	5760	Medido (pozo de acumulación)
5500-5600	5550	Interpolado
5400-5500	5450	Interpolado
5300-5400	5324	Medido (pozo de acumulación)
5200-5300	5250	Interpolado
5100-5200	5150	Observado
5000-5100	5050	1C05
4960-5000	4980	2C4-2I4-2C05-2I05
4910-4960	4935	3I4-3C4-3D4-3C05-3I05
4880-4910	4895	4D4-4C4-4I4-4D05-4C05-4I05
4860-4880	4870	5I4-5C4-5D4-5C05-5I05-5D05
4830-4860	4845	6I4-6D4-7C4-6C05-6D5-7C5

Cuadro 2.6. Balizas representativas para cada rango altitudinal en 2005 (Glaciar 15 α)e) Balance ponderado (Glaciar 15 α).

El balance ponderado (B_{pi}) en la zona de ablación toma en consideración el valor del balance encontrado en cada rango (b_i), la superficie de dicho rango (s_i) y la superficie total del glaciar (S):

$$B_{pi} = b_i (s_i/S) \quad (2.1.)$$

Sobre el Cuadro 2.7 se muestra el balance mensual ponderado para la zona de ablación del glaciar 15 alfa del Antisana.

Rango	Sup. Relativa	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Σ
5000-5100	0,07	-43	-41	-17	-46	-33	-26	----	----	-31	-14	-37	----	-287
4960-5000	0,07	-43	-43	-19	-25	-25	-15	-6	-42	-30	-22	-29	1	-298
4910-4960	0,07	-76	-48	-33	-12	-31	-26	-17	-52	-35	-25	-27	3	-379
4880-4910	0,03	-27	-23	-12	-8	-17	-23	-7	----	-17	-11	-16	0	-162
4860-4880	0,02	-11	-13	-5	-6	-8	-6	-2	-9	-9	-7	-5	0	-80
4830-4860	0,00	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-3	-2	-2	-2	-1	-19
----	0,20	-202	-171	-88	-99	-115	-97	-32	-107	-124	-80	-115	3	-1225

Cuadro 2.7. Balance ponderado mensual para cada rango altitudinal en el 2005 expresado en mm de agua. Los meses sin valor no registran lecturas sobre las balizas (Glaciar 15 α)f) Evolución de la capa de nieve en la zona de ablación (Glaciar 15 α)

Durante el año 2005, la capa de nieve promedio fue de 12 cm. Sobre la parte baja de la zona de ablación (4639-5000 m) la capa de nieve fue nula para los meses de enero, marzo, agosto y noviembre; para los meses de febrero, septiembre y octubre estuvo entre 1 y 10 centímetros; para abril, mayo y julio estuvo entre los 10 y 20 centímetros; únicamente para el meses de junio y diciembre fue superior a los 20 centímetros.

Este hecho nos muestra que durante la mayor parte del año (7 meses) el glaciar no tuvo cobertura de nieve y en algunos meses fue muy escasa (entre 1 y 10 centímetros), únicamente se observó un período de tres meses sobre el cual se tuvo una capa mediana de nieve que redujo la ablación de alguna manera, siendo por lo tanto esta una de las causas para que el balance tenga un valor negativo, además se pudo constatar un importante retroceso de la lengua (28 metros). Los resultados se los puede observar sobre la Figura 2.3

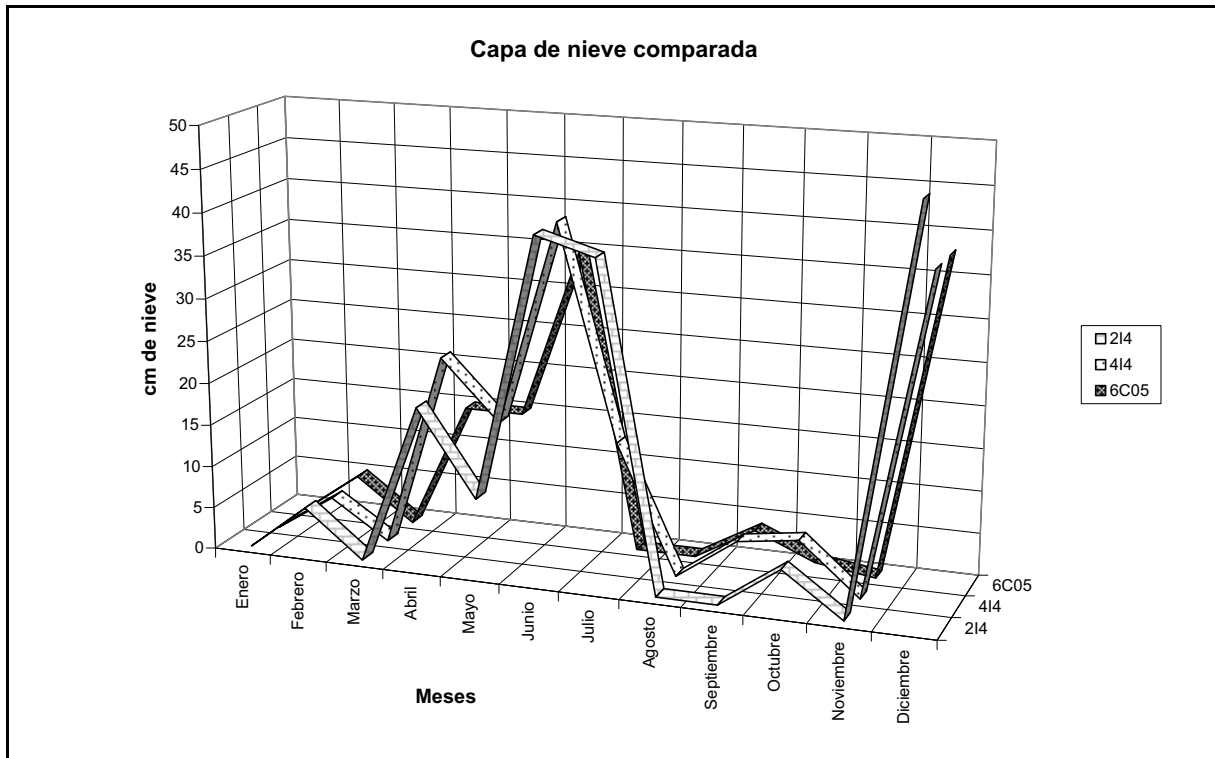


Figura 2.3 . Espesor de la capa de nieve sobre la parte alta, media y baja del glaciar 15 alfa del Antisana medida sobre la zona de ablación para el año 2005, al fin de cada mes.

g) Evolución de la línea de neviza durante el año (Glaciar 15 α):

Durante el año 2005 el glaciar no tuvo una cobertura de nieve en la zona de ablación para los meses de enero, marzo, agosto y noviembre en los cuales la línea de nieve se ubicó entre los 5000 y 5150 metros. Para el mes de febrero, septiembre y octubre la línea de nieve se ubicó un poco más abajo al nivel de los 4850 metros, sin embargo su espesor fue pequeño. Únicamente sobre los meses de abril, mayo, junio, julio y noviembre la línea de nieve se ubica al nivel de la parte terminal de la lengua.

Esto nos indica que la mayor parte del tiempo la cobertura de nieve sobre su superficie fue nula o muy escasa lo que incrementa la capacidad del hielo para derretirse debido a la disminución del albedo. Se define la línea de nieve (o de névé) como el límite en la superficie del glaciar entre la nieve (o névé) y el hielo. Esta línea es estimada por observación directa sobre el glaciar cada vez que se realiza el balance de masa mensual, para lo cual se utiliza las balizas emergentes cercanas. Una cámara fotográfica tomó unas fotos automáticamente 2 veces al día para mejorar el monitoreo de la ubicación de la línea de nieve. El error que se comete al utilizar esta metodología es inferior a 20 m.

h) Gradiente vertical de balance (Glaciar 15 α).

Los puntos considerados para el balance se ubican aproximadamente sobre una recta lo que nos permite inferir la presencia de un gradiente lineal. Para el año 2005 el gradiente tiene un valor de 50 mm/m. El desnivel entre las balizas extremas 2I4 y 6C05 es de 52 m y la diferencia de balance entre estos dos puntos es de -2600 mm de agua.

Para este cálculo se ha tomado en consideración que todas las balizas se encuentran sobre la parte central del glaciar lo que supone que todas ellas tienen un comportamiento similar. Además ninguna de ellas fue afectada por las avalanchas ocurridas sobre la parte alta de la zona de ablación lo que hubiera afectado de manera sensible el balance sobre cualquiera de ellas haciendo que este sea mucho más positivo.

Los resultados obtenidos se los puede ver sobre el Cuadro 2.8 y la Figura 2.4

Baliza	Balance acumulado de enero a enero	Altura m.s.n.m.
2I4	-3980	4928
2C05	-4027	4927
2I05	-4994	4927
3I4	-4300	4911
3C4	-4218	4909
4C4	-5786	4896
4I4	-4303	4896
5D05	-5005	4891
6C05	-6580	4876

Cuadro 2.8. Balizas consideradas y su ubicación para el cálculo del gradiente vertical de balance durante el año 2005. (Glaciar 15 α)

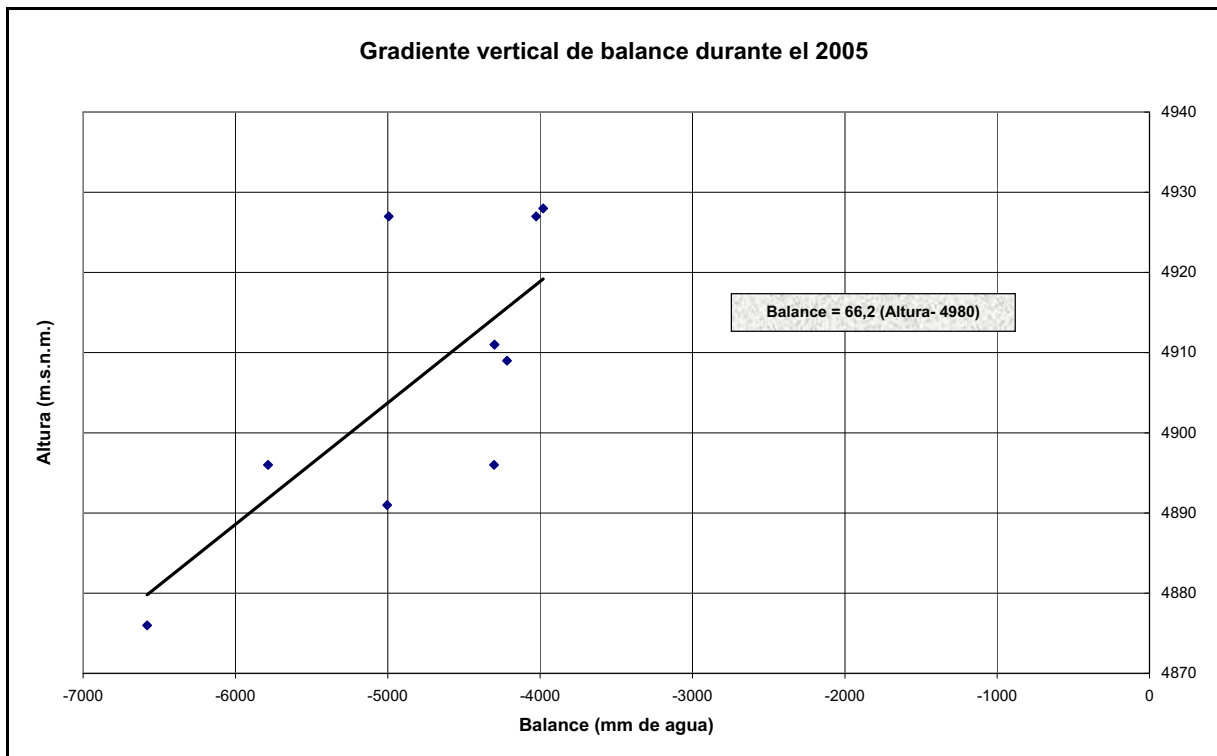


Figura 2.4 . Variación del balance anual para las balizas seleccionadas en función de su posición altimétrica para la zona de ablación durante el año 2005. (Glaciar 15 a)

i) Evolución mensual del balance en la zona de ablación (Glaciar 15 α):

- Balance mensual por rangos altitudinales y promedio de balizas:

El balance mensual obtenido para el año de 2005 se lo puede observar en los Cuadro 2.7, Cuadro 2.9, y la Figura 2.5.

Rango	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Σ
5000-5100	-162	-153	-62	-172	-122	-95	---	---	-115	-52	-138	---	-1071
4960-5000	-159	-161	-73	-92	-93	-57	-28	-262	-111	-81	-110	6	-1222
4910-4960	-284	-180	-122	-46	-117	-95	-85	-319	-131	-95	-100	16	-1558
4880-4910	-100	-87	-46	-30	-63	-86	-36	---	-64	-41	-58	-3	-614
4860-4880	-41	-47	-19	-23	-30	-21	-10	-59	-33	-25	-17	0	-324
4830-4860	-6	-7	-5	-4	-5	-7	-3	-20	-7	-6	-7	-3	-79
----	-752	-636	-327	-368	-429	-363	-162	-659	-461	-299	-430	17	-4870

Cuadro 2.9 . Balance mensual no ponderado para las balizas seleccionadas en mm de agua.
(Glaciar 15 α)

El balance no ponderado para la zona de ablación durante el año 2005 tuvo un valor de – 4870 mm de agua, para este cálculo no se considera el área total del glaciar, sino únicamente se lo hace con los datos medidos directamente cada mes.

El balance ponderado obtenido para el año 2005 para la zona de ablación tiene un valor de -1225 mm. de agua (en relación con la superficie total del glaciar) el cual es 1.5 veces más negativo que el que se obtuvo en el año anterior que fue de -801 mm de agua, debido entre otros factores a la menor cobertura de nieve que se tuvo sobre el glaciar en relación con el año anterior.

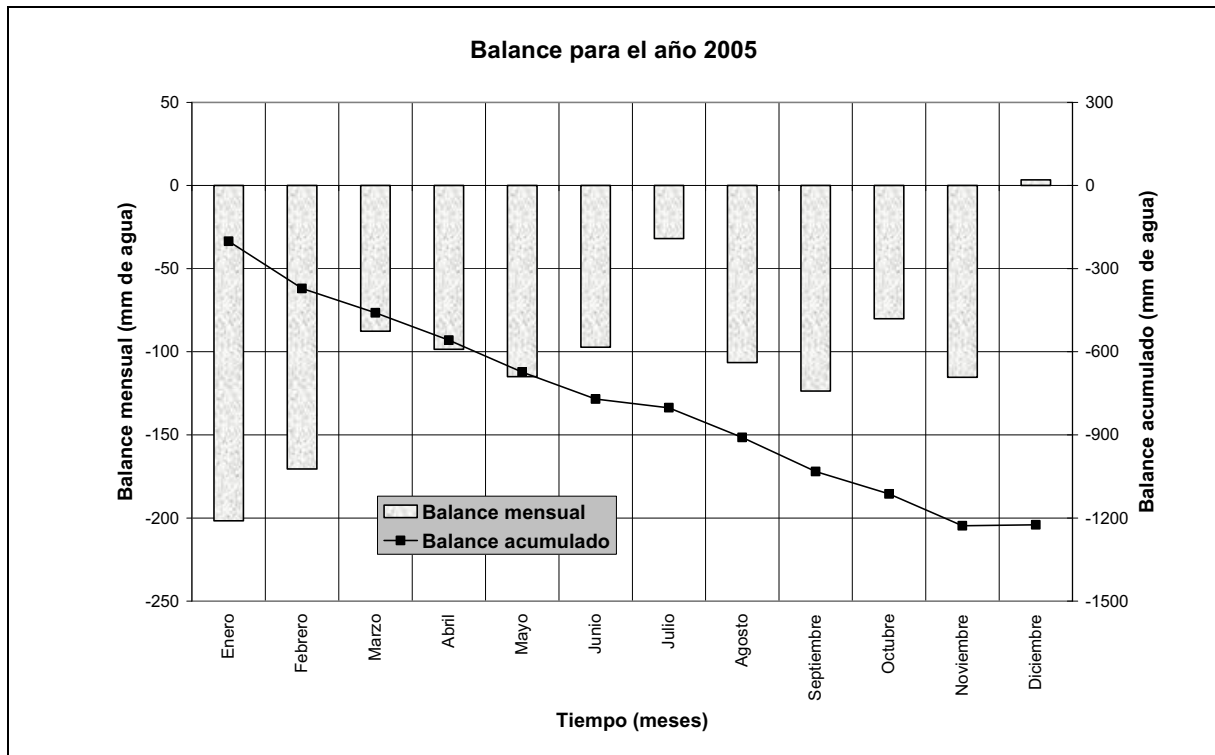


Figura 2.5. Variación del balance ponderado en la zona de ablación durante el año 2005 (Glaciar 15 α)

El balance más negativo se lo tiene en los meses de enero y febrero, un balance más moderado se observa en los meses de mayo, agosto y noviembre; para los meses restante se observa un balance más equilibrado, para el mes de diciembre se tiene un balance positivo debido a la gran cantidad de nieve que se acumuló sobre el glaciar. El balance negativo durante la mayoría de los meses nos indica que el glaciar estuvo sujeto a una moderada ablación, lo que podría deberse a un aumento en las precipitaciones sólidas especialmente entre el período abril-agosto y a su ocurrencia a una menor altura.

2.1.3. Balance anual del Glaciar 15a (acumulación + ablación)

a) Balance neto específico:

Basándose en los datos medidos sobre el campo se obtuvo un balance neto para el año de 2005 con un valor de -789 mm de agua, observándose un cambio desde un balance positivo observado el año 2000 hacia un balance negativo en el año 2001 y que continua en el 2002, se acentúa en el 2003 y regresa a un valor más equilibrado durante el 2004.

Este fenómeno se produce debido a que la acumulación de nieve es mayor a lo largo del año y a una ablación moderada sobre el glaciar, fenómenos que coinciden con un cambio de fase de El Enso, es decir pasó de una fase fría (La Niña) a una fase cálida (El Niño) en el 2005 se considera que se tuvo una fase neutra del fenómeno. Para los años de 1995, 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003 y 2004 se registraron valores de -1830, -428, -612, -845, -598, -769, -1362 y -572 mm. de agua respectivamente lo que nos indica que sobre este período el glaciar estuvo sujeto a períodos de ablación fuerte a moderada. Para el año de 1999 y 2000 se registró un valor de +515 y +393 mm. de agua, lo que nos indica que durante estos dos períodos sobre el glaciar se produjo una notable acumulación neta. Los rangos altitudinales utilizados para el cálculo así como los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.10 y en la Figura 2.6.

Rango altitudinal (m.s.n.m)	Sup. parcial (m ²)	Sup. relativa Sr	Balance (mm)	Balance ponderado Sr*B (mm)
5600-5760	37626	0,13	878	112
5500-5600	23516	0,08	878	70
5400-5500	28892	0,10	878	86
5300-5400	34267	0,12	780	91
5200-5300	34267	0,12	520	61
5100-5200	59656	0,20	-1177	-239
5000-5100	20250	0,07	-2360	-163
4960-5000	20970	0,07	-4003	-285
4910-4960	22015	0,07	-4259	-319
4880-4910	9328	0,03	-4670	-148
4860-4880	2957	0,01	-4838	-49
4830-4860	329	0,00	-6580	-7
Suma	294074	1,00	---	-789

Cuadro 2.10 . Cálculo del balance neto específico para el año 2005 en mm de agua en relación con la superficie total del glaciar. (Glaciar 15 a)

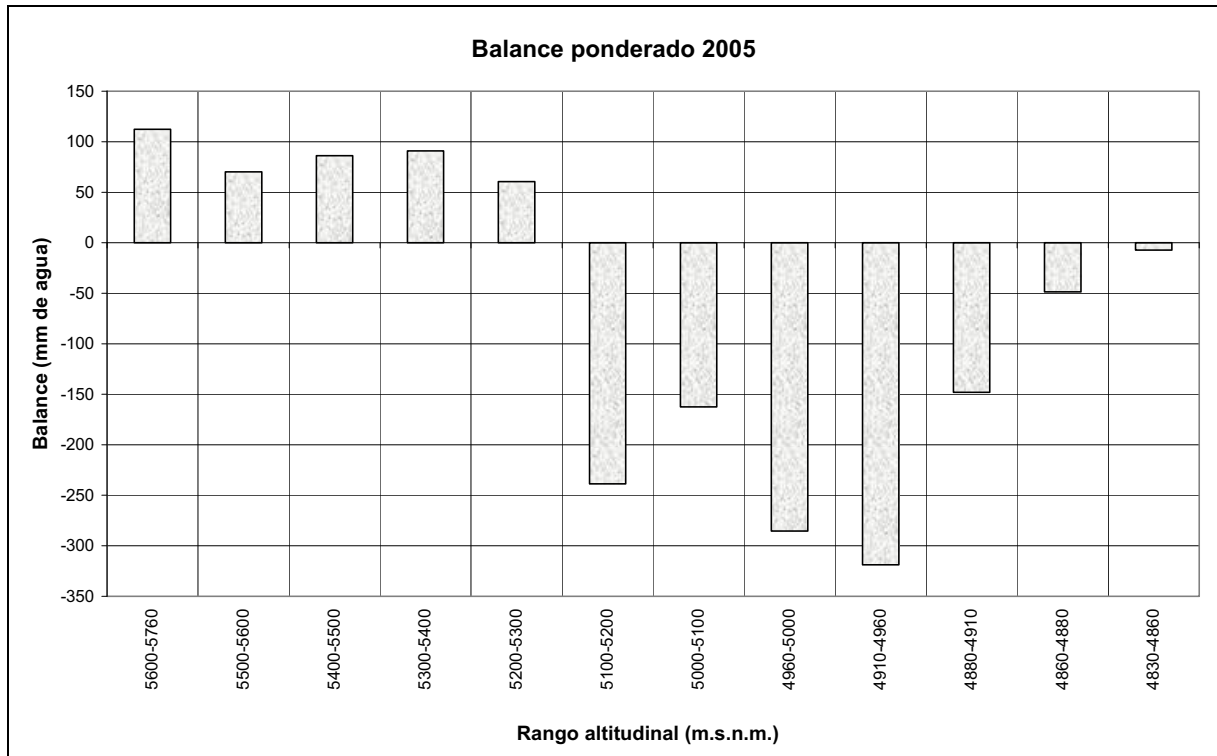


Figura 2.6. Balance neto específico por rango altitudinal para el año 2005 (mm de agua) (Glaciar 15 a)

b) Isolíneas de balance

La línea de equilibrio (ELA) para el año de 2005 se la ubicó a 5150 m valor mucho más bajo que el registrado en el año 2003 que fue de 5225 m (ver figura 2.7).

Utilizando el levantamiento topográfico realizado en el mes de diciembre del año 2005 se calculó el área promedio de acumulación (AAR) que es equivalente al 55 % del área total del glaciar. Este valor es similar al registrado en los años 1996, 2001, 2002 y 2004 durante los cuales el glaciar perdió masa de una manera moderada. Además sobre el glaciar se pudo observar una ablación moderada y una acumulación menor a la que se registró en el año 2004 lo cual nos explica en parte el balance moderado, pero negativo.

La distribución espacial del balance sobre la superficie del glaciar se la realiza mediante la utilización de las líneas de isobalance, las mismas que se trazan con ayuda de los levantamientos topográficos realizados para los diferentes años y de sus respectivos balances.

Como es evidente la distribución espacial del balance varía de un año a otro. Como consecuencia de la morfología sencilla del glaciar, arriba de los 5000 a 5100 m, estas isolíneas son paralelas a las curvas de nivel y perpendiculares al eje del glaciar.

Sobre la Figura 2.7 se muestran las isolíneas de balance para el glaciar 15 alfa para el año de 2005.

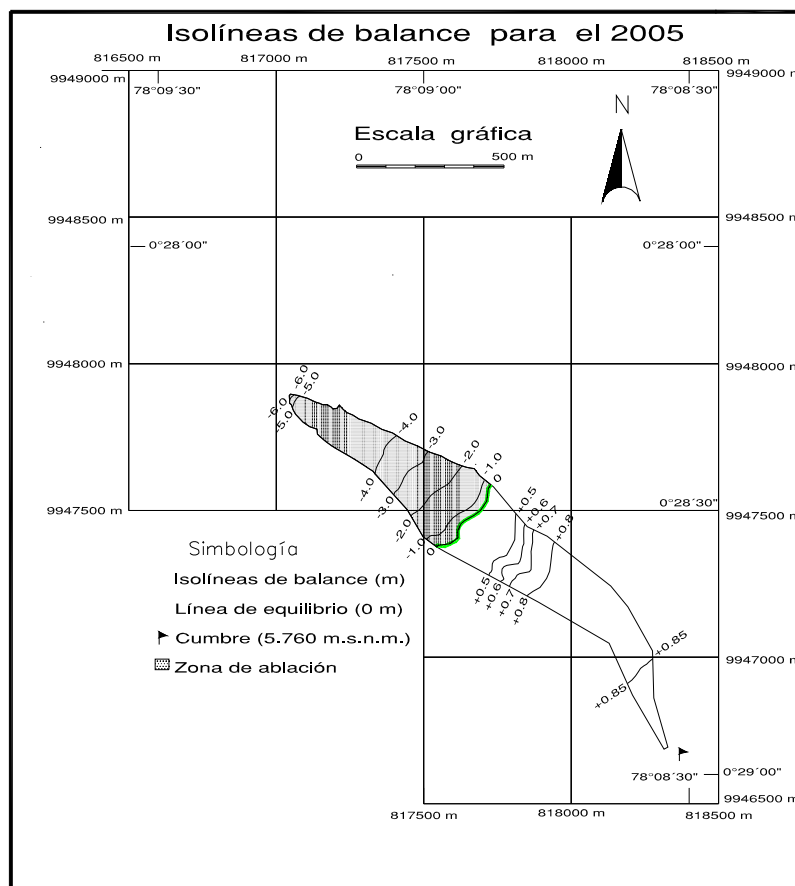


Figura 2.7. Ubicación de las líneas de isobalance en el Glaciar 15a del Antisana para el año 2005

c) Perfil altitudinal del balance

Sobre el Cuadro 2.11 y la Figura 2.1 se muestra el perfil altitudinal del balance desde el frente del glaciar hasta la cumbre, los valores mostrados corresponden al balance no ponderado. Se han considerado 12 rangos altitudinales entre los 4830 y los 5760 metros.

Rango Altitudinal	Balance (mm)
5600-5760	878
5500-5600	878
5400-5500	878
5300-5400	780
5200-5300	520
5100-5200	-1177
5000-5100	-2360
4960-5000	-4003
4910-4960	-4259
4880-4910	-4670
4860-4880	-4838
4830-4860	-6580

Cuadro 2.11. Balance neto no ponderado y rangos altitudinales para el año 2005.
(Glaciar 15 a)

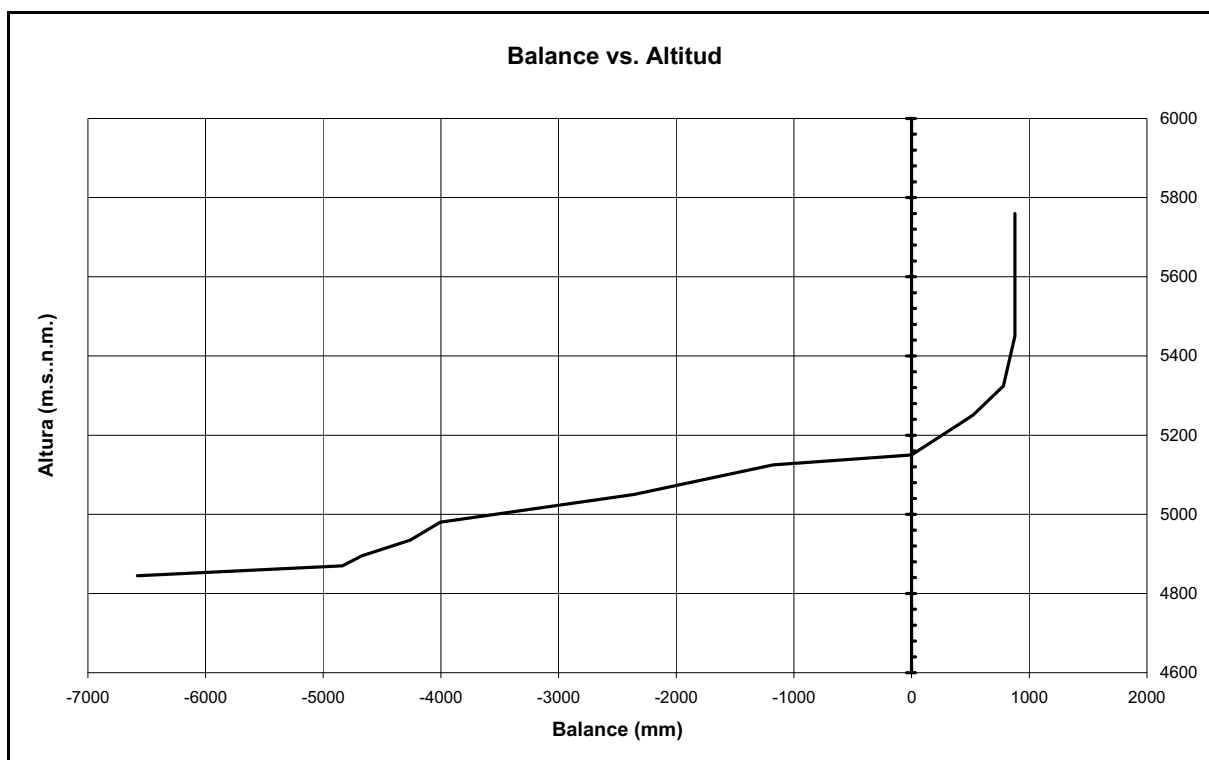


Figura 2.8. Perfil altitudinal del balance neto no ponderado para el año 2005. (Glaciar 15 a)

2.1.4. Síntesis para el período 1995 – 2005 (Glaciar 15 a)

a) Balance neto específico del glaciar:

La evolución del balance para los once años de estudio nos muestra que los valores más deficitarios se ubican en los años de 1995, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005 con valores que varían entre -572 y -1830 mm de agua de pérdida. Para el año de 1996 el balance fue de -428 mm de agua de pérdida, que es un valor mas equilibrado. Para los años de 1999 y 2000 el balance es positivo y tiene valores de 515 y 393 mm de acumulación de agua.

En el Cuadro 2.12. se muestra un resumen de todos los datos relacionados con el balance y las principales características del Glaciar 15 α para el período 1995 – 2005.

Año (1)	B_n (2)	ΣB_n (3)	A (4)	B_{ter} (5)	B_{sum} (6)	ELA (7)	AAR (8)	Prec. (9)	Term. (10)	ΣTerm. (11)
1995	-1830	-1830	2580	-7624	+654	5245	45	750	-28.20	-28
1996	-428	-2258	1310	-4532	+826	5115	60	882	-40.62	-69
1997	-612	-2870	1597	-6949	+870	5110	62	985	-56.25	-125
1998	-845	-3715	1985	-6048	+675	5100	65	1140	-34.38	-159
1999	+515	-3200	700	-2214	+1080	4960	84	1215	+21.43	-138
2000	+393	-2807	632	-2045	+890	4980	80	1025	+17.80	-120
2001	-598	-3405	1348	-4830	+940	5085	60	750	-11.2	-131
2002	-769	-4174	1870	-4999	+900	5145	50	1101	-19	-150
2003	-1362	-5536	2117	-6633	+810	5225	42	755	-55	-205
2004	-572	-6108	1352	-5420	+957	5145	56	780	-31	-236
2005	-789	-6897	1706	-6580	+878	5150	55	917	-28	-264
Prom	-627	----	1563	-5261	+862	5115	60	936	-24	----

Cuadro 2.12. Recapitulación de los datos relacionados al balance neto específico para los once años de monitoreo del Glaciar 15α

- (1) Año hidrológico (enero – diciembre)
 (2) Balance neto específico (mm de agua)
 (3) Balance neto acumulado (mm de agua)
 (4) Ablación específica: $A = P - B_n$ (mm de agua)
 (5) Balance en la parte más baja (4833 m en mm de agua)
 (6) Balance en la parte más alta (5750 m en mm de agua)
 (7) Altitud de la línea de equilibrio (ELA)
 (8) Porcentaje de la área de acumulación (Acumulación Área Ratio (en %)
 (9) Precipitación en las cercanías del glaciar: $P = [P_2]$ (en mm de agua)
 (10) Retroceso del frente (en metros referidos a la marca precedente).
 (11) Retroceso acumulado del frente (en metros)

b) Balance en función de la altitud:

La variación observada sobre el balance del glaciar a lo largo de los once años de monitoreo concuerda bastante bien con el modelo lineal propuesto por Lliboutry (1974). (Cuadro 2.13, Figura 2.9). Las curvas obtenidas presentan un buen paralelismo en la zona de ablación que corresponde a la parte baja del glaciar.

La parte inferior de la curva sobre la cual se ubica el frente, como promedio entre los 5050 – 5150 m.s.n.m. tiene una pendiente débil, lo que traduce un gradiente de balance en función de la altitud ($\delta b / \delta z$) muy elevado, con un valor promedio de 1795 mm de agua perdida por cada 100 m. Este gradiente elevado es característico para los glaciares ubicados en las zonas tropicales.

Por sobre los 5150 m el gradiente de balance presenta un patrón bastante regular, la acumulación neta aumenta como valor promedio de 135 mm por cada 100 m para los once años.

Los valores del balance sobre la parte terminal del glaciar (once años) deben ser analizados con cuidado ya que para cada año la distancia de la baliza terminal con respecto al extremo inferior de la lengua varia un poco. Esto influye en el valor del balance, siendo este más negativo cuanto más cerca se encuentre esta del extremo inferior como sucede en el año 1995.

Año 1995		Año 1996		Año 1997		Año 1998		Año 1999		Año 2000	
Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)
654	5760	1184	5760	780	5765	675	5760	1080	5760	890	5760
278	5400	468	5400	960	5400	741	5650	1280	5600	750	5300
200	5300	358	5300	564	5150	800	5550	690	5300	832	5150
0	5250	186	5150	-1281	5070	640	5400	550	5150	405	5030
-1000	5125	-380	5027	-2319	5050	500	5300	500	5030	-172	4970
-2000	5100	-1539	4936	-2410	5000	180	5200	340	4970	-717	4954
-3068	4990	-2207	4903	-2696	4990	92	5100	-212	4954	-1174	4896
-4232	4966	-2726	4882	-2772	4970	-2220	5040	-880	4896	-1563	4870
-5563	4948	-4532	4854	-3891	4940	-3735	4980	-1251	4870	-2045	4840
-6019,8	4882	----	----	-4078	4920	-4158	4911	-2214	4840	----	----
-6237	4854	----	----	-4545	4890	-4815	4896	----	----	----	----
-7624	4812	----	----	-4626	4890	-5562	4870	----	----	----	----
----	----	----	----	-5130	4870	-6048	4833	----	----	----	----
----	----	----	----	-6949	4840	----	----	----	----	----	----

Año 2001		Año 2002		Año 2003		Año 2004		Año 2005	
Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)	Balance (mm)	Altitud (msnm)
940	5760	1015	5740	810	5740	957	5760	878	5760
665	5580	815	5550	810	5550	892	5550	878	5550
540	5500	500	5450	810	5450	661	5450	878	5450
460	5400	375	5300	675	5300	370	5324	780	5324
380	5290	230	5244	338	5244	250	5250	520	5250
190	5100	115	5150	-1380	5150	82	5150	0	5150
-441	5050	-1286	5050	-2558	5050	-2004	5050	-1177	5125
-3060	4980	-4410	4980	-5703	4980	-3435	4980	-2360	5050
-3287	4930	-4907	4930	-6497	4930	-4147	4935	-4003	4980
-3547	4890	-4999	4895	-5934	4895	-4171	4895	-4259	4935
-4876	4870	----	----	-6330	4870	-4323	4870	-4670	4895
-4962	4845	----	----	-6633	4845	-5420	4845	-4838	4870
----	----	----	----	----	----	----	----	-6580	4845
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Cuadro 2.13. Variación del balance en función de la altitud. Período 1995–2005 (Glaciar 15 a)

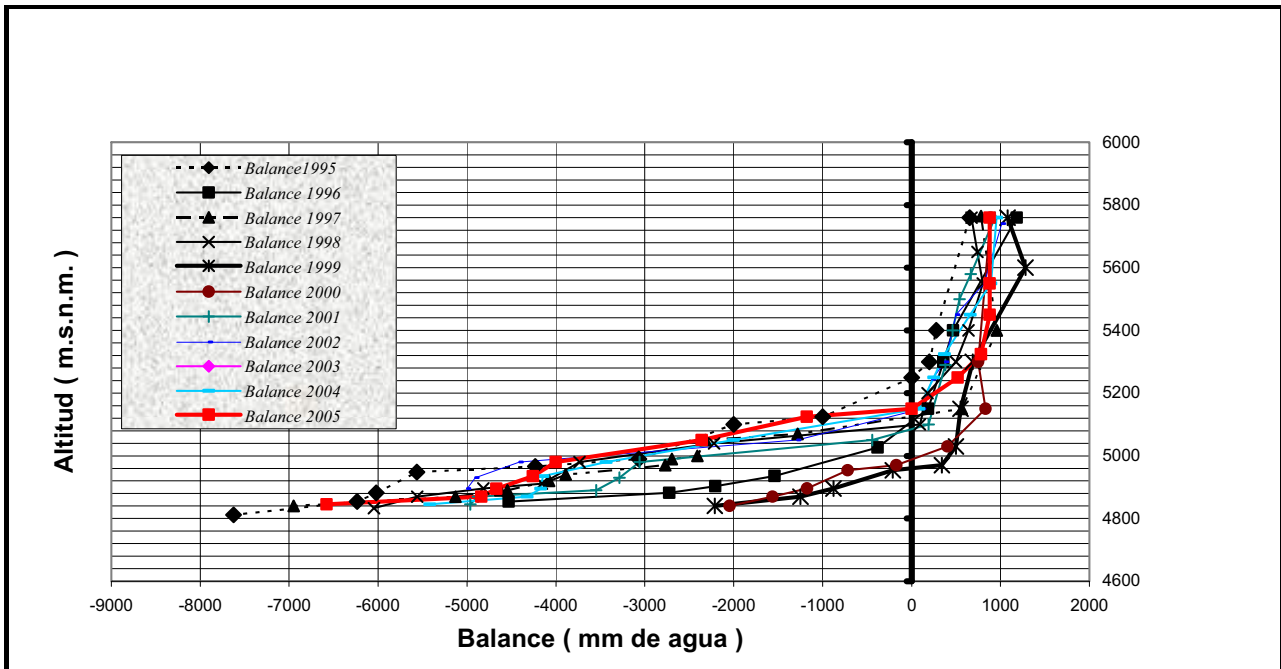


Figura 2.9 . Variación del balance en función de la altitud. Período 1995-2005 (Glaciar 15 a)

c) Línea de equilibrio (ELA) versus Área Promedio de Acumulación (AAR)

La línea de equilibrio ha tenido una fluctuación máxima de 265 m durante los once años de monitoreo. El valor más alto de la línea de equilibrio se registro durante 1995 año en el cual se tiene el balance más negativo del período considerado. Para 1996, 1997 y 1998 la línea de equilibrio sufre una variación de tan solo 15 metros lo que nos indica una variación pequeña. Durante 1999 la línea de equilibrio presenta su valor más bajo (4960 m). Para el año 2000 la línea de equilibrio se ubica a 4980 m. Para el año 2001 la línea de equilibrio se ubicó a los 5085 m. En el año 2002 la línea de equilibrio se ubico a 5145m. Para el 2003 la línea de equilibrio se ubica a 5225 m, en 2005 se ubico a 5150 valor similar al observado en el año de 2002 y que corresponde al balance mas equilibrado.

Se debe poner atención en poca variación de la ubicación de la línea de equilibrio (ELA) para los años de 1996,1997 y 1998: 15 metros. Este hecho es posible explicarlo si se toma en cuenta la morfología de la superficie del glaciar. Entre los 5000-5300 m el glaciar adquiere de manera progresiva la forma de un corredor bastante estrecho y empinado por el que frecuentemente se encausan las avalanchas producidas sobre los 5300 m. Este hecho produce una sobre acumulación en la parte baja del corredor, lo que reduce la oscilación altimétrica de la línea de equilibrio de un año a otro cuando se ubica en esta parte del glaciar.

Las relaciones entre la línea de equilibrio ELA y el área promedio de acumulación AAR con el balance neto específico se la puede ver en las Figura 2.10 y Figura 2.11.

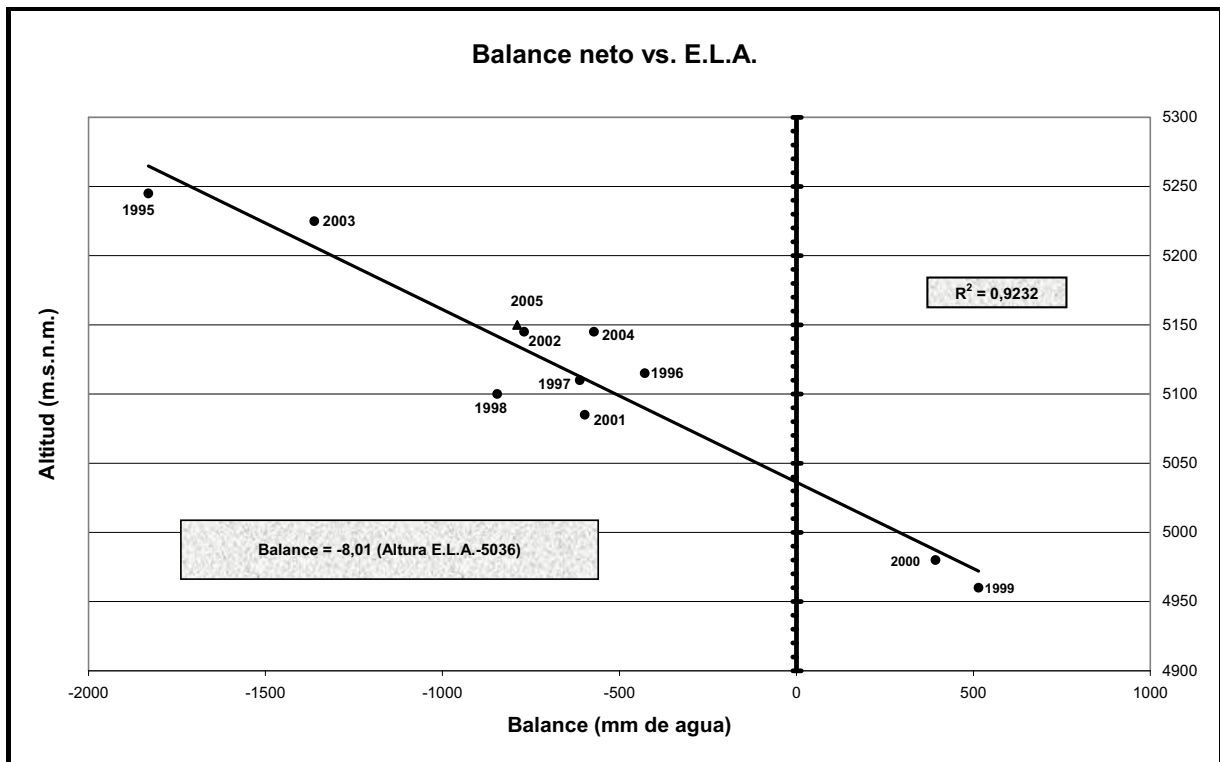


Figura 2.10. ELA versus balance neto. La ELA0 se ubica en los 5038. (Glaciar 15 a)

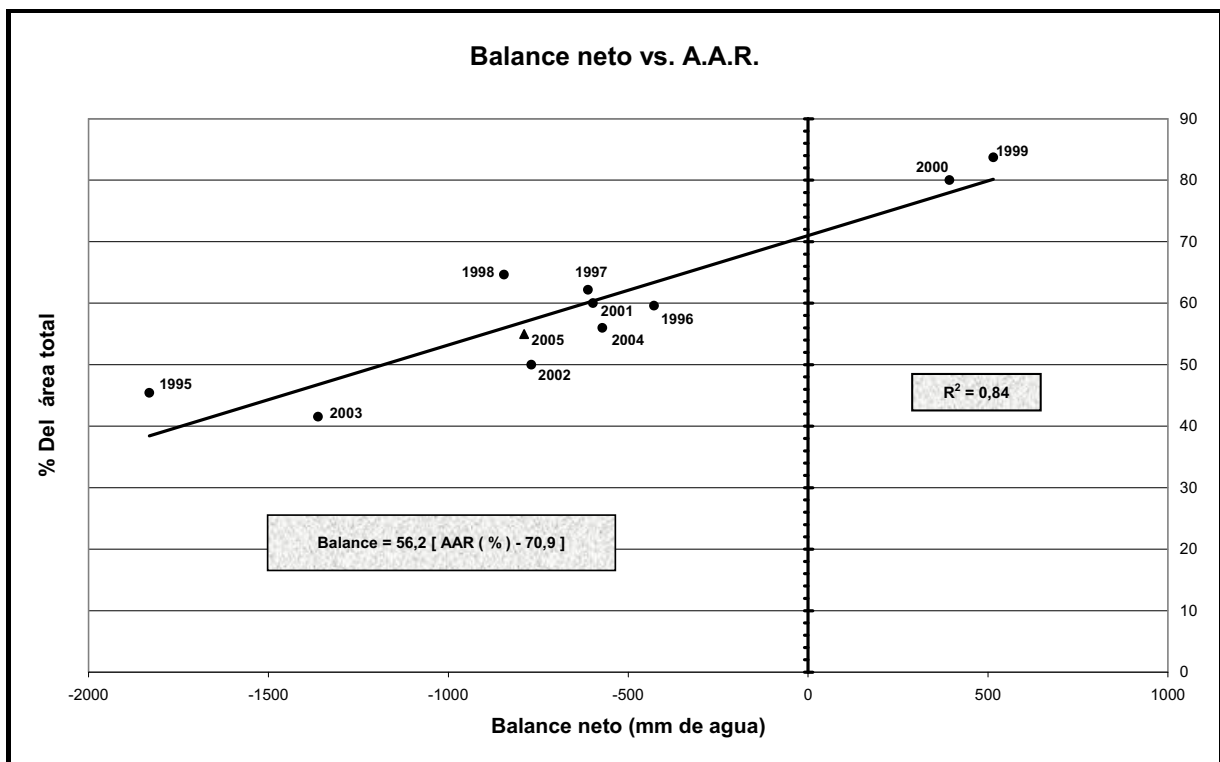


Figura 2.11. AAR versus balance neto. El AAR0 corresponde al 71%. (Glaciar 15 a)

Estas relaciones tienen un carácter lineal para todos los glaciares monitoreados en el mundo (World Glacier Monitoring Service, 1999). Esta tendencia no ha podido ser comprobada de manera total sobre el Glaciar 15 α del Antisana, debido a los pocos datos existentes sobre el balance neto (once años).

Sin embargo, con los pocos datos existentes se ha realizado una **aproximación** para obtener los valores de ELA_0 y AAR_0 mediante el ajuste de una recta utilizando una regresión lineal.

Para las ELA se calculó un coeficiente de correlación R^2 de 0.93 ($R = 0.96$) y se obtuvo un valor del $ELA_0 = 5038$ m (Es la altitud donde la acumulación es igual a la ablación es decir, se tiene un balance equilibrado).

Para las AAR se calculó un coeficiente de correlación R^2 de 0.84 ($R = 0.92$) y se obtuvo un valor del AAR_0 que corresponde al 71% de la cobertura total del glaciar.

Este coeficiente obtenido mediante la regresión lineal debe ser manejado con cuidado ya que el número de años sobre la cual se ha realizado la correlación es aun pequeña y corresponde a un período de retroceso acelerado, ya que el glaciar probablemente no está en equilibrio con el clima actual.

d) Evolución mensual del balance sobre la zona de ablación

Para la comparación y posterior análisis de la información recopilada se considera que el año hidrológico coincide con el año civil lo cual se justifica utilizando la distribución de las precipitaciones en el sector del Antisana, las cuales registran su menor valor en los meses de noviembre, diciembre y enero. (*Sémiond et al.*, 1998).

En la Figura 2.12 se pueden identificar tres períodos de balance negativo: uno para el año de 1995 que termina en noviembre, otro que comienza en marzo de 1997 y termina en mayo de 1998, y otro que comienza en abril del 2001 y se mantiene hasta fines del 2005.

Se tiene dos períodos de balance menos deficitario y en algunos casos positivo ubicados entre diciembre de 1995 a marzo de 1997, y julio de 1998 a febrero del 2001.

La sucesión de estos valores de balances negativos y positivos o menos deficitarios coincide con el apareamiento de la fase cálida y fría de El ENSO.

También, se puede ver que los picos de balance y los valores más bajos no siempre coinciden año tras año. Pero, se nota que la ubicación de valor de balance más equilibrado cae entre los meses de noviembre y enero "**Veranillo del Niño**" para los años 1995, 1997, 1998 y 2000 (estacionalidad también se evidenció en la perforación que se realizó sobre la cumbre en 1996 donde se tomó en consideración los valores de la relación Oxígeno 18 / Oxígeno 16 ($\delta^{18}O$) *Sémiond et al.*, 1998). Al contrario, se ve que el veranillo tiene balances bastante negativos en los años 1996, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005.

Para los años de 1995, 1998, 2004 y 2005 los balances más negativos se los ubican en las cercanías de los meses de marzo y de septiembre que corresponden a los equinoccios, mientras que para el año de 1996, 1999, 2000, 2001 los balance más negativos se ubican en las cercanías de los meses de junio y diciembre que corresponden a los solsticios.

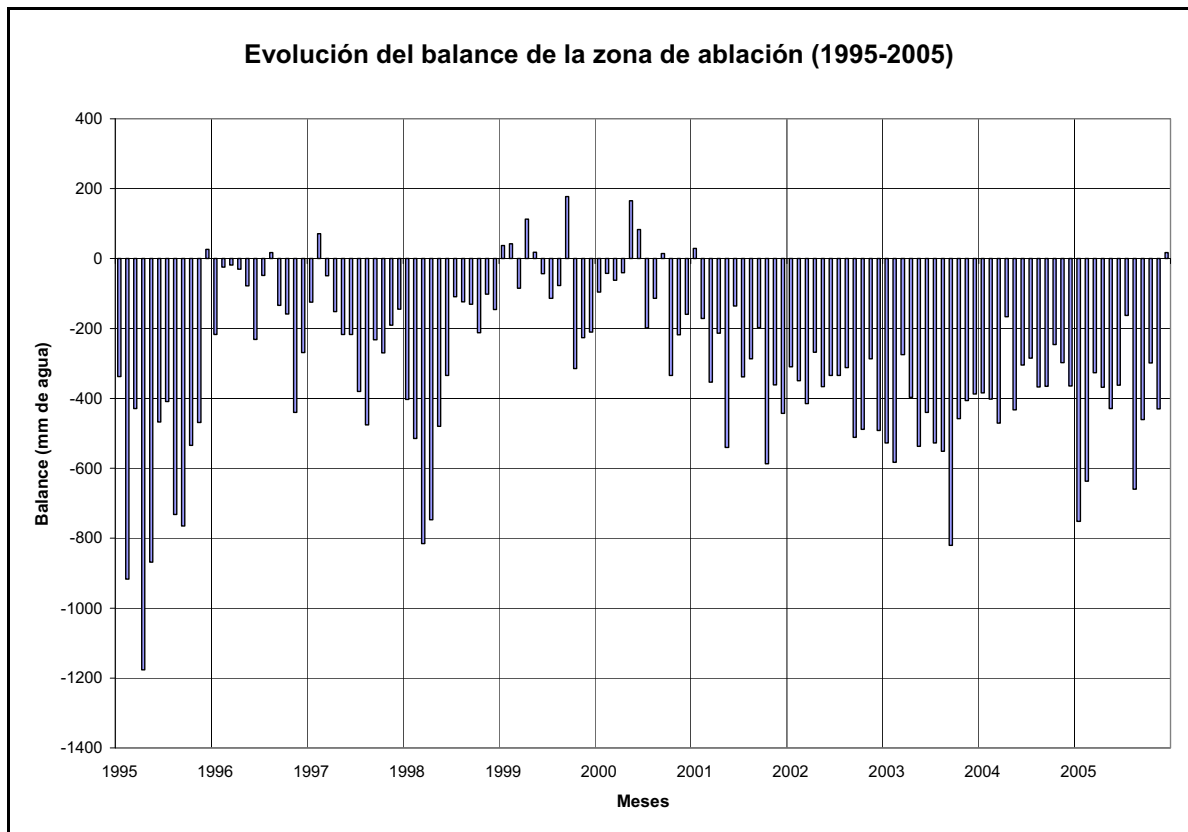


Figura 2.12. Evolución mensual del balance en la zona de ablación para el Glaciar 15 del Antisana para el período 1995-2005. Los balances no son ponderados sobre toda la superficie del glaciar.

Para los períodos que coinciden con la fase cálida del ENSO (gráfico 2.11), las precipitaciones líquidas posiblemente ocurren a mayor altitud y las temperaturas están mas elevadas, es decir la cobertura de nieve sobre la parte baja de la zona de ablación es escasa lo que produce un derretimiento grande en esta zona debido al albedo bajo producido por el color oscuro de la superficie del hielo. Así los meses con balances más negativos se ubican sobre los meses de marzo – abril y agosto- septiembre. Los ciclos con balances más positivos ocurren cuando la superficie del glaciar sigue estando cubierta de nieve cuando la radiación extraterrestre es mayor (equinoccios).

En el periodo 2002-2005 se observó también un déficit persistente de precipitación que explica talvez la fusión acelerada (Lhuissier 2005, Cadier et al 2007)

2.2. Balance de Masa del Glaciar Los Crespos

2.2.1. Zona de acumulación

La medición de la acumulación se hizo el 23 de noviembre de 2005.

Dos puntos fueron medidos:

- Uno a 5176 m en el centro del glaciar 150 metros arriba de la segunda loma agrietada.
- Uno a 5340 m en la base del cuello entre la cima sur y la central.

Pozo 5176 m:

Se realizó una perforación utilizando el PICO con una profundidad de 1.50 metros (medida directa) en el sitio de coordenadas GPS (E-trek Garmin, Navegación WGMS 84): 817420 E; 9945722 N (+/- 5 metros). Ubicado en la parte superior de la segunda loma, se calculó un equivalente en

agua de 634 mm. en este sitio se dejó una pastilla Recco (AC2) la cual servirá para la ubicación del sitio en el próximo ciclo complementariamente en su proximidad se instaló una baliza de acumulación consistente en un tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro con una emergencia de 1.80 metros.

En el Cuadro 2.14 se presentan las mediciones y cálculos realizados para obtener el equivalente en agua producto de la acumulación neta. La superficie de ablación identificada es el hielo y se presenta una buena coherencia de la acumulación con las paredes de las grietas.

Peso (g)	Largo (cm)	Circunferencia	Radio (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Agua (mm)	Agua acumulada
236	10	25	3,98	49,74	497,36	0,47	47,45	47,45
182	11	24	3,82	45,84	504,20	0,36	39,71	87,16
181	9	24	3,82	45,84	412,53	0,44	39,49	126,64
166	8	25	3,98	49,74	397,89	0,42	33,38	160,02
Promedio	---	---	---	---	---	0,42	---	---

Cuadro 2.14. Densimetría y equivalentes en agua. Perfil 5176m Glaciar “Los Crespos”

Los resultados son los siguientes:

Espesor de la acumulación: 150 cm de neviza

Espesor medida: 38 cm

Densidad promedia estimada: 0.42 g/cm³

Equivalente agua: 634 mm

Índice de confianza: bueno

Punto 5340 m:

Perforación utilizando el Pico se alcanzó una profundidad de 1.80 metros ubicado en la base del cuello entre la cima sur y central, no se tomaron las coordenadas. Se calculó un equivalente en agua de 838 mm. Se dejó una baliza de PVC con una emergencia de 1.80 metros con su respectiva pastilla Recco (AC1) para ubicación.

En el Cuadro 2.15 se presentan las mediciones y cálculos realizados para obtener el equivalente en agua producto de la acumulación neta.

Peso (g)	Largo (cm)	Circunferencia (cm)	Radio (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Agua (mm)	Agua acumulada
201	9	26	4,14	53,79	484,15	0,42	37,36	37,36
273	8	26	4,14	53,79	430,35	0,63	50,75	88,11
178	9	26	4,14	53,79	484,15	0,37	33,09	121,20
209	11	26	4,14	53,79	591,74	0,35	38,85	160,05
323	14	25	3,98	49,74	696,30	0,46	64,94	224,99
208	13	21	3,34	35,09	456,22	0,46	59,27	284,26
168	6	27	4,30	58,01	348,07	0,48	28,96	313,22
332	13	26	4,14	53,79	699,33	0,47	61,72	374,94
139	10	24	3,82	45,84	458,37	0,30	30,33	405,26
223	9	26	4,14	53,79	484,15	0,46	41,45	446,72
Promedio	---	---	---	---	---	0,44	---	---

Cuadro 2.15. Densimetría y equivalentes en agua. Perfil 5340m Glaciar “Los Crespos”

Los resultados son los siguientes:

Espesor de la acumulación: 1.80 cm de neviza

Espesor medida: 102 cm

Densidad promedia estimada: 0.44 g/cm³

Equivalente agua: 838 mm

Índice de confianza: bueno

Cálculo de la acumulación neta a más de 5250 m sobre le Glaciar Los Crespos:

El Cuadro 2.16 y en el Figura 2.13 se resume los datos de acumulación por sobre la línea de neviza (ELA =línea de equilibrio) fijada a los 5150 m (observación directa en el glaciar 15). Se nota que los valores de acumulación en los rangos altitudinales ubicados entre 5500-5760 han sido interpolados a partir de las mediciones realizadas.

Rangos altitudinales	Acumulación mm d eagua	Observaciones
5500-5760	838	Extrapolado
5200-5500	838	Medido
4950-5200	634	Medido

Cuadro 2.16. Cálculos equivalente agua por rango altitudinal Glaciar “Los Crespos”

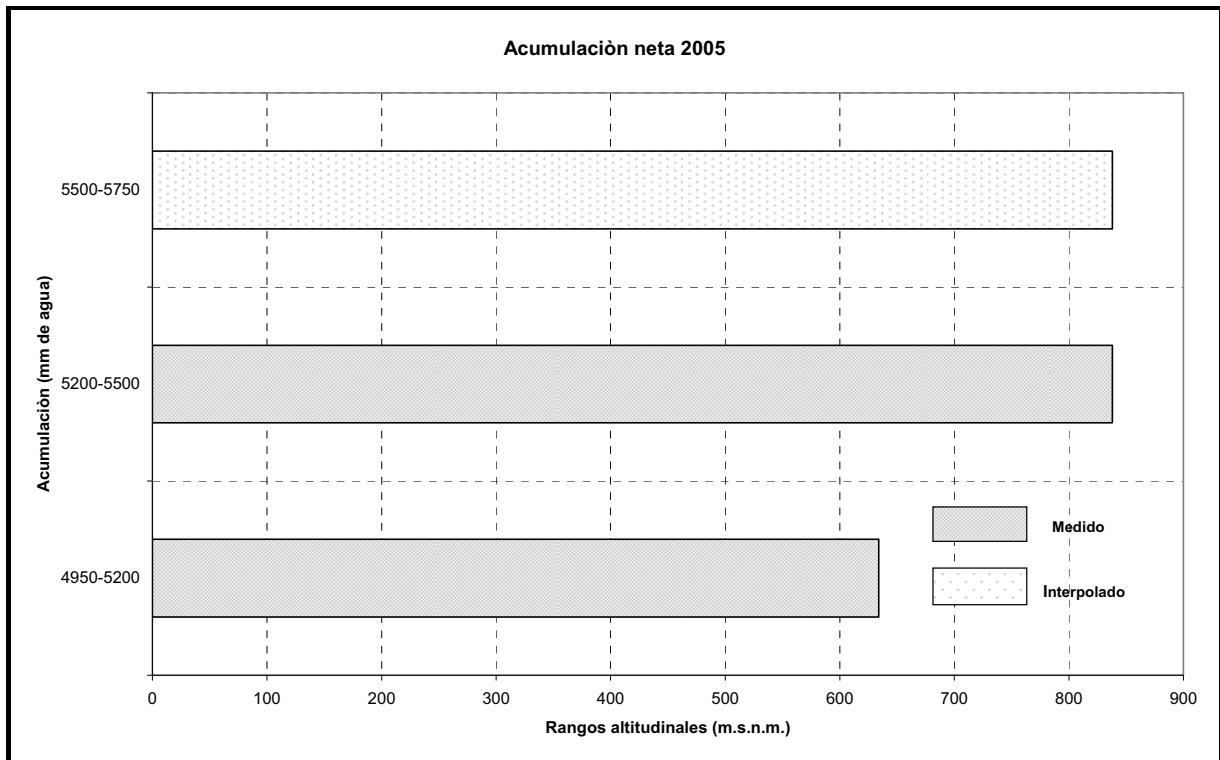


Figura 2.13. Acumulación por rangos altitudinales en el 2005 Glaciar “Los Crespos”

Grado de confianza de la estimación de la acumulación neta:

Varios parámetros permiten el dar a la medición de acumulación neta del glaciar un grado “bueno”.

- Buena identificación de la capa basal (superficie de ablación del fin del 2004),
- Mediciones correctas y claras en los puntos escogidos,
- Línea de neviza bien visible y extensa a lo largo de la lengua Los Crespos en la fecha que se realizó la medición.
- Consistencia con lo observado sobre las paredes de las grietas.

- Dentro de los parámetros negativos, hay que tomar en cuenta:

- Ausencia de mediciones entre 5500-5760 metros de altitud, debido a las dificultades que se tuvieron durante las mediciones, especialmente la presencia de grietas y el mal tiempo reinante.
- La no observación de la altitud de la línea de neviza sobre la lengua.

2.2.2. Zona de ablación Glaciar “Los Crespos”

a) Método de cálculo tomando en consideración la capa de nieve:

Ver lo ya explicado para el Glaciar 15.

b) Red de balizas instaladas:

La ubicación de las balizas de balance se muestra sobre la Figura 2.14.

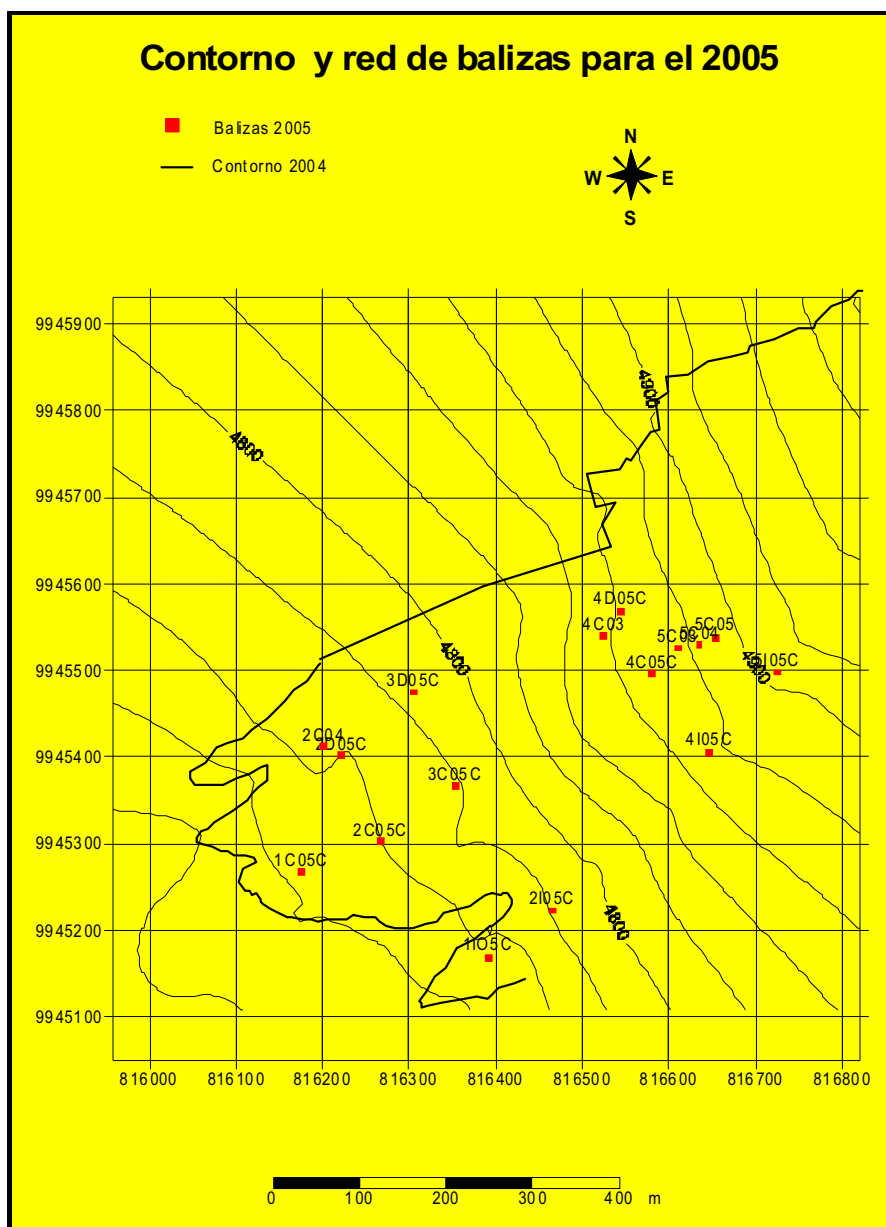


Figura 2.14. Red de balizas sobre la zona de ablación para el año 2005 Glaciar “Los Crespos”

c) Balance anual para cada baliza

Para conocer el balance durante el año 2005 se utilizaron los datos topográficos iniciales obtenidos en el levantamiento realizado en el mes de diciembre del 2004.

Para el efecto se emplearon las mediciones de doce balizas instaladas el mes de diciembre del 2004 y dos balizas instaladas en el mes de diciembre del 2003 ubicadas entre los 4753 y 4917 m. Es importante indicar que durante el año se perdieron numerosas balizas debido a las avalanchas o por encontrarse en la cercanía de grietas que en algunos casos impidió su lectura periódica. El balance obtenido para cada una de las balizas consideradas así como su ubicación altimétrica se lo puede ver en el Cuadro 2.17, en el se consideran solo las balizas que han registrado por lo menos cuatro meses de lecturas, las que solo registran uno o dos meses de lectura no se las toma en cuenta en este cuadro.

Nº Baliza	Cotas m.s.n.m.	Balance mm de agua
5I05C	4917	-4042*
5C05C	4900	-3925*
5C04	4885	-2371
4I05C	4885	-3824*
4C05C	4877	-4885*
4D05C	4867	-5047*
2I05C	4795	-6692*
3D05C	4790	-7564
3C05C	4782	-6419*
3C04	4780	-603*
3I05C	4780	-4483*
2D05C	4774	-4980*
2C05C	4770	-5467*
1I05C	4761	-8335*
1C05C	4753	-6983

Cuadro 2.17. Balance de cada baliza durante el 2005 Glaciar “Los Crespos”

* Balizas con lecturas anuales incompletas

d) Balizas representativas y rangos altitudinales:

Los rangos altitudinales se los estableció en función del levantamiento topográfico realizado y de la serie de datos recogidos durante el año. Estos rangos se muestran en el Cuadro 2.18.

Rango Altitudinal m.s.n.m.	Altura m.s.n.m.	Punto de medición representativo
5500-5750	5750	Interpolado
5200-5500	5340	Medido
4950-5200	5170	Medido
4900-4950	4925	5C3-5C04-5C05C
4850-4900	4875	4C04-4D05C-4C05C-4I05C
4800-4850	4825	3C04-3D05C-3C05C-3I05C
4750-4800	4775	2C04-2D05C-2C05C-2I05C
4720-4750	4735	1I05C-1C05C

Cuadro 2.18. Balizas representativas para cada rango altitudinal en 2005
Glaciar “Los Crespos”

Los rangos altitudinales del Cuadro 2.18 pueden diferir de los del Cuadro 2.17, pues las balizas se desplazan hacia abajo durante el año.

e) Balance ponderado

El balance ponderado (B_{pi}) en la zona de ablación toma en consideración el valor del balance encontrado en cada rango (b_i), la superficie de dicho rango (s_i) y la superficie total del glaciar (S):

$$B_{pi} = b_i (s_i/S) \quad (2.1.)$$

Sobre el Cuadro 2.19 se muestra el balance mensual ponderado para la zona de ablación del glaciar Los Crespos.

Rango	Sup. Relativa	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag./Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
4900-4950	0,05	-42	-42	-9	-8	-5	-3	-4	-32	-15	-33	1	-192
4850-4900	0,04	-36	-53	-11	-4	-15	-10	-6	-61	-14	-25	-4	-240
4800-4850	0,03	-29	-42	-14	-10	-8	-19	-9	-41	-14	-31	-2	-219
4750-4800	0,05	-52	-76	-24	-18	-19	-39	-7	-95	-20	-45	1	-394
4720-4750	0,01	-14	-33	-7	-5	-10	-7	-1	-26	-9	-12	-1	-124
-----	0,19	-173	-246	-65	-45	-57	-78	-27	-255	-72	-146	-5	-1170

Cuadro 2.19. Balance ponderado mensual para cada rango altitudinal en el 2005 expresado en mm de agua para la superficie total del Glaciar "Los Crespos"

f) Evolución de la capa de nieve del glaciar "Los Crespos"

Durante el año 2005, la capa de nieve promedio fue de 9 cm. Sobre la parte baja de la zona de ablación (4753-4917 m) la capa de nieve fue nula para los meses de enero, febrero y marzo; para los meses de junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre estuvo entre 1 y 10 centímetros; para abril y julio estuvo entre los 11 y 20 centímetros; únicamente para el mes de marzo y diciembre fue superior a los 20 centímetros.

Este hecho nos muestra que durante la mayor parte del año (8 meses) el glaciar no tuvo cobertura de nieve y en algunos meses fue muy escasa (entre 1 y 10 centímetros), únicamente se observó un período de dos meses sobre el cual se tuvo una capa mediana de nieve que redujo la ablación de alguna manera, siendo por lo tanto esta una de las causas para que el balance tenga un valor negativo, además se pudo constatar un importante retroceso de la lengua. Los resultados se los puede observar sobre la Figura 2.15.

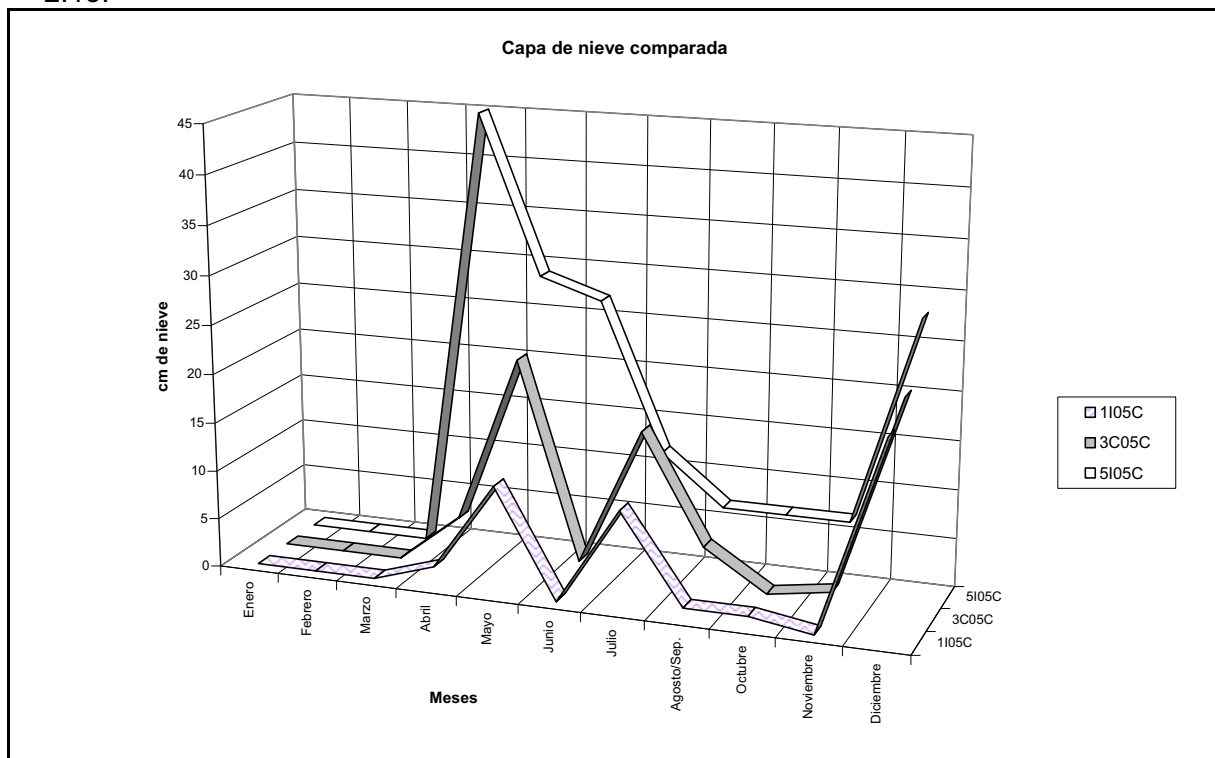


Figura 2.15. Espesor de la capa de nieve sobre la parte alta, media y baja del glaciar los Crespos del Antisana medida sobre la zona de ablación para el año 2005. Mediciones realizadas mensualmente.

g) Evolución de la línea de neviza durante el año Glaciar “Los Crespos”:

Durante el año 2005 el glaciar no tuvo una cobertura de nieve para los meses de enero, febrero y marzo en los cuales la línea de nieve se ubico entre los 5000 y 5150 metros. Para el mes de junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre la línea de nieve se ubicó un poco más abajo al nivel de los 4850 metros, sin embargo su espesor fue pequeño. Únicamente sobre los meses de marzo y diciembre la línea de nieve se ubica al nivel de la parte terminal de la lengua.

Esto nos indica que la mayor parte del tiempo la cobertura de nieve sobre su superficie fue nula o muy escasa lo que incrementa la capacidad del hielo para derretirse debido a la disminución del albedo. Se observó además que la capa de nieve en los meses que estuvo presente fue muy gruesa y estuvo siempre blanca y reflejante, cuando aparece el hielo el albedo disminuye significativamente. Se define la línea de nieve (o de névé) como el límite en la superficie del glaciar entre la nieve (o névé) y el hielo. Esta línea es estimada por observación directa sobre el glaciar cada vez que se realiza el balance de masa mensual, para lo cual se utiliza las balizas emergentes cercanas. El error que se comete al utilizar esta metodología es inferior a 20 m.

h) Gradiente vertical de balance sobre la zona de ablación del Glaciar “Los Crespos”

Los puntos considerados para el balance se ubican aproximadamente sobre una recta lo que nos permite inferir la presencia de un gradiente lineal. Para el año 2005 el gradiente tiene un valor de 3.6 mm/m. El desnivel entre las balizas extremas 5I05C y 1C05 es de 164 m y la diferencia de balance entre estos dos puntos es de -538 mm de agua.

Para este cálculo se ha tomado en consideración que todas las balizas se encuentran sobre la parte central del glaciar lo que supone que todas ellas tienen un comportamiento similar. Además ninguna de ellas fue afectada por las avalanchas ocurridas sobre la parte alta de la zona de ablación lo que hubiera afectado de manera sensible el balance sobre cualquiera de ellas haciendo que este sea mucho más positivo.

Los resultados obtenidos se los puede ver sobre el Cuadro 2.20 y la Figura 2.16.

Baliza	Balance acumulado de enero a enero	Altura m.s.n.m.
5I05C	-377,6	4917
4I05C	-388,4	4885
2I05C	-669,2	4795
3D05C	-756,4	4790
3C05C	-641,9	4782
3I05C	-556,7	4780
2C05C	-736,1	4770
1I05C	-833,5	4761
1C05C	-915,6	4753

Cuadro 2.20. Balizas consideradas y su ubicación para el cálculo del gradiente vertical de balance durante el año 2005. Glaciar “Los Crespos”

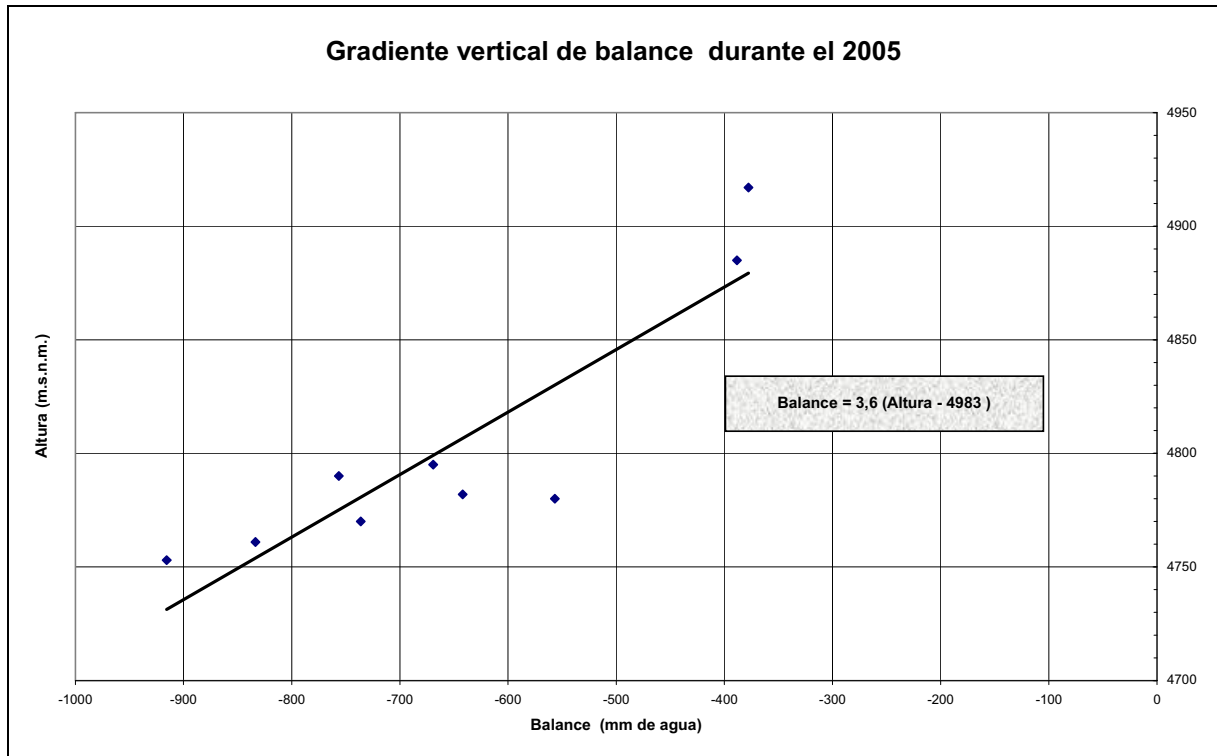


Figura 2.16. Variación del balance anual para las balizas seleccionadas en función de su posición altimétrica para la zona de ablación durante el año 2005. Glaciar “Los Crespos”

i) Evolución mensual del balance en la zona de ablación:

- Balance mensual por rangos altitudinales y promedio de balizas:

El balance mensual obtenido para el año de 2005 se lo puede observar en los Cuadro 2.19, Cuadro 2.21 y Figura 2.17

Rango	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag./Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
4900-4950	-214	-216	-47	-39	-26	-17	-19	-163	-80	-172	3	-990
4850-4900	-188	-275	-57	-19	-77	-52	-32	-313	-75	-130	-19	-1237
4800-4850	-150	-217	-71	-54	-42	-98	-48	-213	-70	-159	-9	-1130
4750-4800	-269	-389	-125	-95	-96	-201	-34	-490	-102	-232	4	-2030
4720-4750	-72	-168	-36	-24	-52	-35	-5	-136	-45	-61	-3	-636
-----	-893	-1265	-335	-231	-292	-404	-139	-1315	-370	-754	-25	-6023

Cuadro 2.21. Balance mensual no ponderado para las balizas seleccionadas en mm de agua. Glaciar “Los Crespos”

El balance no ponderado para la zona de ablación durante el año 2005 tuvo un valor de – 6023 mm. de agua, para este cálculo no se considera el área total del glaciar, sino únicamente se lo hace con los datos medidos directamente cada mes.

El balance ponderado obtenido para el año 2005 para la zona de ablación tiene un valor de -1170 mm de agua (en relación con la superficie total del glaciar)

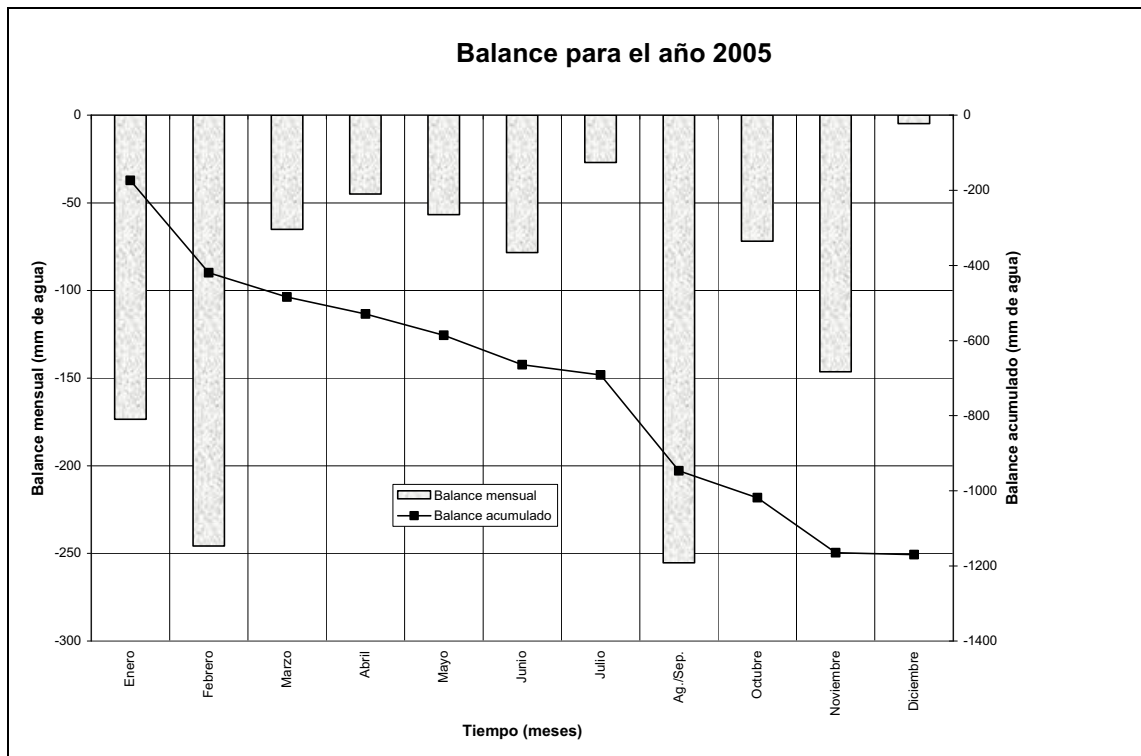


Figura 2.17. Variación del balance ponderado en la zona de ablación durante el año 2005 Glaciar "Los Crespos"

El balance más negativo se lo tiene en los meses de enero, febrero y noviembre un balance más moderado se observa en los meses de marzo, julio y octubre; para los meses restante se observa un balance mas equilibrado, para el mes de diciembre se tiene un balance cercano a cero debido a la gran cantidad de nieve que se acumulo sobre el glaciar.

El balance negativo durante la mayoría de los meses nos indica que el glaciar estuvo sujeto a una moderada ablación, lo que podría deberse a un aumento en las precipitaciones sólidas y a su ocurrencia a una menor altura especialmente entre el período abril-julio, octubre y diciembre.

2.2.3. Balance anual del glaciar en su totalidad (acumulación + ablación) Glaciar "Los Crespos"

a) Balance neto específico:

Basándose en los datos medidos sobre el campo se obtuvo un balance neto para el año de 2005 con un valor de -425 mm de agua. Los rangos altitudinales utilizados para el cálculo así como los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.22 y la Figura 2.18.

Rango altitudinal (m.s.n.m.)	Sup. Parcial (m ²)	Sup. Relativa Sr	Balance (mm)	Balance ponderado Sr*B (mm)
5500-5750	414495	0,24	838	203
5200-5500	552660	0,32	838	270
4950-5200	414495	0,24	634	153
4900-4950	78430	0,05	-3776	-174
4850-4900	74723	0,04	-3884	-170
4800-4850	56078	0,03	-6517	-214
4750-4800	90600	0,05	-7027	-373
4720-4750	23216	0,01	-8746	-119
Suma	1704697	1,00	-----	-425

Cuadro 2.22. Cálculo del balance neto específico para el año 2005 en mm de agua Glaciar “Los Crespos”

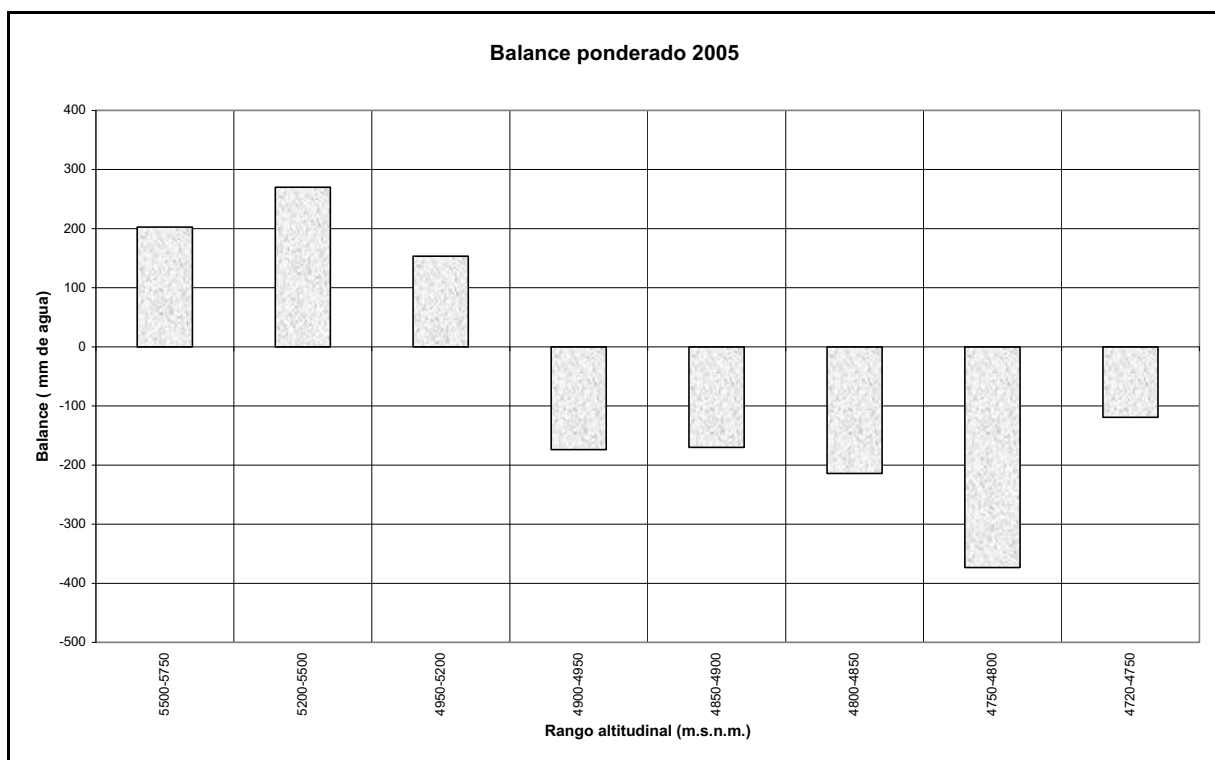


Figura 2.18. Balance neto específico por rango altitudinal para el año 2005 (mm de agua) Glaciar “Los Crespos”

b) Perfil altitudinal del balance Glaciar “Los Crespos”

Sobre el Cuadro 2.23 y Figura 2.19 se muestra el perfil altitudinal del balance desde el frente del glaciar hasta la cumbre, los valores mostrados corresponden al balance no ponderado. Se han considerado 8 rangos altitudinales entre los 4720 y los 5760 metros.

Rango Altitudinal	Balance (mm)
5500-5750	838
5200-5500	838
4950-5200	634
4900-4950	-3776
4850-4900	-3884
4800-4850	-6517
4750-4800	-7027
4720-4750	-8746

Cuadro 2.23. Balance neto no ponderado y rangos altitudinales para el año 2005. Glaciar "Los Crespos"

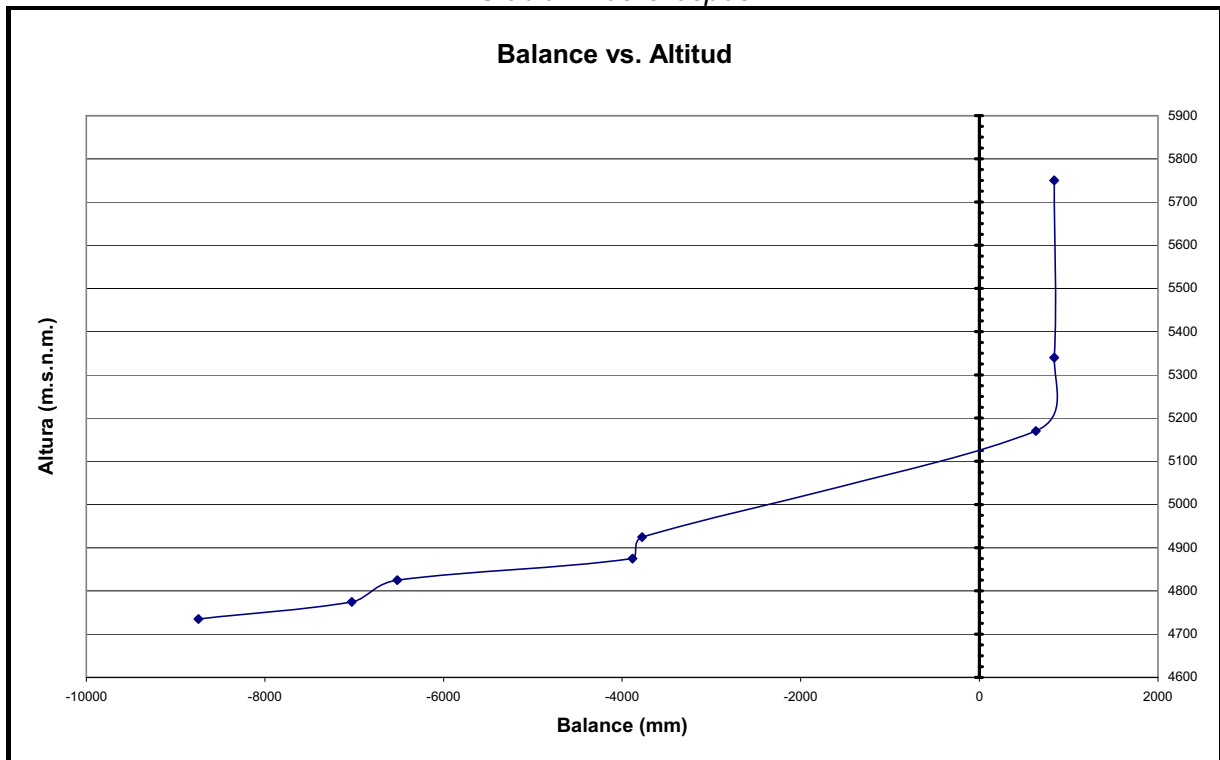


Figura 2.19. Perfil altitudinal del balance neto no ponderado para el año 2005 Glaciar "Los Crespos"

CAPÍTULO 3

3. GEOMETRÍA DEL GLACIAR

Autor Principal: Ing. Bolívar Cáceres

ÍNDICE DEL CAPÍTULO:

3.1.	Mediciones directas de la ubicación del frente de la lengua del Glaciar 15	36
3.2.	Retroceso del frente del Glaciar 15a medido. Período 1996 – 2005	39
3.3.	Longitudes, áreas y volúmenes de las lenguas y del Glaciar 15 (1956 – 2005)	40
3.4.	Velocidad superficial de las balizas	47
3.5.	Glaciar del Carihuayrazo	49

3.1 Mediciones directas de la ubicación del frente de la lengua del Glaciar 15 α

Se realizan utilizando marcas colocadas sobre el terreno desde el mes de junio de 1994 hasta diciembre del 2005. Las mismas han sido ubicadas utilizando puntos de referencia conocidos (bench mark) como son BM1 y BM2, las cuales permiten obtener las respectivas coordenadas UTM (proyección universal transversa de Mercator). BM1 9948179;816823 y BM2 9948268;816735 en el sistema WGS 84 De esta manera se ha podido obtener un retroceso total de la lengua α del glaciar entre junio de 1994 y diciembre de 2005 de 288 m. Del análisis de los datos obtenidos para el período de once años y siete meses se obtuvo un retroceso anual promedio para la lengua α de 24 m.

Para el año de 2005 se pudo observar un retroceso del glaciar de 28m, próximo al retroceso de los años precedentes el cual tiene que ser relacionado con el balance neto negativo, y particularmente con el elevado valor de la ablación registrada a nivel del frente del glaciar. Esto contrasta con los años anteriores 1999 y 2001 en los cuales se registraron valores menores de ablación respectivamente y valores positivos para el balance neto lo cual nos indica que en este período se produjo un avance del glaciar que contrasta con lo ocurrido en los años 2001, 2002 y 2003.

Sobre la Figura 3.1 y los Cuadro 3.1 - Cuadro 3.2 son presentados los resultados obtenidos y los desplazamientos sufridos por el frente del glaciar 15 de 1994 al 2005.(Medición en el sistema WGS84)

Fecha	Norte	Este
Junio-94	9948202	816820
Febrero-95	9948122	816863
Oct-95	9948078	816914
Agosto-96	9948097	816867
Octubre-97	9948063	816905
Febrero-98	9948022	816931
Diciembre-98	9947987	816940
Enero/26/2000	9948033	816934
Enero/15/2001	9948028	816934
Diciembre/26/2001	9948027	816941
Diciembre/26/2002	9948017	816948
Dic-28-2003/Enero3-2004	9947962	816959
Diciembre/27/2004	9947954	816973
Diciembre/1/2005	9947943	816991

Cuadro 3.1. Ubicación de las marcas de referencia y retroceso del frente del Glaciar 15 α

Año	Fecha de medición	Retroceso (m)
1994-1995	febrero/95	-41
1995-1996	agosto/96	-28
1996-1997	octubre/97	-41
1997-1998	febrero/98	-56
1998-1999	diciembre/98	-34
1999-2000	enero/2000	21
2000-2001	enero/2001	18
2001-2002	diciembre/2001	-18
2002-2003	diciembre2002	-19
2003-2004	diciembre2003	-31
2004-2005	diciembre/2004	-31
2005-2006	diciembre/2005	-28
Sumatoria		-288

Cuadro 3.2 Ubicación de las marcas de referencia y retroceso del frente del Glaciar 15
Período junio de 1994 – diciembre del 2005

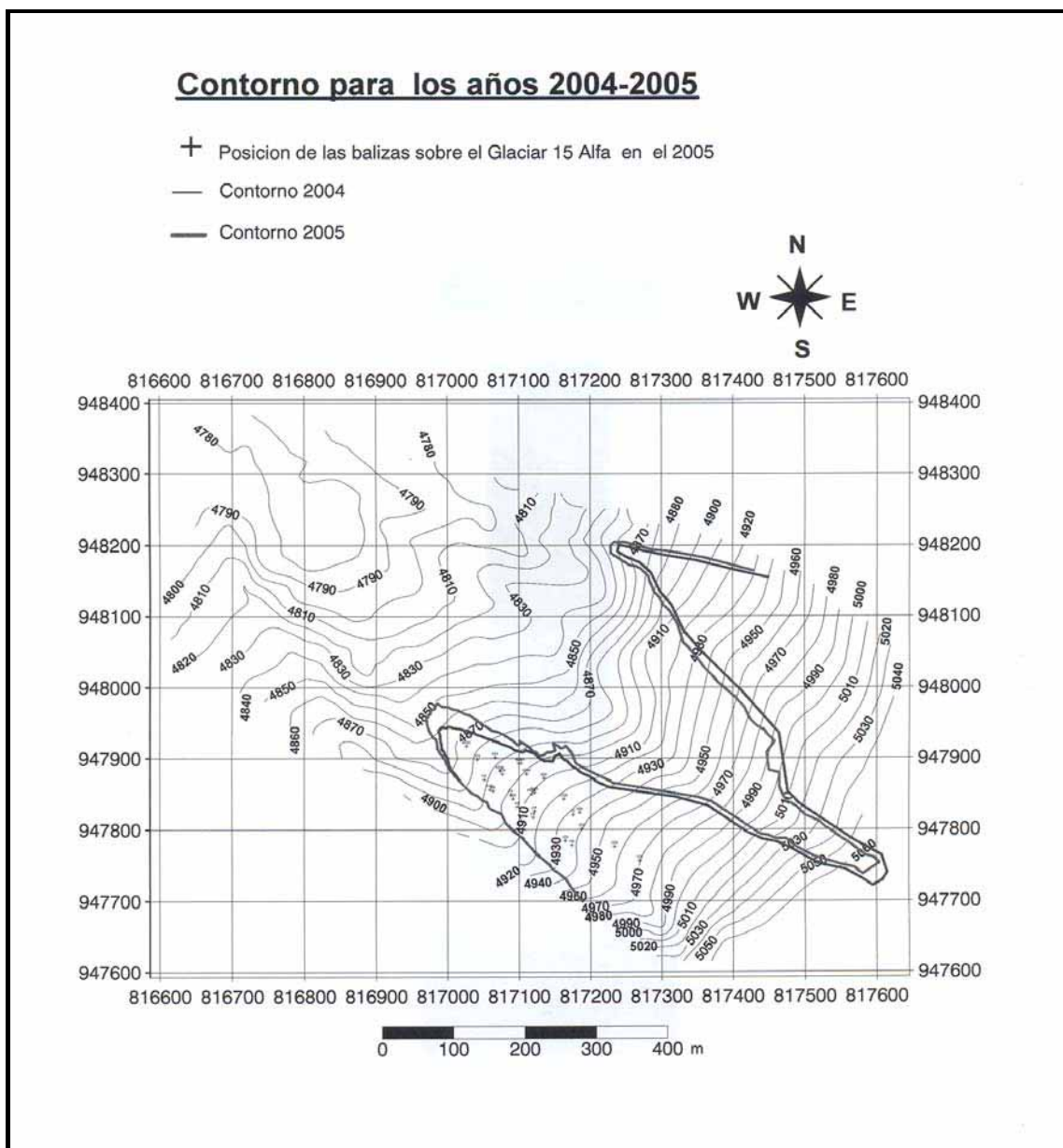


Figura 3.1. Topografía del Glaciar 15 - Años con mediciones topográficas

3.2. Retroceso del frente del Glaciar 15a medido. Período 1996 – 2005

Si se comparan los resultados obtenidos por medición directa en el campo y los resultados obtenidos sobre los mapas elaborados sobre la base de aerofotogrametría se puede ver que no existe una gran discrepancia entre las dos metodologías, la diferencia entre los dos métodos de medición es de 26.94 m sobre la longitud total del glaciar (2235 m) que equivale a un porcentaje de error promedio del 0.3% sobre la longitud total del glaciar.

Considerando como valores confiables a los levantamientos topográficos realizados para los años de 1996,1997, 1998, 1999, 2000, 2001,2002, 2003,2004 y 2005 el retroceso del glaciar es de -219 m

Los resultados se los puede ver en los Cuadro 3.3 y Cuadro 3.4

Levantamiento	Fecha	Escala
Foto 56	15 de febrero	1:60000
Foto 65	7 de febrero	1:60000
Foto 93	2 de agosto	1:60000
Foto 97	enero	1:60000
Topografía 96	enero	-----
Topografía 97	febrero	-----
Topografía 98	16 de diciembre	-----
Topografía 99	26 de enero del 2000	-----
Topografía 2000	15 de enero del 2001	-----
Topografía 2001	26 de diciembre del 2001	-----
Topografía 2002	26 de diciembre del 2002	-----
Topografía 2003	Dic-28-2003/Enero3-2004	-----
Topografía 2004	Diciembre-27-2004	-----
Topografía 2005	Diciembre-1-2005	-----

Cuadro 3.3. Fecha de toma de fotografías y mediciones topográficas realizadas sobre el Glaciar 15alfa

Año	Meses	Topografía (m)	Fotogrametría (m)
1995-1996	15	-41	-54
1996-1997	5	-56	-60
1997-1998	11	-34	-26
1998-1999	12	+21	+16
1999-2000	12	+17	+26
2000-2001	12	-18	-27
2001-2002	12	-19	-15
2002-2003	12	-31	-54
2003-2004	12	-31	-26
2004-2005	12	-28	-27
Sumatoria	115	-219	-246

Cuadro 3.4. Retroceso del Glaciar 15alfa medido basándose en topografía y aerofotogrametría para el Período 1996 – 2005

Para las mediciones aerofotogramétricas se considera que el contorno del glaciar a partir de los 5000 metros no ha cambiado desde el año de 1997, año de toma de la última fotografía disponible, bajo esta altitud se han colocado los levantamientos topográficos realizados y se ha procedido a realizar las mediciones utilizando el Software Autocad.

3.3. Longitudes, áreas y volúmenes de las lenguas α y β del Glaciar 15 (1956 – 2005)

a) Longitudes del glaciar

Para la evaluación de las longitudes del glaciar, se empleó como herramienta de trabajo software de Autodesk denominado Sumagraf® (tablero digitalizador), el cual puede ser utilizado en combinación con la plataforma de diseño gráfico Autocad 2002® de la misma procedencia.

Lengua α :

Para esta lengua, se ha establecido una pérdida de 379 m, lo que equivale al 17 % de la longitud para el periodo febrero de 1956 - diciembre del 2005.

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3.5 y en la Figura 3.2

Año	Longitud (m)	Long. Perdida/Ganada (m)	Pérdida (%)
1956	2235	0	0
1956-1965	2193	-42	2
1965-1993	2103	-90	6
1993-1996	2049	-54	8
1996-1997	1989	-60	11
1997-1998	1963	-26	12
1998-1999	1979	+16	11
1999-2000	2006	+26	10
2000-2001	1979	-27	11
2001-2002	1964	-15	12
2002-2003	1910	-54	15
2003-2004	1883	-26	16
2004-2005	1856	-27	17

Cuadro 3.5. Evolución de la longitud del Glaciar 15 α de 1956 al 2005.
Longitudes en metros

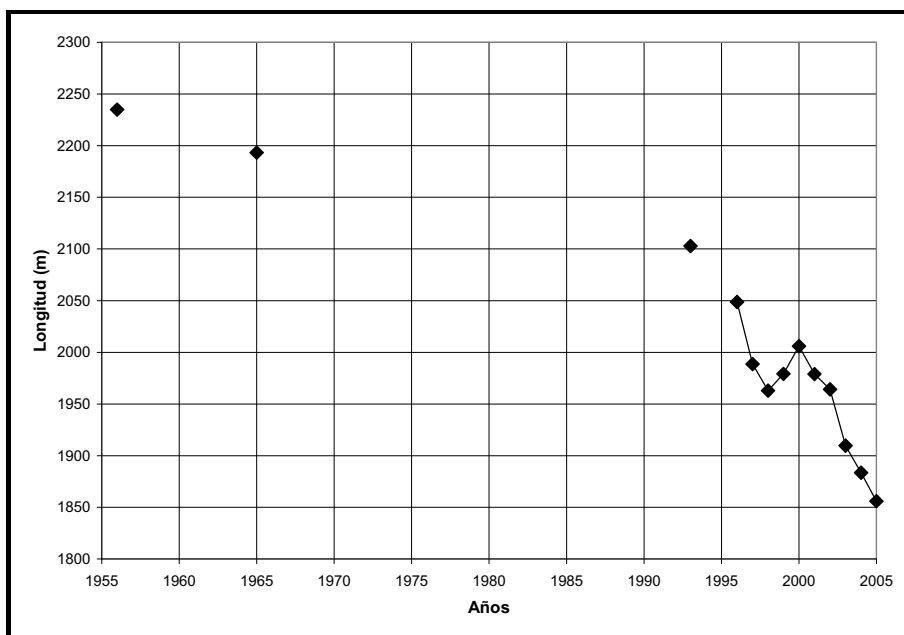


Figura 3.2. Evolución de la longitud del Glaciar 15a período 1956-2005 Longitudes en metros

Lengua β :

Se ha calculado una pérdida de 480 m, lo que equivale al 20% de la longitud total para el periodo febrero de 1956 - diciembre del 2005. Los resultados se muestran sobre el Cuadro 3.6 y la Figura 3.3

Año	Longitud (m)	Long. Perdida/Ganada (m)	Pérdida (%)
1956	2380	0	0
1956-1965	2359	-21	1
1965-1993	2216	-143	7
1993-1996	2158	-58	9
1996-1997	2104	-54	12
1997-1998	2054	-50	14
1998-1999	2064	+10	13
1999-2000	2060	-4	13
2000-2001	2052	-8	14
2001-2002	2008	-44	16
2002-2003	1932	-76	19
2003-2004	1913	-19	20
2004-2005	1900	-13	20

Cuadro 3.6. Evolución de la longitud del Glaciar 15Bde 1956 al 2005. Longitudes en metros

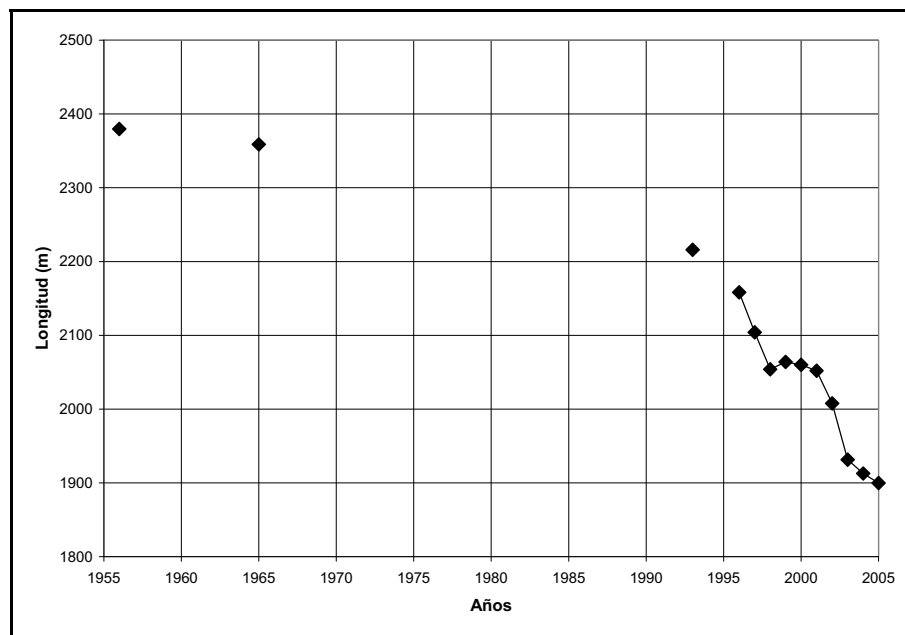


Figura 3.3. Evolución de la longitud del Glaciar 15B período 1956-2005. Longitudes en metros

b) Retroceso de las lenguas α y β . Período 1996 – 2005Lengua α :

Durante este período de 108 meses, se ha medido por topografía directa un retroceso de 193 m, que equivale al 9 % de su longitud total, lo que nos arroja una tasa de 1.8 m de pérdida de longitud por mes. Los resultados se muestran en el Cuadro 3.7.

Año	Longitud (m)	Long. Pérdida/Ganada (m)	Pérdida acumulada (%)	Fecha de medición
1996	2049	0	0	Enero-97
1997	1989	-60	3	Febrero-97
1998	1963	-26	4	Diciembre-98
1999	1979	16	3	Enero/26/2000
2000	2006	27	2	Enero/15/2001
2001	1979	-27	3	Diciembre/26/2001
2002	1964	-15	4	Diciembre/26/2002
2003	1910	-54	7	Dic-28-2003/Enero3-2004
2004	1883	-26	8	Dic/27/2004
2005	1856	-27	9	Dic/1/2005

Cuadro 3.7. Evolución de la longitud del Glaciar 15a: período 1996-2005 (108 meses).

Lengua β :

La reducción medida es de 258 m, lo que equivale al 12 % de la longitud total. Esto nos arroja una tasa de 2.4 m de pérdida de longitud por mes. Los resultados se muestran en el Cuadro 3.8.

Año	Longitud (m)	Long. Pérdida/Ganada (m)	Pérdida acumulada (%)	Fecha de medición
1996	2158	0	0	Enero-97
1997	2104	-54	3	Febrero-98
1998	2054	-50	5	Diciembre-98
1999	2064	10	4	Enero/26/2000
2000	2060	-4	5	Enero/15/2001
2001	2052	-8	5	Diciembre/26/2001
2002	2008	-44	7	Diciembre/26/2002
2003	1932	-76	11	Dic-28-Enero3-2004
2004	1913	-19	11	Dic/27/2004
2005	1900	-13	12	Dic/1/2005

Cuadro 3.8. Evolución de la longitud del Glaciar 15B: período 1996-2005 (108 meses).

Del análisis de los datos mostrados en los cuadros 3.5. , 3.6. , 3.7. , 3.8. Desde el año de 1956 hasta el año de 2005, se puede ver claramente que el retroceso del glaciar se ha incrementado de manera significativa en los últimos años. Así, para el período 1956-1996, la tasa de velocidad de retroceso de las lenguas α y β es de 0.38 y 0.45 m / mes respectivamente, mientras que para el período 1996-2005, esta fue de 1.78 y 2.39 m / mes respectivamente.

Para el año 2005, se observa que la tendencia al retroceso se mantiene. Parece claro que este se relaciona directamente con el balance de la zona de ablación. Esto pone en evidencia la sensibilidad de este tipo de glaciar a la variabilidad climática a una escala de tiempo corta.

Un resumen de estos cálculos se lo puede ver en el Cuadro 3.9.

Período	Velocidad (m/mes)		Longitud perdida (m)		Tiempo (meses)
	Alfa	Beta	Alfa	Beta	
1956-1996	0,38	0,45	-186	-221	492
1996-2005	-1,78	-2,39	-193	-258	108

Cuadro 3.9. Velocidad de retroceso de las lenguas α y β del Glaciar 15.
Períodos 1956-1996 y 1996-2005

c) Áreas del glaciar

Lengua α :

Se considera un período de estudio de 50 años. Durante este lapso, se ha producido una pérdida del 39 % del área total del glaciar. Se ha considerado como punto de partida el área definida por el contorno que corresponde a la fotografía del año 1956.

Los resultados obtenidos se detallan en la Figura 3.4 y en el Cuadro 3.10.

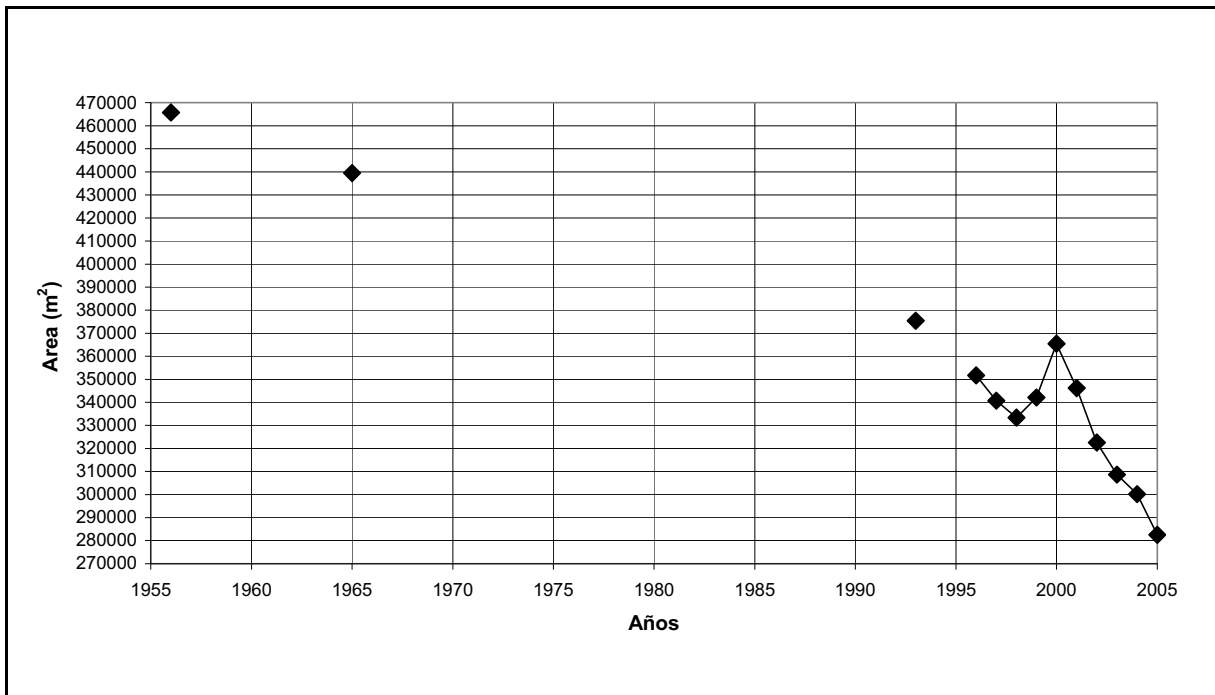


Figura 3.4. Evolución de la superficie del Glaciar 15 α . Período 1956 – 2005

Año	Area (m ²)	%	Pérdida acumulada (%)
1956	465802	100	0
1956-1965	439519	94	6
1965-1993	375412	81	19
1993-1996	351710	76	24
1996-1997	340749	73	27
1997-1998	333356	72	28
1998-1999	342117	73	27
1999-2000	365464	78	22
2000-2001	346139	74	26
2001-2002	322613	69	31
2002-2003	308616	66	34
2003-2004	300207	64	36
2004-2005	282511	61	39

Cuadro 3.10. Evolución de la superficie del Glaciar 15 α Período 1956 – 2005

Lengua β :

Utilizando la misma metodología que para el otro glaciar, se establece un porcentaje de pérdida del 33 % Los resultados se muestran en la Figura 3.5 y en el Cuadro 3.11.

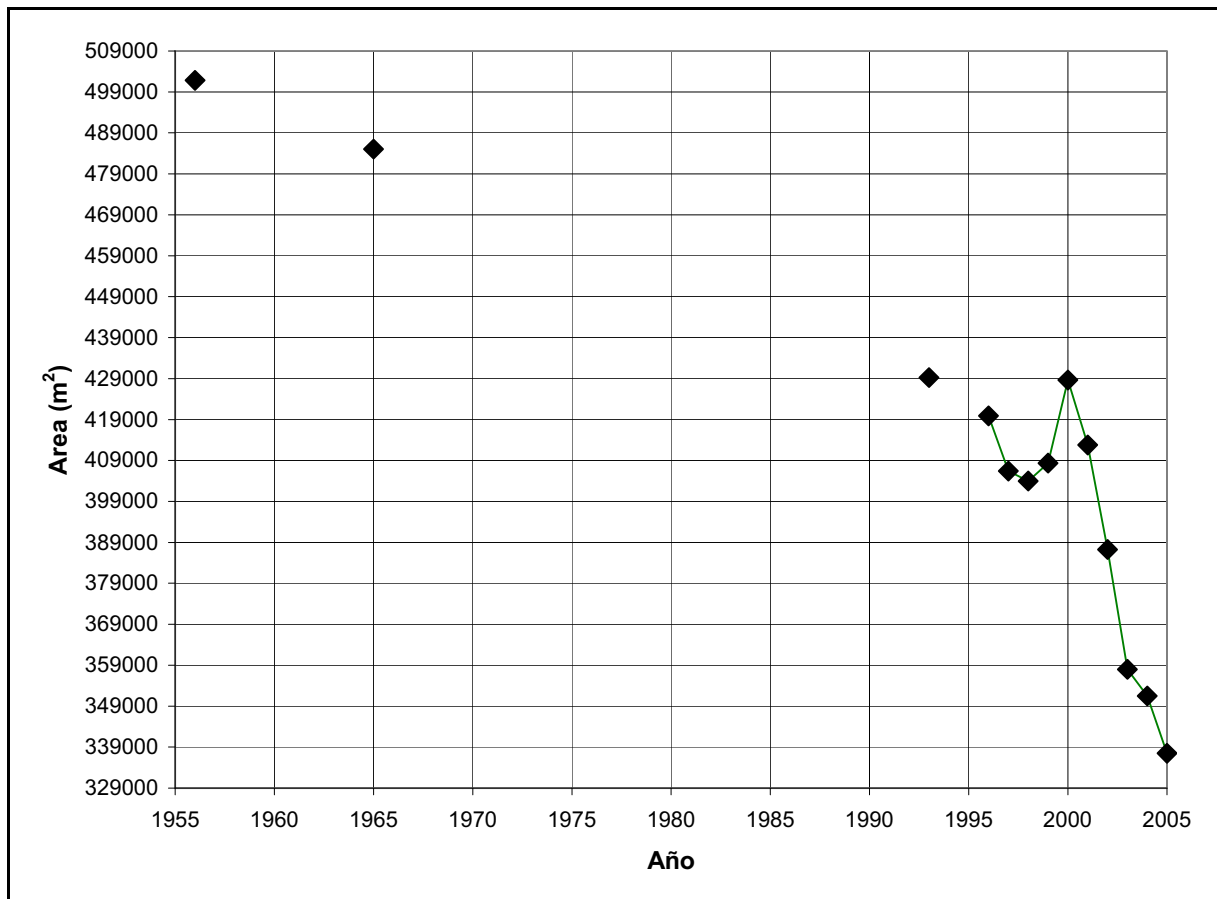


Figura 3.5. Evolución de la superficie del Glaciar 15 β . Período 1956 – 2005

Año	Area (m ²)	%	Pérdida acumulada (%)
1956	501835	100	0
1956-1965	485076	97	3
1965-1993	429262	86	14
1993-1996	419926	84	16
1996-1997	406431	81	19
1997-1998	403950	80	20
1998-1999	408331	81	19
1999-2000	428634	85	15
2000-2001	412772	82	18
2001-2002	387266	77	23
2002-2003	358023	71	29
2003-2004	351494	70	30
2004-2005	337490	67	33

Cuadro 3.11. Evolución de la superficie del Glaciar 15B Período 1956 – 2005

d) Evolución de la superficie total del glaciar 15

Los datos obtenidos para la superficie total del glaciar para los períodos 1956-2005 y 1993-2005 medidos en metros cuadrados se muestran en el Cuadro 3.12

Año	Area α	Area β	Area Total	%	% de Reducción 1956-2005	% de Reducción 1993-2005
1956	465802	501835	967638	100,0	0,0	---
1965	439519	485076	924595	95,6	4,4	---
1993	375412	429262	804673	83,2	16,8	0,0
1996	351710	419926	771636	79,7	20,3	4,1
1997	340749	406431	747180	77,2	22,8	7,1
1998	333356	403950	737305	76,2	23,8	8,4
1999	342117	408331	750448	77,6	22,4	6,7
2000	365464	428634	794098	82,1	17,9	1,3
2001	346139	412772	758911	78,4	21,6	5,7
2002	322614	387266	709879	73,4	26,6	11,8
2003	308616	358023	666639	68,9	31,1	17,2
2004	300207	351494	651701	67,3	32,7	19,0
2005	282511	337490	620001	64,1	35,9	22,9

Cuadro 3.12. Evolución de la superficie del Glaciar 15. Período 1956-2005

Del análisis de esta información, se puede establecer que el glaciar 15 sufre un proceso de desglaciación acelerado. Así se puede ver claramente que sobre el período de 37 años (1956-1993), se ha perdido el 16.8% del área total del glaciar, mientras que sobre los últimos trece años (1993-2005), la pérdida alcanza el 22.9 % del área total del glaciar. Esto nos muestra que en el lapso de estudio (50 años), el proceso de desglaciación de estos trece últimos años puede ser considerado como muy rápido, esto se hace más evidente aún si se considera que para el período de 37 años (1956 – 1993) el porcentaje de retroceso promedio anual es de 0.5%, mientras que para el período más reciente de 13 años (1993 – 2004) el porcentaje de retroceso promedio anual es de 1.9 %.

El porcentaje de pérdida total tomando como punto de partida la interpretación aerofotogramétrica del año 1956 es del 35.9 %. El porcentaje de pérdida total tomando como punto de partida la interpretación aerofotogramétrica del año 1993 es de 22.9 %.

e) Determinación de la cuenca hidrográfica para la estación linnimétrica Antisana- ubicada a 4555 m

Las características de la parte alta de la cuenca se determinaron utilizando la interpretación aerofotogramétrica para el año de 1997 y el levantamiento topográfico realizado en el mes de diciembre del año 2001. Para la determinación de la parte baja de la cuenca ubicada sobre el páramo se realizó un levantamiento sobre el campo en el mes de enero de 1999 para lo cual se utilizó un GPS 38 TM Garmin (Sistema WGMS 84).

Las características de la cuenca se muestran en el Cuadro 3.13.

Sector	Area (m ²)	%
Lengua α	282511	20,5
Lengua β	337490	24,5
Páramo	723967	55,0
Sumatoria	1375668	100

Cuadro 3.13 Superficies cubiertas por glaciar, morrenas y páramo en la cuenca de la estación linnimétrica Antisana para el año 2005

El área de aporte de la cuenca definida de esta manera es de 137.6 hectáreas (1,37 Km²), de las cuales el 45 % esta cubierta por glaciares (lenguas alfa y beta) y el 55 % por páramo, morrenas y rocas.

Para esta cuenca, río arriba de la estación linnigráfica, el porcentaje de las superficies cubiertas por glaciares se ha reducido por sobre los 4550 m en un 25.3 % durante los 50 años estudiados, lo que debería afectar de manera significativa el régimen hidrológico del río.

Es de suponer que esta reducción debió afectar de manera poco diferente a las cuencas vecinas, ya que la cuenca del glaciar 15 parece ser representativa de las cuencas ubicadas al norte y oeste del Antisana.

Los resultados obtenidos se los puede ver sobre el Cuadro 3.14 y en la Figura 3.6.

Años	% de las superficies cubiertas por glaciares
1956	70,3
1965	67,2
1993	58,5
1998	53,6
1999	54,5
2000	57,7
2001	55,2
2002	51,6
2003	48,4
2004	47,4
2005	45,0

Cuadro 3.14. Evolución de las superficies cubiertas por glaciares en la cuenca del Glaciar 15, por sobre los 4555 m (Estación linnimétrica Antisana)

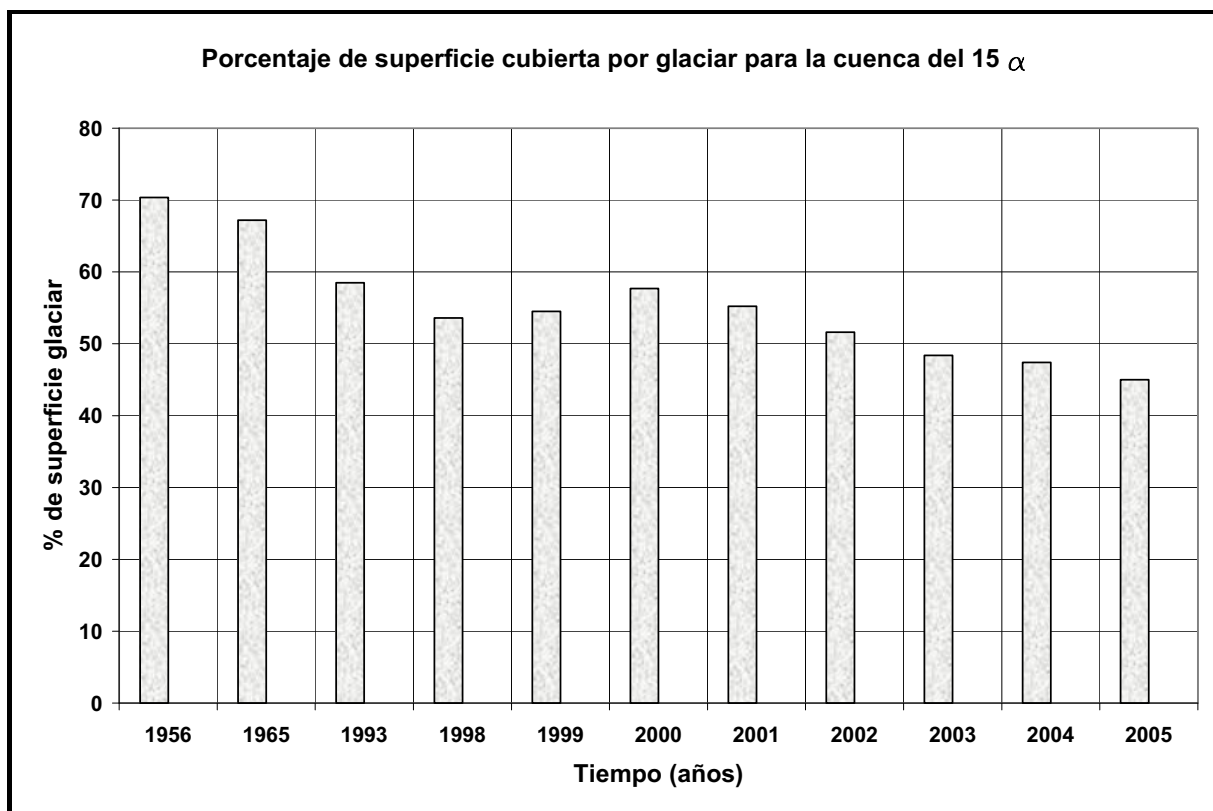


Figura 3.6. Evolución de las superficies cubiertas por glaciares en la cuenca del Glaciar 15, arriba de los 4555 m (Estación linnimétrica Antizana).

Por lo tanto, el conocimiento de la hidrología del páramo adquiere una importancia creciente en las cuencas de alta montaña.

3.4. Velocidad superficial de las balizas

La determinación de la velocidad de las balizas es de gran utilidad para el conocimiento de la dinámica del glaciar. La metodología de trabajo y de cálculo es la misma que se describe en los informes anteriores

El período de cálculo es de 4 meses (120 días) iniciándose con el levantamiento realizado el 26 de agosto del 2005 y concluyendo con el levantamiento realizado el 28 de diciembre del 2005. Los resultados se los puede observar sobre el Cuadro 3.15.

Balizas	Desplazamiento m	Velocidad	
		m/mes	m/año
1C5	3,6	0,9	10,8
1C	5,0	1,3	15,0
2I4	5,1	1,3	15,3
2I5	5,7	1,4	17,0
3I4	5,1	1,3	15,3
3C04	6,4	1,6	19,2
4C4	5,4	1,3	16,2
4I4	1,4	0,4	4,2
5D05	4,6	1,2	13,8
6C05	2,8	0,7	8,5

Cuadro 3.15. Velocidades superficiales del Glaciar 15 α en 10 puntos de la zona de ablación entre 4857 y 4941 m. Período comprendido entre el 26 de agosto del 2005 y el 28 de diciembre del 2005.

Al observar los Cuadro 3.16 y Cuadro 3.17 se puede ver que las mayores velocidades de desplazamiento se las ubican, en la parte media e inferior de la zona de ablación del glaciar (balizas 1C, 3C04, 4I4 y 6C05) debido en estos sitios las pendientes son más pronunciadas

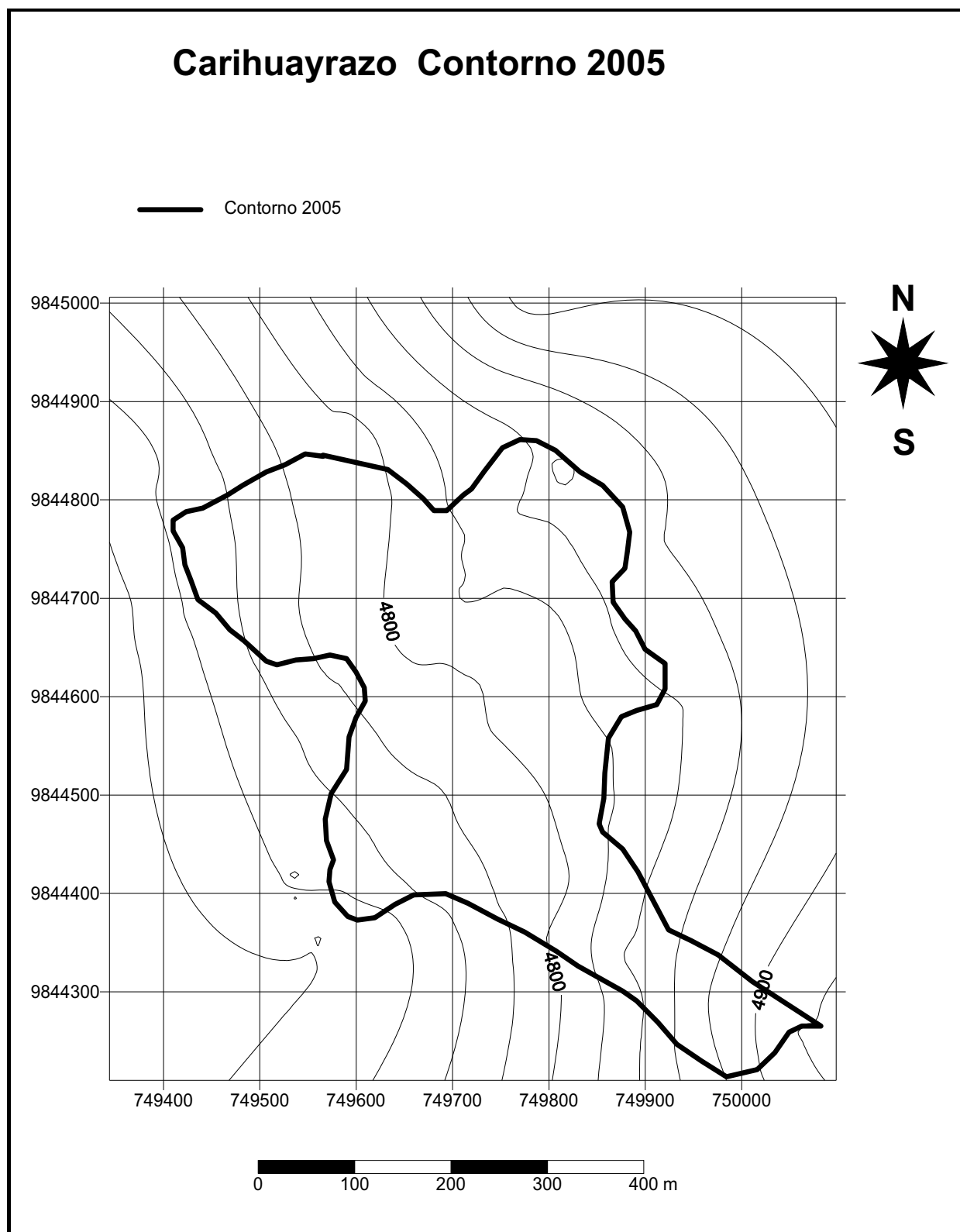
Balizas	Ago-05	Dic-05	Cambio de altura
1C5	4946	4941	5
1C	4945	4933	12
2I4	4938	4932	6
2I5	4927	4927	0
3I4	4911	4904	7
3C04	4909	4899	10
4C4	4896	4893	3
4I4	4896	4884	12
5D05	4891	4889	2
6C05	4876	4857	19

Cuadro 3.16 .Perdida de altura de las balizas sobre la zona de ablación. (DH en metros)

Rango	2005 m/año
5000-5100	12,9
4960-5000	16,1
4910-4960	17,3
4880-4910	10,2
4860-4880	13,8
4830-4860	8,5

Cuadro 3.17.Evolución de las velocidades superficiales sobre la zona de ablación.

3.5. Glaciar del Carihuayrazo



Sobre el glaciar del Carihuayrazo para el año 2005 se midió un área de 184122 m² equivalente a una reducción del 15.6% en relación con la cobertura del año 2004 que fue de 218129 m².

Sobre este glaciar en este período no se realizaron medidas de balance de masa debido a las dificultades de logística para su equipamiento, es de resaltar el hecho del notable retroceso del glaciar durante este año, lo que hace preveer que su existencia como tal no se extenderá por muchos años, principalmente debido a la pequeña área de acumulación que se observa en este glaciar durante las visitas realizadas estos últimos cuatro años.

CAPÍTULO 4

4. PRECIPITACIONES ENTRE 4000 Y 4900 MSNM

Autor Principal: Ing. Carla Manciatì

ÍNDICE DEL CAPÍTULO:

4.1	Mediciones realizadas en pluviómetro (Totalizadores) y pluviógrafos (HOBO)	52
4.2	Valores brutos	52
4.3	Correlaciones entre estaciones y entre artefactos de medición de precipitación	53
4.4	Correcciones	56
4.5	Valores definitivos e Interpretaciones	68

UBICACIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS PROGRAMA GREATICE

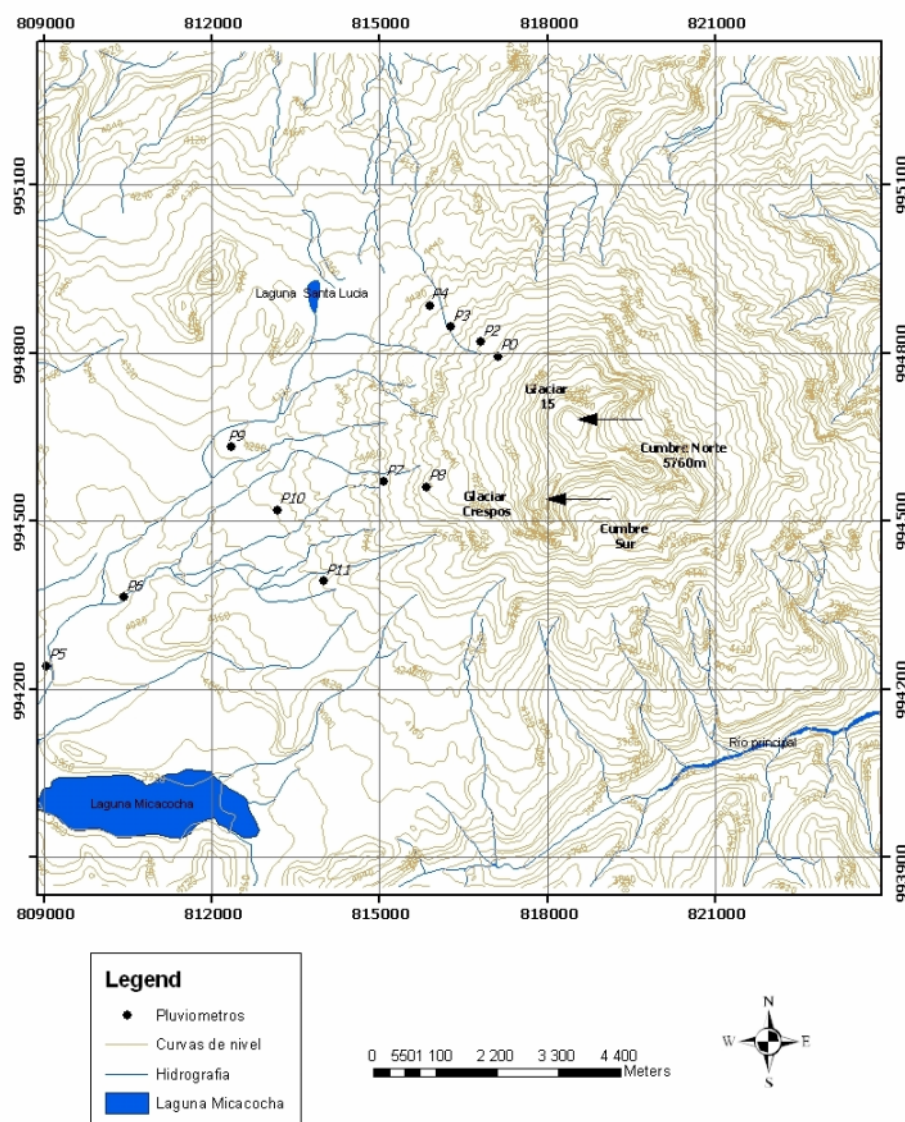


Gráfico 4.1. Ubicación de los pluviómetros totalizadores y pluviógrafos en el año 2005
(Fuente: EMAAP – Q, 2006. Modificado por: Guillaume Mattersdorf)

4.1 Mediciones realizadas en pluviómetro (Totalizadores) y pluviógrafos (HOBO)

Para el año 2005 el programa guardó la red de pluviómetros totalizadores y pluviógrafos del último año (Gráfico 4.1).

La red de estaciones esta compuesta por: Glaciar P0 a 4850 msnm que tiene pluviómetro totalizador, pluviógrafo y el pluviógrafo "GEONOR" especialmente concebido para medir las precipitaciones sólidas (nieve), Morrena P2 a 4785 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, Totalizador P3 a 4555 msnm que tiene pluviómetro totalizador, Antisana P4 a 4455 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, La Mica P5 a 3930 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, Humboldt P6 a 4059 msnm que tiene pluviómetro totalizador, Crespos P7 a 4450 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, Crespos Morrena P8 a 4730 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, Crespos Morrena P8 que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, y, Páramo P9 a 4269 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo (Cuadro 4.1).

ESTACIÓN	ARTEFACTOS	COORDENADAS (WGS84)		ALTURA
		ESTE	NORTE	
P00 - Glaciar	Pluviómetro y Pluviógrafo	817123	9947944	4850
P02 - Morrena	Pluviómetro y Pluviógrafo	816805	9948201	4785
P03 - Totalizador	Pluviómetro	816271	9948470	4555
P04 - Antisana	Pluviómetro y Pluviógrafo	815888	9948851	4455
P05 - Mica	Pluviómetro y Pluviógrafo	809054	9942411	3930
P06 - Humboldt	Pluviómetro	810430	9943645	4059
P07 - Crespos	Pluviómetro y Pluviógrafo	815067	9945705	4450
P08 - Crespos Morrena	Pluviógrafo	815834	9945610	4730
P09 - Páramo	Pluviógrafo	812350	9946318	4269

Cuadro 4.1. Resumen de las estaciones operadas por el programa para el año 2005.
(Fuente: Trabajo de Campo: Guillaume Mattersdorf, Cristian Loyo, Erick Cuenca).

Se instaló un pluviómetro totalizador nuevo el 14 de octubre del presente año, en la estación Páramo (P9) a 4269 msnm que empezó a funcionar en noviembre.

No se presentaron problemas importantes de medición este año en los pluviómetros totalizadores, sin embargo, en los pluviógrafos hubo pequeños inconvenientes y se perdió información, por lo que la cantidad de precipitación registrada por dos artefactos fue comparada con el propósito de rellenar y corregir los datos faltantes o erróneos.

Al hacer estas comparaciones se apreció que la diferencia entre pluviómetros totalizadores y pluviógrafos era significativa y que en algunas estaciones era grave, por lo que se decidió hacer unos ensayos en las estaciones, cuyos resultados y los inconvenientes que se presenten se especificarán en el informe del año 2006.

4.2 Valores brutos

Los valores recogidos de los pluviómetros totalizadores y los pluviógrafos en este año son los que se presentan en el Cuadro 4.2.

Los valores corregidos y rellenados, tanto de los totalizadores como del HOBO, se hallan marcados en el cuadro. Las ecuaciones utilizadas para cada artefacto se especificarán en el inciso "Correcciones".

Pluviómetro	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.**	ANUAL*
P00 - Glaciar	30	102	108	230	115	135	0	<i>Dato incorrecto</i>	15	45	-	215	995
P02 - Morrena	35	85	90	190	20	45	45	15	35	45	-	210	815
P03 - Totalizador	25	115	100	240	90	160	40	20	32	48	-	645	1515
P04 - Antisana	48	120	130	0	410	215	75	50	50	40	-	240	1378
P05 - Mica	10	80	65	0	225	<i>Dato incorrecto</i>	440	20	20	30	-	150	1040
P06 - Humboldt	15	0	136	0	189	60	100	25	0	90	-	225	840
P07 - Crepos	65	0	127	0	298	70	95	15	30	71	-	179	950
PROMEDIO	33	72	108	94	192	114	114	24	26	53	-	266	1076

Pluviógrafo	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
P00 - Glaciar	37	0	0	4	73	115	84	16	46	54	62	129	620
P02 - Morrena	23	77	74	162	78	81	60	0	0	44	72	117	788
P04 - Antisana	38	87	109	169	100	161	72	31	44	41	77	103	1034
P05 - Mica	9	36	89	122	80	85	41	11	26	53	10	98	658
P07 - Crepos	14	62	82	2	101	54	7	14	38	68	41	106	590
P08 - Crepos Morrena	0	0	81	163	78	87	40	10	31	77	45	134	747
P09 - Páramo	15	71	76	123	89	85	31	19	33	80	42	74	738
PROMEDIO	19	48	73	106	86	96	48	15	31	59	50	109	739

Cuadro 4.2. Precipitación mensual en las cercanías del Glaciar 15 y los Crespos. Pluviómetros totalizadores y Pluviógrafos año 2005. Datos brutos (valores en "itálico y negrilla" son corregidos o rellenados).

- * Los totales anuales son valores incompletos, pues en este cuadro no se han homogenizado los datos aún.
- ** Este año los valores de Noviembre y Diciembre fueron acumulados en la columna del último mes del año.

4.3 Correlaciones entre estaciones y entre artefactos de medición de precipitación

Los datos brutos de totalizadores presentan correlaciones muy bajas entre estaciones (Cuadro 4.3), se eliminó algunos valores que estaban fuera de rango, deducidos a partir de la comparación entre los totalizadores y adicionalmente con los HOBO.

	P0	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P0		0.68	0.58	0.44	0.01	0.25	0.00
P2	0.68		0.61	0.26	0.01	0.21	0.02
P3	0.58	0.61		0.29	0.05	0.28	0.01
P4	0.44	0.26	0.29		0.19	0.35	0.32
P5	0.01	0.01	0.05	0.19		0.36	0.14
P6	0.25	0.21	0.28	0.35	0.36		0.31
P7	0.00	0.02	0.01	0.32	0.14	0.31	

Cuadro 4.3. Correlación entre pluviómetros totalizadores. Datos Brutos Completos de Totalizadores desde 1994 hasta 2005.

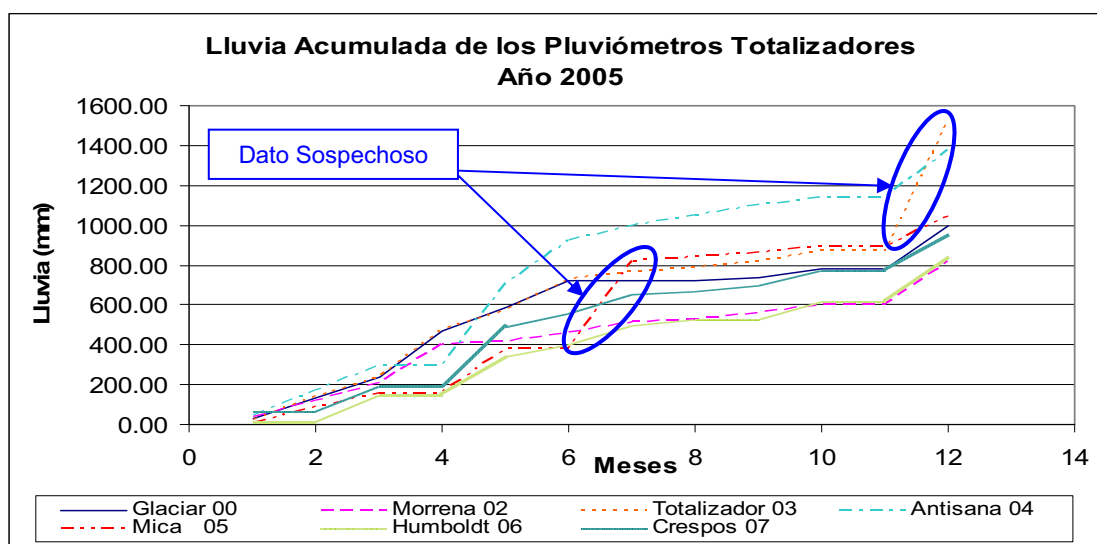


Gráfico 4.2. Precipitaciones mensuales acumuladas de los pluviómetros totalizadores. Datos brutos. Año 2005.

En el Gráfico 4.2 se nota valores muy fuertes en las estaciones Totalizador 03 en el mes de diciembre y en la Mica 05 en el mes julio que tuvieron que ser corregidos.

En el Gráfico 4.3, se puede observar los períodos donde existe datos faltantes que posteriormente serán rellenados o corregidos.

En los pluviógrafos se trabajó con los datos a nivel diario, por lo que se puede tener un inventario de la información, que se muestra en el Gráfico 4.3.

El funcionamiento de los pluviógrafos Antisana P4 y Mica P5 son los más completos. En las demás estaciones se tiene periodos que faltan datos por problemas de batería o conexiones defectuosas.

La serie de datos del pluviógrafo de las estaciones P0, P2, P7, P8 y P9 presentan vacíos en el siguiente período como se puede ver en el Gráfico 4.3:

- Del 02/02 al 24/04 2005 (P0)
- Del 29/07 al 06/10 2005 (P2)
- Del 01/04 al 27/04; 28/06 al 21/07 2005 (P7)
- Del 01/01 al 02/03 2005 (P8)
- Del 02/12 al 14/12 2005 (P9)

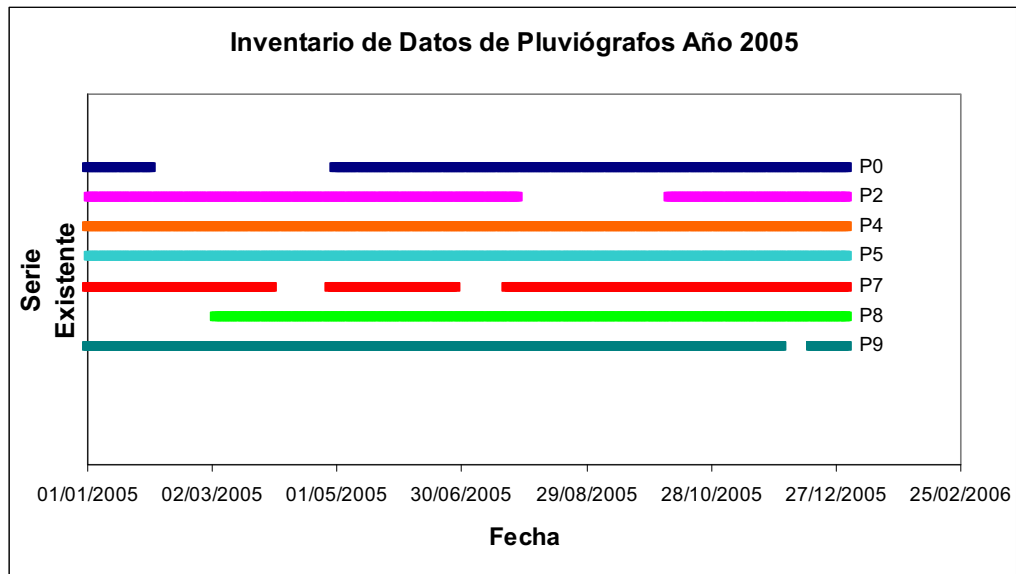


Gráfico 4.3. Período de funcionamiento para los pluviómetros en el año 2005.

Conforme a estos datos, incluyendo los datos faltantes e incorrectos, la información acumulada mensual de los pluviómetros genera un gráfico como el que se muestra en Gráfico 4.4. Donde se observa claramente los periodos en los que los datos no están completos.

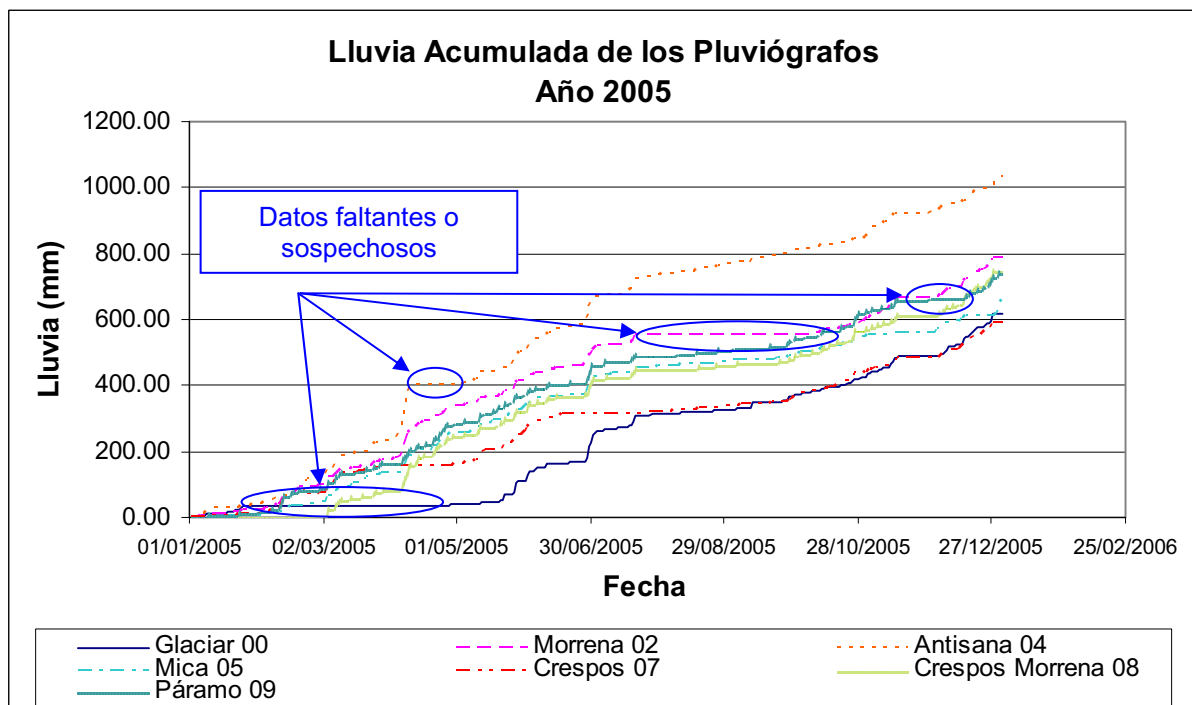


Gráfico 4.4. Precipitaciones diarias acumuladas de los pluviómetros. Datos brutos. Año 2005.
(Ver el resultado de los datos corregidos en el Gráfico 4.16)

4.4 Correcciones

4.4.1 Procesamiento de los datos

Los datos que llegan del campo, pueden presentar errores al compararlos con las estaciones cercanas o con otros aparatos de medición de precipitación.

Por lo que se los homogeniza para tratar de que la información sea más coherente. El proceso es muy sencillo, simplemente se compara los pluviómetros totalizadores de la zona alta (P_0 , P_2 , P_3 , P_4) entre ellos, ya que se ha comprobado que sus correlaciones son mejores, a través de una herramienta estadística como es el Método de Correlaciones Múltiples, se plantea una ecuación de una recta a la que se ajusten los datos. Con dicha ecuación se procede a rellenar los datos faltantes, o bien, se corrige los datos visiblemente erróneos que previamente se los encuentra cuando se compara entre estaciones.

Las relaciones planteadas y las ecuaciones utilizadas para la homogenización de los datos, se muestran a continuación

4.4.2 Correlaciones entre cada pluviómetro totalizador y su respectivo pluviógrafo a nivel mensual.

Se establece que los datos, tanto de pluviógrafos como de pluviómetros totalizadores, presentan relaciones entre ellos, los valores de los coeficiente de determinación son: en P_0 $r^2=0.86$, en P_2 $r^2=0.84$, en P_4 $r^2=0.85$, en P_5 $r^2=0.76$ y en P_7 $r^2=0.80$. Se puede verificar en los Gráfico 4.5, Gráfico 4.6, Gráfico 4.7, Gráfico 4.8 y Gráfico 4.9 que las relaciones son en general muy buenas y representativas para las estaciones.

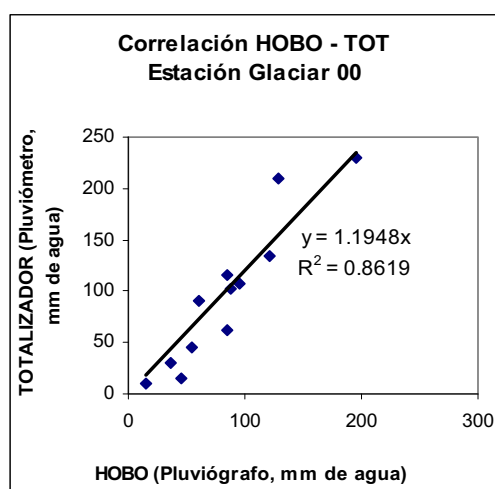


Gráfico 4.5. Correlación mensual entre el pluviógrafo y el pluviómetro totalizador P_0 . Año 2005.

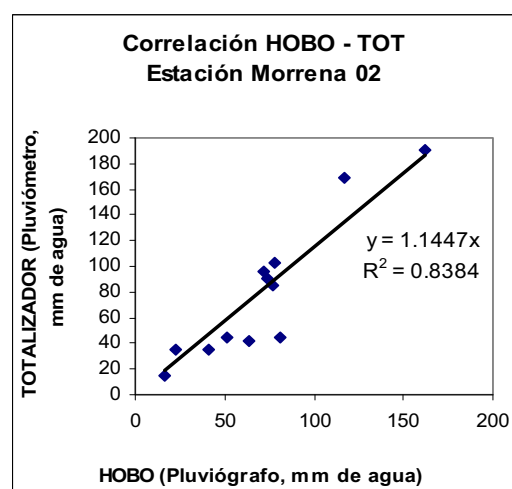


Gráfico 4.6. Correlación mensual entre el pluviógrafo y el pluviómetro totalizador P_2 . Año 2005.

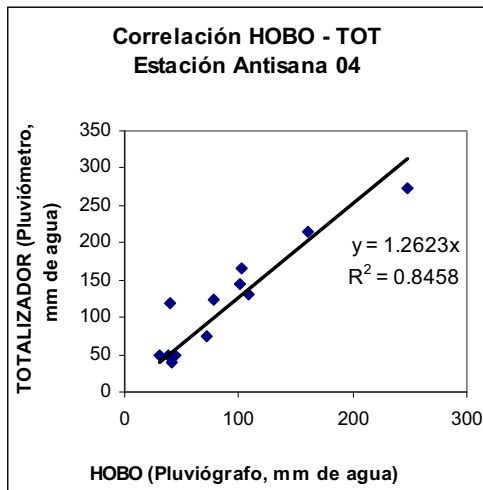


Gráfico 4.7. Correlación mensual entre el pluviógrafo y el pluviómetro totalizador P4. Año 2005.

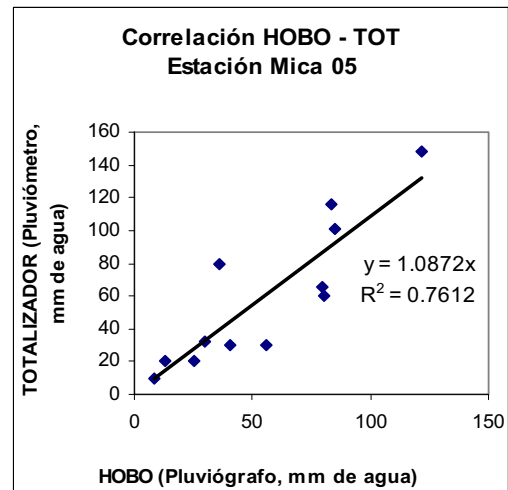


Gráfico 4.8. Correlación mensual entre el pluviógrafo y el pluviómetro totalizador P5. Año 2005.

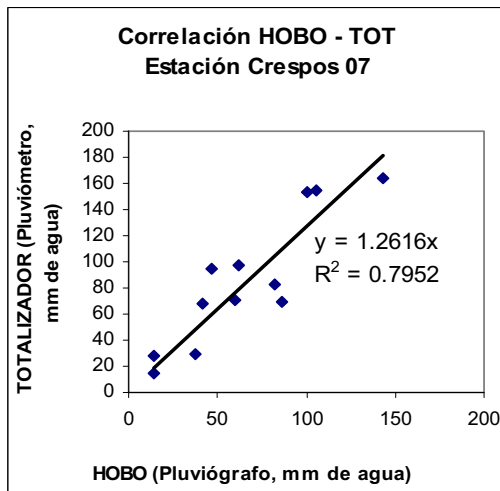


Gráfico 4.9. Correlación mensual entre el pluviógrafo y el pluviómetro totalizador P7. Año 2005.

4.4.3 Correlaciones entre los totales diarios de los pluviógrafos

Con conocimiento de las zonas climáticas pluviométricas, planteadas por Lhuissier (2005), se ha planteado la relación entre pluviómetros totalizadores con el fin de homogenizar los datos, se utilizó el mismo método que se explico anteriormente.

Las relaciones entre los distintos pluviógrafos se observa en los Gráfico 4.10, Gráfico 4.11, Gráfico 4.12, Gráfico 4.13 y Gráfico 4.14, que se muestran a continuación. En dichos diagramas se puede observar las correlaciones existentes entre las estaciones y las ecuaciones encontradas para el relleno y corrección de datos.

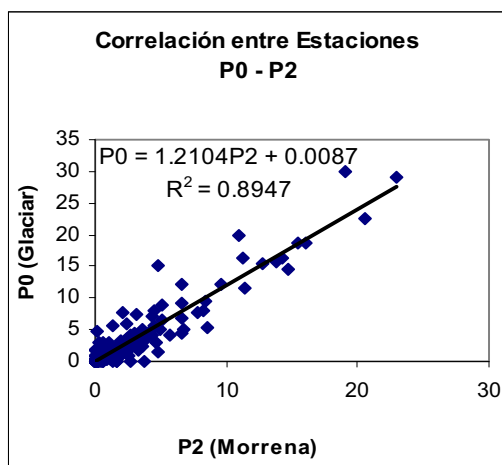


Gráfico 4.10. Correlación diaria entre los pluviógrafos P0 y P2 para el año 2005.

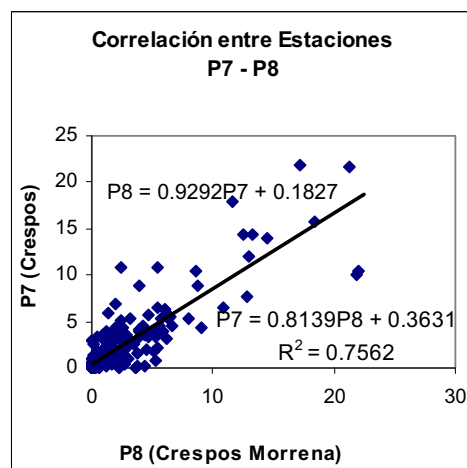


Gráfico 4.11. Correlación diaria entre los pluviógrafos P7 y P8 para el año 2005.

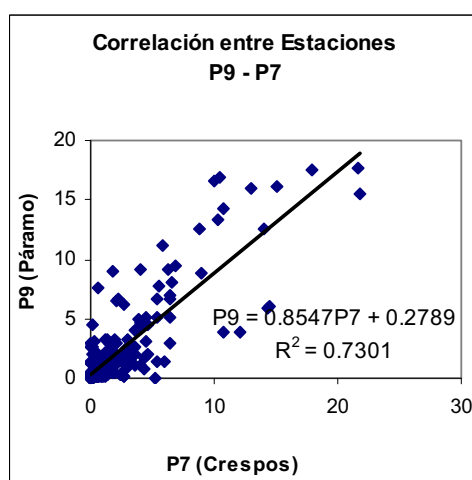


Gráfico 4.12. Correlación diaria entre los pluviógrafos P9 y P7 para el año 2005.

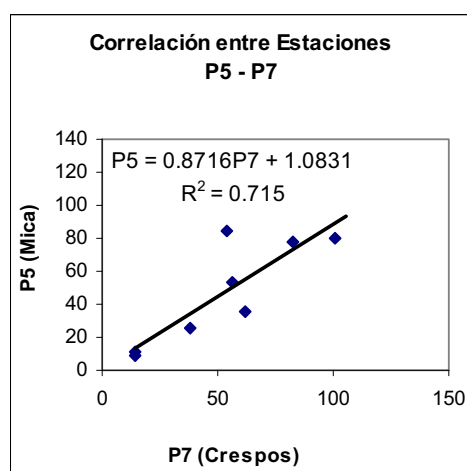


Gráfico 4.13. Correlación mensual entre los pluviógrafos P5 y P7 para el año 2005.

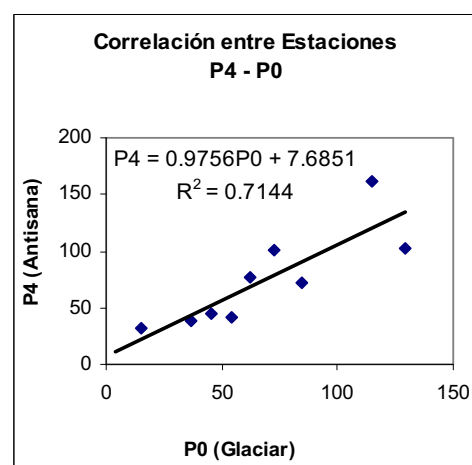


Gráfico 4.14. Correlación mensual entre los pluviógrafos P4 y P0 para el año 2005.

En algunas estaciones se hizo la comparación entre estaciones a nivel mensual, debido a su mala correlación a nivel diario y se trabajó con esta ecuación, tomando las precauciones necesarias para no introducir un error adicional a los datos.

Al crear los gráficos de lluvia acumulada de las estaciones en estudio se observan los resultados de la homogenización, la misma se realizó con los datos mensuales de los pluviómetros totalizadores del Cuadro 4.4 y con los datos diarios de los pluviógrafos de los Cuadro 4.5, Cuadro 4.6, Cuadro 4.7, Cuadro 4.8, Cuadro 4.9, Cuadro 4.10 y Cuadro 4.11 que se muestran a continuación.

Pluviómetro	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
P00 - Glaciar	30	102	108	230	115	135	62	11	15	45	90	210	1153
P02 - Morrena	35	85	90	190	102	45	42	15	35	45	96	169	949
P03 - Totalizador	25	115	100	240	90	160	40	20	32	48	105	178	1153
P04 - Antisana	48	120	130	274	144	215	75	50	50	40	123	165	1434
P05 - Mica	10	80	65	149	60	101	30	20	20	30	32	116	713
P06 - Humboldt	15	85	71	153	66	60	100	25	27	90	39	186	916
P07 - Crepos	28	97	82	164	153	70	95	15	30	71	68	155	1029
PROMEDIO	27	98	92	200	104	112	63	22	30	53	79	168	1050
Índice Pglaciar	35	106	107	234	113	139	55	24	33	45	104	180	1172
Índice Ppáramo	13	83	68	151	63	81	65	23	23	60	36	151	814

Pluviógrafo	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
P00 - Glaciar	37	88	95	196	85	121	84	16	46	54	60	128	1010
P02 - Morrena	23	77	74	162	78	81	63	17	41	51	72	117	856
P04 - Antisana	38	40	109	247	100	161	72	31	44	41	77	103	1066
P05 - Mica	9	36	80	122	80	85	41	13	26	56	30	83	659
P07 - Crepos	14	62	82	144	101	86	47	14	38	60	41	106	796
P08 - Crepos Morrena	19	62	82	163	78	88	42	14	31	77	45	134	836
P09 - Páramo	15	71	76	123	89	85	32	19	33	80	42	117	781
PROMEDIO	22	62	85	165	87	101	54	18	37	60	52	113	858

Cuadro 4.4. Datos homogenizados de precipitación mensual en la parte occidental del Antisana, año 2005.

En los siguientes cuadros se debe tomar en cuenta que el valor mostrado es un acumulado de 24 horas y que el aparato al registrar la hora en la que se produce el evento de lluvia mide siempre desde las 0h00 hasta la misma hora del día siguiente. A continuación se observan los datos homogenizados (aquellos datos que han sido corregidos o rellenados se encuentran marcados con **"itálico y negrilla"**).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN GLACIAR (P00)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.0	0.0	<i>5.6</i>	<i>0.1</i>	0.0	16.2	19.8	3.4	0.2	0.0	7.7	0.0
2	0.0	<i>0.1</i>	<i>0.8</i>	<i>0.2</i>	0.1	9.3	15.5	0.0	0.4	0.4	2.5	0.2
3	0.0	<i>2.0</i>	<i>1.3</i>	<i>2.0</i>	0.0	1.4	0.2	0.0	5.1	3.2	4.4	0.0
4	0.0	<i>1.9</i>	<i>1.7</i>	<i>3.8</i>	0.1	0.6	0.0	0.0	0.2	0.0	2.4	3.2
5	0.2	<i>0.5</i>	<i>21.3</i>	<i>0.2</i>	0.0	3.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	3.6
6	5.1	<i>0.8</i>	<i>0.3</i>	<i>11.5</i>	<i>4.1</i>	7.0	1.7	0.0	0.0	1.9	1.1	11.6
7	1.6	<i>0.4</i>	<i>1.7</i>	<i>24.5</i>	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.8	1.6	6.6
8	2.8	<i>3.4</i>	<i>8.1</i>	<i>14.0</i>	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.2	5.2	0.6
9	0.3	<i>9.2</i>	<i>9.1</i>	<i>23.2</i>	0.1	0.8	0.0	0.6	0.0	1.7	0.4	2.3
10	0.1	<i>2.0</i>	<i>4.9</i>	<i>24.2</i>	0.0	8.8	0.0	0.0	12.7	0.6	0.8	0.0
11	0.7	<i>5.4</i>	<i>5.3</i>	<i>13.0</i>	<i>0.1</i>	1.6	0.0	0.0	0.0	8.0	14.4	2.9
12	1.9	<i>12.1</i>	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	<i>13.3</i>	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	2.7	3.7
13	0.1	<i>12.1</i>	<i>1.9</i>	<i>3.8</i>	0.0	<i>0.2</i>	0.0	0.0	0.0	2.8	9.5	0.2
14	0.1	<i>3.5</i>	<i>0.2</i>	<i>8.2</i>	<i>1.1</i>	<i>0.3</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	18.6
15	0.1	<i>0.1</i>	<i>1.7</i>	<i>4.1</i>	<i>0.5</i>	<i>5.3</i>	0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.8
16	0.2	<i>7.6</i>	<i>1.1</i>	<i>1.4</i>	<i>0.1</i>	0.2	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	3.6
17	0.6	<i>4.7</i>	<i>1.6</i>	<i>5.3</i>	<i>0.2</i>	1.0	7.5	4.9	0.0	0.0	0.6	2.7
18	4.8	<i>0.9</i>	<i>1.2</i>	<i>2.2</i>	<i>0.5</i>	0.2	1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	15.8
19	0.1	<i>2.8</i>	<i>1.1</i>	<i>2.2</i>	<i>0.2</i>	0.0	12.2	0.0	0.8	0.0	0.0	5.0
20	0.1	<i>16.2</i>	<i>2.6</i>	<i>0.2</i>	2.8	2.4	18.8	0.0	0.2	4.2	0.0	1.5
21	5.6	<i>2.4</i>	<i>0.9</i>	<i>2.6</i>	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.7
22	0.1	<i>0.1</i>	<i>0.1</i>	<i>13.7</i>	16.4	1.4	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	3.2
23	0.1	<i>0.0</i>	<i>0.1</i>	<i>1.0</i>	0.8	0.0	0.0	0.0	1.9	5.7	0.0	0.2
24	4.5	<i>0.0</i>	<i>3.6</i>	<i>3.9</i>	0.4	1.0	0.0	3.2	0.2	0.0	0.0	6.7
25	4.2	<i>0.0</i>	<i>9.0</i>	<i>4.5</i>	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	1.0	0.0	3.9
26	0.1	<i>0.0</i>	<i>3.2</i>	<i>8.0</i>	7.8	0.0	0.2	1.0	1.5	8.1	0.0	2.4
27	0.0	<i>0.0</i>	<i>0.3</i>	<i>11.4</i>	29.2	2.3	1.0	0.2	12.1	0.0	0.0	22.5
28	0.0	<i>0.0</i>	<i>3.8</i>	<i>4.4</i>	6.0	12.2	0.0	0.2	1.9	1.6	0.0	0.0
29	0.0	<i>0.0</i>	<i>0.6</i>	<i>0.7</i>	0.4	30.1	0.0	0.0	3.2	3.4	0.0	<i>0.2</i>
30	0.0	-	<i>1.5</i>	1.3	0.2	15.0	0.4	0.4	2.7	0.0	<i>0.4</i>	2.6
31	3.0	-	<i>0.1</i>	-	0.8	-	0.0	0.0	-	4.3	-	1.1
TOTAL MENSUAL	36.5	88.2	94.8	196.0	85.1	120.8	84.3	15.5	45.8	54.1	59.9	128.4
TOTAL ANUAL	1009.5											

Cuadro 4.5. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P0 para el año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN MORRENA (P02)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.0	0.1	0.6	0.1	0.1	11.3	10.9	<i>0.2</i>	<i>0.5</i>	<i>0.5</i>	7.8	0.1
2	0.0	1.7	1.0	1.7	1.6	6.5	12.8	<i>0.2</i>	<i>4.0</i>	<i>2.6</i>	2.1	0.1
3	0.0	1.5	1.4	3.1	0.1	1.3	0.1	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	<i>0.2</i>	6.7	0.1
4	0.0	0.4	17.6	0.1	1.3	0.2	0.1	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	<i>0.2</i>	3.2	3.4
5	1.2	0.7	0.2	9.5	3.4	1.9	0.4	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	<i>1.6</i>	0.1	3.4
6	4.3	0.3	1.4	20.2	2.7	4.4	0.6	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	<i>2.3</i>	1.0	11.3
7	0.7	2.8	6.7	11.5	0.1	0.1	3.6	<i>1.1</i>	<i>0.2</i>	2.5	2.3	5.1
8	2.4	7.6	7.5	19.1	0.2	0.1	0.0	<i>0.7</i>	<i>0.2</i>	0.1	8.6	0.6
9	0.5	1.6	4.0	20.0	3.7	1.0	0.0	<i>0.2</i>	<i>9.6</i>	0.1	1.0	2.1
10	0.1	4.4	4.4	10.8	0.1	5.1	0.0	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	1.8	1.0	0.1
11	0.9	10.0	0.2	0.3	10.9	4.7	0.0	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	8.3	14.8	1.1
12	1.6	10.0	1.6	3.2	2.7	0.1	0.3	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	0.1	2.1	3.9
13	0.1	2.9	0.2	6.8	0.9	0.2	0.1	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	2.1	8.4	0.3
14	0.1	0.1	1.4	3.4	0.4	4.3	0.1	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	0.1	6.8	16.0
15	0.1	6.3	0.9	1.2	0.1	0.1	0.1	<i>0.5</i>	<i>0.2</i>	0.5	0.3	3.2
16	0.4	3.9	1.3	4.4	0.2	0.1	0.6	<i>3.9</i>	<i>0.2</i>	0.1	0.1	2.4
17	0.5	0.7	1.0	1.8	0.4	1.3	3.1	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	0.1	0.5	2.3
18	0.1	2.3	0.9	1.8	0.1	0.4	0.5	<i>0.2</i>	<i>0.8</i>	1.5	0.0	13.7
19	0.1	13.3	2.1	0.1	3.2	0.6	9.6	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	0.1	0.0	4.9
20	1.7	1.9	0.7	2.1	2.0	3.7	15.5	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	4.3	0.0	1.5
21	1.4	0.0	0.1	11.3	0.1	0.2	0.0	<i>0.2</i>	<i>2.1</i>	0.2	0.0	1.1
22	0.1	0.0	0.1	0.9	14.3	0.3	0.0	<i>0.2</i>	<i>1.6</i>	0.3	0.0	3.6
23	0.1	0.0	3.0	3.2	0.5	0.0	0.0	<i>2.6</i>	<i>0.4</i>	4.5	0.0	0.3
24	3.0	0.0	7.5	3.7	0.1	0.0	0.0	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	0.1	0.0	6.6
25	3.0	0.0	2.6	6.6	0.2	0.0	0.6	<i>1.0</i>	<i>1.3</i>	2.6	0.0	3.2
26	0.1	0.0	0.2	9.4	2.2	0.0	0.1	<i>0.4</i>	<i>9.2</i>	4.5	0.0	2.3
27	0.0	0.0	3.1	3.6	22.9	2.9	0.1	<i>0.4</i>	<i>1.6</i>	0.1	0.0	20.6
28	0.0	4.6	0.5	0.6	2.3	6.7	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	<i>2.6</i>	1.6	0.0	0.2
29	0.0	0.0	1.2	0.1	0.4	19.1	<i>0.5</i>	<i>0.5</i>	<i>2.2</i>	2.3	0.3	0.6
30	0.0	-	0.1	1.8	0.1	4.8	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	0.1	4.6	2.0
31	0.3	-	0.1	-	0.5	-	<i>2.8</i>	<i>0.4</i>	-	5.7	-	1.1
TOTAL MENSUAL	22.7	77.3	73.5	162.4	77.9	81.5	63.3	16.5	40.9	51.1	71.9	117.3
TOTAL ANUAL	856.4											

Cuadro 4.6. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P2 para año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN ANTISANA (P04)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.1	0.1	1.1	0.1	0.2	9.9	3.9	3.1	0.8	0.1	11.5	0.1
2	0.6	3.5	1.8	2.4	1.6	11.2	0.6	0.1	2.8	0.1	3.8	0.1
3	0.1	3.7	1.8	5.9	0.1	1.1	0.3	0.3	4.4	3.0	10.3	0.1
4	0.1	4.0	20.6	1.8	5.0	5.6	0.0	0.1	0.3	0.1	1.5	4.1
5	3.0	2.0	0.6	19.4	0.1	10.3	0.4	0.1	0.7	0.1	0.2	6.4
6	7.2	1.6	2.3	30.9	2.0	2.6	0.4	0.1	0.2	0.8	1.0	6.8
7	3.2	1.5	17.9	28.5	0.2	0.1	4.5	3.0	0.2	2.4	2.3	0.1
8	5.7	1.9	2.0	30.2	1.0	0.1	0.5	3.4	0.3	0.1	9.4	0.2
9	2.3	1.8	6.1	27.1	6.8	2.8	0.2	0.2	0.2	0.3	1.3	1.6
10	0.2	1.5	5.7	18.6	0.4	6.4	0.1	0.1	10.3	2.1	0.2	0.7
11	4.3	1.6	0.1	0.8	21.1	6.3	0.1	0.1	0.1	4.5	11.9	1.9
12	0.2	1.5	2.4	4.0	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	6.0	2.7
13	0.0	1.5	0.2	8.3	1.3	0.8	0.3	0.1	0.1	1.0	5.0	1.4
14	0.0	1.2	3.1	4.3	1.0	10.9	0.1	0.1	0.7	0.1	2.9	3.7
15	0.0	0.9	1.8	1.7	0.1	0.2	0.1	1.2	0.1	0.1	0.1	1.4
16	0.6	0.9	1.1	5.4	0.2	0.1	6.0	0.3	0.1	0.1	0.2	11.8
17	0.2	0.8	1.2	2.4	0.2	2.4	3.2	6.5	0.1	0.6	0.1	7.5
18	0.1	0.8	2.9	2.4	0.2	0.1	9.1	0.1	0.2	0.4	0.1	5.7
19	0.1	0.8	1.4	0.4	7.4	1.2	14.0	0.2	1.6	0.1	0.1	3.0
20	2.4	0.8	0.1	2.8	0.1	1.6	14.7	0.1	0.1	2.2	0.0	1.6
21	0.1	0.7	0.1	13.7	0.1	1.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	1.3
22	0.1	0.3	0.1	1.3	3.7	3.7	0.5	0.3	2.1	0.2	0.0	1.2
23	0.1	0.0	9.4	4.1	0.1	0.8	0.1	0.1	2.0	4.3	0.0	1.0
24	4.9	0.0	12.3	4.6	0.4	0.1	0.1	2.9	0.1	0.2	0.0	1.1
25	1.6	0.1	3.2	8.1	0.8	0.1	3.1	0.3	0.1	3.2	0.0	1.3
26	0.1	0.5	1.5	11.4	18.5	0.2	0.3	3.2	1.3	3.2	0.0	1.1
27	0.1	0.2	4.4	4.5	19.2	10.7	2.5	0.9	8.8	0.0	0.0	1.0
28	0.1	6.2	2.8	0.5	0.8	8.4	0.1	1.8	2.5	2.6	0.0	12.8
29	0.1	0.0	0.5	0.1	2.5	34.6	0.1	0.9	2.9	1.6	5.4	18.9
30	0.1	-	0.1	2.1	0.7	28.1	3.1	1.1	1.5	1.3	3.7	2.6
31	0.3	-	0.3	-	3.9	-	3.2	0.2	-	6.0	-	0.2
TOTAL MENSUAL	38.4	40.4	109.0	247.5	100.5	161.5	71.7	31.2	44.5	41.2	77.3	103.2
TOTAL ANUAL	1066.4											

Cuadro 4.7. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P4 para el año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN MICA (P05)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.0	0.1	0.6	0.1	0.1	8.5	3.5	0.1	0.4	0.1	1.8	1.3
2	0.0	1.4	0.1	0.1	0.1	2.7	0.1	0.1	3.0	0.6	2.2	6.8
3	0.0	1.4	0.4	0.2	0.1	0.4	0.1	0.0	1.5	2.2	1.2	2.9
4	0.0	0.3	18.6	0.4	2.7	4.3	0.1	0.0	0.1	0.1	1.7	10.8
5	0.3	0.8	0.3	2.7	0.7	8.1	0.4	0.0	0.1	0.1	0.9	4.2
6	0.2	0.2	0.4	12.4	0.4	0.5	5.5	0.0	0.2	1.2	0.6	0.7
7	0.1	0.4	18.0	9.1	0.1	0.1	3.9	0.4	0.1	0.8	1.0	0.1
8	0.1	0.1	1.3	10.6	0.1	0.1	0.1	0.6	0.7	0.1	2.9	0.1
9	0.1	0.1	6.1	18.3	3.7	1.1	0.2	1.0	0.8	0.8	2.1	5.0
10	0.0	1.3	1.6	1.8	2.8	3.7	0.1	0.0	0.0	2.4	0.3	0.1
11	0.0	5.6	0.2	0.1	15.4	1.9	0.0	0.0	0.0	9.6	5.4	0.2
12	0.0	5.3	1.6	3.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	1.0
13	0.0	3.5	0.2	8.6	1.6	0.4	0.0	0.0	0.0	2.5	4.6	9.0
14	0.0	1.6	0.6	1.0	0.3	2.4	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	5.7
15	0.9	1.7	9.9	1.6	4.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.5
16	1.0	1.5	0.3	0.8	0.2	0.1	3.6	1.6	0.1	0.7	0.0	0.4
17	0.5	1.2	0.4	1.3	6.9	0.1	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3
18	0.0	0.9	1.7	0.1	0.1	0.1	1.1	0.0	0.2	0.0	0.0	2.0
19	0.0	0.8	4.1	0.2	1.4	0.6	11.1	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0
20	0.0	0.7	0.3	6.7	0.1	0.2	4.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3
21	0.0	0.8	2.3	4.1	0.1	0.6	0.1	0.0	0.1	4.4	0.0	0.1
22	2.3	2.3	0.1	0.1	9.8	0.3	0.1	0.0	0.2	6.5	0.0	0.5
23	0.4	0.1	1.9	12.1	0.1	1.6	0.1	0.7	0.1	0.2	0.0	2.6
24	1.3	0.1	3.8	1.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	5.5
25	0.6	0.1	0.3	14.7	6.3	0.1	0.2	1.9	1.4	2.9	0.0	1.7
26	0.0	0.1	0.2	2.8	10.2	0.5	0.3	0.5	0.5	12.5	0.0	8.9
27	0.0	0.1	1.0	0.4	1.8	1.1	1.2	3.2	4.4	3.7	0.0	8.5
28	0.0	3.4	2.7	5.9	1.2	9.0	0.1	1.1	3.6	1.4	0.0	0.3
29	0.1	0.0	0.1	0.1	0.5	21.5	0.2	0.0	4.1	0.1	0.8	0.5
30	0.1	-	0.2	0.5	1.4	14.8	3.3	0.5	2.2	0.2	2.9	2.0
31	0.1	-	0.5	-	7.6	-	0.4	0.0	-	1.9	-	0.2
TOTAL MENSUAL	8.6	35.8	79.8	121.8	80.3	85.0	40.5	12.7	25.5	55.7	29.7	83.4
TOTAL ANUAL	658.9											

Cuadro 4.8. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P5 para el año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN CRESPOS (P07)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.1	0.1	0.3	<i>0.5</i>	0.1	14.4	<i>8.1</i>	0.0	0.4	0.1	2.2	0.5
2	0.1	3.5	0.2	<i>0.5</i>	0.5	5.4	<i>0.8</i>	0.0	1.0	1.5	2.1	0.1
3	0.1	1.1	0.4	<i>0.5</i>	0.1	0.4	<i>0.4</i>	0.0	1.6	2.2	3.2	0.1
4	0.1	0.4	21.6	<i>0.5</i>	3.6	3.5	<i>0.4</i>	0.0	0.1	0.1	1.9	3.6
5	0.6	0.3	1.5	<i>2.0</i>	0.5	4.3	<i>0.4</i>	0.2	1.3	0.1	0.8	5.2
6	0.3	0.3	1.6	<i>15.1</i>	0.9	1.0	<i>1.1</i>	0.1	0.1	0.4	0.4	7.7
7	0.2	0.8	17.9	<i>14.3</i>	0.1	0.1	<i>4.1</i>	0.1	0.1	2.7	1.0	1.3
8	0.4	0.9	1.8	<i>9.6</i>	0.2	0.1	<i>0.4</i>	1.5	0.1	0.1	3.4	1.9
9	1.1	0.4	5.4	<i>17.3</i>	4.6	0.5	<i>0.4</i>	0.4	0.6	0.1	2.4	4.1
10	0.4	6.2	4.0	<i>7.5</i>	1.2	6.4	<i>0.4</i>	0.1	0.9	2.8	0.2	0.2
11	0.2	12.9	0.3	<i>0.6</i>	21.8	6.4	<i>0.4</i>	0.1	0.0	4.4	6.5	0.6
12	0.2	15.1	1.6	<i>5.1</i>	3.6	0.1	<i>0.4</i>	0.1	0.0	2.1	1.1	3.3
13	0.1	0.2	0.2	<i>11.6</i>	3.3	0.7	<i>0.4</i>	0.1	0.0	0.1	5.5	3.1
14	0.1	0.1	0.6	<i>2.9</i>	1.0	5.4	<i>0.5</i>	0.1	0.0	0.2	8.9	15.8
15	0.1	6.4	0.7	<i>0.8</i>	0.1	0.1	<i>0.5</i>	1.0	0.0	5.3	0.1	4.3
16	0.3	4.1	1.8	<i>1.6</i>	0.1	0.1	<i>1.7</i>	0.3	0.2	0.1	0.1	0.9
17	1.1	0.5	1.1	<i>3.5</i>	0.1	0.9	<i>0.5</i>	2.6	0.4	0.2	0.0	5.8
18	0.1	0.2	2.0	<i>1.0</i>	0.1	0.1	<i>1.6</i>	0.0	0.2	5.9	0.0	4.3
19	0.1	2.8	1.1	<i>0.5</i>	8.8	0.2	<i>7.1</i>	0.0	2.9	0.1	0.0	2.7
20	2.7	0.2	0.2	<i>3.6</i>	0.1	1.7	<i>10.1</i>	0.0	0.2	6.9	0.0	3.1
21	0.4	0.2	2.7	<i>9.2</i>	0.1	1.2	<i>0.5</i>	0.0	0.1	0.1	0.0	1.4
22	0.1	0.1	0.1	<i>3.7</i>	14.0	0.1	0.1	0.0	2.4	0.2	0.0	0.3
23	0.2	0.1	1.9	<i>5.5</i>	0.1	0.2	0.1	0.4	0.7	3.6	0.0	3.0
24	4.5	0.1	4.5	<i>6.2</i>	0.1	0.2	0.1	1.8	0.1	0.1	0.0	6.5
25	0.1	0.1	1.1	<i>2.8</i>	0.1	0.1	1.4	0.5	0.1	<i>3.4</i>	0.0	1.9
26	0.1	0.1	0.2	<i>11.9</i>	10.5	0.2	1.3	1.7	1.1	10.1	0.0	10.8
27	0.1	0.1	3.0	<i>2.7</i>	12.0	0.1	2.9	1.3	4.0	0.6	0.0	10.4
28	0.1	4.7	4.0	0.4	0.1	<i>1.9</i>	0.1	1.2	3.4	1.8	0.0	0.2
29	0.4	0.0	0.5	0.2	0.1	<i>18.8</i>	0.1	0.1	14.3	0.1	1.3	0.4
30	0.1	-	0.3	1.8	2.5	<i>12.0</i>	0.9	0.3	1.4	0.4	0.4	2.2
31	0.1	-	0.0	-	10.7	-	0.0	0.1	-	3.9	-	0.0
TOTAL MENSUAL	14.3	62.2	82.4	143.6	100.8	86.5	47.1	14.5	37.9	59.5	41.5	105.6
TOTAL ANUAL	796.1											

Cuadro 4.9. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P7 para el año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN CRESPOS MORRENA (P08)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	<i>0.5</i>	0.1	0.1	12.5	9.4	<i>0.2</i>	0.6	0.1	2.8	0.9
2	<i>0.3</i>	<i>3.4</i>	<i>0.4</i>	0.2	0.5	6.4	0.5	<i>0.2</i>	0.2	2.3	1.3	0.1
3	<i>0.3</i>	<i>1.2</i>	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1	<i>0.2</i>	3.8	1.6	3.8	0.1
4	<i>0.3</i>	<i>0.6</i>	21.3	0.1	2.9	1.5	0.1	<i>0.2</i>	0.2	0.1	2.8	4.5
5	<i>0.7</i>	<i>0.5</i>	0.9	1.9	0.5	2.5	0.1	<i>0.4</i>	0.6	0.1	0.4	2.4
6	<i>0.5</i>	<i>0.4</i>	1.6	18.0	0.4	2.9	0.8	<i>0.3</i>	0.0	0.6	0.2	12.8
7	<i>0.4</i>	<i>1.0</i>	11.6	17.0	0.1	0.1	4.5	<i>0.3</i>	0.0	3.1	1.5	0.7
8	<i>0.6</i>	<i>1.0</i>	5.1	11.3	0.2	0.1	0.0	<i>1.5</i>	0.0	0.1	4.6	1.9
9	<i>1.2</i>	<i>0.6</i>	5.8	20.7	4.2	0.6	0.0	<i>0.6</i>	0.0	0.1	1.6	3.9
10	<i>0.6</i>	<i>5.8</i>	5.9	8.7	0.7	6.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.1	0.2
11	<i>0.4</i>	<i>12.0</i>	0.1	0.2	17.1	6.0	0.0	0.0	0.0	6.6	5.4	0.4
12	<i>0.4</i>	<i>13.9</i>	2.0	5.8	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	5.5	3.1	5.3
13	<i>0.3</i>	<i>0.4</i>	0.2	13.7	2.3	0.6	0.0	0.1	0.0	0.2	6.4	0.9
14	<i>0.2</i>	<i>0.3</i>	0.6	3.1	0.6	3.2	0.1	0.1	0.0	0.1	8.7	18.4
15	<i>0.2</i>	<i>6.0</i>	0.6	0.6	0.1	0.2	0.1	0.5	0.0	7.9	0.5	2.0
16	<i>0.4</i>	<i>3.9</i>	2.0	1.4	0.2	0.1	1.6	0.1	0.0	4.4	0.1	5.3
17	<i>1.2</i>	<i>0.6</i>	1.7	3.8	0.6	0.6	0.1	3.5	0.0	0.1	0.3	4.7
18	<i>0.3</i>	<i>0.4</i>	1.1	0.8	0.1	0.2	1.5	0.0	0.0	1.4	0.0	9.0
19	<i>0.3</i>	<i>2.8</i>	2.0	0.1	3.9	0.2	8.2	0.0	1.2	0.1	0.0	3.4
20	<i>2.7</i>	<i>0.4</i>	0.3	3.9	3.8	0.4	11.9	0.0	0.2	1.9	0.0	6.2
21	<i>0.5</i>	<i>0.4</i>	1.6	10.8	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1	2.2	0.0	0.6
22	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	0.1	4.1	14.5	0.2	0.1	0.0	1.5	0.1	0.0	1.6
23	<i>0.4</i>	<i>0.3</i>	0.9	6.3	0.1	<i>0.4</i>	0.1	0.0	1.1	4.4	0.0	1.8
24	<i>4.3</i>	<i>0.3</i>	5.6	7.2	0.1	<i>0.3</i>	0.1	2.4	0.1	0.1	0.0	10.9
25	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	2.1	3.0	0.1	<i>0.3</i>	0.4	0.1	0.1	3.6	0.0	4.5
26	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	0.4	14.0	8.5	0.1	0.2	1.5	1.0	21.8	0.0	5.5
27	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	3.2	2.9	12.9	3.7	0.0	0.8	5.2	0.3	0.0	21.9
28	<i>0.3</i>	<i>4.5</i>	1.3	0.1	0.1	1.9	0.0	0.1	0.4	0.5	0.0	0.1
29	<i>0.5</i>	<i>0.0</i>	2.8	0.4	0.1	22.5	<i>0.3</i>	0.1	13.3	1.2	0.9	1.1
30	<i>0.3</i>	-	0.3	2.4	0.2	14.1	<i>1.0</i>	0.3	0.9	0.2	0.1	2.4
31	<i>0.3</i>	-	0.1	-	2.5	-	<i>0.2</i>	0.1	-	3.9	-	0.0
TOTAL MENSUAL	19.1	62.0	82.3	162.8	78.3	88.3	41.6	14.2	30.9	77.4	44.9	133.7
TOTAL ANUAL	835.5											

Cuadro 4.10. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P8 para el año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenos o corregidos).

DATOS DIARIOS ESTACIÓN PÁRAMO (P09)
Medición en mm sobre 24 horas a las 00H00

DÍA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.4	0.2	1.0	0.4	0.2	6.0	2.8	0.1	0.2	0.2	1.4	0.2
2	0.2	4.1	0.1	0.3	1.3	5.1	0.3	0.1	1.5	0.5	2.1	0.4
3	0.1	1.0	0.5	0.2	0.2	0.6	0.7	0.2	1.5	1.5	2.5	0.4
4	0.1	0.1	17.6	0.1	2.6	1.9	0.0	0.4	0.2	0.6	1.2	3.3
5	0.2	0.1	0.6	0.9	0.2	1.7	0.6	0.2	0.3	0.4	0.6	4.6
6	0.2	0.1	0.6	8.4	0.9	0.3	7.3	0.4	0.2	1.6	0.8	6.7
7	0.2	0.6	17.5	7.4	0.4	0.4	1.0	0.4	0.1	1.7	1.6	1.4
8	0.2	1.8	0.9	5.2	0.5	0.2	0.1	0.8	0.3	0.1	2.7	1.9
9	1.5	0.3	6.6	15.7	2.0	0.7	0.2	0.2	0.2	1.4	0.2	3.7
10	0.2	9.1	1.0	2.9	0.3	3.0	0.2	0.1	0.2	2.5	0.4	0.5
11	0.3	16.0	0.2	0.7	15.5	7.0	0.2	0.1	0.1	5.1	5.2	0.8
12	0.3	16.0	1.3	4.9	1.1	0.6	0.2	0.4	0.1	6.5	1.7	3.1
13	0.1	0.4	0.2	5.9	2.6	0.4	0.4	0.4	0.2	0.0	7.8	2.9
14	0.1	0.2	0.8	1.1	0.2	1.3	0.2	0.2	0.2	0.0	8.8	13.4
15	1.2	6.6	0.5	0.9	1.3	0.2	0.9	1.0	0.4	0.0	0.2	4.4
16	0.5	4.6	1.4	0.2	0.3	0.2	1.1	3.2	0.2	0.0	0.1	1.4
17	1.1	0.4	1.4	2.5	4.4	0.5	0.3	0.2	0.6	0.0	0.1	11.2
18	0.1	0.7	2.9	0.4	0.1	0.1	0.9	0.5	0.4	1.3	0.1	0.8
19	0.1	2.1	1.0	0.4	12.5	0.4	6.6	0.2	1.1	0.2	0.1	2.2
20	0.1	0.1	0.2	12.0	0.1	1.1	4.8	0.1	0.1	9.4	0.1	1.7
21	0.1	0.1	6.2	4.7	0.1	0.5	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	1.8
22	0.4	0.4	0.2	0.1	12.5	0.2	0.1	0.4	1.7	2.6	0.0	0.2
23	2.3	0.2	0.4	13.6	0.1	0.2	0.0	1.7	0.2	2.0	0.0	3.3
24	1.9	0.3	3.0	9.6	0.1	0.2	0.1	0.5	0.1	0.2	0.0	8.1
25	0.2	0.1	2.1	15.0	3.0	0.2	0.3	1.1	2.0	2.6	0.0	3.2
26	0.4	0.3	0.5	3.9	16.9	0.3	0.9	1.8	0.2	16.5	0.0	14.2
27	0.2	0.2	2.3	2.5	3.9	2.6	0.8	3.3	9.2	7.7	0.0	13.3
28	0.2	4.4	4.3	0.5	0.1	11.3	0.1	0.1	2.5	9.1	0.0	0.2
29	0.6	0.0	0.2	0.4	0.3	19.0	0.1	0.2	5.9	0.4	3.2	0.6
30	0.2	-	0.4	2.1	1.5	18.8	0.7	0.3	3.0	0.4	0.6	6.7
31	0.7	-	0.4	-	3.9	-	0.1	0.2	-	5.0	-	0.3
TOTAL MENSUAL	14.5	70.8	76.2	123.0	89.0	84.9	32.1	18.9	33.3	79.8	41.8	117.0
TOTAL ANUAL	781.5											

Cuadro 4.11. Precipitación diaria registrada por el pluviógrafo P9 para el año 2005 (En "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

Los resultados de esta homogenización de los datos, dan un gráfico de lluvia acumulada donde se puede observar claramente las zonas climáticas pluviométricas de las que se ha hablado, esto se presenta en el Gráfico 4.15 y Gráfico 4.16 a continuación.

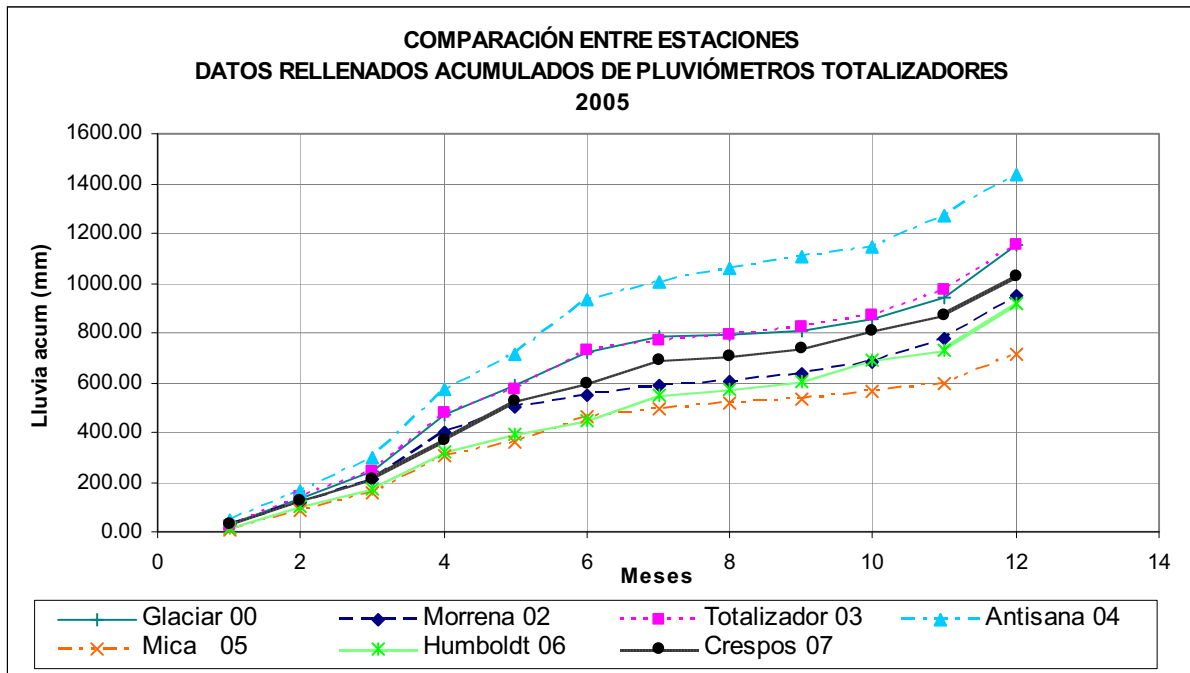


Gráfico 4.15. Precipitaciones mensuales acumuladas registradas en el Glaciar 15 y Glaciar Los Crespos. Datos Homogenizados de Pluviómetros Totalizadores.

En el Gráfico 4.15 se puede observar que las estaciones de la primera zona pluviométrica, Zona “Glaciar”, que es donde existe mayor cantidad de precipitación se colocan en la parte superior, excepto por la estación Morrena 02, que a pesar de pertenecer a esta zona, la cantidad de lluvia captada es menor, debido al efecto del viento, pues la estación se encuentra en una zona muy expuesta. Este efecto se repite en los pluviógrafos (Gráfico 4.16).

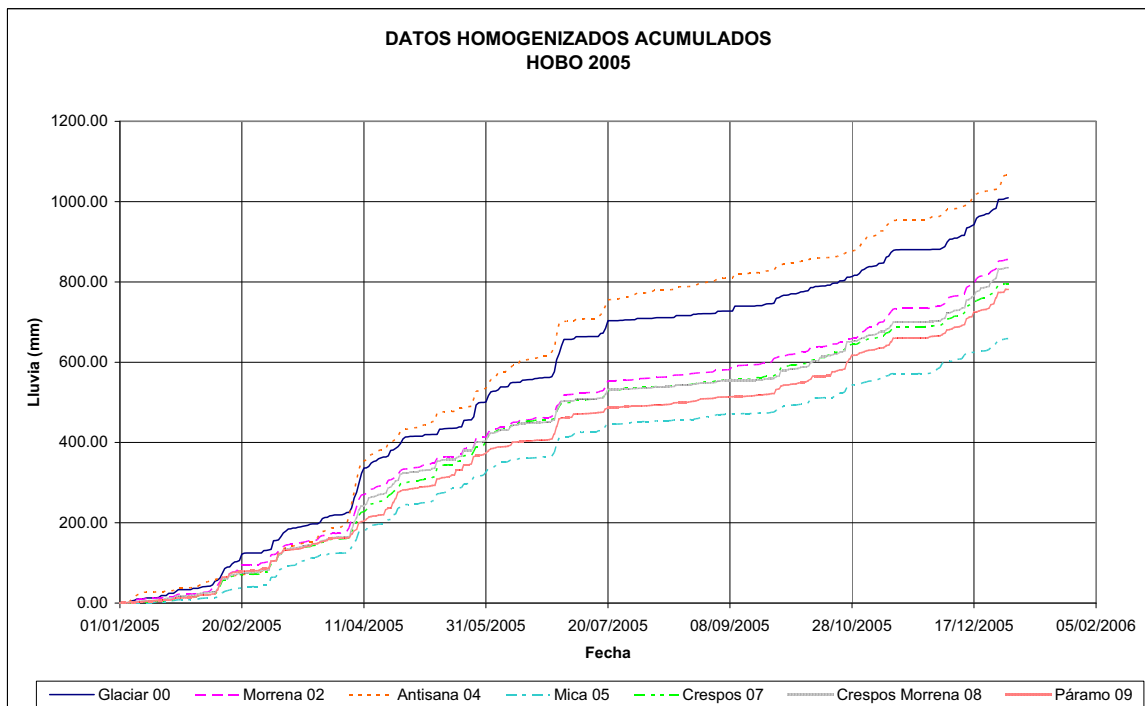


Gráfico 4.16. Datos homogenizados diarios de los pluviógrafos para el año 2005 (Para visualizar los periodos de datos faltantes o sospechosos, ir al Gráfico 4.4).

Después de esta homogenización de la información, los coeficientes de determinación r^2 mejoraron entre las estaciones significativamente, como se puede observar en el Cuadro 4.12.

	P0	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P0		0.76	0.90	0.72	0.49	0.52	0.72
P2	0.76		0.83	0.61	0.38	0.42	0.77
P3	0.90	0.83		0.77	0.46	0.46	0.66
P4	0.72	0.61	0.77		0.40	0.41	0.53
P5	0.49	0.38	0.46	0.40		0.74	0.51
P6	0.52	0.42	0.46	0.41	0.74		0.68
P7	0.72	0.77	0.66	0.53	0.51	0.68	

Cuadro 4.12. Correlación r^2 entre pluviómetros totalizadores. Datos Homogenizados Completos de Totalizadores desde 1994 hasta 2005.

Por la correlación fuerte que existe entre las estaciones de la parte nor – occidental y entre las estaciones de la parte occidental, se planteó dos índices (Actualización de Lhuissier, 2005). El índice **Pglaciar** es el promedio de las precipitaciones de las estaciones P0, P2, P3 y P4 tomadas en el totalizador y el índice **Pparamo** que es el promedio de las precipitaciones de las estaciones P5 y P6. Únicamente se trabaja con estas estaciones porque son las más antiguas del proyecto GREATICE.

4.5 Valores definitivos e Interpretaciones

Con la información homogenizada, se hizo comparaciones entre estaciones, entre índices Pglaciar y Pparamo, se analizó la cantidad de lluvia registrada y se comparó con los años anteriores para conocer lo sucedido a lo largo del 2005.

4.5.1 Distribución Anual

El nevado Antisana forma parte de la zona Oriental (Papallacta), la cual se distingue por tener una repartición pluviométrica bastante uniforme en el transcurso del año con un máximo de precipitaciones entre los meses de marzo y junio.

Hasta el presente informe se cuenta con una serie completa de datos obtenidos en las cercanías del Nevado Antisana con un período de 136 meses de registro continuo. Todos los valores del Cuadro 4.13 y Cuadro 4.14, se los ha calculado con los índices definidos anteriormente, Pglaciar y Pparamo.

La precipitación total para este año fue mayor al del año anterior, globalmente esta cantidad de lluvia se encuentra en el promedio anual, en el Gráfico 4.17 se observa que las lluvias tienen un comportamiento similar al de los años anteriores.

El valor máximo de la lámina de precipitación anual se registra sobre el pluviómetro totalizador P4 a 4450 msnm igual a 1434 mm y el valor mínimo de la lámina de precipitación anual se registra sobre el pluviómetro totalizador P5 a 4010 msnm y es igual a 713 mm.

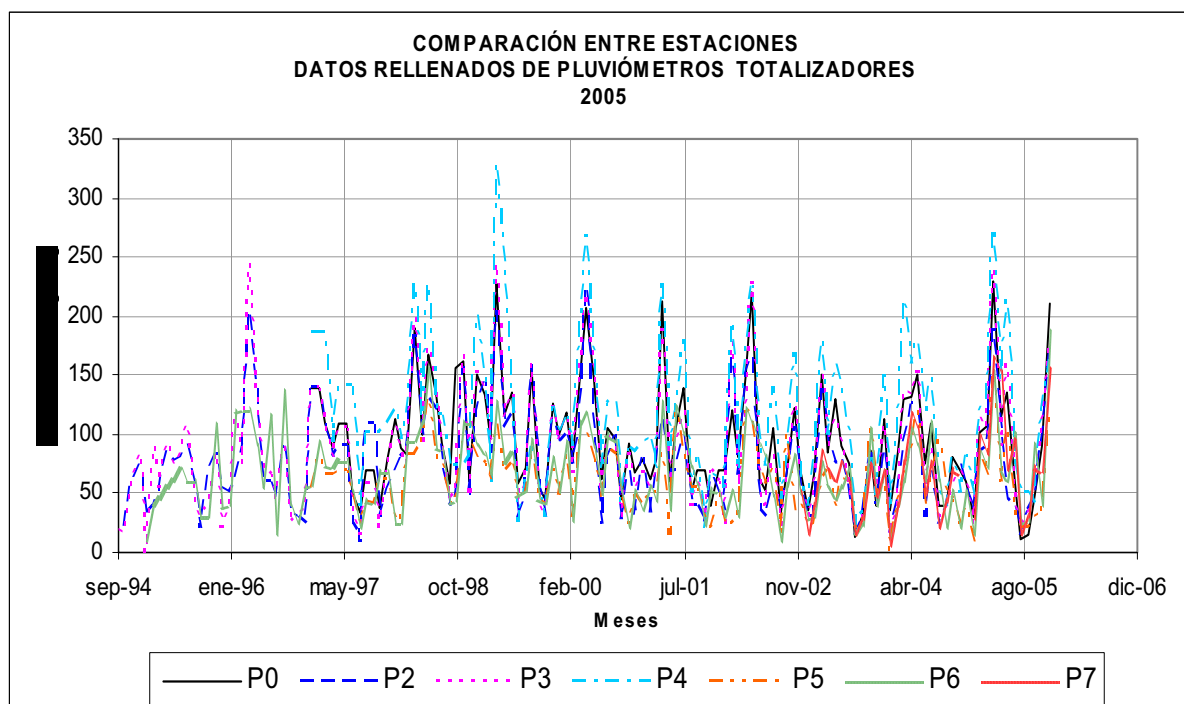


Gráfico 4.17. Precipitaciones mensuales registradas en el Glaciar 15 y Glaciar Los Crespos. Pluviómetros totalizadores. 1994 – 2005

Meses / Años	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Prom
Enero	151	104	157	96	80	46	34	26	35	81
Feb.	151	86	140	113	61	166	56	69	106	105
Marzo	126	91	83	78	72	65	155	144	107	102
Abril	86	200	252	150	188	144	92	138	234	165
Mayo	112	103	145	230	69	211	120	153	113	139
Junio	112	175	128	138	97	58	101	69	139	113
Julio	63	126	39	52	135	49	68	105	55	77
Ag.	25	92	60	103	45	96	16	37	24	55
Sept.	85	54	141	104	63	34	31	39	33	65
Oct.	85	81	50	36	36	67	83	71	45	61
Nov.	47	140	34	84	61	132	42	58	104	78
Dic.	79	59	122	59	60	61	116	59	180	88
Σ	1120	1311	1350	1243	966	1129	914	966	1172	1130

Cuadro 4.13. Precipitaciones mensuales registradas del Índice Pglaciar años 1995-2005.

Meses / Años	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Prom
Enero	55	27	86	49	38	28	24	6	13	36
Feb.	88	27	79	88	53	38	28	41	83	58
Marzo	70	89	63	29	47	30	68	63	68	58
Abril	69	89	118	103	106	120	63	94	151	101
Mayo	74	103	72	109	25	110	42	105	63	78
Junio	73	143	79	84	121	80	58	51	81	86
Julio	49	83	47	49	90	70	65	87	65	67
Ag.	22	82	52	94	63	59	18	78	23	55
Sept.	43	42	88	89	56	12	23	35	23	46
Oct.	42	43	45	49	27	78	105	48	60	55
Nov.	64	102	42	22	36	58	42	23	36	47
Dic.	65	102	75	51	50	45	65	45	151	72
Σ	714	931	845	815	710	726	599	673	814	759

Cuadro 4.14. Precipitaciones mensuales registradas del Índice Pparamo años 1995-2005.

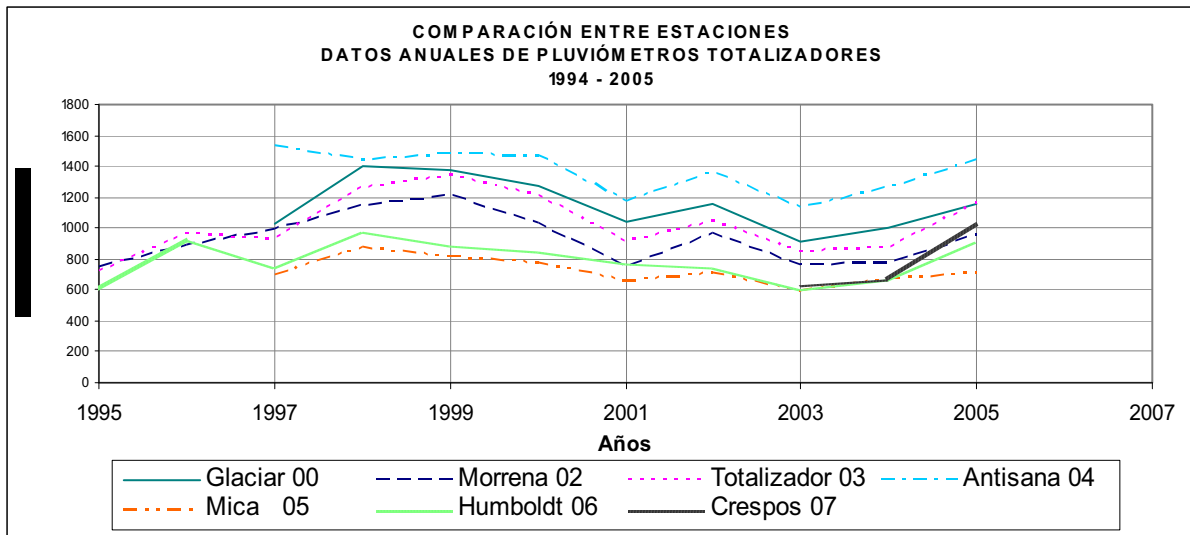


Gráfico 4.18. Precipitaciones anuales registradas en el Glaciar 15 y Glaciar Los Crespos. Pluviómetros totalizadores. 1994 – 2005. (Actualización de Lhuissier, 2005)

Al analizar la información del Cuadro 4.13, Cuadro 4.14 y los Gráfico 4.18 y Gráfico 4.19. Se puede ver claramente que durante los años 1997, 1998 y 1999 las precipitaciones en las cercanías del Glaciar 15 presentan un período más lluvioso. Desde el año 2001 hasta el 2004, se ha presentado un descenso prolongado de la lluvia, han sido períodos menos lluviosos. En el 2005 las precipitaciones vuelven a subir y son próximas al promedio del periodo 1995-2005.

Al trabajar con los índices, se aprecia que a través de los años, continúa existiendo un comportamiento similar entre las estaciones que se encuentran cerca del Glaciar 15 (P0, P2, P3, P4) y las estaciones que se encuentran en el Páramo (P5, P6) como se puede observar en el Gráfico 4.19, y en los Cuadro 4.13 y Cuadro 4.14, donde se marca una clara diferencia entre estas dos zonas.

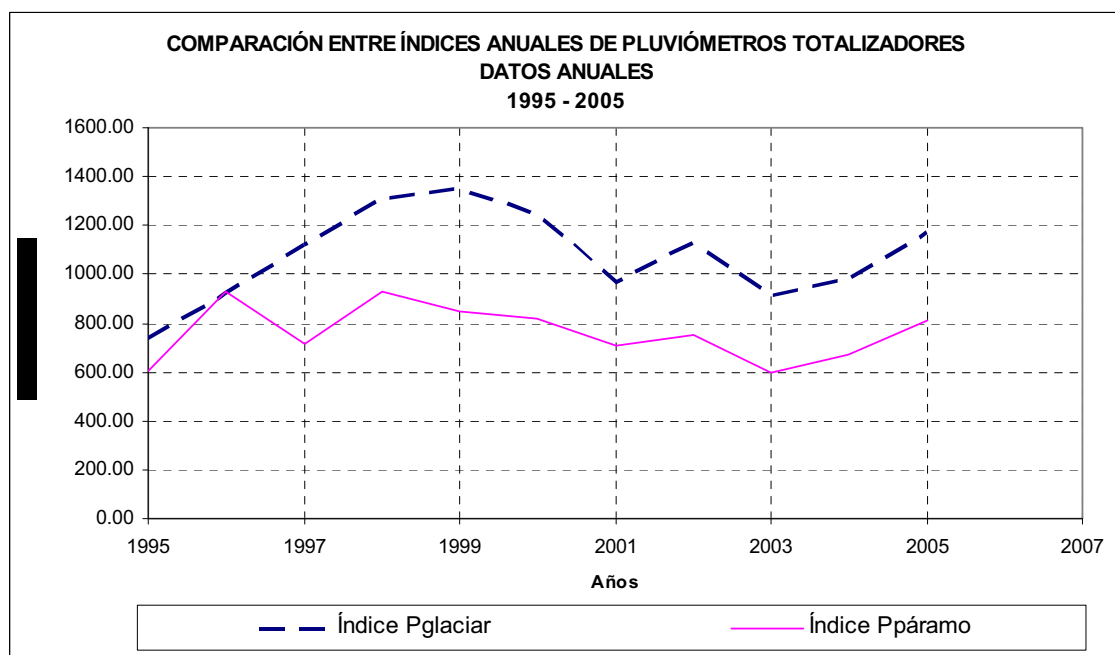


Gráfico 4.19. Índices de pluviometría anuales "Pglaciar" y "Pparamo". Pluviómetros totalizadores. Período 1995 – 2005. (Actualización de Lhuissier, 2005)

En los últimos años, en la zona “Glaciar” se puede observar que la mayor parte del año las precipitaciones van a tener un comportamiento semejante, es decir que existe un aumento o disminución pseudo proporcional de un mes a otro, las correlaciones (r^2), de la serie completa de datos, desde 1994 hasta el 2005, se muestran en el Cuadro 4.12. En este año se puede observar que la estación Crespos (P7) tiene un comportamiento intermedio, a pesar de haber sido corregida y rellenada con las estaciones del páramo, ubicadas al occidente, su correlación es significativa con las estaciones que se encuentran en la parte nor - occidental del Antisana.

4.5.2 Distribución Mensual y Estacional:

Para el año 2005, según los datos obtenidos en la red de pluviógrafos, para los meses donde se registra la mayor cantidad de precipitación coincide para los diferentes pluviógrafos siendo el periodo entre marzo y junio (abril sobretodo) donde la precipitación varía entre 74 y 196 mm en cambio la menor precipitación se encuentra en los meses de enero y agosto con valores de 22 mm y 17 mm respectivamente, como se observa en el Cuadro 4.4.

La distribución de la lluvia que los resultados arrojan, se puede observar en los Gráfico 4.20 y Gráfico 4.21.

Se puede apreciar que la tendencia de la distribución es muy similar entre los pluviómetros totalizadores y los pluviógrafos.

La repartición mensual de la precipitación es similar a la que se observa normalmente. Para los pluviómetros totalizadores en el Gráfico 4.20, Gráfico 4.22 y el Cuadro 4.4 se puede observar que los meses con menor precipitación son: enero, agosto y septiembre (27, 22 y 30 mm promedio mensual entre P0, P2, P3, P4, P5, P6, P7). Los meses con mayor precipitación promedio mensual son abril, mayo, junio y diciembre (200, 104, 112 y 168 mm). La precipitación anual es de 1050 mm entre los pluviómetros totalizadores P0, P2, P3, P4, P5, P6, P7, comparado con las precipitaciones anuales de los índices calculados: Pglaciar es de 1172 mm (P0, P2, P3, P4,) y del Pparamo es de 886 mm (P5, P6, P7).

Con el Gráfico 4.23 se puede decir que existe una secuencia de estaciones secas y húmedas, donde el período más lluvioso se produce entre marzo y mayo, mientras que de manera contraria se produce un descenso de precipitación en agosto y en algunos años, es decir que no siempre, se presenta lo que se conoce como “**veranillo**” en el período de noviembre a febrero, tiempo caracterizado por ser más caliente, presentar buen tiempo y sin viento, lo que favorece la fusión.

También se puede ver que se tiene una buena probabilidad de que el mes de agosto sea el centro de un grupo de meses con precipitaciones bajas por debajo del promedio mensual, pero es un período más frío, con más viento, lo que favorece la sublimación y provoca solamente pequeñas crecidas glaciares.

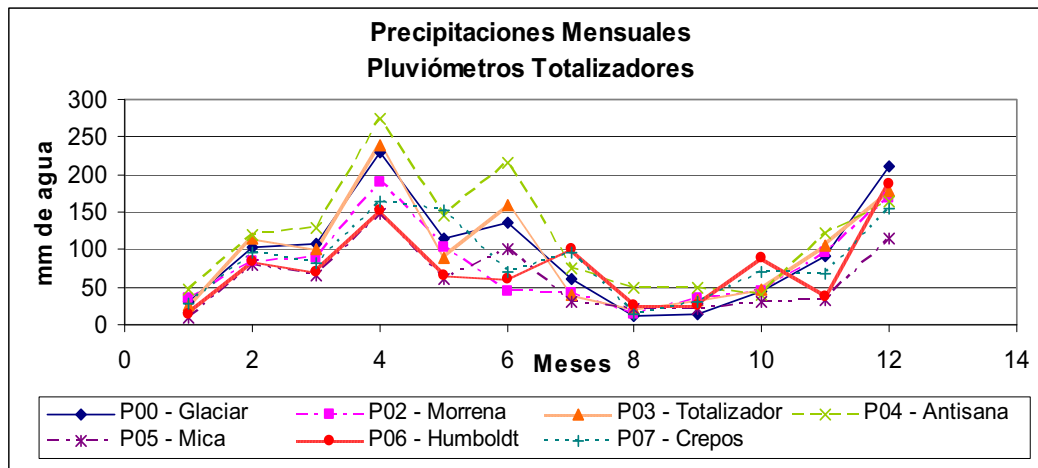


Gráfico 4.20. Precipitaciones mensuales registradas en el Glaciar 15 y en el Glaciar Los Crespos, año 2005.

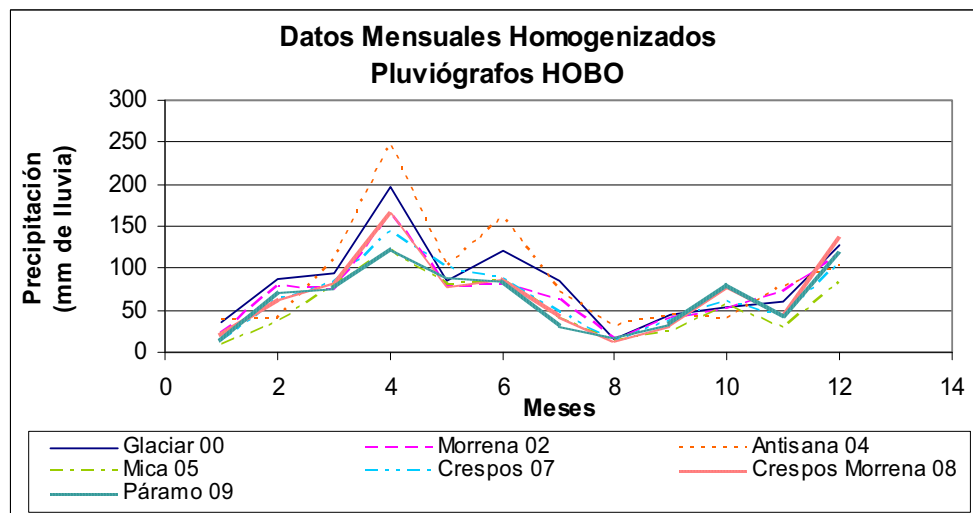


Gráfico 4.21. Distribución anual de la lluvia. Datos homogenizados de los pluviógrafos. Año 2005.

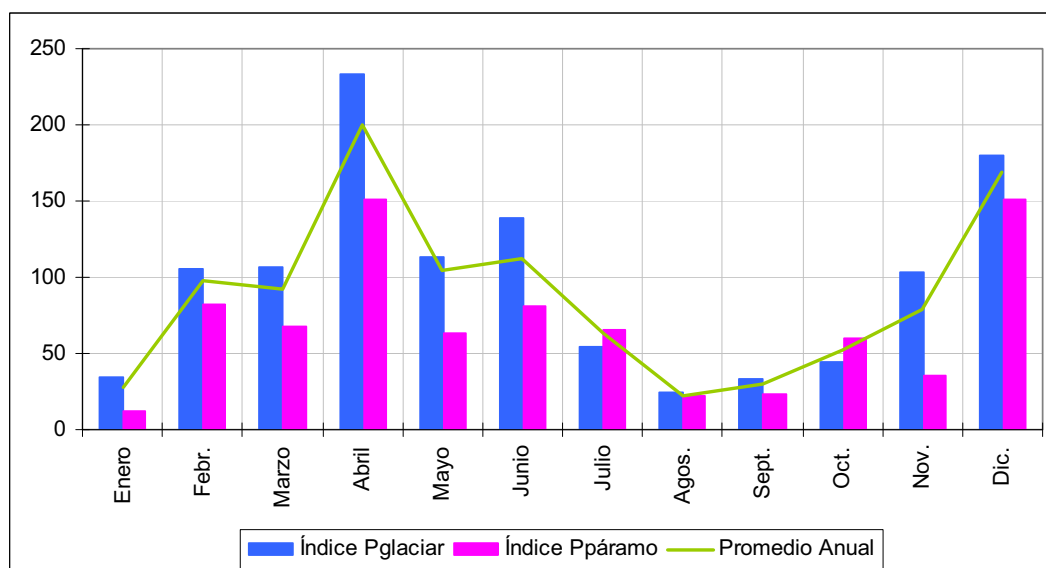


Gráfico 4.22. Precipitaciones mensuales registradas de los Índices Pglaciar y Ppáramo comparadas con el promedio mensual de todas estaciones, en el año 2005.

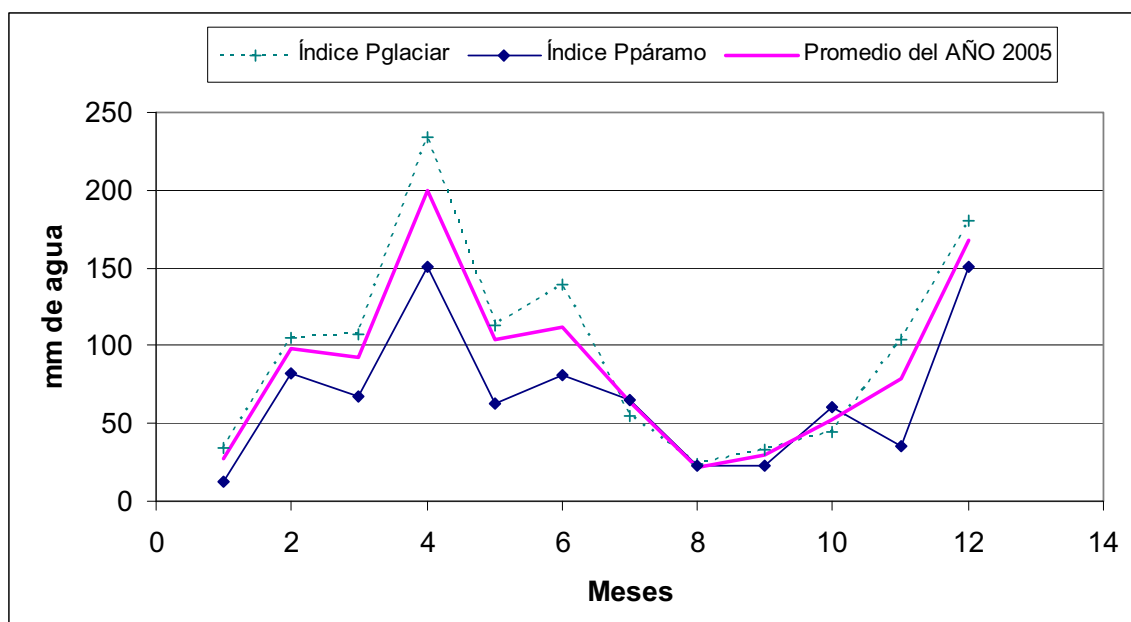


Gráfico 4.23. Régimen estacional de las precipitaciones de los Índices Pluviométricos en las zonas "Pglaciar" y "Pparamo" a lo largo del año 2005. (Actualización de Lhuissier, 2005)

En el Gráfico 4.24, se nota que a nivel mensual, en el año 2005, la precipitación de la zona del glaciar (calculada con el índice Pglaciar), en los meses de enero, mayo, julio, agosto, septiembre y octubre se encuentran bajo el promedio que se ha presentado con mayor frecuencia durante el período 1997 – 2005, en un porcentaje que varía entre 19% y el 57% de disminución de lluvia, al contrario, en el mes de abril, junio, noviembre y diciembre, la lluvia del año 2005 ha sido un poco mayor al promedio del período mencionado, en un 19% y 51%. En los meses de febrero y marzo los valores se mantienen dentro del promedio calculado en el período 1997 – 2005.

Con el Gráfico 4.25, se aprecia que en el año 2005, la precipitación de la zona del páramo (calculada con el índice Pparamo), en los meses de enero, mayo, agosto, septiembre y noviembre se encuentran bajo el promedio del período 1997 – 2005, en un porcentaje que varía entre 20% y el 65% de disminución de lluvia, al contrario, en el mes de febrero, abril y diciembre, la lluvia del año 2005 ha sido un poco mayor al promedio del período mencionado, en un 30% y 52%, mientras que los meses marzo, junio, julio y octubre los valores se mantienen dentro del promedio calculado en el período 1997 – 2005.

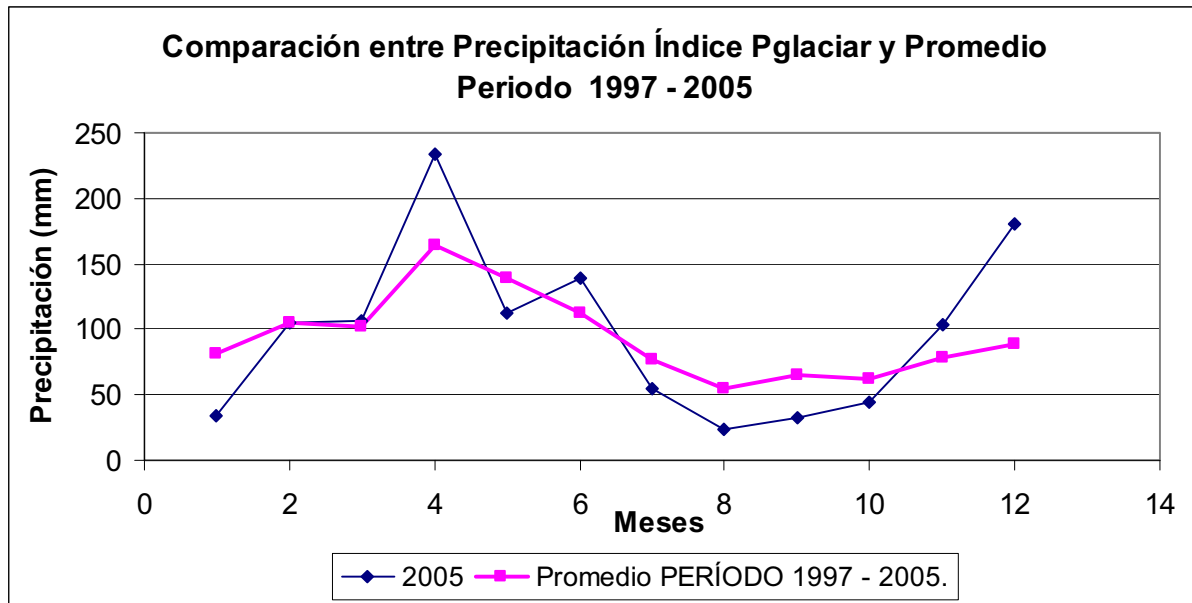


Gráfico 4.24. Comparación entre el Índice Pglaciar y el Promedio Mensual del periodo 1997 – 2005.

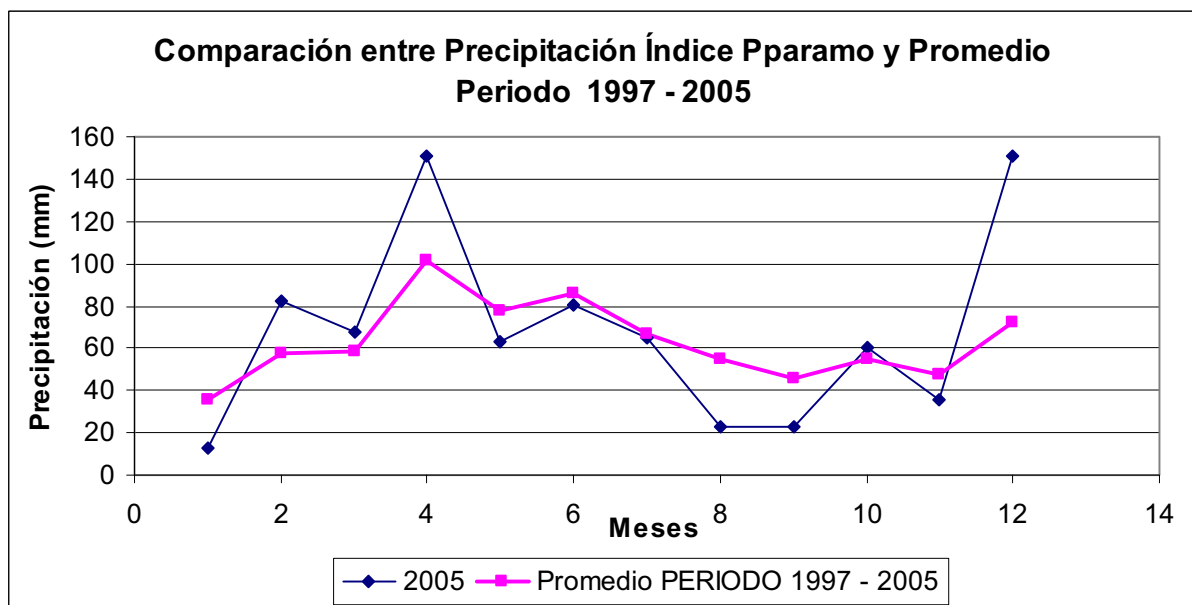


Gráfico 4.25. Comparación entre el Índice Pparamo y el Promedio Mensual del periodo 1997 – 2005.

4.5.3 Distribución diaria:

Para hacer este análisis se ha trabajado con los pluviógrafos. El Cuadro 4.15. Precipitaciones Máximas en 24 horas durante el año 2005 en las estaciones pluviográficas., se ha elaborado a partir de los datos diarios de todas las estaciones de las que dispone el programa GREATICE que trabajan con un pluviógrafo, se ha ordenado los datos de manera descendente de acuerdo a los datos de precipitación, para de esta manera observar el mes, y la estación en la que se presentan las mayores precipitaciones.

En el Cuadro 4.15. Precipitaciones Máximas en 24 horas durante el año 2005 en las estaciones pluviográficas. se constata que en el año 2005 las estaciones donde se observan

precipitaciones máximas más frecuentes son la P0 Glaciar y la P4 Antisana en el mes de abril.

Otro parámetro que se puede ver en el Cuadro 4.15. Precipitaciones Máximas en 24 horas durante el año 2005 en las estaciones pluviográficas. es que la lluvia en 24 horas de periodo de retorno empírica de un año (el total de lluvia que ocurra en promedio una vez al año) es de 27.6 mm (promedio entre la precipitación número 7 de 28.08 mm y la número 8 de 27.06 mm). La lluvia con más probabilidad de que ocurra por lo menos dos veces en el año es de 22.20 mm (promedio entre la precipitación número 14 de 22.41 mm y la número 15 de 21.94 mm). La lluvia que puede ocurrir probablemente 4 veces al año tiene un valor de 19.80 mm en la estación P0 Glaciar, etc.

En los Gráfico 4.26, Gráfico 4.27, Gráfico 4.28, Gráfico 4.29, Gráfico 4.30, Gráfico 4.31, Gráfico 4.32 se puede observar también, que los pluviógrafos P0 Glaciar y P4 Antisana presenta las precipitaciones más fuertes en comparación con los otros pluviógrafos y que las menores precipitaciones, entre las máximas, se da en la estación P2 Morrena, sin embargo a nivel general, la estación con menos lluvia es la P5 Mica.

Orden	Fecha	Dato	Estación
1	29/06/2005	34.60	P4
2	06/04/2005	30.92	P4
3	08/04/2005	30.19	P4
4	29/06/2005	30.10	P0
5	27/05/2005	29.20	P0
6	07/04/2005	28.50	P4
7	30/06/2005	28.08	P4
8	09/04/2005	27.06	P4
9	07/04/2005	24.52	P0
10	10/04/2005	24.21	P0
11	09/04/2005	23.17	P0
12	27/05/2005	22.90	P2
13	27/12/2005	22.50	P0
14	29/06/2005	22.47	P8
15	27/12/2005	21.94	P8
16	26/10/2005	21.83	P8
17	11/05/2005	21.81	P7
18	04/03/2005	21.61	P7
19	29/06/2005	21.50	P5
20	04/03/2005	21.27	P8
21	05/03/2005	21.26	P0
22	11/05/2005	21.08	P4
23	09/04/2005	20.66	P8
24	04/03/2005	20.57	P4
25	27/12/2005	20.56	P2
26	06/04/2005	20.25	P2
27	09/04/2005	20.00	P2
28	01/07/2005	19.80	P0

Cuadro 4.15. Precipitaciones Máximas en 24 horas durante el año 2005 en las estaciones pluviográficas.

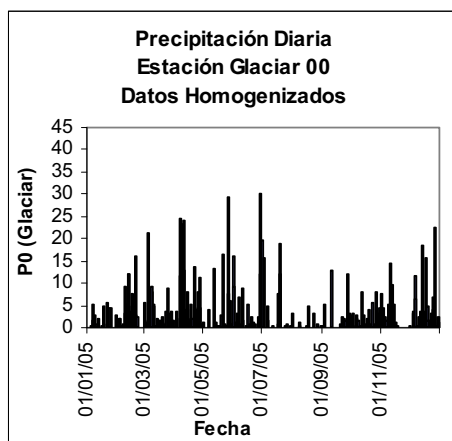


Gráfico 4.26. Precipitación diaria en P0 Estación "Glaciar". Año 2005

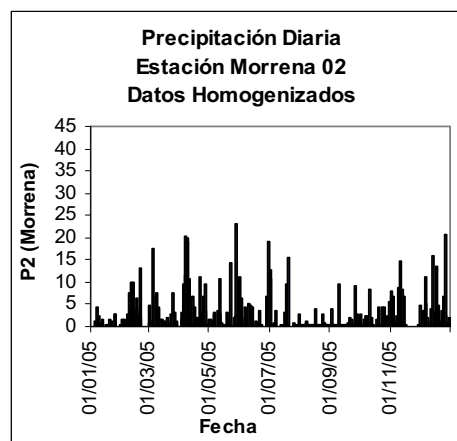


Gráfico 4.27. Precipitación diaria en P2 Estación "Morrena". Año 2005.

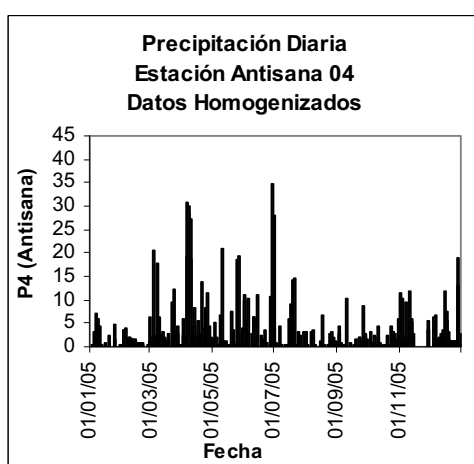


Gráfico 4.28. Precipitación diaria en P4 Estación "Antisana". Año 2005

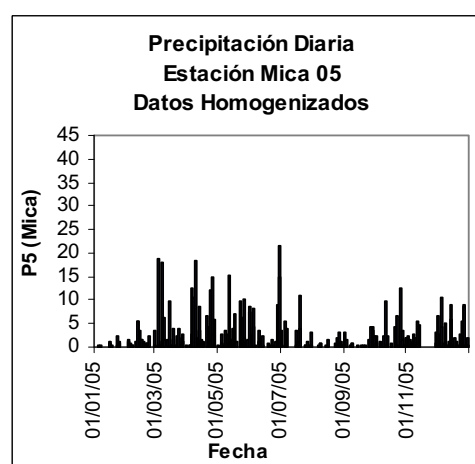


Gráfico 4.29. Precipitación diaria en P5 Estación "Mica". Año 2005

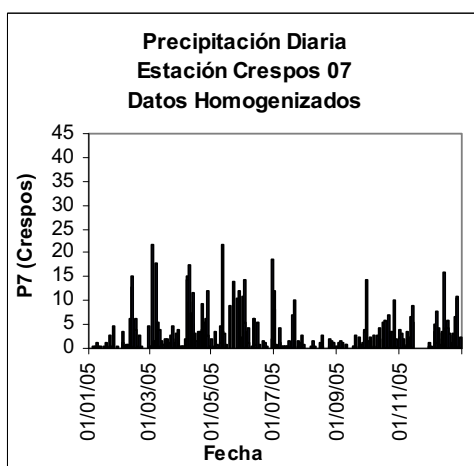


Gráfico 4.30. Precipitación diaria en P7 Estación "Crespos". Año 2005

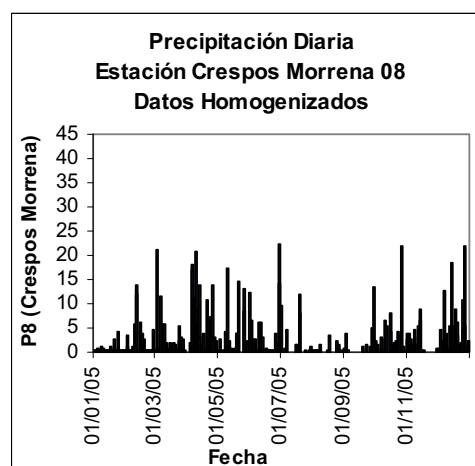


Gráfico 4.31. Precipitación diaria en P8 Estación "Crespos Morrena". Año 2005

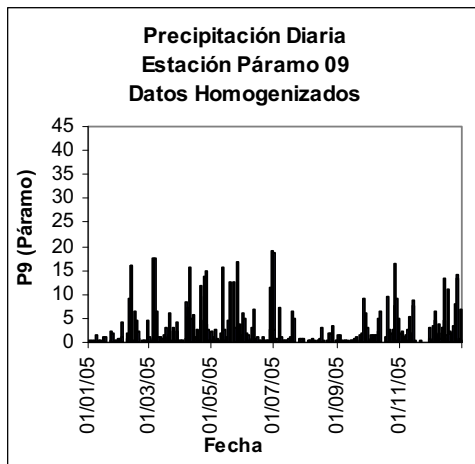


Gráfico 4.32. Precipitación diaria en P9
Estación "Páramo". Año 2005

CAPÍTULO 5

5. METEOROLOGÍA LOCAL EN EL GLACIAR 15 α

DEL ANTISANA

Autor Principal: Ing. Luis Maisincho

ÍNDICE DEL CAPÍTULO:

5.1.	Periodos de funcionamiento de la Sama	78
5.2.	La estación ORE y su representatividad con la climatología local.	83
5.3.	Primera comparación de datos ORE y SamaE	89

Durante el año 2005 la meteorología local fue medida por dos estaciones meteorológicas automáticas:

- Estación SamaE, instalada sobre el glaciar 15 α a 4900 m de altitud.
- Estación ORE instalada sobre la morrena lateral del glaciar 15 α a 4800 m.

Las dos estaciones miden los principales parámetros meteorológicos que intervienen en el cálculo del balance de energía como: Temperaturas, Humedad Relativa, Radiaciones de onda corta y larga, Precipitación, Dirección y velocidad del viento.

La estación SamaE gracias a su estructura liviana puede ser desplazada y realizar mediciones en cualquier punto del glaciar., mientras que la estación ORE es permanente y fija la cual funcionará por un periodo mínimo de 10 años para conocer la evolución del clima en las inmediaciones del glaciar. Las características técnicas de las estaciones así como también del lugar de emplazamiento fueron presentados en le informe 2004.

En este informe presentaremos algunos resultados encontrados en la SamaE seguidamente pasaremos a la ORE y finalmente se indicará la relaciones existentes entre las dos estaciones.

5.1. Periodos de funcionamiento de la Sama

La estación SamaE funciona sobre la lengua α del glaciar 15 del Antisana desde el 20 noviembre 2004.

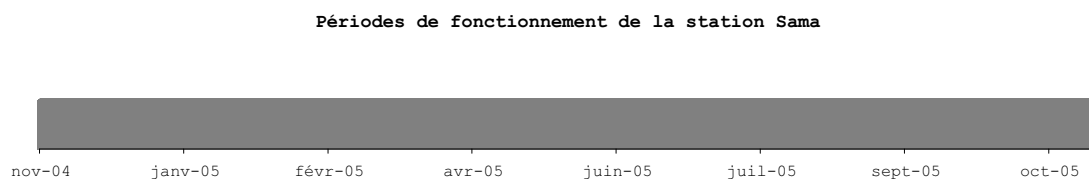


Figura 5.1. Periodo de funcionamiento de la Estación meteorológica SamaE del 20 noviembre 2004 hasta finales del 2005.

Datos.

Del 20 de noviembre al 28 de abril 2005, la Sama registra datos con promedios cada 5 minutos, para todos los parámetros excepto la dirección del viento para el cual registra valores instantáneos cada 5 minutos. A partir del 28 de abril 2005, los datos son promedios de media hora para todos los parámetros excepto la dirección del viento para la cual se registra valores instantáneos cada 30 minutos.

Como podemos ver en la Figura 5.1, el juego de datos de la estación Sama no presenta vacíos desde su instalación el 20 noviembre 2004 hasta la presente fecha. Hay que resaltar que existen pocas series de datos meteorológicas tan largas (sin vacíos) en los Andes. Esto es de gran interés ya que permite calcular entre otras cosas el balance de energía del glaciar durante el periodo de medidas, estimar la fusión y de la puesta en relación con, por ejemplo, los caudales medidos en las estaciones hidrológicas (equipadas con limnigrafos) situados en la parte baja de la cuenca.

Programas.

Del 20 de noviembre 2004 al 18 de mayo 2005, el programa utilizado por la central de adquisición CR10X de la Sama es: *Samae03.csi* (dentro del computador "Monstro").
E: Trabajo\Météorologie\Matos\Sama_Equateur\Programmes\Anciens\2005).

A partir del 18 de mayo del 2005, el programa utilizado es: *Samae03e.csi* (dentro del computador "Monstro"); E: Trabajo\Météorologie\Matos\Sama_Equateur\Programmes).

Los ocho parámetros registrados por la estación SamaE son:

- i. Dirección del viento, denotada DV, en grados ($^{\circ}$)
- ii. Velocidad del viento, denotada u, en metros por segundo (m.s^{-1})
- iii. Radiación incidente de onda larga denotada, SWinc, en watts por metro cuadrado (W.m^{-2})
- iv. Radiación reflejada de onda corta denotada, SWref, en watts por metro cuadrado (W.m^{-2})
- v. Albedo de la superficie del glaciar denotado α
- vi. Humedad relativa denotada RH, en porcentaje (%)
- vii. Temperatura del aire ventilada denotada T, en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- viii. Voltaje de la batería denotada Vbat, en Voltios (V)

En teoría, los datos almacenados por la central de la estación SamaE son promedios de media hora calculados a partir de las medidas realizadas cada 10 segundos, con excepción de la dirección del viento que es una muestra tomada al final de cada única cada 30 minutos.

5.1.1. Evolución del clima sobre el glaciar con según datos de la SamaE 2005.

Primeramente vamos a mirar los datos a escala diaria curva gris clara en el la Figura 5.2: Los promedios diarios son calculados con una macro a partir de los valores de media hora (la estación registra igualmente los promedios diarios pero en esta parte utilizamos los promedios calculados con la macro). En la figura precedente, a los valores diarios son superpuestos medias móviles centras cada 15 días (curva negra mas negra).

Para la velocidad del viento u (en m.s^{-1}). La media móvil permite marcar o diferenciar dos periodos (aquí volvemos a tomar los dos periodos meteorológicos definidos por V. Favier en

su tesis pp. 154): Un periodo P_2 con velocidades de viento débiles (hasta 6 m.s^{-1}) y un periodo P_1 con vientos más fuertes (entre 6 et 10 m.s^{-1}). Las líneas punteadas rojas en el gráfico indican los límites teóricos de estos dos periodos; en efecto es difícil dar una fecha exacta para los límites, pero podemos colocar este límite visualmente. Notamos que sobre el gráfico aparece un periodo P_1 que va del 30 abril al 29 septiembre 2005 y dos periodos llamados P_2 y P_2' . Del 1^{er} enero al 30 abril 2005, se trata del fin del periodo P_2 de los años 2004 – 2005, y del 29 de septiembre al 11 de noviembre es lo que podemos llamar inicio del periodo P_2 de los años 2005 – 2006 escrito como P_2' (Tesis, V. Favier pp. 154).

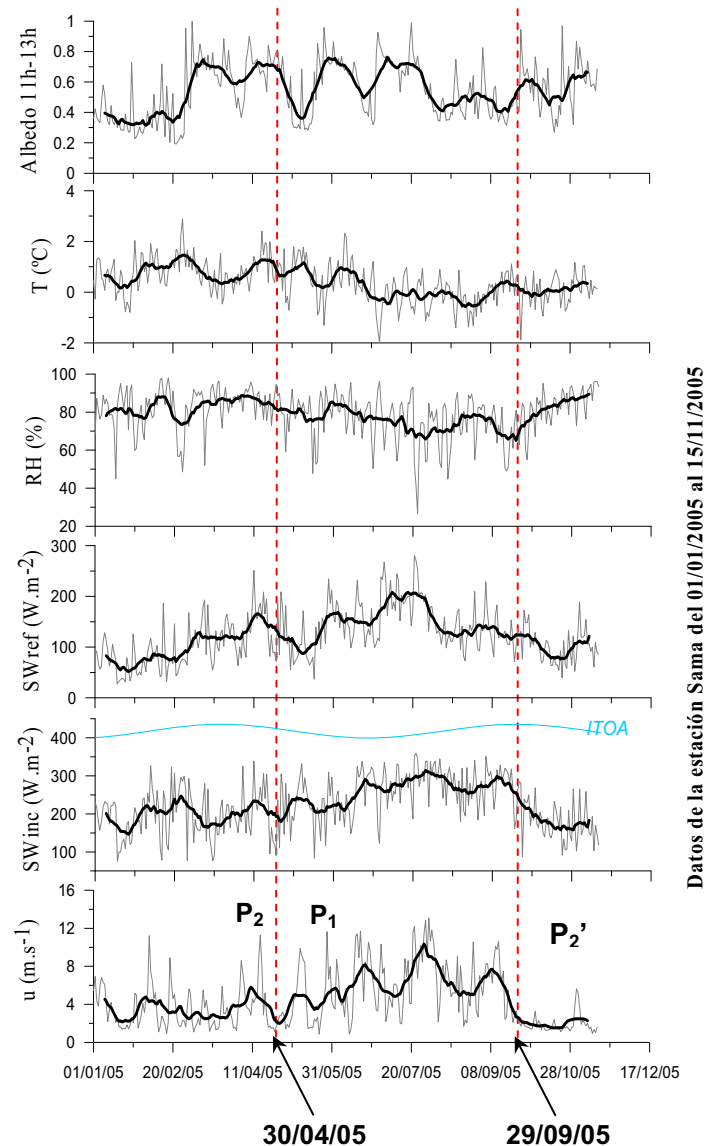


Figura 5.2. Promedios diarios y medias móviles para 15 días, de los diferentes parámetros medidos por la estación meteorológica automática SamaE en 2005 (las radiaciones y albedo corresponden al periodo diurno)

Los P_1 , P_2 y P_2' corresponden a periodos con y sin viento definidos por Favier en sus tesis de doctorado (2004).

Mirando ahora los otros parámetros. La temperatura del aire T (en $^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa RH (en $\%$) parece evolucionar en el mismo esquema.

	u (m/s)	RH (%)	T (°C)
P2	3.5	82.8	0.8
P1	5.9	75.1	0.1

Cuadro 5.1. Promedios de la velocidad del viento (u), humedad relativa (RH) y la temperatura del aire (T) para cada uno de los periodos P1 y P2.

En efecto, durante el periodo donde los promedios diarios de velocidades de viento son fuertes, las temperaturas del aire son mas bajas. Esto parece lógico si sabemos que, un viento más fuerte extrae mayor cantidad de energía de la superficie, así pues la temperatura de esta superficie disminuye. Luego, los vientos fuertes en el Antisana generalmente vienen del este y corresponden a los vientos geográficos (gran escala) provenientes de la amazonía, estos vientos suben por la cuenca este del Antisana y al bajar por la vertiente oeste pierden humedad produciendo vientos mas secos, que son medidos en la vertiente oeste donde esta la zona de nuestro estudio. Así los valores de la humedad relativa son un poco más bajos durante el segundo periodo (ver Figura 5.3).

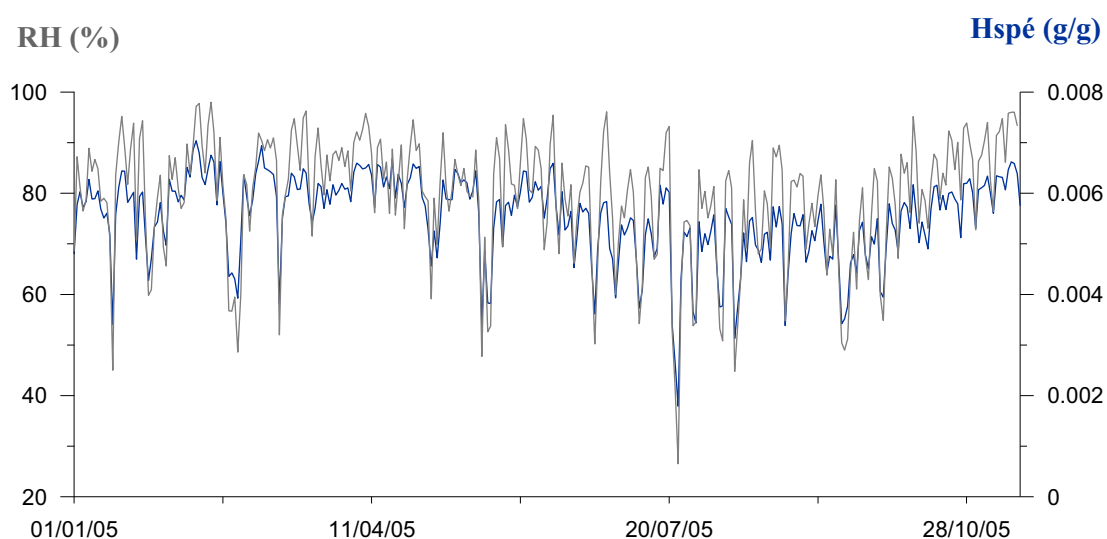


Figura 5.3. Comparación de la humedad relativa (RH en gris) y la humedad específica ($Hspé$ en azul) en promedios diarios del 01/01/2005 al 15/11/2005.

Para las radiaciones de onda larga incidentes ($SWinc$), notamos que los valores siempre inferiores pero tienden a aproximarse al valor teórico ITOA (radiación teórica en el límite de la atmósfera) durante el periodo P_1 . Esto significa que la cobertura de nubes es menor durante este periodo ($SWinc_{SamaE} / ITOA > 0.5$). En efecto, lógicamente podemos pensar que cuando sopla un viento fuerte durante varios días ayuda a despejar las nubes permitiendo el ingreso de mayor energía. Donde este aumento de los valores de $SWinc$. Las radiaciones reflejadas siguen aproximadamente la curva del albedo durante el segundo periodo. En efecto cuando, cuando analizamos el albedo promedio diario (promedios de los valores comprendidos entre 11h y 13h) durante el año podemos señalar cuando la superficie del glaciar esta cubierta de nieve, al menos donde está ubicada la estación Sama (albedo promedio 11h-13h > 0.55).

También podemos intentar ver con mayor precisión si existe una relación entre la velocidad del viento y la temperatura, humedad relativa y la humedad específica. Para esto trazamos los gráficos $u = f(T)$, $u = f(RH)$, $u = f(Hspé)$ con valores diarios

En el gráfico $u = f(T)$, podemos ver la siguiente relación: Para los vientos fuertes, temperaturas del aire se mantienen generalmente próximas o inferiores a cero. Para los vientos débiles, tenemos temperaturas variables más bien positivas. En los gráficos $u =$

$f(RH)$ et $u = f(Hspé)$ no aparece una relación particular. Esto confirma que globalmente la capa de aire cercana a la superficie del glaciar es húmeda (los valores varían entre 70% y 100% globalmente). Sin embargo, para las velocidades de viento elevadas, encontramos puntos que van de 25% a 40% de humedad relativa, lo esta de acuerdo con lo que se expuso anteriormente.

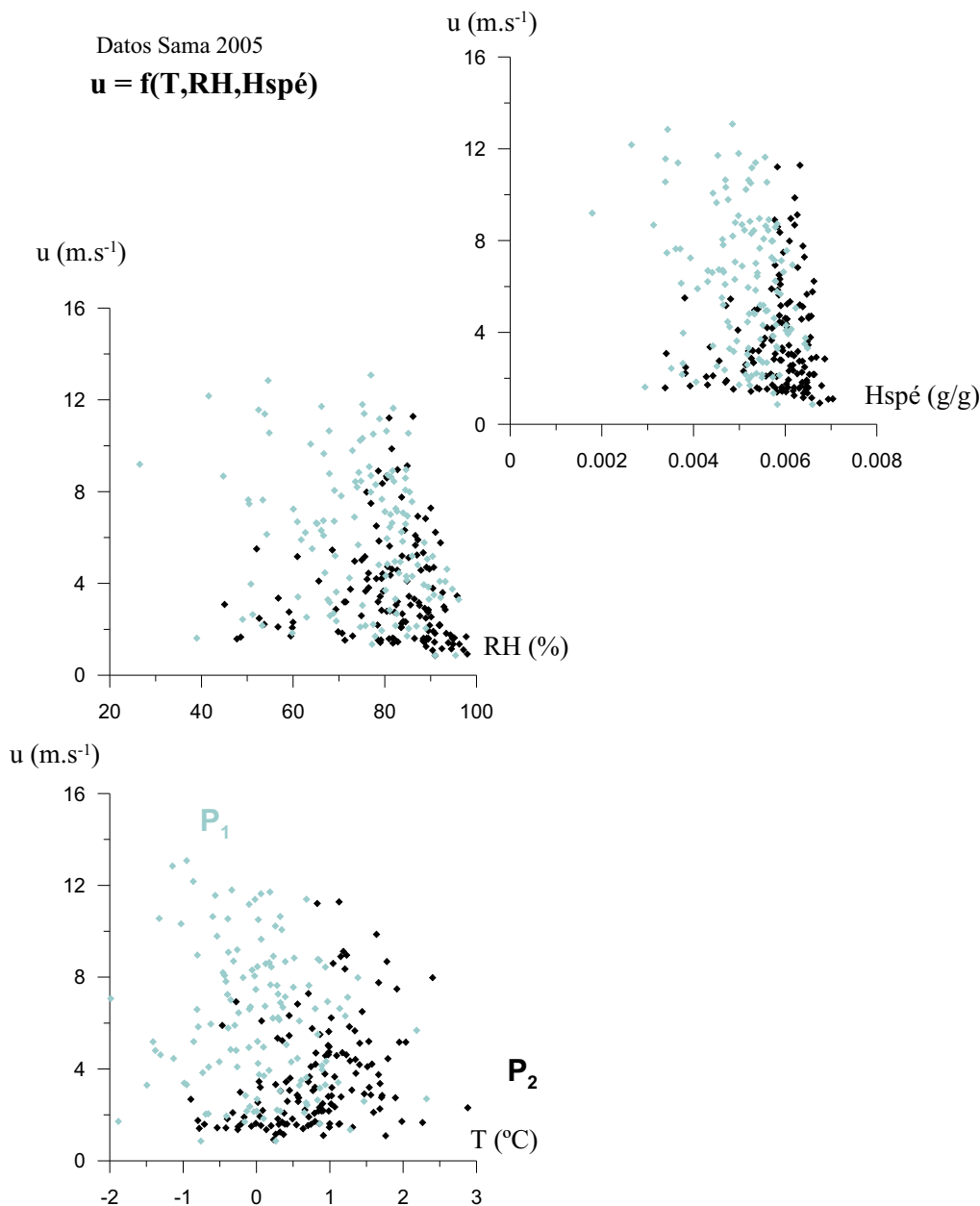


Figura 5.4 .Gráficos $u = f(T)$, $u = f(RH)$, $u = f(Hspé)$. En celeste (o gris claro) los valores que corresponden al periodo P1 y en negro los valores correspondientes al periodo P2 con valores diarios.

Ahora puede ser interesante mirar los datos de manera más precisa, utilizando los promedios de media hora. En efecto, si nos concentramos de nuevo en el viento, en su velocidad y dirección notamos diferentes regimenes en el transcurso de un mismo día.

Primeramente definimos los diferentes tipos de vientos y sus características:

- Los vientos geográficos: Estos corresponden a vientos de gran escala. En el Antisana esto vientos vienen globalmente del este generalmente bastante secos. Después de observar los datos en conjunto, su dirección es de $81^\circ \pm 40^\circ$ (o sea $41^\circ < DV < 121^\circ$) y su velocidad es generalmente superior a 5 m.s^{-1} .
- Los vientos locales: Son creados por el glaciar. El glaciar interacciona permanentemente con la atmósfera. El viento, la temperatura y la humedad de la capa de aire en contacto con el glaciar están íntimamente ligados. Existen dos tipos de interacciones entre la atmósfera y los glaciares (Sicart, 2002): las interacciones activas y pasivas. Definimos estos vientos, para el glaciar estudiado con unas velocidades de $1.5 \text{ m.s}^{-1} < u < 3 \text{ m.s}^{-1}$.
 - *Vientos Catabáticos:* las interacciones activas son en efecto los movimientos atmosféricos creados por el cuerpo del glaciar: Las masas de aire en contacto con el glaciar se enfrían y bajan por gravedad a lo largo de las pendientes del glaciar. Esto es lo que llamamos vientos catabáticos. Ellos son generalmente mas notorios en la noche que en el día (bien marcados al inicio de la mañana) Estos vientos descendentes están orientados exactamente en el eje del glaciar, en nuestro caso: $135^\circ \pm 20^\circ$ (o sea $115^\circ < DV < 155^\circ$).
 - *Corrientes de advección:* las interacciones pasivas son caracterizadas por masas de aire provenientes de los bordes de un glaciar, que están generalmente mas calientes que la superficie de este. Este es un modo pasivo de interacción ya que no es el glaciar quien produce los flujos pero el relieve circundante mismo si el glaciar modifica un poco el campo de viento existente. Estas corrientes son llamadas corrientes de advección. Estos son vientos ascendentes en el eje del glaciar o sea $315^\circ \pm 40^\circ$. En general cuando tenemos un régimen advectivo durante el día, la noche observamos un régimen catabático la jornada presenta vientos débiles.

Se trató de marcar durante ciertas jornadas, la sucesión de de estos diferentes regímenes de viento, pero sin éxito. El principal es de separar los vientos geográficos de los vientos catabáticos que tienen la misma dirección. Seguro que podemos utilizar la velocidad para distinguirlos pero eso es bastante complicado.

5.2. La estación ORE y su representatividad con la climatología local.

5.2.1. Periodos de funcionamiento de la ORE

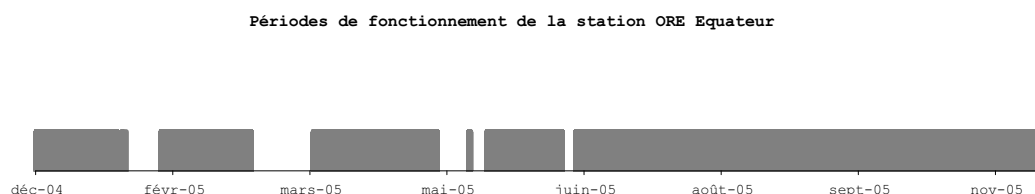


Figura 5.5. Periodos de funcionamiento de la estación meteorológica ORE durante el periodo de estudio del 21 diciembre 2004 hasta el fin 2005.

Problemas en el funcionamiento y vacíos en la gama de datos.

21 diciembre 2004	Inicia el funcionamiento de la estación ORE.
-------------------	--

16 de enero 2005	Primera parada de la central sin una razón conocida
19 de enero	La central es trasladada a Quito para ser reprogramada
31 de enero	Reinstalación de la central
Del 1 ^{ero} al 22 marzo 2005	Se perdieron los datos por un problema en la descarga.
Del 1 ^{ero} mayo al 18 mayo 2005	Problemas con la batería provocando dos paradas sucesivas de la central en consecuencia la batería es cambiada y los paneles solares reorientados.
18 de mayo 2005	Instalación y puesta en marcha del Géonor.
Del 10 de septiembre al 16b de octubre 2005	Hay pequeños vacíos de datos por un nuevo problema de batería el panel solar es reorientado el 21 de octubre del 2005.

Programas

Del 21 de diciembre 2004 al 20 de abril 2005, el programa utilizado por la central de adquisición CR23X de la estación ORE es: Eore01.csi (en la computadora « Monstro »: E: Trabajo\Météorologie\Matos\ORE_Equateur\Programmes\Anciens).

Del 20 de abril al 18 de mayo del 2005, el programa utilizado es: Eore01a.csi (en la computadora « Monstro »: E: Trabajo\Météorologie\Matos\ORE_Equateur\Programmes\Anciens).

Del 18 de mayo al 16 de junio 2005, el programa utilizado es: Eore01b.csi (en la computadora « Monstro »: E: Trabajo\Météorologie\Matos\ORE_Equateur\Programmes\Anciens).

Desde 16 de junio 2005, el programa utilizado es: Eore02.csi (en la computadora « Monstro »: E: Trabajo\Météorologie\Matos\ORE_Equateur\Programmes).

5.2.2. Parámetros medido en la estación ORE.

Los 21 parámetros registrados por la estación ORE son los siguientes:

- i. Radiaciones incidentes de onda corta SWinc, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- ii. Radiaciones reflejadas de onda corta, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- iii. Radiaciones incidentes de onda larga no corregidas LWatm NC, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- iv. Radiaciones reflejadas de onda larga no corregidas LWsurf NC, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- v. Albedo de la superficie del suelo α
- vi. Radiaciones incidentes de onda larga corregidas LWatm, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- vii. Radiaciones reflejadas de onda larga corregidas LWsurf, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- viii. Radiación neta de todas las longitudes de onda Rnet, en watts por metro cuadrado (W/m^2)
- ix. Dirección del viento DV, en grados ($^{\circ}$)
- x. Velocidad del viento u, en metros por segundo ($m.s^{-1}$)

- xi. Flujo del suelo, Flux 184
- xii. Valor medido por la sonda de nieve en metros
- xiii. Precipitaciones registrada por el pluviógrafo a bascula P, en milímetro de agua (mm)
- xiv. Precipitación registrada por el pluviógrafo de peso Géonor, en milímetro de agua acumuladas (mm)
- xv. Humedad relativa RH, en porcentaje (%)
- xvi. Temperatura de aire ventilada T, en grados centígrados (°C)
- xvii. Temperatura del sensor de radiación Tint CNR1, en grados centígrados (°C)
- xviii. Temperatura en la superficie del suelo T 0cm, en grados centígrados (°C)
- xix. Temperatura a 10 cm. bajo la superficie del suelo T -10cm, en grados centígrados (°C)
- xx. Temperatura a 30 cm. bajo la superficie del suelo T -30cm, en grados centígrados (°C)
- xxi. Voltaje de la batería Vbat, en Voltios (V)

Primeramente, definimos y damos las características de algunos de los parámetros medidos por la estación ORE:

SWinc: *Redacciones solares incidentes de onda corta.*

Nulas en la noche y fuertes en el día (hasta $1000 \text{ W/m}^2 - 1200 \text{ W/m}^2$ al medio día). El valor máximo a priori es la constante solar, o sea 1360 W/m^2 , pero en los trópicos en valor instantáneo que podemos tener es 2000 W/m^2 o más.

SWref: *Radiaciones solares reflejadas de onda corta.*

LWatm: *Radiaciones térmicas (atmosféricas) incidentes de onda larga.*

Aproximadamente, $180 < \text{LWatm} < 350 \text{ W/m}^2$ (este valor puede subir un poco)

LWsurf: *Radiaciones térmicas reflejadas (por el suelo) de onda larga*

Aproximadamente, $280 < \text{LWsurf} < 500 \text{ W/m}^2$ (este valor puede subir un poco).

Para una superficie recubierta de nieve, la temperatura puede asumirse a 0°C , entonces se tiene

$$\text{LWsurf} = 315 \text{ W/m}^2.$$

Rnet: *Radiaciones netas que se calculan de la siguiente manera:*

$$\text{Rnet} = (\text{SWinc} + \text{LWatm}) - (\text{SWref} + \text{LWsurf})$$

Albedo: $\alpha = \text{SWref} / \text{SWinc}$

¿Como se comportan los parámetros cuando la superficie del suelo esta recubierta de nieve?:

Radiaciones de onda corta:

Observamos un brusco aumento de SWref, cuyo valor entonces muy cercano a la de SWinc (albedo superior a 0,8), cuando hay nieve fresca en el suelo de la estación Eore. El valor de albedo suele bajar rápidamente ya que el suelo de la estación, siempre húmeda degrada la nieve fundiéndola rápidamente (albedo cercano a 0,1). SWref es un muy buen indicador de la presencia de nieve.

Radiaciones de onda larga:

Durante estos periodos, observamos que los valores de LW_{atm} y LW_{surf} son casi iguales. Estos son probablemente periodos con neblina, durante los cuales los sensores no « ven » verdaderamente la atmósfera o el suelo, pero del aire que tiene en contacto, da una gran correspondencia entre los valores. No es sorprendente que los periodos de densa neblina correspondan a los periodos donde hay nieve. LW_{surf} esta alrededor de 315 W/m^2 cuando el suelo esta recubierto de nieve.

Radiación neta:

Lógicamente, vemos una disminución del valor de radiación neta durante los periodos de nieve.

Temperaturas:

- T_{air} : temperatura más baja en estos periodos de nieve, un poco negativa o próximas a 0.
- T a 0 cm.: la sonda de temperatura esta situada bajo la superficie, tenemos un valor positivo muy cercano a cero. Y cuando el suelo esta recubierto de nieve no se observan variaciones diurnas de temperatura: la nieve actúa como aislante.

Sonda de nieve:

La sonda mide la distancia (en m) entre la superficie del suelo y sensor; este valor disminuye con la presencia de nieve (porque la distancia superficie – sensor disminuye).

Flujos de calor:

Es el flujo del suelo que, cuando hay presencia de nieve, es constante, ya que la temperatura en la interfase suelo – nieve está constante (próximas a cero).

5.2.3. Evolución del clima sobre la morrena según datos de la ORE 2005

Para el tratamiento de datos obtenidos en la estación ORE utilizamos la misma metodología seguida en la SamaE., al trazar las curvas de cada sensor se ve rápidamente que cada parámetro reacciona de manera coherente durante un evento como por ejemplo durante una caída de nieve, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la evolución de los parámetros a nivel diario con medias móviles para 15 días medidos por la estación ORE.

Lastimosamente durante al inicio del primer año de mediciones la serie de datos presenta vacíos por causa de fallas en los sensores, en la central de adquisición o también por consecuencia de las condiciones extremas a las que son sometidos los instrumentos a estas altitudes. Los problemas técnicos fueron superados paulatinamente hasta lograr que desde el mes de junio la estación este completamente operable.

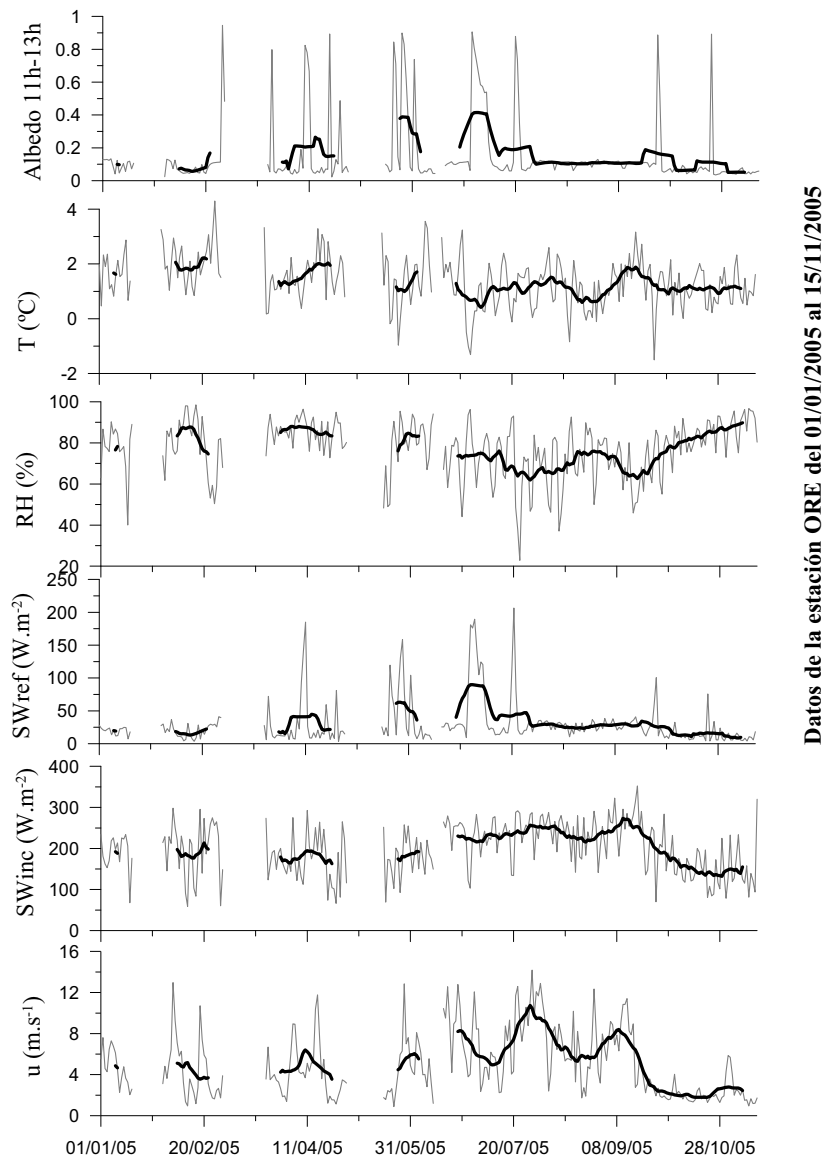


Figura 5.6. Velocidad del viento (u en $m.s^{-1}$), radiaciones incidentes de onda corta (SW_{inc} en $W.m^{-2}$) y reflejadas (SW_{ref} en W/m^2), humedad relativa (RH en %), temperatura del aire (T en $^{\circ}C$) y albedo (promedios de los valores entre 11h y 13h), en promedios diarios (curvas grises) y medias móviles centradas cada 15 días (curvas negras) para los valores registrados por la estación Eore del 01/01/2005 al 15/11/2005.

Para verificar el impacto de una caída de nieve escogemos el mes de abril donde se registro una precipitación significativa. La Figura 5.7y Figura 5.8 presenta datos registrados por la estación Eore a nivel diario, durante este mes se puede verificar rápidamente la coherencia de los datos apoyándose en algunas características definidas previamente.

De esta manera se puede verificar que los datos tienen coherencia porque es lógico pensar que durante un evento de precipitación o cuando la sonda a ultrasonidos señala la presencia de nieve, la temperatura baja mientras que el albedo sube y las radiaciones incidentes son atenuadas por la cobertura de nubes. Sin embargo raramente se presentan casos donde esto no sucede, por lo que estos periodos se deberán analizar con cuidado

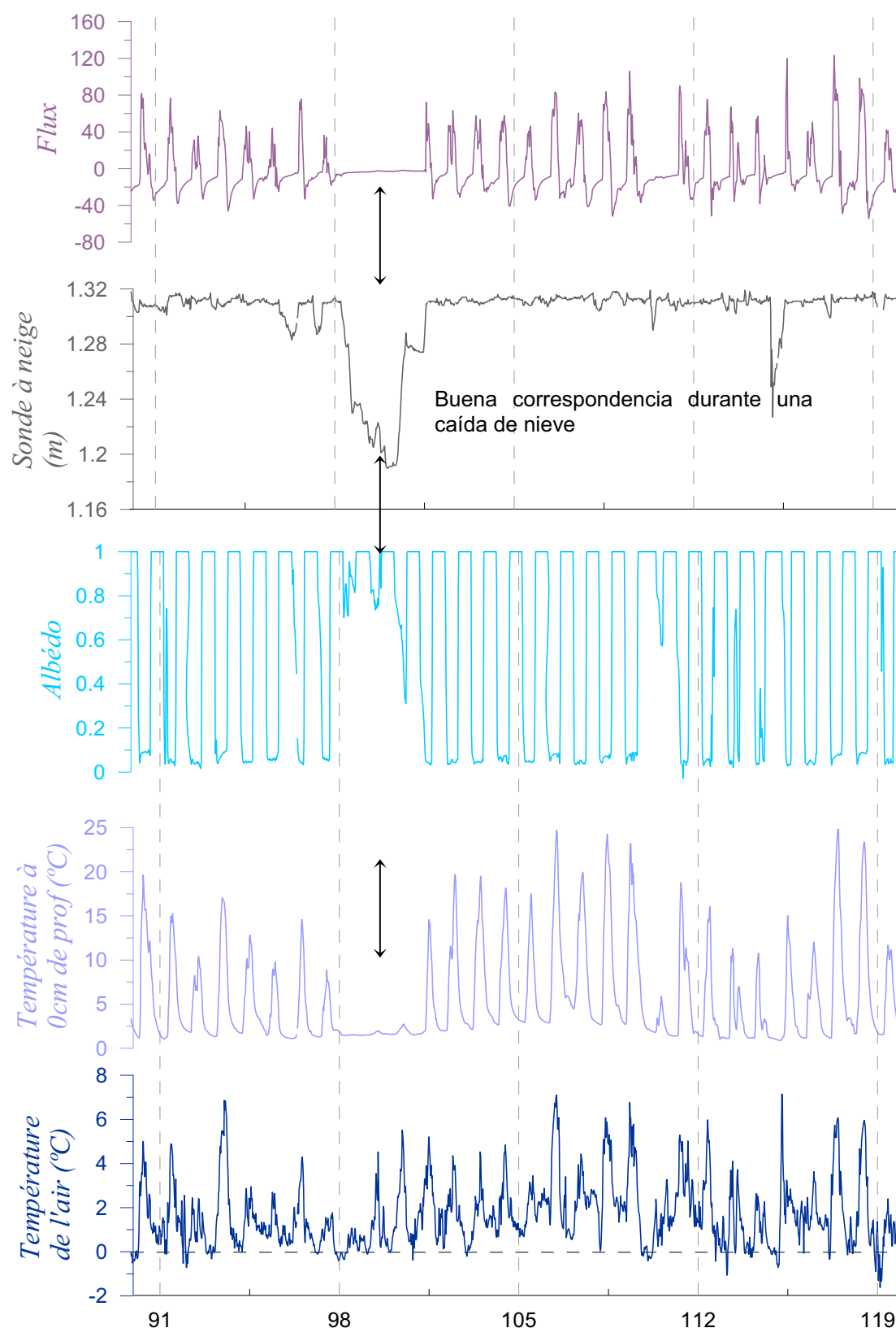


Figura 5.7. Estación ORE, mes de abril 2005 - Temperatura del aire, Temperatura de la superficie de la superficie del suelo, Albedo, Sonda de nieve y flujo de calor.

Cabe mencionar que del 91 al 119 corresponden al calendario juliano es decir este periodo va del 1 al 29 de abril respectivamente.

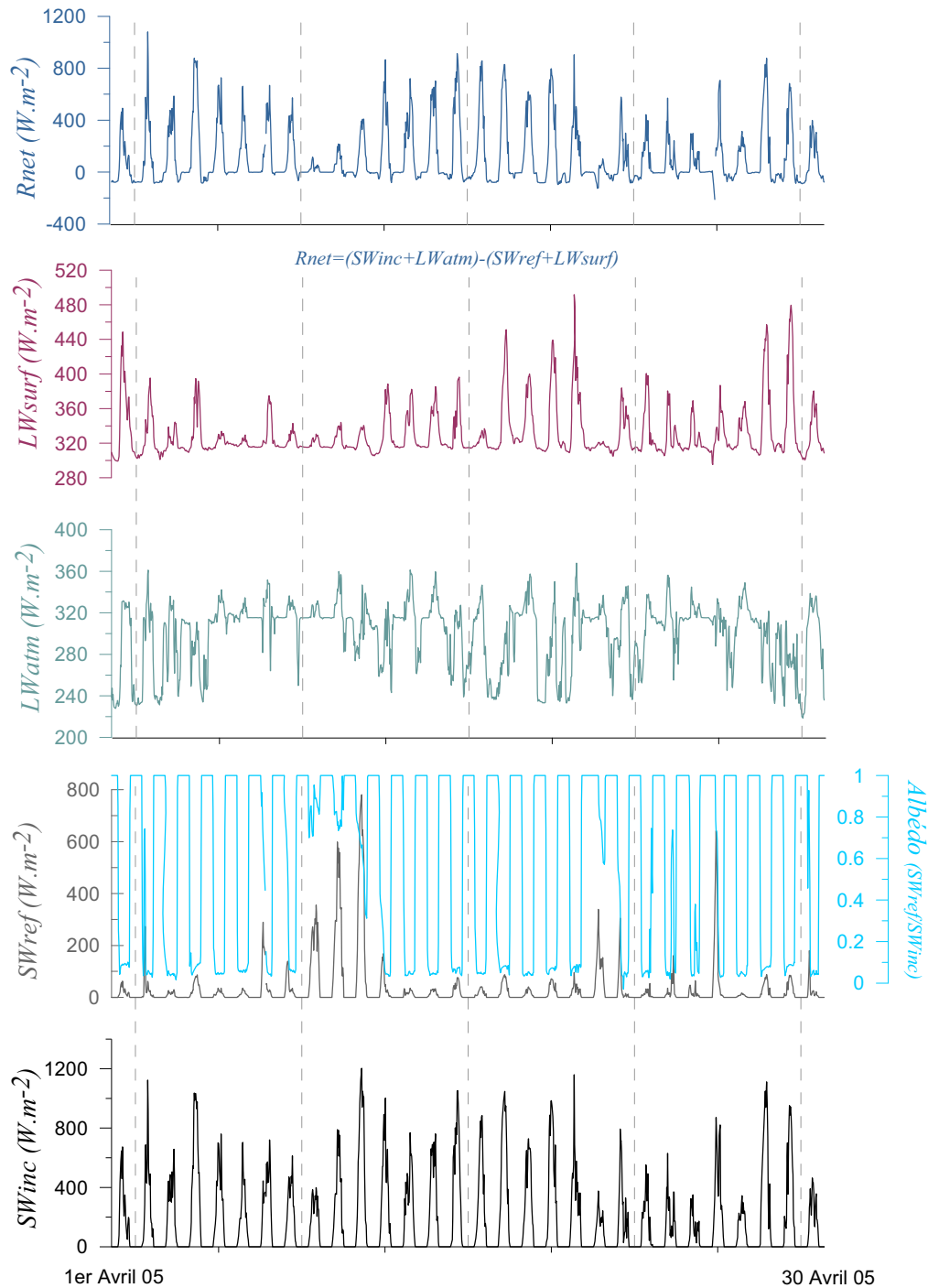
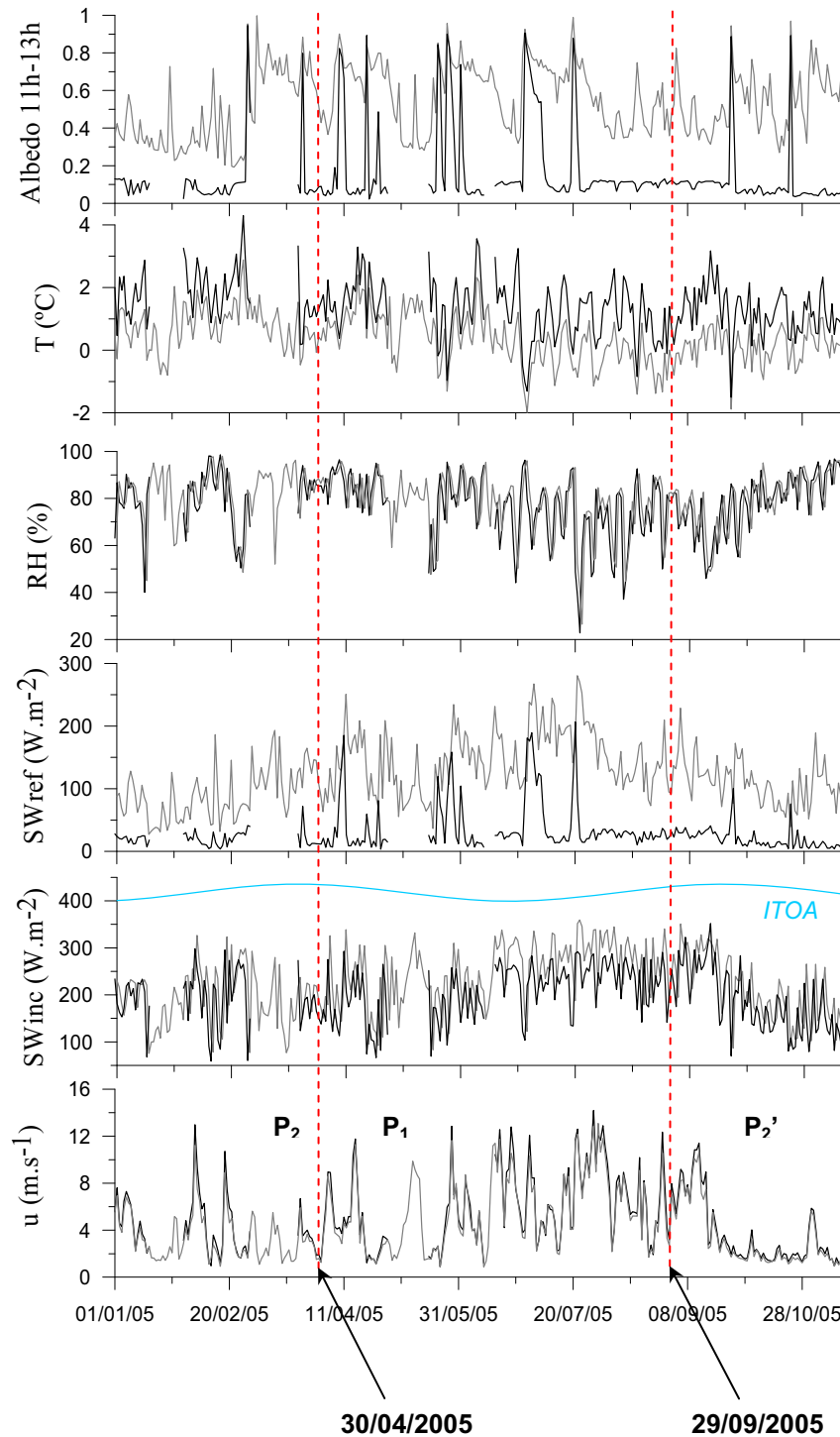


Figura 5.8. Estación ORE, mes de abril 2005 – Radiaciones solares incidentes y reflejadas de onda corta, Radiaciones de la atmósfera y suelo de onda larga, Radiación neta y Albedo.

5.3 Primera comparación de datos ORE y SamaE

5.2.4. Comparación entre datos de la SamaE y ORE para el año 2005

A pesar de los vacíos en el juego de datos de la estación Eore, es posible ver las similitudes y las diferencias, entre los valores registrados por la estación SamaE y los registrados por la Eore durante el periodo de estudio, para los parámetros citados en el grafico.



Datos de las estaciones SamaE del 01/01/2005 al 30/09/2005 y Eore del 01/01/2005 al 15/11/2005

Figura 5.9. Velocidad del viento (u en $m.s^{-1}$), radiaciones incidentes de onda corta ($SWinc$ en $W.m^{-2}$) y reflejadas ($SWref$ en W/m^2), humedad relativa (RH en %), temperatura del aire (T en $^{\circ}C$) y albedo (promedios de los valores entre 11h y 13h), en promedios diarios los valores registrados por las estaciones SamaE (curva gris) y Eore (curva negra).

Los valores de la velocidad del viento son casi idénticos entre las dos estaciones, las curvas se superponen muy bien. A fin de cuantificar esto, podemos trazar la correlación entre los valores de las dos estaciones con promedios diarios. Observando las curvas con mayor precisión notamos que el viento tiene tendencia a ser un poco más fuerte sobre la morrena, sobre todo durante la época de vientos fuertes. El anemómetro de la morrena esta

posiblemente un poco más expuesto a los vientos que el de la SamaE. En efecto cuando existen vientos de gran escala provenientes del este, puede ser que el anemómetro de la estación Eore sea más sensible al no estar perturbado por la presencia del glaciar (vientos creados por el glaciar).

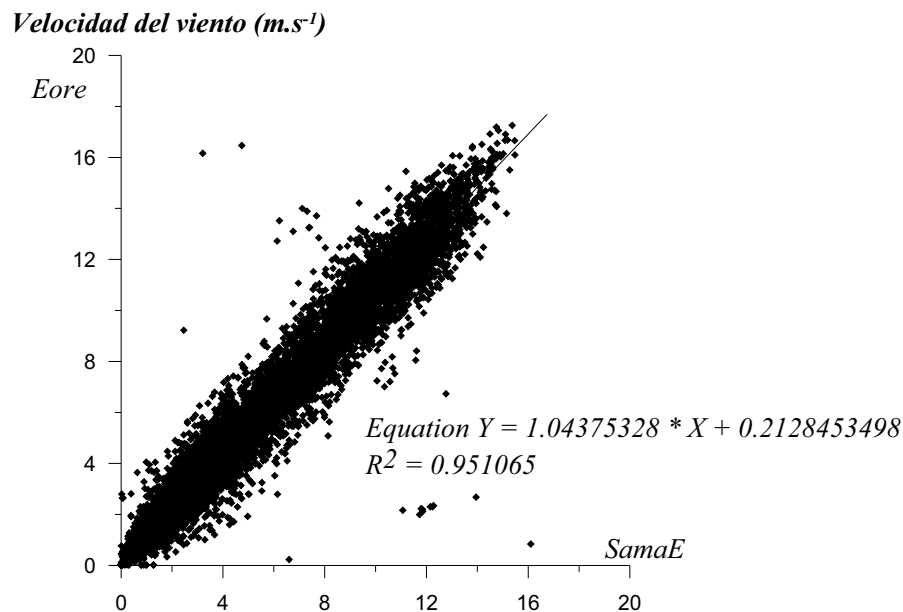


Figura 5.10. Correlación entre las velocidades del viento en la SamaE y la Eore. Los valores utilizados son promedios diarios durante el periodo que va del 1er enero 2005 al 15 noviembre 2005.

Con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.95$ podemos decir que globalmente tenemos una buena correlación entre las velocidades del viento medidas en la SamaE y Ore.

Analizando ahora en los valores diarios de las radiaciones incidentes de onda corta registradas por las dos estaciones. Notamos que $SWinc_{SamaE}$ es siempre superior a $SWinc_{Eore}$. Esto es bastante lógico ya que el glaciar con las múltiples reflexiones sobre superficies nevadas, juega un efecto horno. Sin embargo la diferencia de máximo $120 W/m^2$ un día despejado, esto es sorprendente ya que el efecto horno parece débil viendo la configuración del terreno. El medio ambiente muy gris de la Eore (morrena) puede ser que acentúa la diferencia. Por otro lado si los relojes de las estaciones no están sincronizados o si el sensor de radiación está inclinado (por ejemplo si el sensor está inclinado un poco hacia el Este, el sol es perpendicular al sensor antes de pasar por su cenit), esto puede acarrear diferencias entre los valores registrados en las dos estaciones.

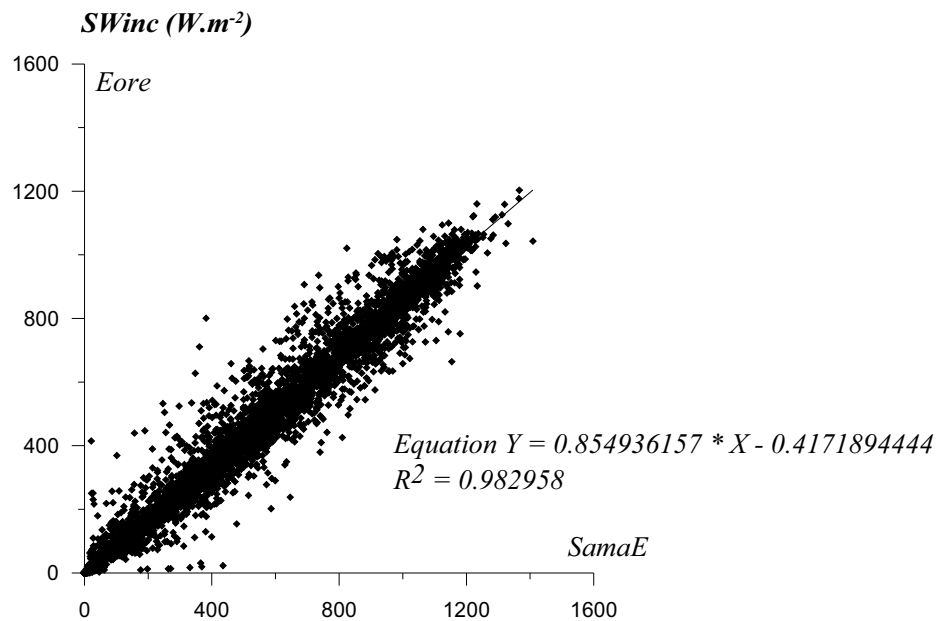


Figura 5.11. Correlación entre las radiaciones de onda corta incidentes medidas en la Samae y Eore. Los valores utilizados son promedios diarios del 1ero enero 2005 al 15 noviembre 2005.

5.2.5. Comparación de un día despejado con un día nublado

Durante el periodo de estudio, tenemos una muy buena correlación entre los valores registrados por la Samae y por la Eore: $R^2 = 0.98$ para el coeficiente de determinación mientras que para $y = 0.85x - 0.42$.

Para intentar determinar cual es la causa principal de la diferencia observada entre los valores de las dos estaciones, podemos concentrarnos en el estudio de un día cubierto por nubes (SWinc/ITOA lo más bajo en el año), un día despejado (SWinc/ITOA el más cercano a uno) y de un día cubierto parcialmente (SWinc/ITOA próximo a 0.5). En efecto, para un día muy cubierto, si la diferencia debido a una capa de nubes, en teoría no deberíamos ver esta diferencia. Sin embargo, el efecto de las reflexiones de las pendientes y la neblina del medio no serán tratadas.

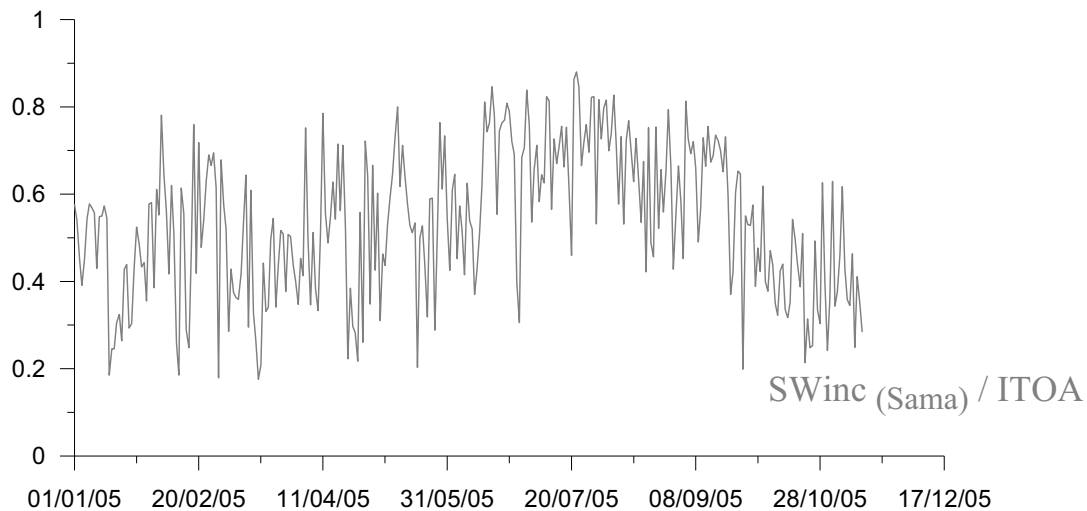


Figura 5.12. Comparación entre las radiaciones de onda corta incidentes registradas por la SamaE ($SW_{inc} (SamaE)$) y la radiación teórica en el límite de la atmósfera (ITOA) del 01/01/2005 al 15/11/2005.

La Figura 5.13 presenta la comparación entre las radiaciones incidentes de onda corta de la SamaE ($SW_{inc} (SamaE)$) y la radiación solar teórica en el límite de la atmósfera (ITOA). Los datos son promedio diarios. Esta comparación indica la cobertura de nubes. En efecto el valor de ITOA corresponde a la radiación incidente atenuada únicamente por la atmósfera (sin nubes), entonces la relación $SW_{inc} (SamaE) / ITOA$ nos indica la atenuación debido a la atmósfera y la capa de nubes. Así cuando la relación es próxima a 1 es menor la presencia de nubes e inversamente.

De otra parte, el cálculo de esta relación permite clasificar los días con mayor cobertura ($SW_{inc} (SamaE) / ITOA$ cercanas a 0), los días más claros ($SW_{inc} (SamaE) / ITOA$ próximos a 1) y los días donde el cielo está medianamente cubierto ($SW_{inc} (SamaE) / ITOA$ cercanos a 0.5). Los clasificamos así:

- Uno de los días más despejados del año: 22 de julio 2005 con:
 $SW_{inc} (SamaE) / ITOA = 0.88$

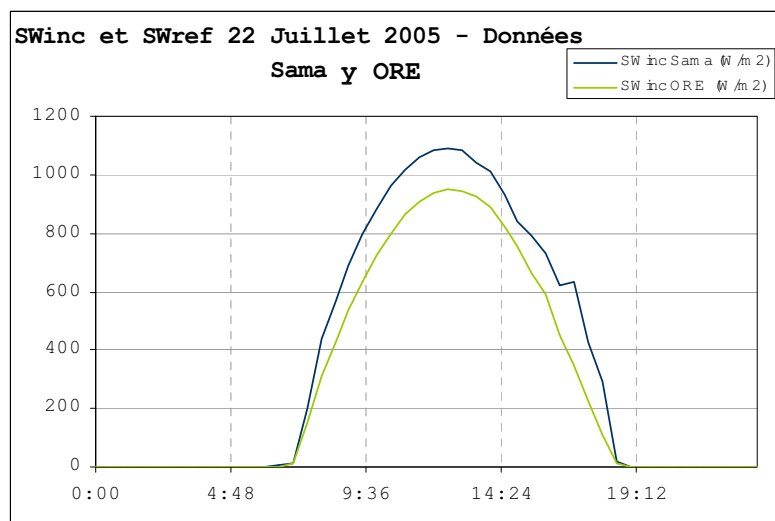


Figura 5.13. Radiaciones de incidentes de onda corta en la SamaE y Eore con promedios cada media hora el 22 de julio 2005.

Para el 22 de julio 2005, el día más despejado del año, la diferencia entre los valores de radiación incidente de onda corta registrada en las estaciones al medio día (hora del día donde la radiación solar incidente es más fuerte) es de: 144W/m^2 . Esta diferencia es muy grande. No se esperaba observar un valor tan elevado.

- Un día muy cubierto del año: 28 febrero 2005 con:
 $\text{SWinc}_{(\text{SamaE})} / \text{ITOA} = 0.18$

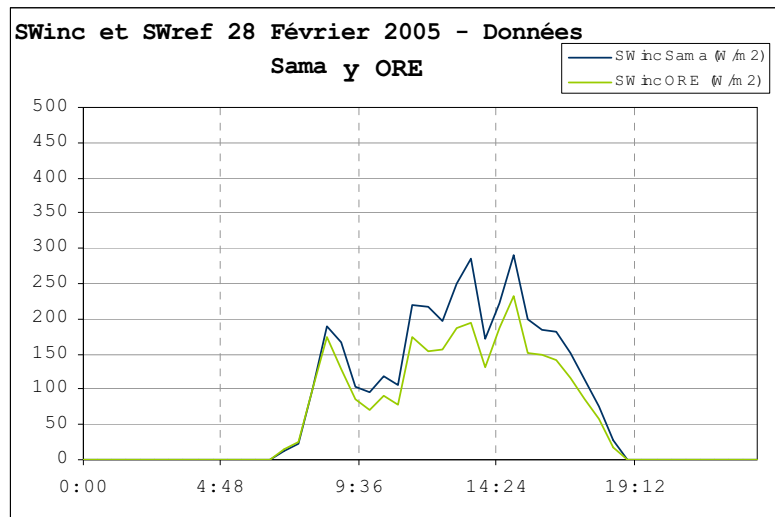


Figura 5.14. Radiaciones incidentes de onda corta registradas por las dos estaciones con promedios de media hora para el 28 de febrero 2005.

Para el día más cubierto, notamos que subsiste la diferencia entre los valores registrados por la SamaE y los registrados por la Eore. Esto parece que el efecto de cobertura de las nubes no es lo único que afecta para obtener la diferencia entre los valores de las dos estaciones.

- Un día medianamente cubierto: 7 febrero 2005 con:
 $\text{SWinc}_{(\text{SamaE})} / \text{ITOA} = 0.56$

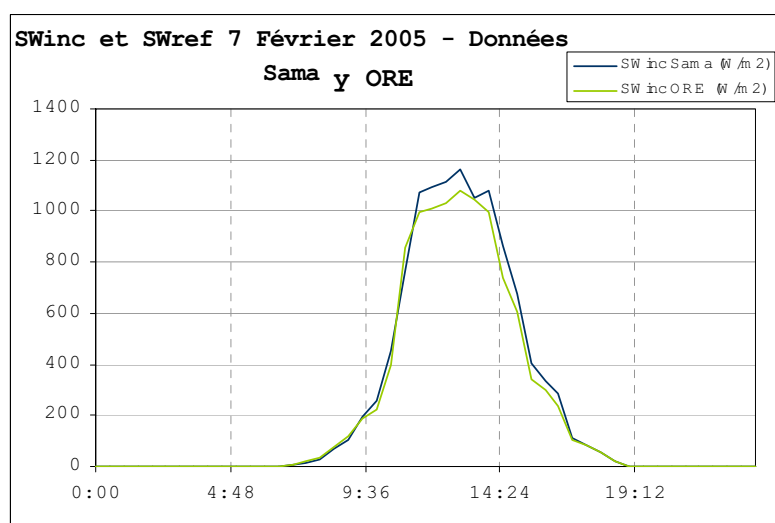


Figura 5.15. Radiaciones incidentes de onda corta registradas por las dos estaciones el 7 de febrero 2005 en promedios de media hora.

En fin, para el 7 de febrero 2005, que es un día donde calificamos la cobertura de nubes en promedio, encontramos que la diferencia entre las radiaciones solares incidentes en la SamaE y en la Eore con un valor a medio de entre las radiaciones solares incidentes en la SamaE y en la Eore, con un valor al medio día de 79 W/m^2 .

Estas observaciones muestran que hay que buscar otra causa a esta diferencia para esto colocamos las dos estaciones juntas sobre la morrena por un periodo del 1 – 12 al 15 – 12 – 2005.

5.2.6. Comparación de la Swinc con las dos estaciones instaladas sobre la morrena (mismo emplazamiento).

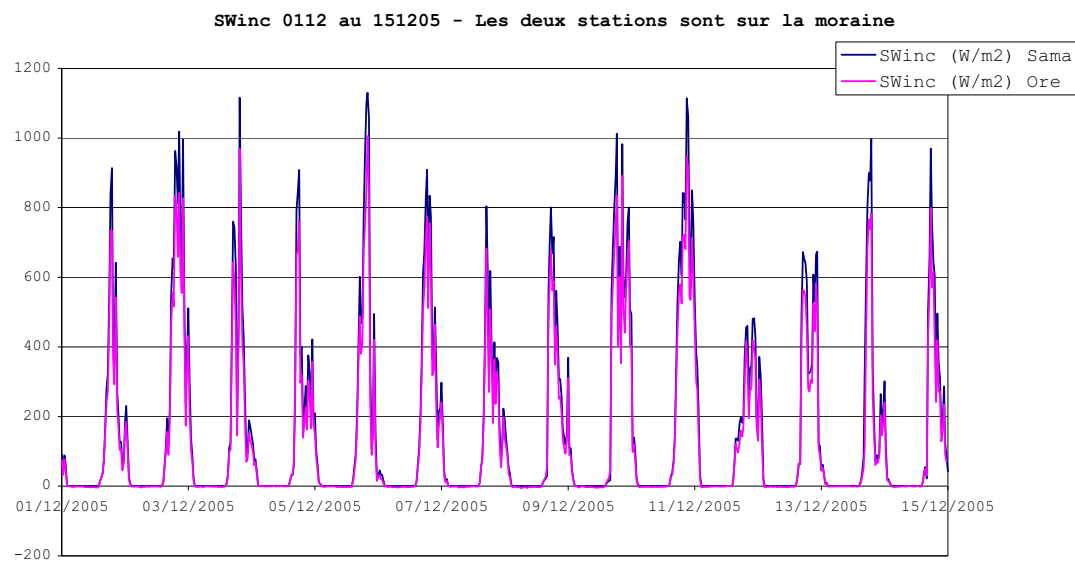


Figura 5.16. Valores de radiación corta incidente en promedios de media hora medidas por las dos estaciones del 1 al 15 de diciembre 2005.

Recordamos que las dos estaciones situadas sobre la morrena a algunos metros de distancia. Del análisis de la Figura 5.17, vemos que la diferencia subsiste entre los valores de radiación medidos por las dos estaciones. En efecto los valores de radiación son inferiores en la estación Eore.

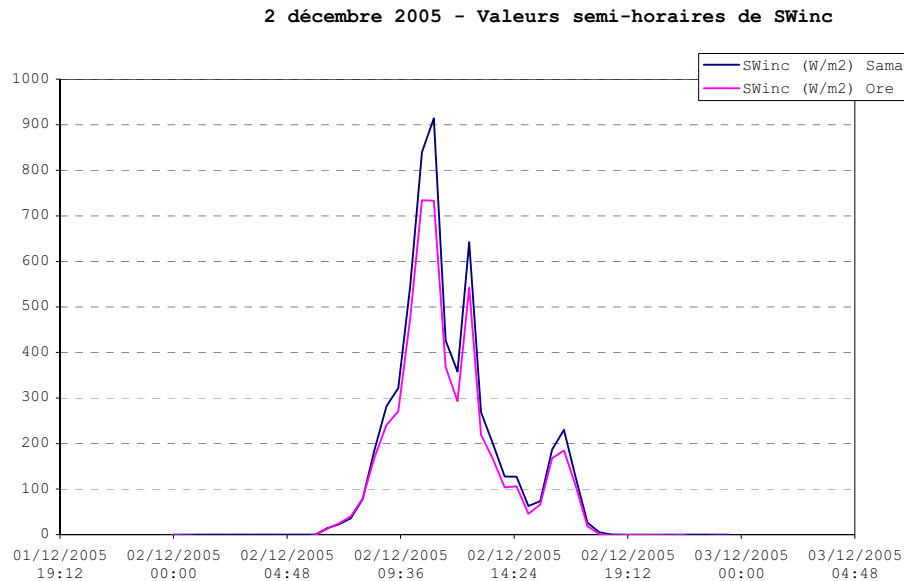


Figura 5.17. Radiaciones de onda corta medida en las estaciones el 2-12-2005 con promedios 2005.

Durante el 2 diciembre 2005 podemos ver que la diferencia máxima es de: 181 W/m^2 .

Luego de estas observaciones, parecería que los sensores dan valores diferentes para un mismo evento. Esto puede ser debido sea a una calibración diferente de los sensores, sea al hecho que son diferentes sensores. Cual sea la diferencia observada durante todo el año los valores de radiación incidente de onda corta, también debemos pensar que la diferencia puede venir de la inclinación que puede sufrir el sensor de la SamaE al estar instalado sobre el glaciar.

En la Figura 5.18, observamos una diferencia importante entre los datos de radiación de onda corta en las dos estaciones. Una explicación simple y lógica para la diferencia observada entre los valores de las dos estaciones es que un suelo (morrena) y una superficie glaciaria la reflexión no es la misma. Los únicos periodos donde se observa los valores de radiación de onda corta aproximarse entre las dos estaciones es cuando las morrenas y la superficie del glaciar están cubiertos de nieve. Sin embargo aún en este caso los valores registrados en la morrena permanecen inferiores a las del glaciar.

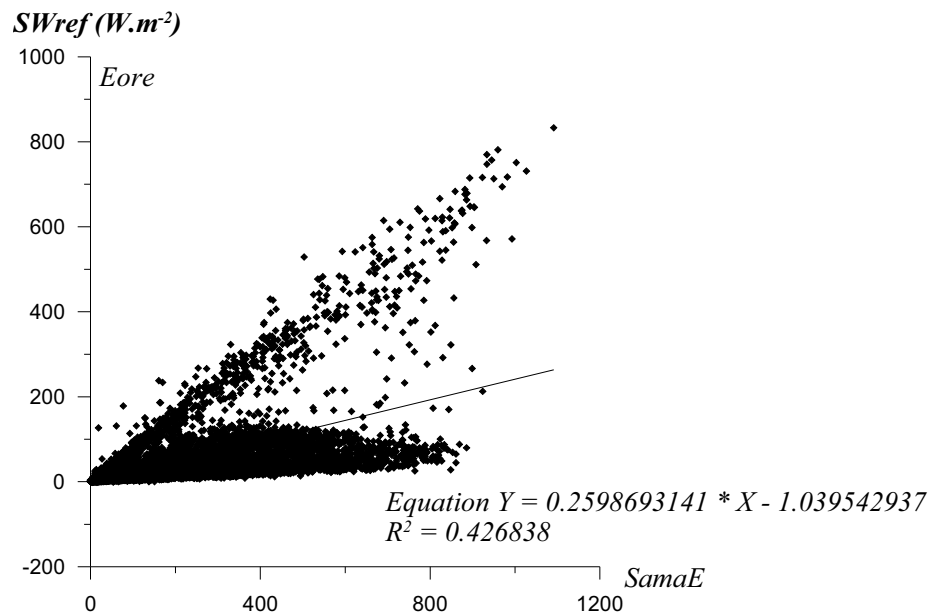


Figura 5.18. Correlación entre las radiaciones reflejadas de onda corta medidas por las dos estaciones en el periodo de 1 enero al 15 noviembre 2005 con promedios diarios.

En la correlación entre los valores de la SamaE y Eore obtenemos un $R^2 = 0.43$ para el coeficiente de determinación. El gráfico presenta un grupo de puntos que se agrupan en una dirección privilegiada. Podemos suponer que estas radiaciones corresponden a los periodos donde el glaciar y la morrena estuvieron recubiertos de nieve. En efecto, de acuerdo a lo dicho anteriormente cuando tenemos el suelo cubierto de nieve mejora la correlación.

Mirando esta vez los promedios diarios del albedo. Según la posición del sol que varía durante el día, el ángulo de incidencia bajo la cual la radiación cambia. Entonces es necesario introducir una corrección dentro del cálculo del albedo cuando el ángulo es pequeño. Vamos a considerar que el albedo medido entre 11h y 13h es representativo del albedo diario. En efecto, al medio día sobre la línea ecuatorial, las radiaciones solares llegan perpendicularmente al suelo. Por esto es representativo tomar un promedio de los valores a medio día.

En lo que concierne a los valores diarios de humedad relativa en el glaciar y morrena las curvas se superponen casi perfectamente. Los valores son muy similares.

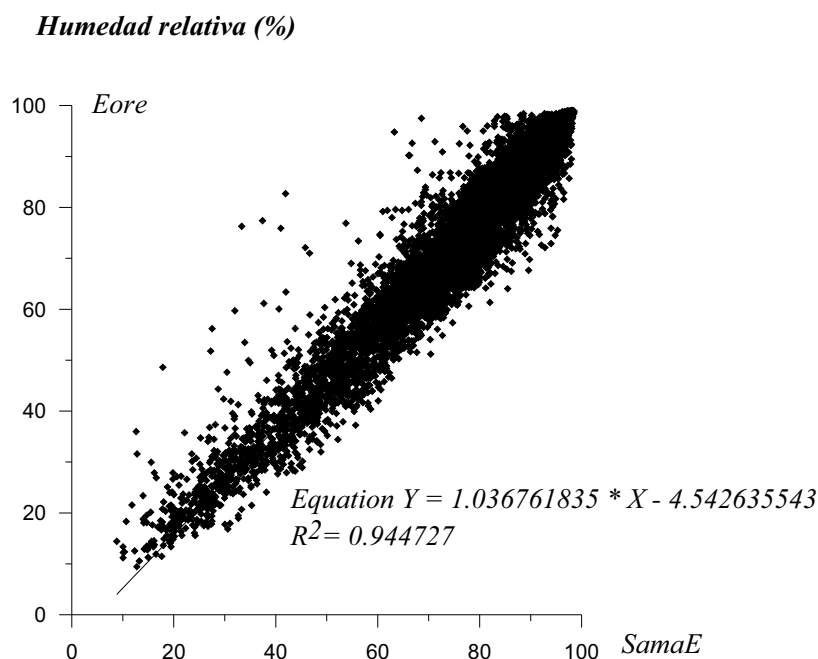


Figura 5.19. Correlación entre las humedades SamaE y Eore con promedios diarios del 1 enero al 15 de noviembre 2005.

En lo que concierne a la correlación, es buena con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.94$. Pero la intersección indica que la Eore tendría una humedad inferior al 5%.

Podemos mirar los valores de temperatura del aire medidos en sobre el glaciar y morrena. Las temperaturas medidas por la SamaE están siempre inferiores a las medidas por la Eore.

¡Cuidado!: Es difícil comparar las temperaturas medidas por dos sensores diferentes, aun teóricamente estos deberían dar valores idénticos en condiciones similares. En efecto, la temperatura es un parámetro muy sensible. Si los dos sensores no son ventilados exactamente con la misma intensidad (ventilación de la SamaE únicamente durante el día ya que son los paneles solares que los hacen funcionar, el no estar orientado de la misma manera, etc.) Esto jugará un papel importante en los valores registrados.

Sin embargo a pesar de las diferencias entre las temperaturas de las dos estaciones es posible de hacer ciertos comentarios, pero las interpretaciones serán hechas con precaución. Podemos así preguntarnos si la diferencia entre los valores de las dos estaciones es regular o no en el transcurso del tiempo. Para esto podemos graficar los máximos y mínimos de temperatura diurnos y nocturnos del mes de febrero 2005.

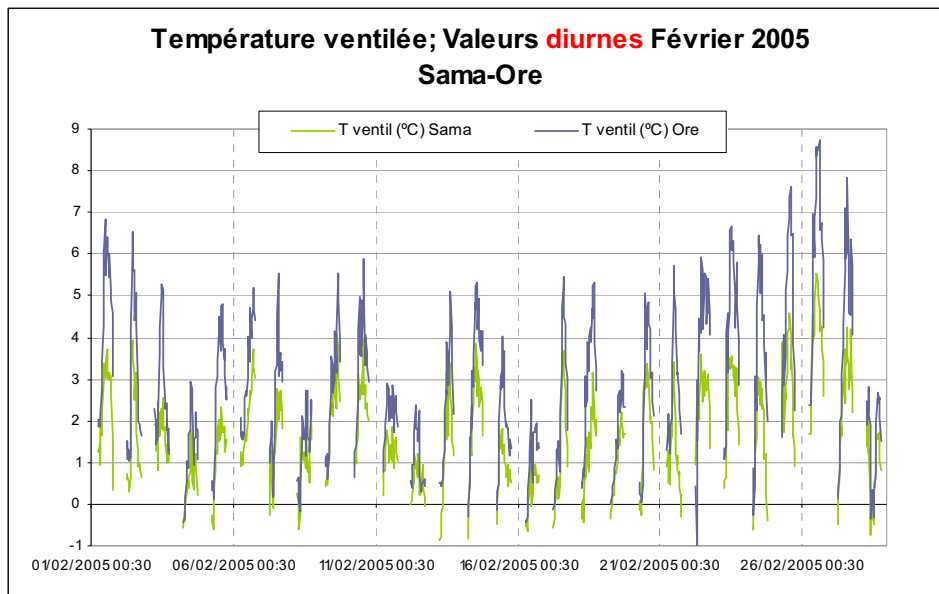


Figura 5.20. Valores diurnos de temperatura del aire (ventilada) medias por la SamaE y Eore para el mes de febrero 2005, promedio de media hora.

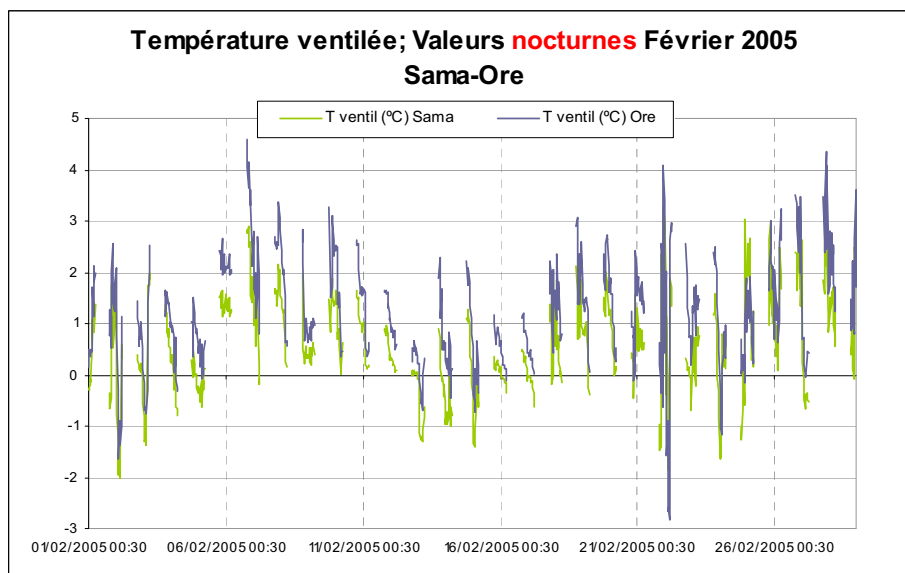


Figura 5.21. Valores nocturnos de temperatura del aire (ventilada) medias por la SamaE y Eore para el mes de febrero 2005, promedio de media hora.

La diferencia de los máximos de temperatura puede alcanzar los 3,5°C mientras que los mínimos alcanzan solamente 1,5°C. Los mínimos de temperatura están menos desfasados entre las dos estaciones que los máximos de temperatura. Encontramos estos valores cuando comparamos los valores diurnos de temperatura de un lado y los valores nocturnos de (ver Figura 5.20 y Figura 5.21). En efecto, los máximos de temperatura son observados durante el día y los mínimos durante la noche.

El aire en contacto con el glaciar está enfriado bordeando los 0°C, donde los máximos de temperatura son más bajos en la SamaE. El glaciar ejerce una influencia térmica fuerte. En lo que concierne a las mínimas, el hielo y las rocas tienen características similares, es decir que ellos se comportan como cuerpos negros y sus radiaciones de onda larga son semejantes. Es por esto que tenemos mínimas muy parecidas. Este caso se lo puede volver a ver efectivamente en los valores nocturnos y diurnos. Efectivamente, durante el día el

suelo de la morrena es recalentado y la diferencia entre T_{Eore} y T_{SamaE} se acentúa. Esto lo vemos mejor cuando comparamos las temperaturas de las dos estaciones poniéndolas en paralelo las temperaturas del suelo.

Por otro lado hay que recordar que las diferencias de temperatura tienen muchas causas y nombras algunas de las que presentamos aquí:

- Efecto térmico del glaciar / morrena (y efecto termodinámico): el glaciar es una fuente de humedad que esta íntimamente ligada a la temperatura.
- Heterogeneidad de las masas de aire, en algunos metros, pueden tener características muy diferentes.
- Orientación de las estaciones tomando como referencia el suelo efectos pueden sombra en los sensores lo que provocaría perturbaciones en los datos.

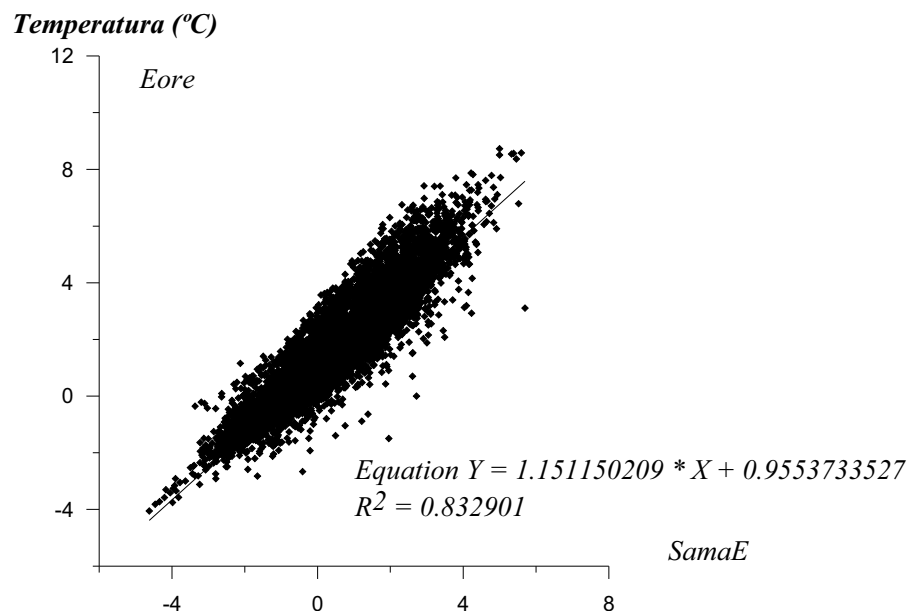


Figura 5.22. Correlación entre las temperaturas medidas por la SamaE y Eore. Los valores utilizados son promedios diarios del 1 de enero al 15 de noviembre 2005.

La correlación entre las temperaturas en la SamaE y Eore es bastante buena con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.83$.

5.2.7. Conclusiones:

En conclusión, se puede decir que los parámetros climáticos registrados en las dos estaciones ORE y SAMA, situadas a pocos metros de distancia, pero la una sobre la morrena, la segunda sobre el glaciar, son estrechamente relacionados, las diferencias más significativas siendo principalmente notadas en la radiación reflejada de onda corta diurna (sobre todo cuando no hay nieve en la morrena) y la temperatura (más baja en el glaciar) por lo que se hace necesario realizar mediciones simultáneas.

CAPÍTULO 6

6. HIDROLOGÍA

Autor Principal: Cristian Loyo y MSc. Marcos Villacís

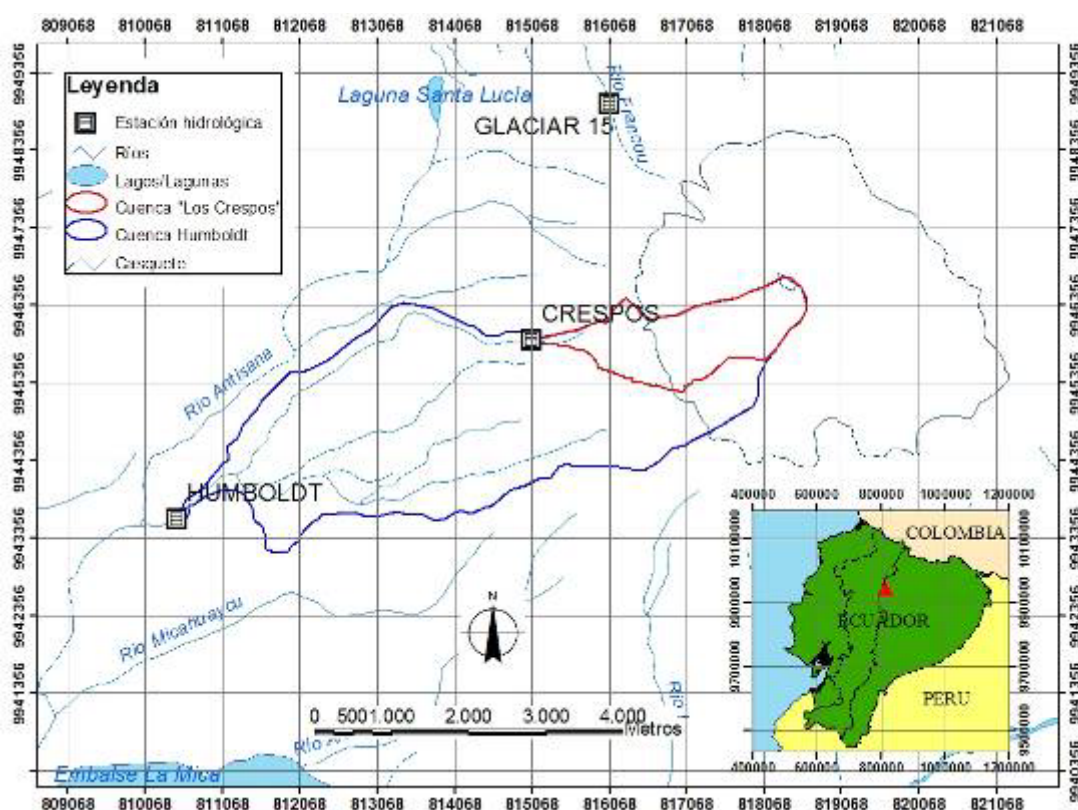
ÍNDICE DEL CAPÍTULO

6.1	Estaciones hidrológicas	101
6.1.1	Estación "Los Crespos"	102
6.1.2	Estación Humboldt	118

HIDROLOGÍA:

El presente capítulo muestra los resultados hidrológicos del año 2005 de las estaciones hidrológicas "Los Crespos" y "Humboldt".

6.1 Estaciones hidrológicas



Mapa 6.1. Mapa de ubicación de las estaciones hidrológicas y delimitación de las cuencas

A fin de determinar el comportamiento hidrológico y medir la producción de recursos hídricos de una cuenca con cobertura glaciar, sobre la cuenca del río Antisana en el flanco suroeste del volcán Antisana se construyeron dos estaciones hidrológicas,

ubicadas sobre el mismo cauce; la estación hidrológica “Los Crespos” y la estación hidrológica Humboldt. Estas estaciones fueron construidas bajo el marco cooperación del Proyecto GREATICE, entre el IRD, el INAMHI y la EMAAP-Q.

A continuación, una detallada descripción de estas dos estaciones.

6.1.1 Estación “Los Crespos”

Superficie drenada:
2,44 Km²

Superficie Glaciar:
1,6 Km² (67%)

Altitud:
4521m

Funcionamiento:
2003-2005

Sección de control:
Vertedero trapezoidal

Captor actual:
Orphimedes OTT



Foto 6.1. Estación hidrológica “Los Crespos” vertedero

La estación hidrológica “Los Crespos” esta ubicada en la parte alta de la cuenca del río Antisana, en las coordenadas 815.058E y 9°45.918N, a una altitud de 4.521 msnm. Esta estación drena un área de 2,44 Km², en donde, 1,60 Km² corresponde a cubierta glaciar, lo que representa el 67% de la cuenca drenada; la parte no glaciar de la cuenca está principalmente constituida por morrenas, que son producto de la acumulación de fragmentos de roca y arena transportados y depositados por el movimiento del glaciar, y una pequeña cantidad de páramo que recubre la parte baja de la cuenca. Esta estación se localiza dentro de un cañón que fue cavado por el desfogue de 1.987 producido por la rotura de la laguna o de una bolsa de agua retenida atrás de la morrena frontal del glaciar “Los Crespos”.

La selección de la ubicación de esta estación en las cercanías al glaciar se debe primordialmente a dos razones:

- La cuenca de aportación tiene el mayor porcentaje posible de cobertura glaciar.
- La estabilidad de la zona para asegurar la continuidad de las mediciones.

Además, a esta estación llega una gran parte de los escurrimientos de origen glaciar que posteriormente pasan por la estación hidrológica Humboldt.

Esta estación fue construida en agosto de 2003 en el marco de cooperación del proyecto GREATICE por las tres instituciones INAMHI-EMAAP-Q e IRD.

Antes de la instalación de esta estación hidrológica que será denominada “Los Crespos” vertedero, 50 metros más arriba había un sistema de medición bastante precario, llamado “Crespos río arriba”, que fue instalado en el 2002, actualmente esta fuera de operación. Estas dos estaciones en “Los Crespos” funcionaron de manera

simultánea para permitir correlacionar los datos obtenidos, además, la estación “Crespos río arriba” suministró datos cuando hubo un mal funcionamiento de la estación “Los Crespos” vertedero.

La estación “Los Crespos” vertedero esta construida sobre una caída de agua de aproximadamente 1m, lo que la hace una sección de control hidráulica casi autolimpiante. Consta de una pared de hormigón que obstruye el lecho del río y lleva las aguas por un vertedero trapezoidal inclinado a 45°, su base inferior de 0,42m y su base superior de 2,0m., debido al desgaste que producen los sedimentos se coronó la sección trapezoidal con un tubo de hierro colado de gran diámetro.



Foto 6.2. Vteredero trapezoidal y regleta. Estación “Los Crespos”

6.1.1.1 Equipos de medición

Inicialmente, en la estación hidrológica “Los Crespos” vertedero funcionó una sonda Chloé de marca Serpe/Elsyde, hasta diciembre de 2004, mes en la que fue reemplazada por un limnógrafo de inyección de burbujas de aire "Orphimedes" de marca "OTT", paralelamente a estos sensores electrónicos en 2004 y 2005 se instaló un limnógrafo de papel de marca SIAP para prevenir los fallos que los aparatos electrónicos pudiesen presentar.

En la estación los “Crespos río Arriba” funcionó un limnógrafo de papel de marca SIAP.

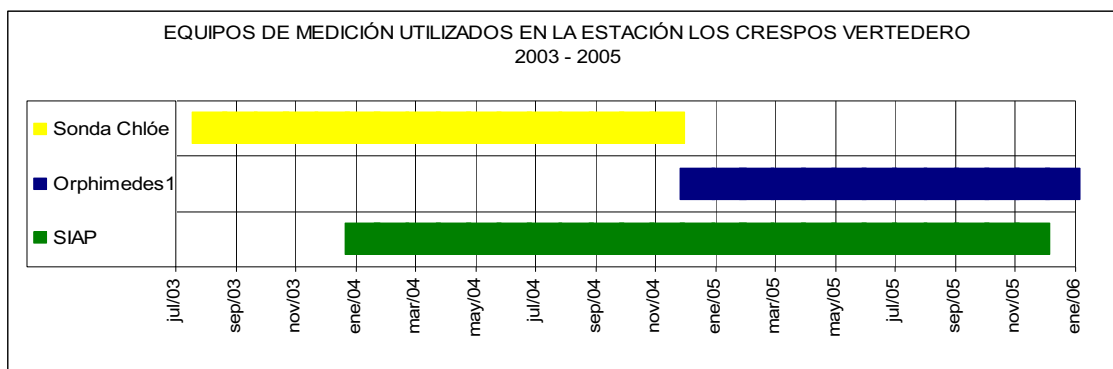


Gráfico 6.1. Cronograma de los equipos utilizados en la estación “Los Crespos”

Desde diciembre de 2004 hasta ahora se está utilizando un sensor de burbujeo de medición de nivel de agua ORPHIMEDES de marca OTT.

Datos Técnicos de Orphimedes de marca OTT

Rango de medida	0 - 10,0 m columna de agua
Error de medida	± 1 cm. + 1 dígitos (máximo)
Resolución	0,01 m para unidades en m, 5 mm. para unidades en mm.
Unidades	Opcionalmente en m, mm. o ft
Modo de medida	Profundidad (Distancia entre el punto de referencia de la superficie y el nivel del agua) y Nivel (Columna de agua)
Protección de sobrecarga	Linear, con display hasta 13,0 m de columna de agua y sin display hasta 19,5 m de columna de agua.
Memoria	Aproximadamente 11.200 valores. Memoria circular.
Display	LCD línea sencilla, 4 1/2 dígitos, Altura de símbolos: 12 mm.
Intervalo de lectura	5, 15, 20, 30 min., 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 h
Interfase	IrDA (Tecnología Infraroja)
Alimentación	6V (4 x 1,5 v pilas monocelulares redondas)
Dimensiones	600 mm. de largo x 45 mm. de diámetro
Peso	1 Kg. incluyendo baterías
Rango de temperaturas	De -5 a +50 °C

Tabla 6.1. Datos técnicos del Orphimedes marca OTT

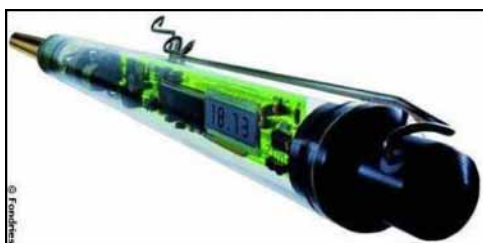
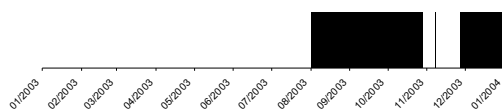
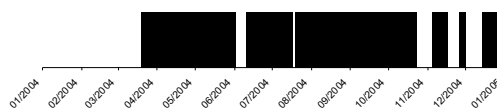


Foto 6.3. Limnógrafo Orphimedes de marca OTT

6.1.1.2 Series de datos

En el proyecto GREATICE se tiene disponible para la estación “Los Crespos” los siguientes datos para el periodo 2003 - 2005.

Series de datos existentes en la estación “Los Crespos”

2003**2004**

2005

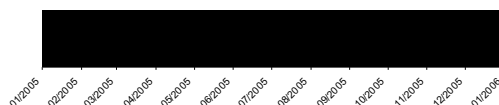


Gráfico 6.2. Serie de datos. Estación "Los Crespos"

En las series existentes de los datos brutos se han realizado básicamente las siguientes modificaciones:

- Correcciones por el desfase presentado en las mediciones realizadas por el captor de la estación hidrológica con respecto a las lecturas realizadas en la regleta del vertedero. (en tiempo y/o altura).
- Eliminación de datos evidentemente erróneos.
- Transformación de los datos de la estación "Crespos río arriba" para que puedan ser utilizados en la estación "Los Crespos" vertedero.

A continuación, se muestran ejemplos de las principales correcciones realizadas.

Los datos limnimétricos del 5 al 19 de octubre de 2003 se encuentran desfasados y en la visita de campo realizada se confirma un desfase de 2 cm., por lo tanto, a este periodo se suman 2 cm. y para el 31 de octubre de 2003 se eliminan los datos que aumentan abruptamente.

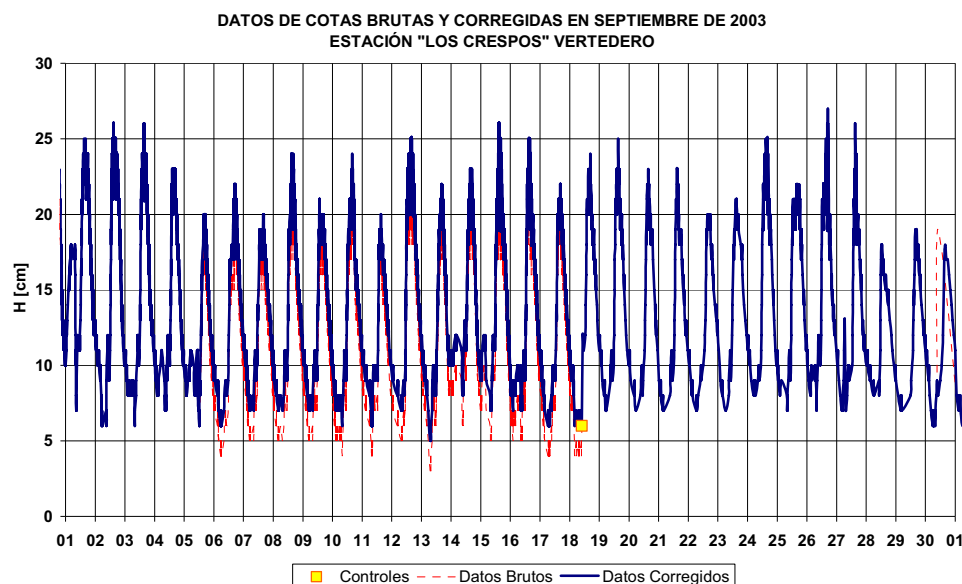


Gráfico 6.3. Ejemplo de corrección de cotas por desfase. Estación "Los Crespos"

Para utilizar los datos provenientes de la estación "Crespos río arriba" a sido necesario el empleo de ecuaciones que se hagan utilizables para la estación "Los Crespos" vertedero.

Para la correlación de las estaciones se utilizaron los datos provenientes de los informes de campo que se encuentran en el proyecto GREATICE, de la EMAAP-Q y las anotaciones realizadas en los rollos limnógrafos.

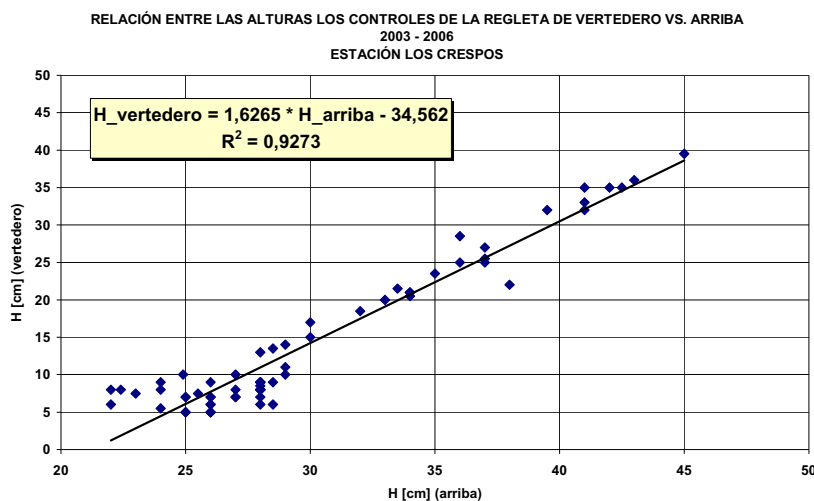


Gráfico 6.4. Relación entre las regletas de los Crespos vertedero y arriba. 2003-2006

La ecuación $h_{\text{vertedero}} = 1,62 * h_{\text{arriba}} - 34,5$ [cm.] $R^2 = 0,93$ fue calculada con todos los controles de campo realizados, hasta mayo del 2006. Anteriormente, se habían calculado ecuaciones para cada año, pero debido a la falta de información y a la falta de puntos de control en la parte alta de las crecidas con la que cuentan ciertos años se hizo dificultoso justificar el uso de una ecuación para cada año.

Razón por la cual, se toma una ecuación representativa para el periodo 2003 – 2006.

Sin embargo, para el período comprendido entre 5 al 30 de noviembre del 2004 se usa la ecuación $h_{\text{vertedero}} = 1,42 * h_{\text{arriba}} - 25,8$ [cm.], $R^2 = 0,98$ que se obtuvo a partir de los datos de los controles de campo de 2005 – 2006.

En los **controles de campo** se chequea directamente el nivel del agua en la o las diversas regletas, la hora y las indicaciones de nivel y de hora de los diversos registradores. Estos controles son fundamentales ya que permiten corregir posibles errores.

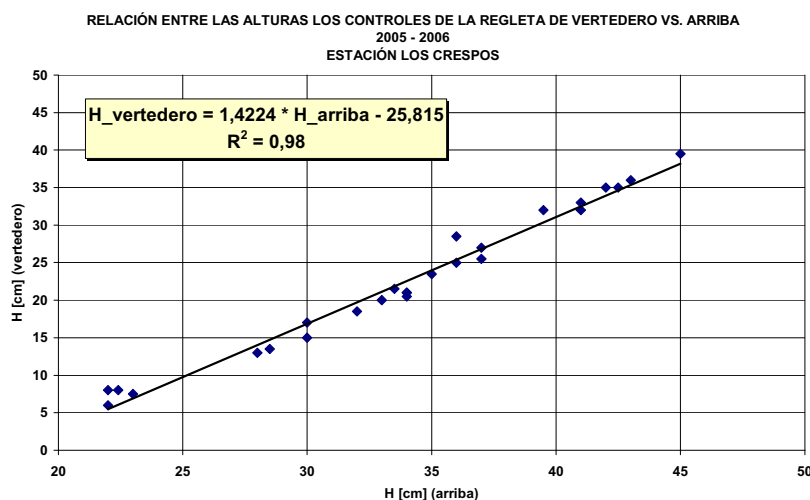


Gráfico 6.5. Relación entre las regletas de los Crespos vertedero y arriba. 2005-2006

Con estas ecuaciones se ha logrado hacer utilizables los datos de la estación “Crespos río arriba”. En el Gráfico 6.5 se muestra los datos de la estación “Crespos río arriba” en rojo y los datos obtenidos a partir de la ecuación $h_{\text{vertedero}} = 1,63 \cdot h_{\text{arriba}} - 34,5 \text{ [cm.]}$ $R^2 = 0,93$ correspondientes al mes de septiembre de 2004 y se confirma la validez de la ecuación con la coincidencia con los punto de control realizadas el 2, 9 y 16 de septiembre de 2004.

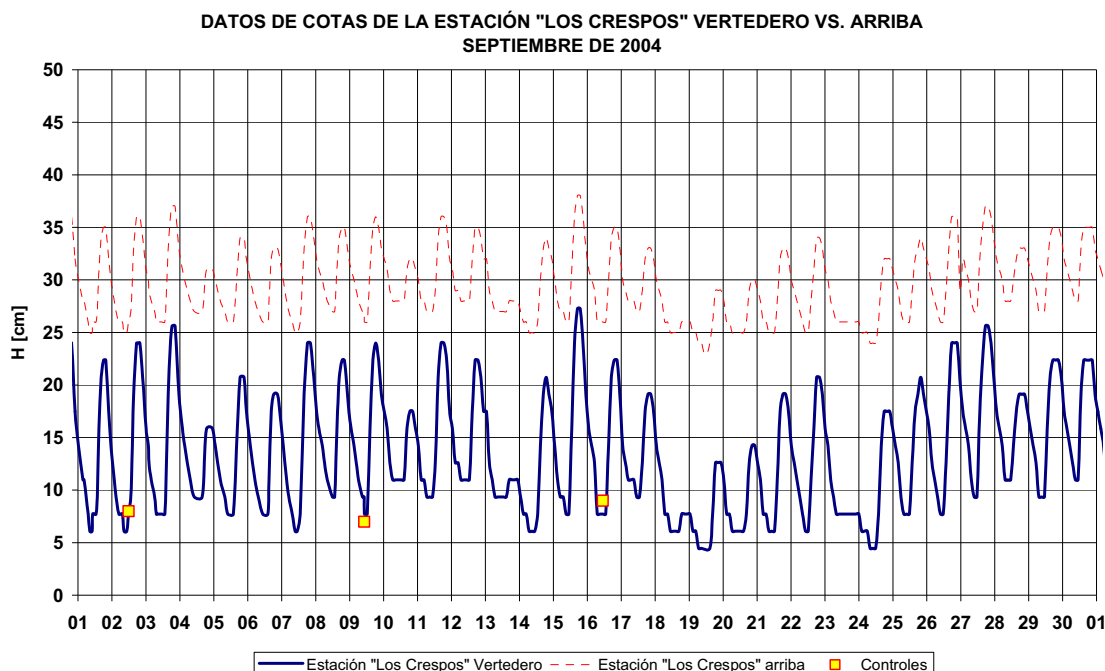


Gráfico 6.6. Transformación de las cotas de arriba a vertedero para septiembre 2004

A partir de la instalación del sensor electrónico Orphimedes en el vertedero en diciembre de 2004 se hizo innecesaria la utilización de los datos del captor de arriba, por esta razón, se desinstalaron los equipos de medición y solamente se mantuvo la regleta para tomar mediciones simultáneas de arriba y de vertedero para poder obtener las ecuaciones de transformación.

En la actualidad, el sistema de medición de arriba está fuera de funcionamiento, y para asegurar la obtención de datos en la estación “Los Crespos” en vertedero se instaló dos sensores electrónicos Orphimedes que funcionan simultáneamente.

Los datos corregidos se encuentran en la base de Hydraccess en el captor **C07_Crespos_I-Defi_Cotas instantáneas definitivas desde 2003**.



Foto 6.4. Ubicación de los datos de cotas corregidas de “Los Crespos” en Hydraccess

2003	SEP	Se suma 2 cm. desde el 5/09/2003 12:18 al 18/09/2003 09:39.
	OCT	Se suaviza el descenso de las crecidas de 16 al 21/10/2003 y de 23 a 27/10/2003.
	NOV	Se resta 3 cm. desde el 27 (11:00) al (24/12).
2004	ENE	Se encuentran 3 puntos de control para la sonda Chloé (9, 15, 29) pero no se registraron los datos de cotas para este periodo.
	FEB	Se encuentran 4 puntos de control para la sonda Chloé (12, 19, 19, 27) pero no se registraron los datos de cotas para este periodo.
	MAR-JUL	Datos de cotas inician el 19/03, datos levantados de los rollos de arriba y transformados a vertedero mediante la ecuación $H_{\text{vertedero}} = 1,63 \cdot H_{\text{arriba}} - 34,56$ [cm.]; $R^2 = 93$ %. Los controles coinciden con las alturas nuevas calculadas con la ecuación.
	AGO	Se eliminan cotas menores a 4 cm. Serie de datos dudosos.
	SEP	Se eliminan cotas menores a 4cm después de usar la ecuación $H_{\text{vertedero}} = 1,63 \cdot H_{\text{arriba}} - 34,56$ [cm.]; $R^2 = 93$ %. Serie de datos dudosos.
	OCT	Es usa la ecuación $H_{\text{vertedero}} = 1,63 \cdot H_{\text{arriba}} - 34,56$ [cm.]; $R^2 = 93$ %. Serie de datos dudosos. Ningún punto de control.
	NOV	Se utiliza la ecuación $H_{\text{vertedero}} = 1,42 \cdot H_{\text{arriba}} - 25,82$ [cm.]; $R^2 = 93$ % obtenida a partir de los controles del 2005-2006.
	DIC	Datos de Orphimedes utilizados a partir del 14.
2005	AGO	Orphimedes y desde el 04 a las 14:00 hasta el 22 a las 13:30 se introducen los datos de Orphimedes 3 que funciona en paralelo y desde el 25 hasta el 08/09 a las 13:30 se reemplaza la serie con los datos de Orphimedes 3.

Tabla 6.2. Correcciones realizadas en la estación “Los Crespos” de 2003 a 2005

6.1.1.3 Cálculo de caudales

Para esta estación con los datos obtenidos en el campo se ha definido la siguiente curva de calibración: La formulación de estas ecuaciones corresponde a la forma trapezoidal del vertedero

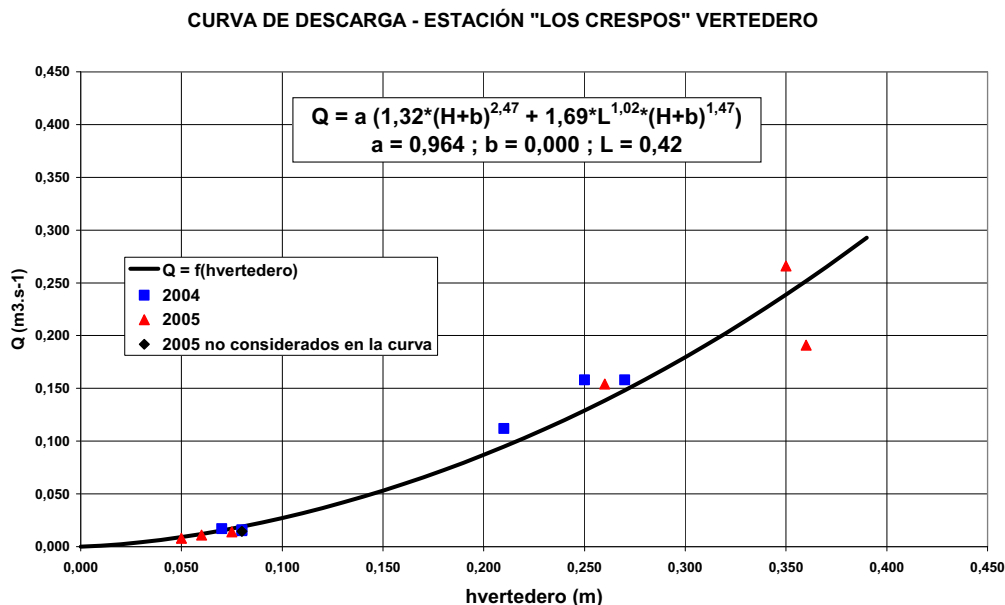


Gráfico 6.7. Curva de descarga. Estación "Los Crespos" vertedero (Villacís-Garcés)

Los datos de los caudales instantáneos, diarios y mensuales se encuentran en la base de Hydraccess en los captos que se encuentran marcados en la Foto 6.5.

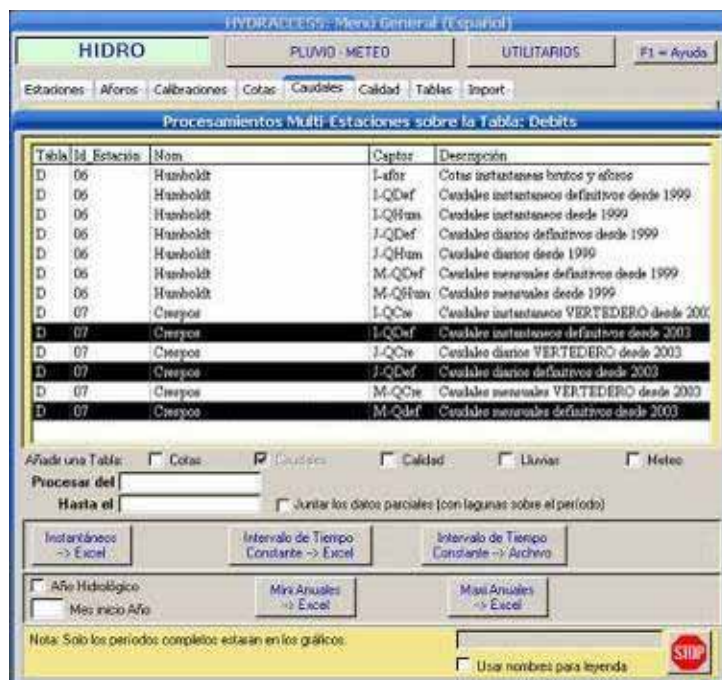


Foto 6.5 Ubicación de datos de caudales de la estación "Los Crespos" en Hydraccess

6.1.1.4 Problemas en las mediciones

La dificultad para tener series de datos continuas a lo largo de los años en los cuales se han realizados las mediciones se debe principalmente a los siguientes factores:

- Dificultad de la recopilación de datos

La distancia relativamente lejana a la que se encuentran las estaciones hidrológicas de la oficina en la que opera el proyecto GREATICE hace imposible que se puedan solucionar de manera inmediata los problemas que se presentan en las estaciones.

- Factores naturales

De los factores naturales, el principal problema se presenta por el importante acarreo de sedimentos de origen volcánico hacia las estaciones hidrológicas, esta situación se da especialmente cuando hay eventos de crecidas fuera de lo común, lo que provoca el asolvamiento o socavación de la sección de control y el taponamiento de las sondas de medición. También, condiciones meteorológicas extremadamente frías que pueden llegar a afectar el funcionamiento de los equipos de medición o incluso llegar a congelar la lámina de agua en la sección de control.

- Factores humanos

La diversidad del personal que opera la estación debido al contexto de cooperación entre el IRD, INAMHI, EMAAP-Q; los técnicos, ingenieros e investigadores puede utilizar métodos propios.

Aforos de la estación “Los Crespos” vertedero								
EMAAP-Q GERENCIA DE INGENIERIA UEPRO E HIDROLOGIA								
Sitio:		Qbda. Glaciar Los Crespos					Caudal (l/s)	
Código:		MS28						
Cuenca:		Río Antisana					Prom.: 134,6	
Coordenadas:		815058E 9945918N						
Altitud:		4.521 msnm.					Máx: 400,7	
Área de Drenaje:		2,44 Km ²					Mín: 5,4	
No	Fecha	Hora	Lectura	Calado	Ancho	Área	Veloc.	Caudal
			limnimétrica	medio (m)	(m)	(m2)	(m/s)	(l/s)
1	05-sep-02	10:30	0,16	0,15	0,50	0,075	0,430	32,3
2	05-sep-02	11:00		0,17	0,50	0,085	0,303	25,8
3	05-sep-02	11:30		0,15	0,50	0,075	0,196	14,7
4	21-nov-02	11:40	0,28	0,20	0,70	0,140	0,459	64,3
5	21-nov-02	12:00	0,29	0,20	0,70	0,140	0,487	68,2
6	21-nov-02	12:15	0,30	0,25	0,70	0,175	0,643	112,5
7	21-nov-02	12:30	0,32	0,26	0,70	0,182	0,772	140,5
8	21-nov-02	12:45	0,33	0,27	0,70	0,189	0,787	148,7
9	21-nov-02	13:00	0,34	0,28	0,70	0,196	0,799	156,6
10	21-nov-02	13:15	0,35	0,30	0,70	0,210	0,933	195,9
11	21-nov-02	13:30	0,37	0,30	0,70	0,210	0,991	208,1
12	21-nov-02	13:45	0,36	0,34	1,00	0,335	0,684	229,1
13	21-nov-02	14:00		0,26	1,00	0,347	0,738	256,1
14	21-nov-02	14:15		0,37	1,00	0,374	0,775	289,9
15	21-nov-02	14:30	0,42	0,40	1,00	0,400	0,798	319,2
16	21-nov-02	15:00	0,45	0,41	1,00	0,406	0,987	400,7
17	21-nov-02	15:15		0,41	1,00	0,406	0,902	366,2
18	21-nov-02	15:30		0,36	1,00	0,406	0,897	364,2
19	21-nov-02	15:45		0,41	1,00	0,406	0,922	374,3
20	21-nov-02	16:00	0,44	0,40	1,00	0,400	0,888	355,2
21	21-nov-02	16:15	0,42	0,37	1,00	0,374	0,947	354,2
22	21-nov-02	16:30		0,37	1,00	0,374	0,926	346,3
23	21-nov-02	16:45		0,36	1,00	0,362	0,924	334,5
24	21-nov-02	17:00		0,36	1,00	0,356	0,944	336,1
25	21-nov-02	17:15		0,35	1,00	0,416	0,694	288,7
26	22-nov-02	7:05	0,22	0,13	0,30	0,039	0,276	10,8
27	22-nov-02	7:45		0,13	0,30	0,039	0,222	8,7
28	22-nov-02	8:35	0,22	0,13	0,30	0,039	0,264	10,3
29	22-nov-02	9:20	0,23	0,13	0,30	0,039	0,269	10,5
30	22-nov-02	10:00	0,23	0,07	0,30	0,021	0,259	5,4
31	22-nov-02	10:45	0,24	0,15	0,30	0,045	0,342	15,4
32	22-nov-02	11:35	0,24	0,15	0,30	0,045	0,329	14,8
33	22-nov-02	12:20	0,24	0,15	0,30	0,045	0,333	15,0
34	25-sep-02	16:10	0,29	0,22	0,60	0,130	0,579	75,3
35	28-oct-02	14:20	0,32	0,30	0,70	0,212	0,679	143,9
36	22-may-03	11:15	0,25	0,20	0,40	0,080	0,307	24,6
37	05-mar-04	10:50		0,18	0,30	0,054	0,344	18,6
38	05-mar-04	12:00		0,14	0,30	0,042	0,315	13,2
39	19-mar-04	10:45	0,17	0,14	0,30	0,042	0,325	13,7
40	17-jun-04	9:40	0,26	0,14	0,30	0,042	0,256	10,8
41	16-nov-04	10:10	0,21	0,17	0,30	0,051	0,290	14,8

42	16-nov-04	13:00	0,25	0,19	1,60	0,299	0,529	157,9
43	05-ene-05	11:15	0,21	0,13	0,30	0,039	0,212	8,3
44	05-ene-05	12:00	0,34	0,22	1,06	0,233	0,660	154,1
45	05-ene-05	12:20	0,37	0,26	1,06	0,275	0,820	225,4
46	05-ene-05	12:35	0,35	0,25	2,30	0,583	0,457	266,0
47	05-ene-05	13:15	0,36	0,25	2,30	0,563	0,339	191,0
48	06-ene-05	9:00	0,21	0,14	0,30	0,042	0,260	10,9
49	06-ene-05	11:00	0,23	0,17	0,30	0,051	0,270	13,8
50	01-abr-05	10:50		0,12	0,30	0,036	0,278	10,0

Tabla 6.3. Aforos de la estación "Los Crespos" vertedero

Caudales medios diarios – Estación hidrológica “Los Crespos” 2005

Sitio: Qbda. Glaciar Los Crespos Coordenadas: 815058E 9945918N
 Código: MS28 Altitud: 4.521 msnm.
 Cuenca: Río Antisana Área drenada: 2,44 Km²

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	0,078	0,095	0,068	0,041	0,052	0,048	0,01	0,053	<u>0,068</u>	0,037	0,039	0,027
2	0,064	0,07	0,075	0,061	0,054	0,069	0,015	0,058	<u>0,035</u>	0,045	0,076	0,033
3	0,058	0,089	0,088	0,045	0,051	0,052	0,02	<u>0,066</u>	<u>0,021</u>	0,047	0,062	0,043
4		0,082	0,028	0,096	0,029	0,034	0,026	<u>0,042</u>	<u>0,041</u>	0,066	0,076	0,028
5		0,112	0,063	0,069	0,037	0,039	0,028	<u>0,04</u>	<u>0,057</u>	0,086	0,079	0,022
6	0,084	0,137	0,037	0,106	0,051	0,033	0,029	<u>0,054</u>	<u>0,079</u>	0,047	0,092	0,029
7	0,08	0,09	0,052	0,086	0,046	0,032	0,032	<u>0,041</u>	<u>0,071</u>	0,034	0,083	0,031
8	0,058	0,076	0,05	0,087	0,051	0,034	0,028	<u>0,034</u>	<u>0,076</u>	0,066	0,067	0,03
9	0,089	0,12	0,034	0,053	0,066	0,038	0,028	<u>0,047</u>	<u>0,067</u>	0,059	0,093	0,034
10	0,098	0,081	0,059	0,082	0,115	0,051	0,023	<u>0,029</u>	0,062	0,068	0,089	0,054
11	0,104	0,099	0,066	0,079	0,098	0,047	0,024	<u>0,041</u>	0,082	0,036	0,073	0,065
12	0,109	0,069	0,031	0,049	0,107	0,037	0,019	<u>0,042</u>	0,08	0,036	0,06	0,045
13	0,095	0,09	0,054	0,108	0,09	0,035	0,019	<u>0,043</u>	0,079	0,041	0,068	0,047
14	0,086	0,071	0,036	0,089	0,101	0,034	0,03	<u>0,051</u>	0,087	0,035	0,045	0,031
15	0,043	0,065	0,037	0,063	0,053	0,04	0,028	<u>0,051</u>	0,085	0,043	0,06	0,028
16	0,046	0,063	0,02	0,077	0,059	0,043	0,029	<u>0,043</u>	0,077	0,028	0,099	0,035
17	0,039	0,086	0,019	0,081	0,045	0,044	0,04	<u>0,033</u>	0,088	0,048	0,061	0,029
18	0,061	0,108	0,049	0,096	0,047	0,043	0,045	<u>0,044</u>	0,083	0,086	0,034	0,033
19	0,049	0,085	0,044	0,079	0,02	0,042	0,032	<u>0,029</u>	0,088	0,059	0,047	0,028
20	0,033	0,109	0,033	0,063	0,022	0,056	0,022	<u>0,041</u>	0,072	0,064	0,07	0,025
21	0,052	0,088	0,048	0,029	0,035	0,056	0,013	<u>0,047</u>	0,06	0,057	0,035	0,026
22	0,053	0,074	0,064	0,033	0,015	0,057	0,015	<u>0,044</u>	0,05	0,043	0,035	0,034
23	0,054	0,075	0,041	0,033	0,009	0,053	0,011	<u>0,055</u>	0,035	0,022	0,043	0,032
24	0,031	0,092	0,028	0,028	0,02	0,033	0,012	<u>0,032</u>	0,068	0,029	0,052	0,034
25	0,03	0,074	0,051	0,028	0,03	0,04	0,016	<u>0,04</u>	0,078	0,036	0,059	0,038
26	0,085	0,104	0,046	0,054	0,016	0,031	0,023	<u>0,024</u>	0,073	0,037	0,058	0,039
27	0,09	0,109	0,031	0,038	0,015	0,058	0,027	<u>0,041</u>	0,021	0,043	0,061	0,027
28	0,085	0,025	0,043	0,031	0,031	0,028	0,022	<u>0,033</u>	0,042	0,053	0,08	0,022
29	0,055		0,049	0,025	0,045	0,015	0,021	<u>0,042</u>	0,033	0,064	0,044	0,02
30	0,022		0,039	0,047	0,04	0,013	0,042	<u>0,036</u>	0,037	0,055	0,04	0,018
31	0,075		0,051		0,036		0,047	<u>0,052</u>		0,029		0,027
Med.	<u>0,066</u>	0,087	0,046	0,062	0,048	0,041	0,025	<u>0,043</u>	<u>0,063</u>	0,048	0,063	0,033
Mín.	<u>0,022</u>	0,025	0,019	0,025	0,009	0,013	0,01	0,024	0,021	0,022	0,034	0,018
Máx	<u>0,109</u>	0,137	0,088	0,108	0,115	0,069	0,047	0,066	0,088	0,086	0,099	0,065

Tabla 6.4. Caudales diarios – Estación “Los Crespos” 2005

Min. Instantáneo = 0,006 m³/s --> 02/01/2005 12:35 Máx. Instantáneo = 0,436 m³/s --> 06/02/2005 14:45

Débit Moyen Annuel = 0,052 m³/s Volumen = 1 619 700, m³ Lámina = 663,8 mm
 Lagunas: verde = 1 a 2 días, naranja = 3 a 5 días, rojo = 6 a 15 días.

Subrayado = Reconstituido, Itálico = Dudoso

Caudales Diarios - Estación "Los Crespos"
2005

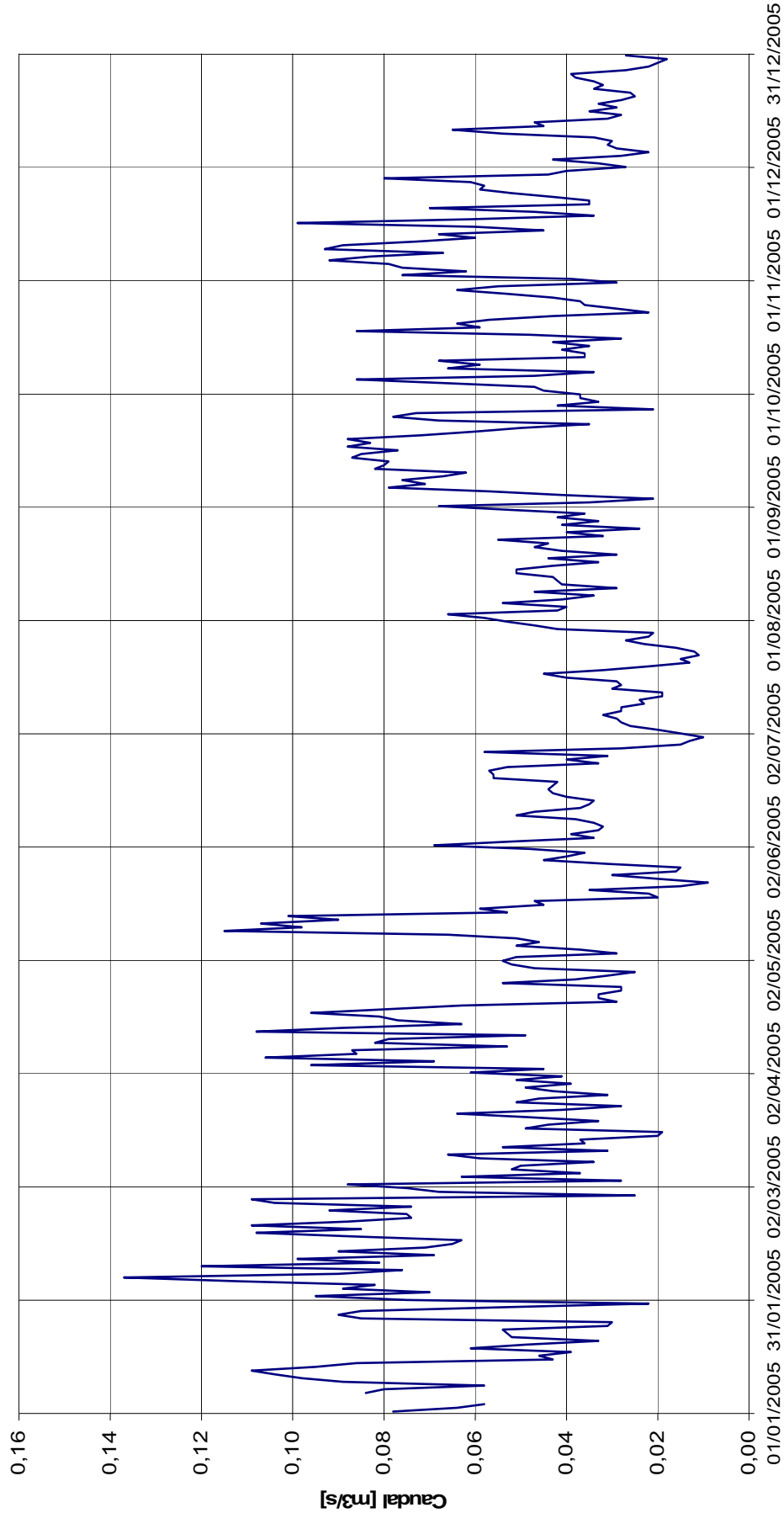
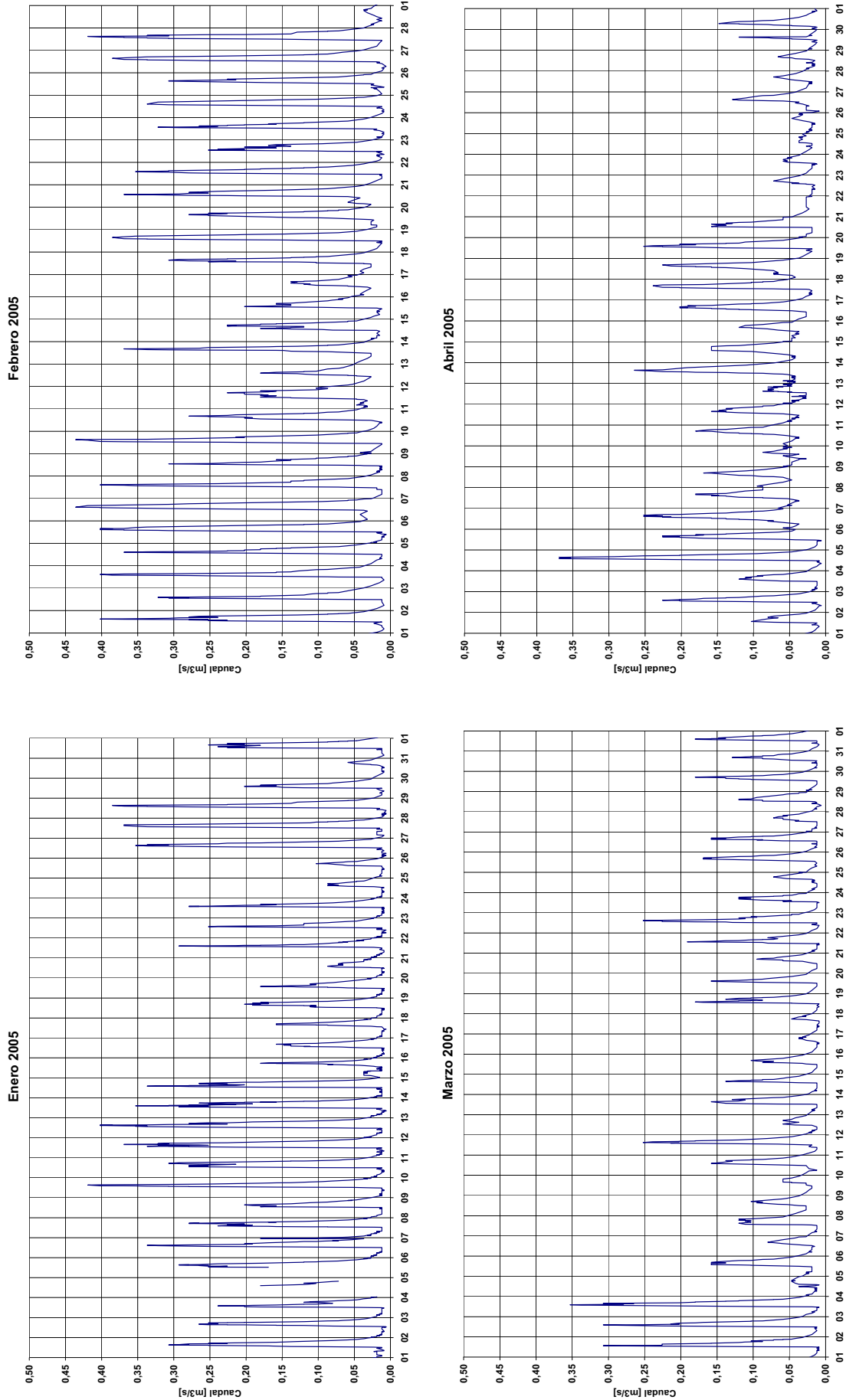
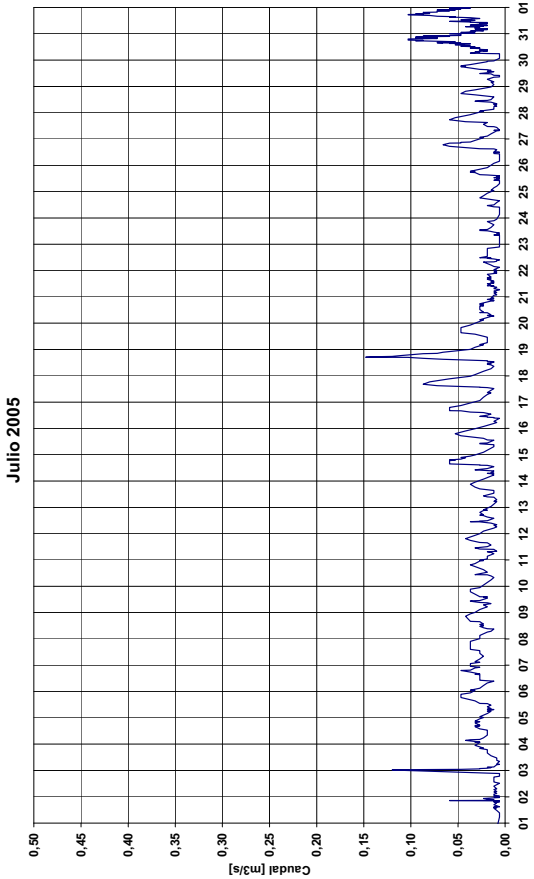
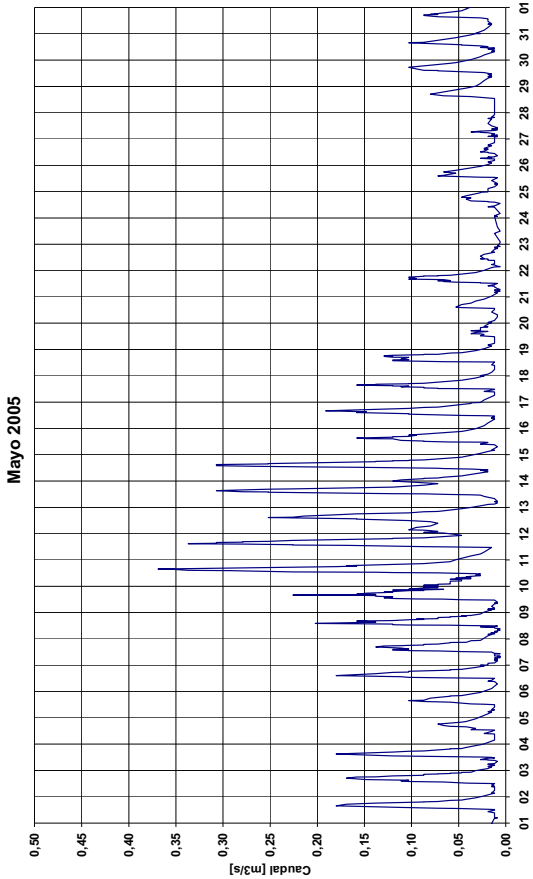
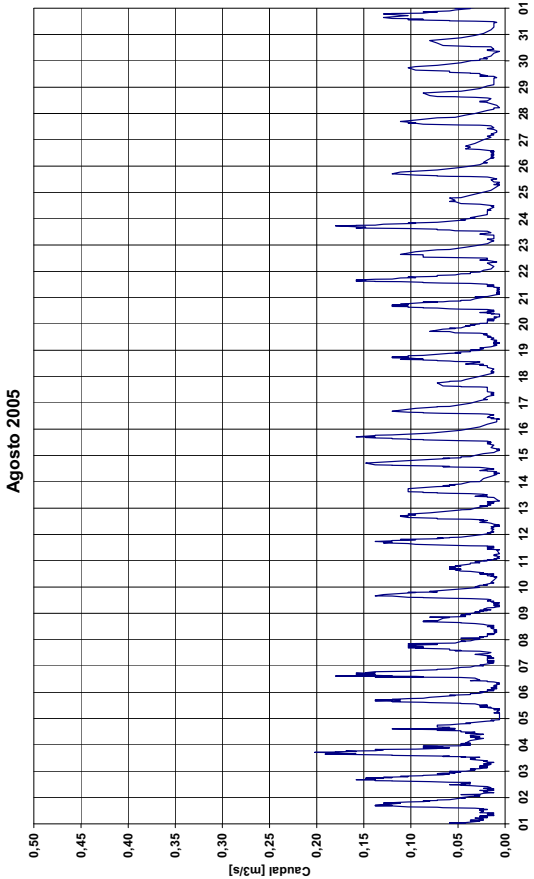
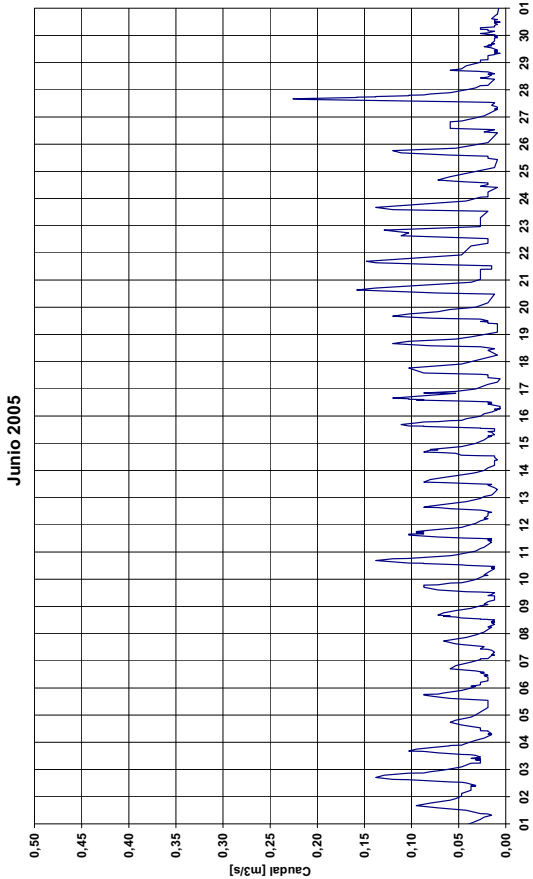
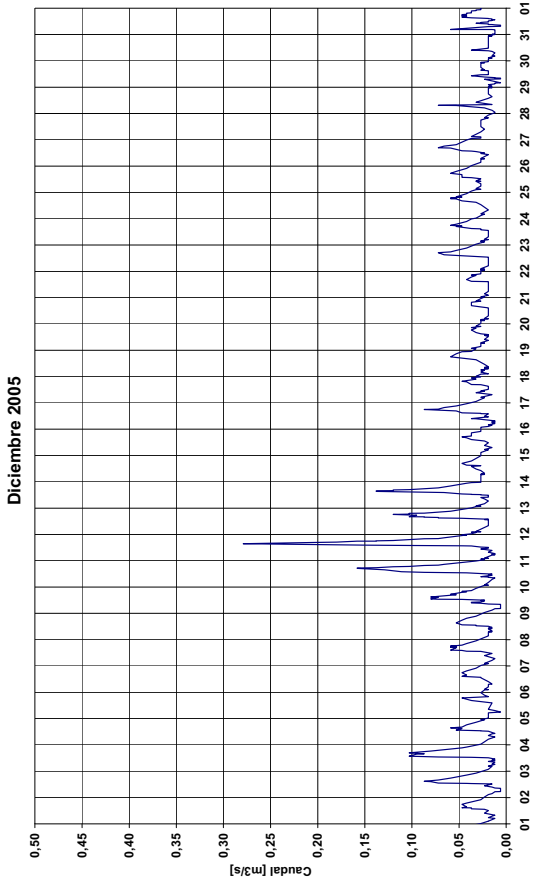
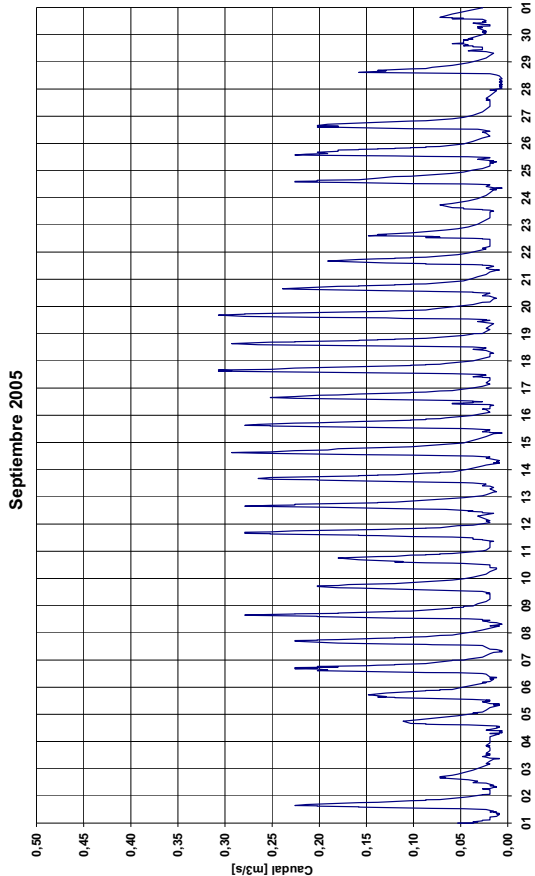
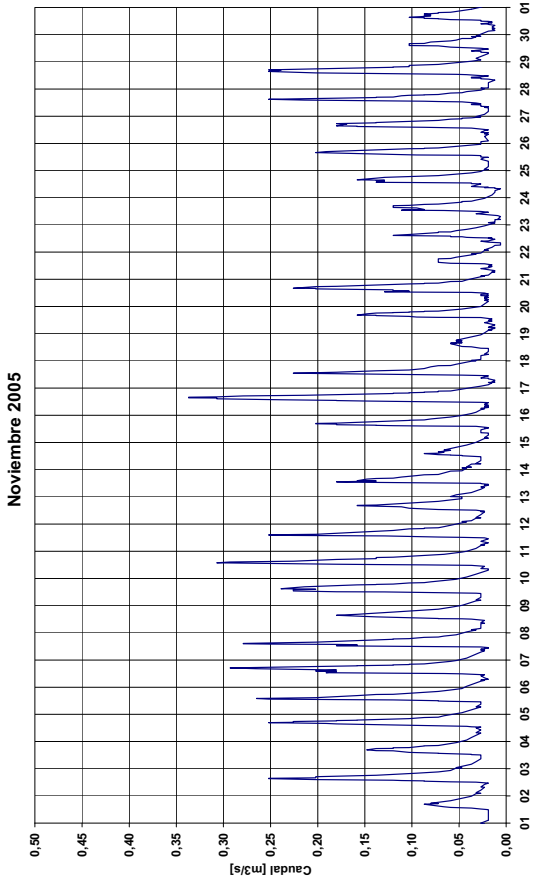
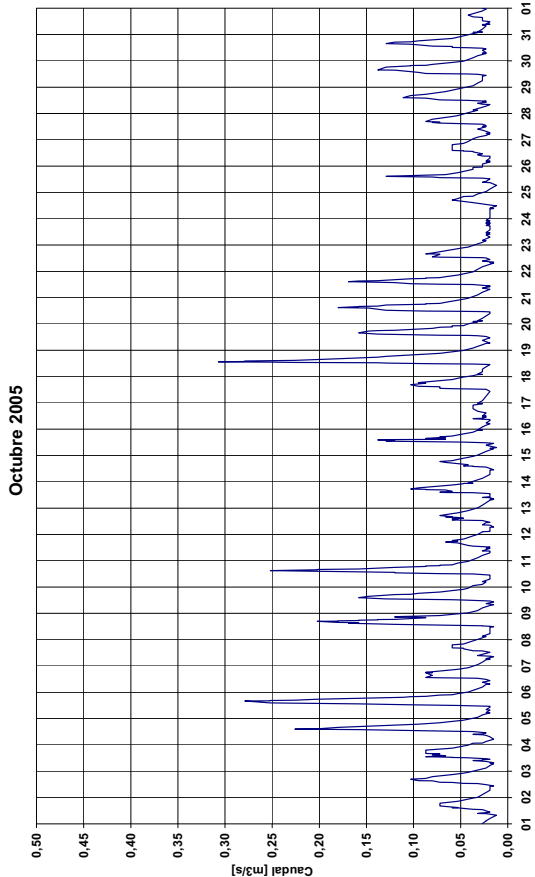


Gráfico 6.8. Caudales diarios en la estación hidrológica "Los Crespos" vertedero para el 2005

Gráfico 6.9. Caudales instantáneos de cada mes medidos por la estación hidrológica “Los Crespos” para el 2005







6.1.2 Estación Humboldt

Superficie drenada:

14,20 Km²

Superficie Glaciar:

1,97 Km² (14%)

Altitud:

4010m

Funcionamiento:

1999-2005

Sección de control:

Canal rectangular con una solera de control

Captor actual:

Nimbus OTT



Foto 6.6. Estación hidrológica Humboldt

La estación hidrológica Humboldt está ubicada en la parte baja de la cuenca del río Antisana, en las coordenadas 810.477E y 9°43.609N, a una altitud de 4.010 msnm. Esta estación drena un área de 14,20 Km² en donde, 1,97 Km² corresponde a cubierta glaciar, lo que representa el 14% de la cuenca drenada; la parte no glaciar de la cuenca está principalmente cubierta por vegetación propia de los páramos y una pequeña cantidad de morrenas que recubren la parte media de la cuenca. Esta estación se localiza a corta distancia del campamento de la EMAAP-Q en la laguna de la Mica en donde inicia el Proyecto La Mica Quito Sur. Lo que le confiere una gran utilidad para determinar el comportamiento hidrológico de la cuenca de origen glaciar que contribuye a este importante proyecto de abastecimiento de agua potable para Quito.

La cuenca que drena hasta la estación Humboldt contiene en su totalidad a la cuenca drenada hasta la estación “Los Crespos”, situada aguas arriba.

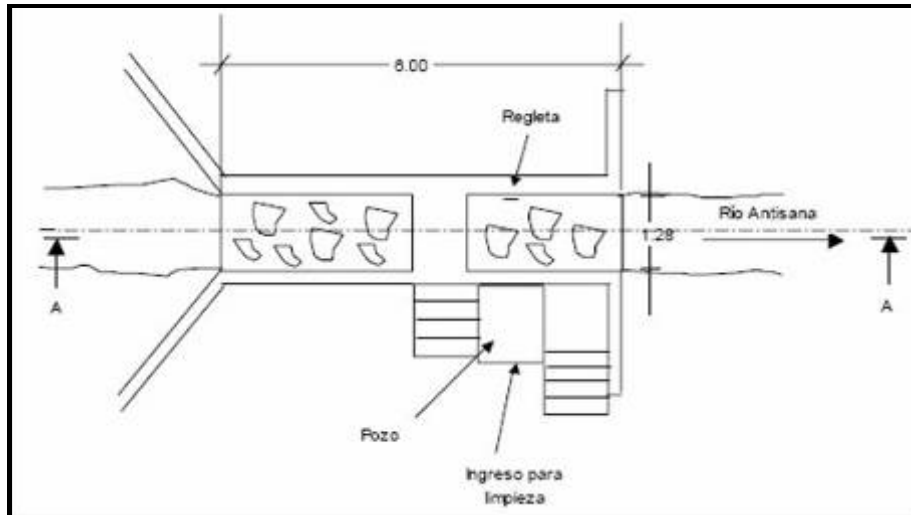
El escurrimiento del glaciar “Los Crespos” constituye la aportación más importante de origen glaciar hacia la estación Humboldt y adicionalmente al sur de este glaciar hay un área glaciar adicional de 0,34 Km² que encierra la cuenca del río Humboldt.

Esta estación fue construida en 1999 en el marco de cooperación del proyecto GREATICE por las tres instituciones INAMHI-EMAAP-Q e IRD y empezó su funcionamiento en noviembre del mismo año.

La estación hidrológica Humboldt está compuesta por dos muros laterales de hormigón ciclópeo con una altura de 1,60 metros que encausan las aguas del río Antisana, la sección del canal es rectangular con un ancho de 1,28 metros, y una longitud de 6,0 metros. Junto al canal se construyó un pozo que mantiene un mismo nivel de agua que el canal pero con aguas tranquilas.

Debido a la erosión del canal rectangular de hormigón presentada en el inicio de su funcionamiento se recubrió el fondo del canal con piedras grandes e irregulares, las cuales generan turbulencias que disminuyen la precisión de los aforos, y provocan oscilaciones cerca de la regla del canal.

Abajo del canal hay una pequeña caída. Por estos motivos se puede considerar que la curva de calibración debe ser próxima de la fórmula de Chezy para un canal rectangular.



Fuente: EMAAP-Q 2004

Figura 6.1. Plano de la estación hidrológica Humboldt

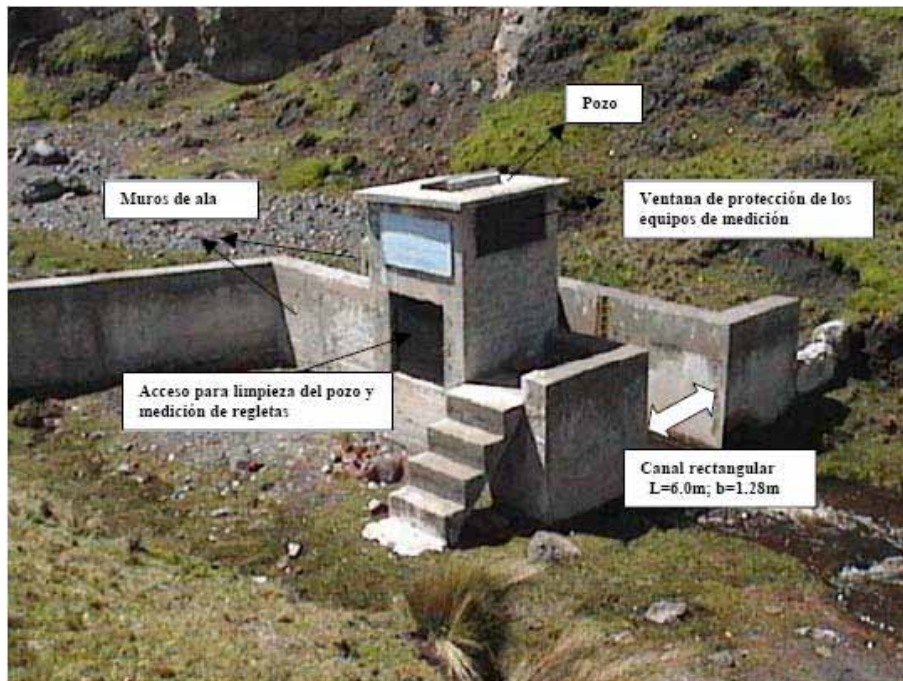


Foto 6.7 Conformación de la estación hidrológica Humboldt

A lo largo del periodo de funcionamiento de esta estación se han utilizado varios equipos hidrométricos debido a facilidades técnicas y de operación.

6.1.2.1 Equipos de medición

Para realizar las mediciones hidrométricas se ha utilizado diferentes equipos de medición, desde limnógrafos de papel hasta sensores electrónicos.

En esta estación se encuentran instaladas dos regletas, la primera se encuentra en la pared izquierda del canal donde hay mucho oleaje y la segunda, en la entrada del pozo tranquilizante donde se mide el mismo nivel.

Desde su instalación en noviembre de 1999 hasta agosto de 2003 funcionó un limnógrafo de marca “Chloé”, y debido a un mal funcionamiento fue reemplazado por una sonda de marca Global Water hasta enero de 2005, que a su vez fue reemplazada por un limnógrafo de burbuja de aire “Nimbus” de marca OTT.



Gráfico 6.10. Cronograma de los equipos de medición utilizados en Humboldt

Equipo de medición NIMBUS

Este equipo de medición tiene básicamente el mismo principio de funcionamiento que el equipo de medición Orphimedes.

Este equipo está programado para tomar el dato del nivel de agua cada 15 minutos y el extremo de la manguera se encuentra ubicado en el punto 0 junto a la regleta del pozo.

Rango de medida	0 - 13 m (42 ft.) de columna de agua
Error de medida	± 1 cm. (0.03 ft)
Resolución	1 cm. para unidades en m; 5 mm. para unidades en mm.
Unidades	Opcionalmente en m, mm. o ft
Modo de medida	Profundidad (Distancia entre el punto de referencia de la superficie y el nivel del agua) y Nivel (Columna de agua)
Memoria	Aproximadamente 11.200 valores. Memoria circular.
Display	LCD línea sencilla, 4 1/2 dígitos, Altura de los símbolos: 12 mm.
Intervalo de lectura	Intervalo regulable de 5 min. a 24 horas
Interfase	Conexión a dispositivos externos, IrDA (Tecnología Infrarroja)
Alimentación	Batería de 12 voltios alimentada por un panel solar y un regulador de voltaje
Dimensiones	230 x 100 x 60 mm (L x W X H)
Rango de temperaturas	De -10 a +60 °C

Tabla 6.5 Datos Técnicos de Orphimedes de marca OTT



Foto 6.8. Detalle del equipo Limnógrafo Nimbus de marca OTT

6.1.2.2 Recopilación de datos

La recopilación de datos de cotas de esta estación hidrológica ha procedido principalmente de dos fuentes: los registros de los sensores electrónicos y los rollos limnigráficos, estos últimos han sido digitalizados.

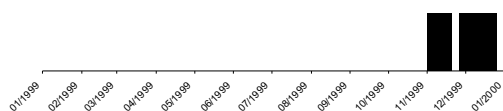
Para asegurar la recopilación de los datos han sido necesarias las visitas de campo frecuentes, tanto para comprobar el correcto funcionamiento de los equipos, como para realizar la descarga de los datos.

Los datos brutos, los datos corregidos y los registros de campo son almacenados en una base de datos mediante el programa computacional Hydraccess.

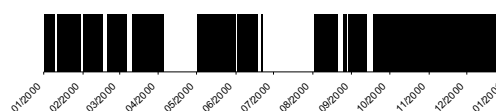
6.1.2.3 Series de datos

En el proyecto GREATICE se tiene disponible para la estación Humboldt los siguientes datos para el periodo 1999 - 2007.

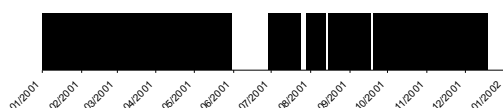
1999



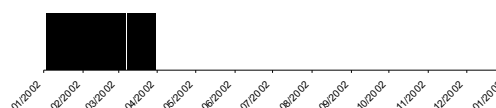
2000



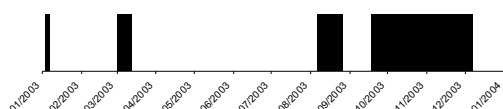
2001



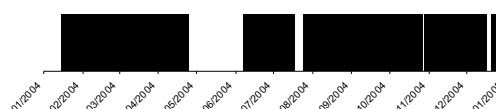
2002



2003



2004



2005

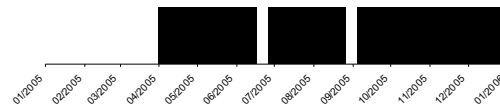


Tabla 6.6 Series de datos existentes en la estación Humboldt

En las series de datos de cotas existentes en la estación Humboldt se realizaron algunas correcciones, que se muestran en detalle en la tesis de Laval R., 2005 “*Etude hydrologique d’un bassin versant partiellement englacé subtropical en Equateur et application aux petites centrales hydroélectriques et étude d’un projet de petite hydroélectricité en Equateur*”.

Sin embargo, para este periodo se realizaron algunas correcciones menores, que se detallan a continuación.

2005	MAR	31 se ingresan datos que registra Nimbus
	ABR	Datos registrados por Nimbus
	MAY	Hasta el 25 datos registrados por Nimbus (desde el 31/03 no se habían pasado los datos de Nimbus completos)
	NOV	El 12 se eliminar datos con variaciones abruptas
	DIC	El 15 se eliminar datos con variaciones abruptas

Tabla 6.7 Resumen de las correcciones realizadas en la estación Humboldt

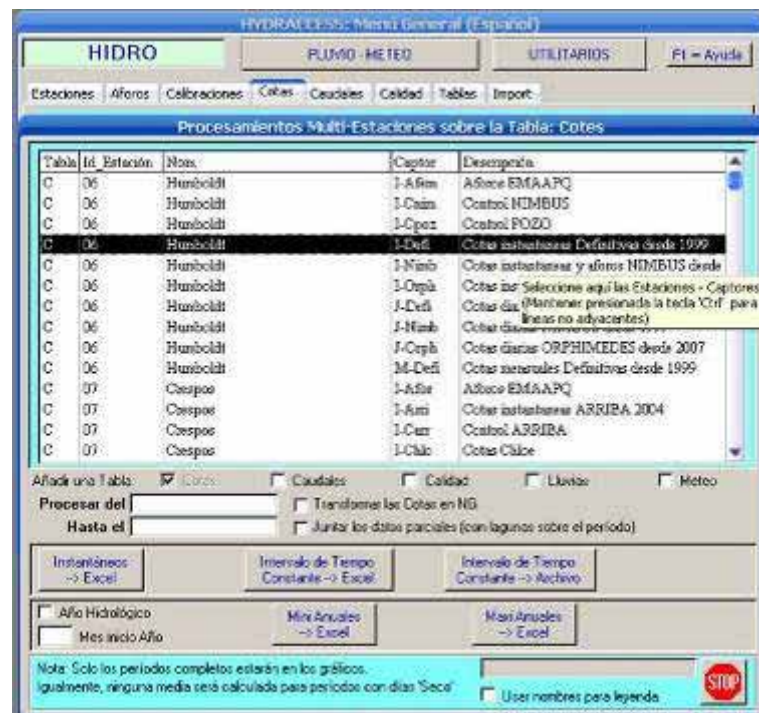


Figura 6.2 Ubicación de los datos de cotas corregidas de Humboldt en Hydraccess

6.1.2.4 Cálculo de caudales

Para la estación Humboldt se ajustó la curva de calibración con una formulación próxima a la formula de Chezy para un canal rectangular.

$$Q_{Humboldt} = 6,071 * H^{1,807}$$

Globalmente la curva de calibración de la estación Humboldt es estable. Es robusta, su extrapolación es confiable, basada en la hidráulica simple de un canal rectangular. Los principales problemas provienen de los sedimentos que obstruyen los aparatos de medición y de la imprecisión de las lecturas en la regla del canal al momento de regular el limnígrafo y de realizar aforos.

Para obtener la curva de calibración la EMAAP-Q realizó 145 aforos entre 152Litro/seg y 1761Litro/seg. Lamentable solo hay un aforo arriba de 624Litro/seg (1756Litro/seg el 23 de mayo de 2000), pero el caudal máximo fue estimado en solamente 3700Litro/seg el 23 de mayo de 2000. El 10% de los aforos son superiores a 456Litro/seg mientras que 90% son superiores a 170 Litro/seg.

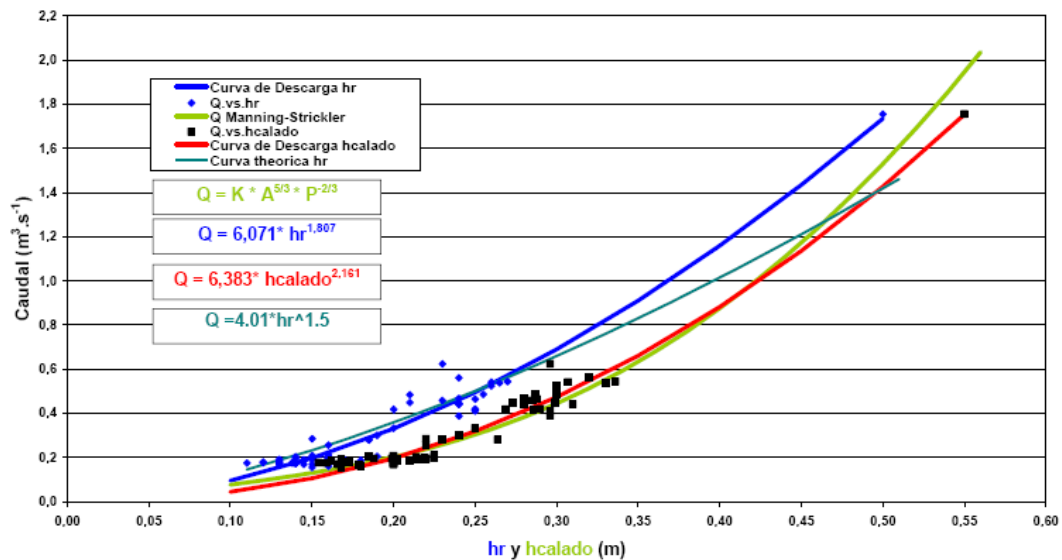


Gráfico 6.11 Curva de descarga para la estación hidrológica Humboldt

Los datos de los caudales instantáneos, diarios y mensuales se encuentran en la base de Hydraccess en los captores que se encuentran marcados en la Foto 6.9.

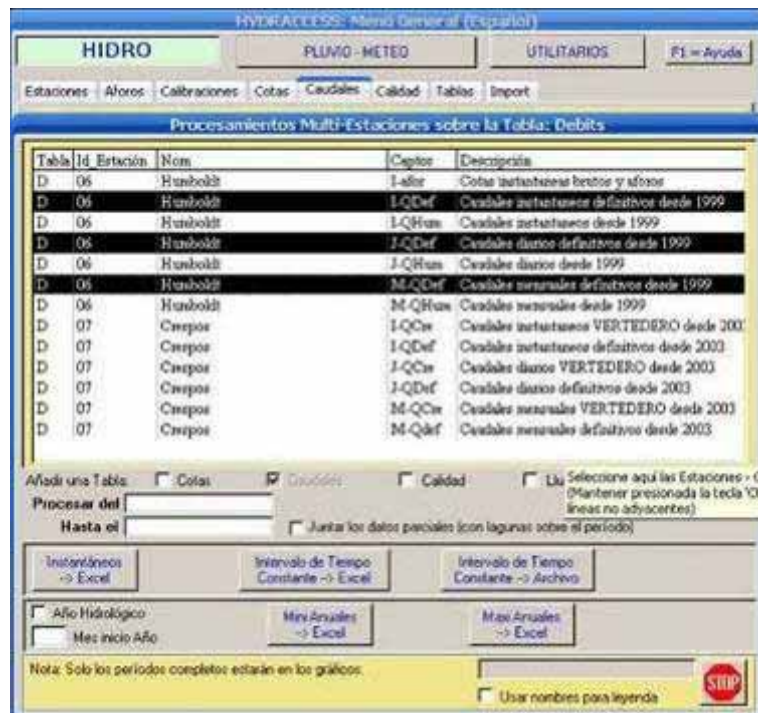


Foto 6.9 Ubicación de los datos de caudales de Humboldt en Hydraccess

6.1.2.5 Problemas en las mediciones

La dificultad para tener series de datos continuas a lo largo de los años en los cuales se han realizados las mediciones se debe principalmente a los siguientes factores:

- Dificultad de la recopilación de datos

La distancia relativamente lejana a la que se encuentran las estaciones hidrológicas de la oficina en la que opera el proyecto GREATICE hace imposible que se puedan solucionar de manera inmediata los problemas que se presentan en las estaciones.

- Precisión en las mediciones

El oleaje y la turbulencia producida por las irregularidades del fondo del canal disminuyen la precisión en la toma de datos de nivel de agua, tanto de los sensores electrónicos como la lectura de la regleta del canal y en la realización de aforos.

Debido a que las variaciones de nivel de agua de este canal rectangular son de muy pequeña amplitud en relación al caudal. Se hace necesario medir el nivel con una precisión superior a la sensibilidad de los limnógrafos generalmente del orden de un cm.

La falta de aforos arriba de los 624L/s produce incertidumbres en el cálculo de caudales en la parte alta de las crecidas.

- Factores naturales

El transporte de sedimentos es importante y se deposita en el pozo tranquilizante que se comporta como una trampa de sedimentos, lo que provoca la obstrucción de los aparatos de medición.

Aforos de la estación Humboldt				
EMAAP-Q GERENCIA DE INGENIERÍA UEPRO E HIDROLOGÍA				
Sitio:	Río Antisana			Caudal (L/s)
Código:	MS21			
Cuenca:	Río Antisana			
Coordenadas	810477E	9943609N		Prom. 267
Altitud	4010	msnm		Máx 1756
Área de Drenaje:	14,2	Km ²		Mín. 139

No	Fecha	Hora	LECTURA REGLETA		Calado medio (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Veloc. (m/s)	Caudal (l/s)
			Inicio	Fin					
1	12-Mar-99	10:40		0,20	0,20	1,28	0,256	0,757	194
2	26-Mar-99	13:20		0,20	0,20	1,28	0,256	0,740	190
3	13-Abr-99	13:00		0,23	0,24	1,28	0,307	0,877	270
4	26-May-99	13:30		0,20	0,20	1,28	0,256	1,117	286
5	27-May-99	12:00		0,20	0,20	1,28	0,256	0,878	225
6	15-Jun-99	11:40		0,20	0,20	1,28	0,256	1,081	277
7	30-Jun-99	16:00		0,22	0,22	1,28	0,282	1,254	353
8	17-Ago-99	13:40		0,25	0,25	1,28	0,320	1,207	386
9	13-Sep-99	11:40		0,20	0,20	1,28	0,256	1,134	290
10	01-Dic-99	13:50		0,17	0,17	1,28	0,218	0,890	194
11	15-Dic-99	13:00		0,18	0,18	1,28	0,230	0,693	160
12	13-Ene-00	14:00		0,18	0,20	1,28	0,252	0,736	186
13	15-Feb-00	11:50		0,20	0,23	1,28	0,296	0,657	194
14	03-Mar-00	11:30		0,18	0,24	1,28	0,311	0,805	251
15	04-Abr-00	11:30		0,16	0,22	1,28	0,283	0,650	184
16	26-Abr-00	10:05		0,18	0,22	1,28	0,282	0,665	187
17	23-May-00	12:10		0,55	0,55	1,28	0,704	2,494	1756
18	27-Jun-00	11:20		0,32	0,32	1,28	0,410	1,138	466
19	27-Jul-00	11:45		0,17	0,21	1,28	0,272	1,011	275
20	30-Ago-00	13:00		0,20	0,23	1,28	0,299	0,968	289
21	13-Sep-00	11:25		0,20	0,22	1,28	0,281	1,041	293
22	25-Oct-00	11:35		0,20	0,23	1,28	0,292	1,021	298
23	01-Nov-00	11:00		0,10	0,19	1,28	0,244	0,804	196
24	21-Nov-00	11:30		0,17	0,22	1,28	0,280	0,836	234
25	26-Dic-00	11:10		0,21	0,31	1,28	0,399	0,551	220
26	16-Ene-01	11:50		0,17	0,21	1,28	0,264	0,816	215
27	29-Ene-01	12:15		0,18	0,23	1,28	0,292	0,782	228
28	07-Mar-01	10:25		0,18	0,21	1,28	0,269	0,771	208
29	05-Abr-01	11:40		0,17	0,18	1,28	0,228	0,830	189
30	30-Abr-01	12:00		0,25	0,21	1,28	0,265	1,285	340
31	17-May-01	12:45		0,18	0,20	1,28	0,251	0,878	220
32	15-Jun-01	10:50		0,20	0,22	1,28	0,283	0,929	263
33	04-Jul-01	10:50		0,17	0,18	1,28	0,235	0,983	231
34	08-Ago-01	9:50		0,20	0,22	1,28	0,282	0,912	257
35	05-Sep-01	10:00		0,16	0,19	1,28	0,237	0,823	195
36	14-Nov-01	11:50		0,10	0,17	1,28	0,218	1,274	277
37	07-Dic-01	10:55		0,15	0,18	1,28	0,228	0,956	218
38	09-Ene-02	11:40		0,16	0,18	1,28	0,224	0,728	163
39	31-Ene-02	9:30		0,16	0,16	1,28	0,207	1,079	224

40	14-Feb-02	11:55		0,15	0,17	1,28	0,221	1,015	224
41	06-Mar-02	12:20		0,14	0,15	1,28	0,197	0,830	163
42	02-Abr-02	10:40		0,14	0,20	1,28	0,254	0,953	242
43	09-May-02	11:30		0,14	0,20	1,28	0,251	0,714	179
44	04-Jun-02	10:00		0,18	0,20	1,28	0,255	1,001	256
45	02-Jul-02	11:20		0,16	0,19	1,28	0,249	0,909	226
46	13-Ago-02	11:40		0,16	0,19	1,28	0,249	1,817	452
47	05-Sep-02	11:10		0,15	0,19	1,28	0,241	0,899	217
48	25-Sep-02	16:40		0,17	0,20	1,28	0,261	1,091	271
49	01-Oct-02	11:00		0,15	0,18	1,28	0,222	0,772	171
50	31-Oct-02	12:30		0,16	0,21	1,28	0,268	0,831	223
51	11-Dic-02	10:45		0,14	0,17	1,28	0,220	0,771	170
52	07-Ene-03	11:00		0,15	0,18	1,28	0,236	0,767	181
53	21-Feb-03	11:20		0,16	0,20	1,28	0,261	0,768	201
54	13-Mar-03	12:05		0,16	0,19	1,28	0,239	0,804	193
55	01-Abr-03	10:40		0,14	0,16	1,28	0,200	0,841	168
56	06-May-03	10:10		0,16	0,19	1,28	0,238	0,922	220
57	03-Jun-03	10:20		0,14	0,17	1,28	0,213	0,773	164
58	01-Jul-03	11:50		0,15	0,21	1,28	0,265	0,665	176
59	07-Ago-03	12:45		0,15	0,18	1,28	0,228	0,704	161
60	02-Sep-03	11:25		0,17	0,20	1,28	0,251	0,730	183
61	08-Oct-03	11:00		0,15	0,19	1,28	0,246	0,780	192
62	06-Sep-03	11:30		0,14	0,18	1,28	0,234	0,718	168
63	02-Dic-03	9:40		0,17	0,21	1,28	0,270	0,699	188
64	10-Dic-03	10:25		0,12	0,17	1,28	0,218	0,826	180
65	10-Dic-03	11:25		0,11	0,17	1,28	0,215	0,815	175
66	10-Dic-03	12:25		0,13	0,18	1,28	0,229	0,731	167
67	10-Dic-03	13:25		0,14	0,20	1,28	0,258	0,749	193
68	10-Dic-03	13:50		0,25	0,29	1,28	0,368	1,262	465
69	10-Dic-03	14:30		0,26	0,30	1,28	0,384	1,364	524
70	10-Dic-03	15:00		0,26	0,31	1,28	0,393	1,377	541
71	10-Dic-03	15:30		0,24	0,30	1,28	0,382	1,168	446
72	10-Dic-03	16:00		0,23	0,29	1,28	0,365	1,258	459
73	10-Dic-03	16:30		0,21	0,29	1,28	0,367	1,318	484
74	10-Dic-03	17:00		0,21	0,27	1,28	0,350	1,284	449
75	10-Dic-03	17:30		0,23	0,30	1,28	0,379	1,646	624
76	10-Dic-03	18:00		0,20	0,27	1,28	0,344	1,214	418
77	11-Dic-03	6:10		0,12	0,15	1,28	0,197	0,894	176
78	11-Dic-03	7:05		0,13	0,16	1,28	0,203	0,859	175
79	11-Dic-03	8:00		0,13	0,17	1,28	0,221	0,808	178
80	11-Dic-03	9:00		0,13	0,17	1,28	0,212	0,795	169
81	11-Dic-03	10:00		0,13	0,16	1,28	0,208	0,889	184
82	11-Dic-03	10:30		0,13	0,17	1,28	0,215	0,892	191
83	07-Ene-04	11:20		0,16	0,20	1,28	0,254	0,764	325
84	29-Ene-04	10:00		0,14	0,20	1,28	0,255	0,687	175
85	29-Ene-04	11:00		0,14	0,20	1,28	0,260	0,685	178
86	29-Ene-04	12:00		0,15	0,22	1,28	0,275	0,689	190
87	29-Ene-04	13:00		0,15	0,21	1,28	0,269	0,687	185
88	29-Ene-04	14:00		0,15	0,21	1,28	0,264	0,698	185
89	29-Ene-04	15:00		0,15	0,20	1,28	0,255	0,660	168
90	29-Ene-04	15:15		0,24	0,31	1,28	0,395	1,018	442
91	29-Ene-04	16:05		0,26	0,30	1,28	0,380	1,099	486

92	29-Ene-04	16:45		0,24	0,28	1,28	0,363	1,286	467
93	29-Ene-04	17:25		0,24	0,28	1,28	0,362	1,219	441
94	29-Ene-04	18:10		0,24	0,32	1,28	0,412	1,363	561
95	29-Ene-04	18:50		0,27	0,34	1,28	0,430	1,263	544
96	29-Ene-04	19:30		0,27	0,33	1,28	0,424	1,269	538
97	30-Ene-04	7:10		0,15	0,20	1,28	0,252	0,666	168
98	30-Ene-04	8:00		0,14	0,20	1,28	0,255	0,685	174
99	30-Ene-04	9:00		0,14	0,20	1,28	0,250	0,692	173
100	30-Ene-04	10:00		0,14	0,20	1,28	0,250	0,693	173
101	10-Feb-04	10:30		0,16	0,18	1,28	0,217	0,748	278
102	02-Mar-04	10:30		0,19	0,20	1,28	0,242	0,847	310
103	04-Mar-04	12:25		0,16	0,23	1,28	0,288	0,681	196
104	04-Mar-04	13:00		0,15	0,22	1,28	0,280	0,706	198
105	04-Mar-04	14:00		0,15	0,23	1,28	0,288	0,681	196
106	04-Mar-04	15:00		0,15	0,19	1,28	0,241	0,804	194
107	04-Mar-04	15:40		0,16	0,23	1,28	0,288	0,737	212
108	04-Mar-04	16:35		0,19	0,26	1,28	0,339	0,829	281
109	04-Mar-04	17:15		0,25	0,30	1,28	0,379	1,084	411
110	04-Mar-04	18:00		0,25	0,29	1,28	0,372	1,130	420
111	04-Mar-04	19:00		0,25	0,29	1,28	0,366	1,134	415
112	04-Mar-04	19:50		0,24	0,30	1,28	0,379	1,024	388
113	05-Mar-04	7:00		0,15	0,22	1,28	0,278	0,692	192
114	05-Mar-04	8:00		0,16	0,22	1,28	0,282	0,682	192
115	05-Mar-04	9:00		0,16	0,22	1,28	0,282	0,686	193
116	05-Mar-04	10:00		0,16	0,21	1,28	0,274	0,741	203
117	19-Mar-04	12:10		0,15	0,22	1,28	0,282	0,695	196
118	07-Abr-04	12:20		0,15	0,17	1,28	0,215	0,721	155
119	04-May-04	12:00		0,18	0,20	1,28	0,258	0,726	187
120	19-May-04	15:45		0,20	0,25	1,28	0,320	1,038	332
121	19-May-04	16:40		0,19	0,23	1,28	0,294	0,950	280
122	17-Jun-04	10:40		0,17	0,22	1,28	0,289	0,776	224
123	18-Jun-04	11:30		0,16	0,20	1,28	0,257	0,790	203
124	02-Jul-04	11:15		0,17	0,20	1,28	0,200	0,738	189
125	04-Ago-04	11:10		0,19	0,24	1,28	0,312	0,964	301
126	07-Sep-04	10:20		0,14	0,19	1,28	0,237	0,859	204
127	30-Sep-04	12:10		0,15	0,20	1,28	0,258	0,810	209
128	06-Oct-04	11:45		0,15	0,22	1,28	0,282	1,010	285
129	07-Oct-04	13:00		0,16	0,22	1,28	0,282	0,909	256
130	12-Nov-04	11:00		0,15	0,18	1,28	0,230	0,818	189
131	16-Nov-04	14:35		0,14	0,19	1,28	0,246	0,754	185
132	14-Dic-04	11:20		0,15	0,20	1,28	0,259	0,838	217
133	20-Dic-04	16:00		0,32	0,39	1,28	0,493	1,194	589
134	05-Ene-05	11:00		0,15	0,19	1,28	0,238	0,699	166
135	05-Ene-05	15:00		0,23	0,28	1,28	0,360	1,135	409
136	05-Ene-05	15:35		0,24	0,29	1,28	0,367	1,057	387
137	05-Ene-05	16:10		0,25	0,29	1,28	0,376	1,255	471
138	05-Ene-05	17:50		0,24	0,28	1,28	0,357	1,170	418
139	05-Ene-05	18:30		0,23	0,28	1,28	0,357	1,146	409
140	05-Ene-05	19:30		0,21	0,26	1,28	0,336	0,961	323
141	06-Ene-05	7:00		0,12	0,15	1,28	0,197	0,769	152
142	02-Feb-05	11:40		0,14	0,16	1,28	0,200	0,754	151
143	10-Mar-05	10:40		0,17	0,21	1,28	0,264	0,875	231

144	06-Abr-05	11:10		0,17	0,23	1,28	0,300	0,906	271
145	03-May-05	10:00		0,15	0,20	1,28	0,257	0,923	237
146	07-Jun-05	10:05		0,17	0,25	1,28	0,324	0,967	313
147	06-Jul-05	13:10		0,19	0,25	1,28	0,323	0,787	254
148	03-Ago-05	12:15		0,17	0,24	1,28	0,305	0,889	271
149	15-Sep-05	10:30		0,16	0,21	1,28	0,273	0,865	236
150	06-Oct-05	10:45		0,19	0,20	1,28	0,260	0,780	203
151	04-Nov-05	11:10		0,20	0,22	1,28	0,282	0,936	264
152	07-Dic-05	11:15		0,17	0,19	1,20	0,226	0,637	144

Tabla 6.8. Aforos de la estación Humboldt

Caudales medios diarios – Estación hidrológica Humboldt 2005

Sitio: Río Antisana **Coordenadas:** 810477E y 9943609N
Código: MS21 **Altitud:** 4.010 msnm.
Cuenca: Río Antisana **Área drenada:** 14,20 Km²

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1				0,22	0,291	0,411	0,181	0,22		0,179	0,181	0,151
2				0,249	0,296	0,462	0,176	0,224		0,194	0,234	0,154
3				0,226	0,281	0,376	0,15	0,237		0,193	0,232	0,165
4				0,297	0,24	0,359	0,146	0,238		0,21	0,255	0,173
5				0,264	0,252	0,408	0,139	0,229	0,21	0,237	0,252	0,177
6				0,38	0,264	0,406	0,163	0,238	0,229	0,189	0,258	0,171
7				0,425	0,257	0,33	0,186	0,222	0,233	0,176	0,239	0,159
8				0,53	0,26	0,307	0,161	0,224	0,239	0,217	0,219	0,154
9				0,729	0,279	0,306	0,148	0,237	0,237	0,213	0,249	0,165
10				0,585	0,373	0,335	0,14	0,209	0,228	0,22	0,248	0,187
11				0,47	0,354	0,332	0,137	0,212	0,251	0,199	<u>0,244</u>	0,225
12				0,35	0,567	0,311	0,135	0,216	0,243	0,183	<u>0,271</u>	0,19
13				0,617	0,374	0,301	0,132	0,222	0,252	0,176	<u>0,244</u>	0,188
14				0,577	0,404	0,295	0,14	0,238	0,272	0,166	0,247	<u>0,273</u>
15				0,403	0,294	0,28	0,136	0,24	0,272	0,176	0,225	<u>0,239</u>
16				0,408	0,286		0,135	0,226	0,257	0,16	0,277	<u>0,198</u>
17				0,398	0,266		0,156	0,218	0,268	0,175	0,224	0,202
18				0,441	0,257		0,156	0,216	0,27	0,229	0,179	0,205
19				0,368	0,25		0,18	0,198	0,272	0,2	0,187	0,182
20				0,35	0,224		0,403	0,214	0,246	0,221	0,223	0,192
21				0,353	0,226		0,199	0,221	0,233	0,197	0,177	0,181
22				0,288	0,294		0,167	0,219	0,208	0,17	0,164	0,184
23				0,348	0,223		0,203	0,236	0,178	0,163	0,17	0,178
24				0,328	0,217		0,207	0,21	0,212	0,152	0,186	0,195
25				0,306	0,228		0,206		0,232	0,163	0,204	0,203
26				0,452	0,255		0,204		0,23	0,199	0,206	0,263
27				0,36	0,384	0,163	0,245		0,184	0,187	0,206	0,356
28				0,291	0,281	0,14	0,219		0,18	0,194	0,239	0,216
29				0,308	0,277	0,326	0,201		0,186	0,204	0,188	
30				0,28	0,261	0,368	0,214		0,177	0,191	0,168	
31					0,279		0,214			0,172		
Med.				0,387	0,29	0,327	0,18	0,224	0,231	0,19	<u>0,22</u>	0,197
Mín				0,22	0,217	0,14	0,132	0,198	0,177	0,152	0,164	0,151
Máx				0,729	0,567	0,462	0,403	0,24	0,272	0,237	0,277	0,356

Tabla 6.9 Caudales medios diarios – Estación hidrológica Humboldt 2005

Mín. Instantáneo = 0,095 m3/s --> 22/07/2005 15:00 Máx. Instantáneo = 1,388 m3/s --> 09/04/2005 15:00

Débit Moyen Annuel = (demasiadas lagunas)

Lagunas: verde = 1 a 2 días, naranja = 3 a 5 días, rojo = 6 a 15 días.

Subrayado = Reconstituido, Itálico = Dudoso

Caudales Diarios - Estación Humboldt 2005

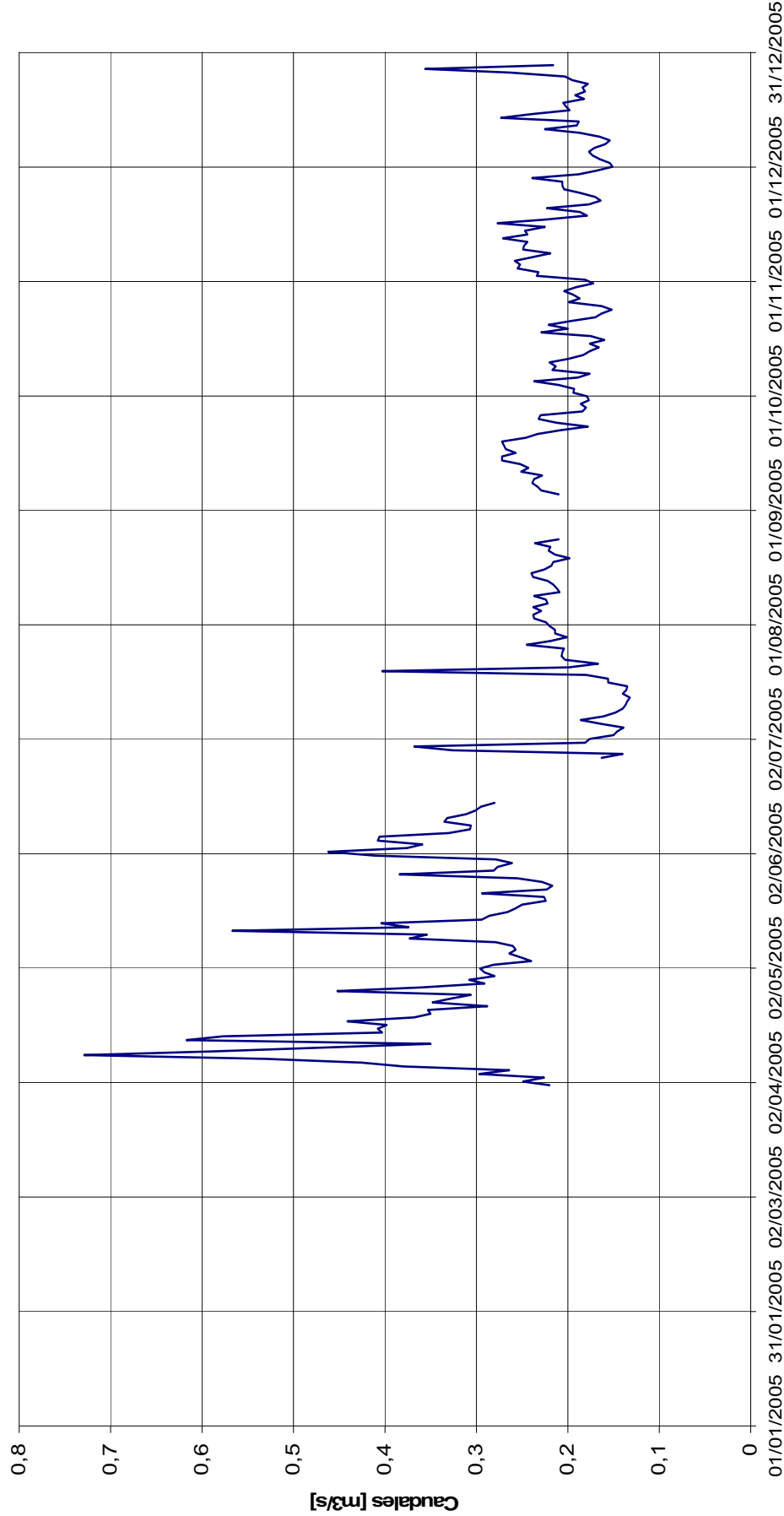
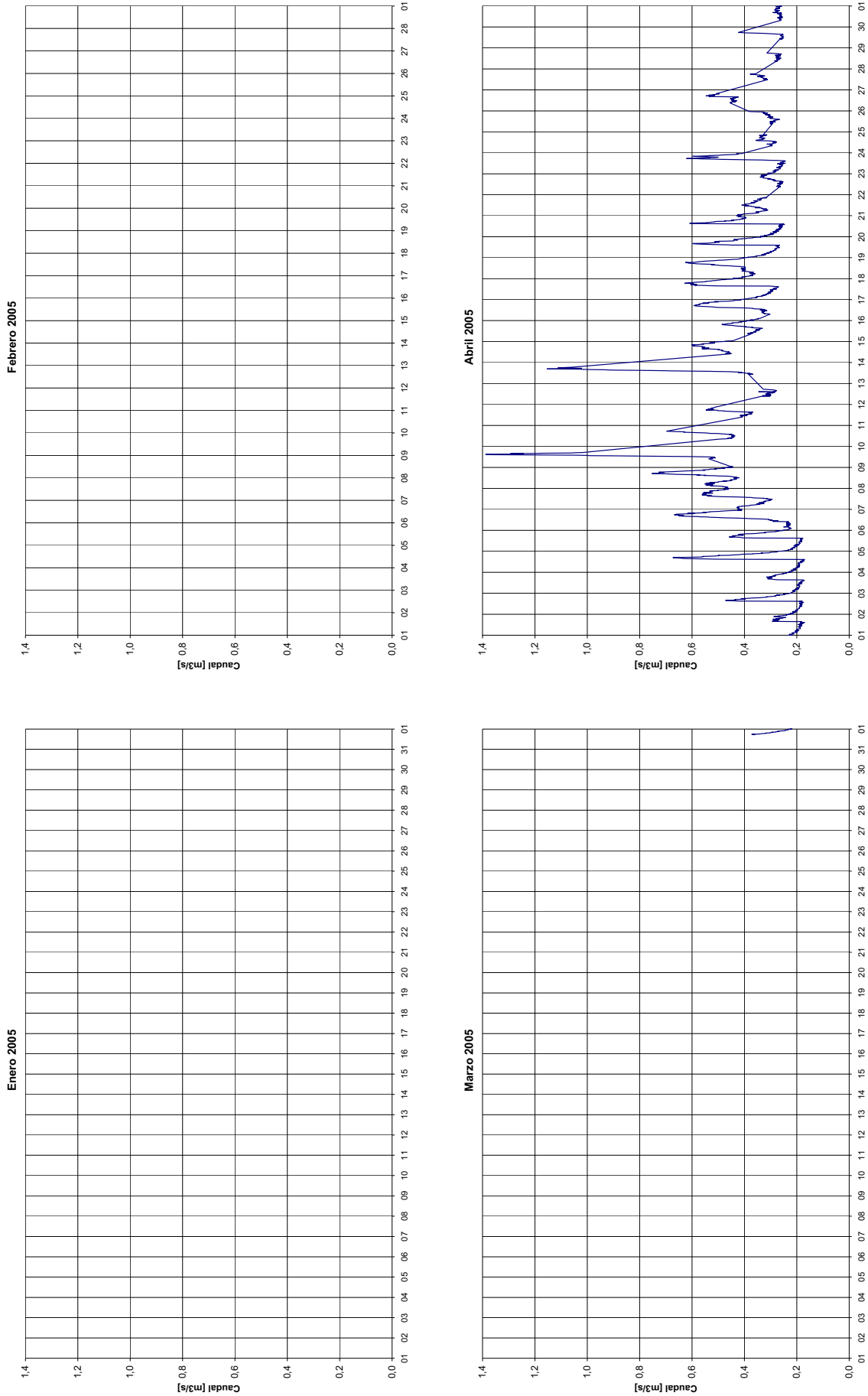
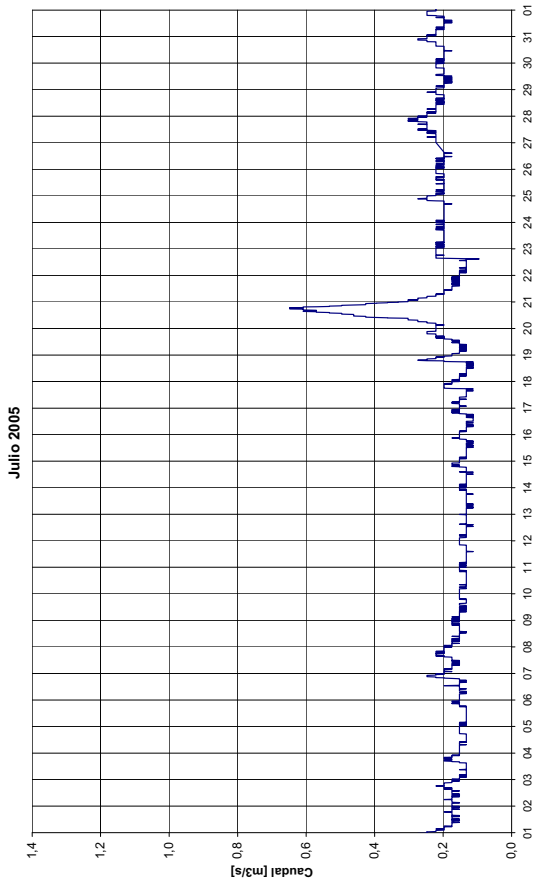
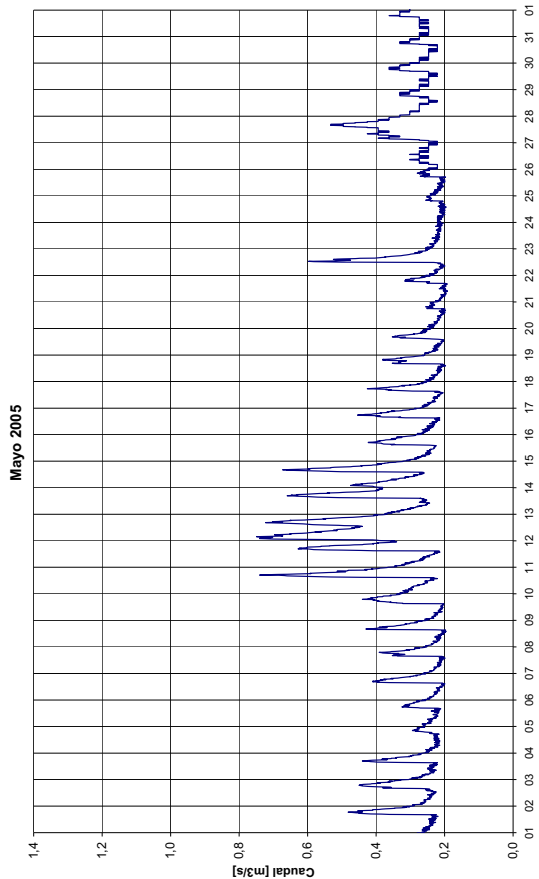
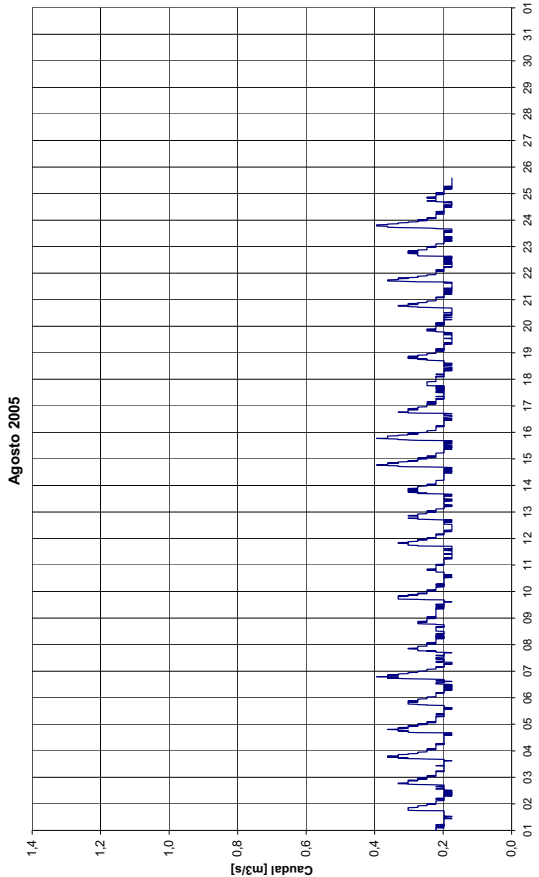
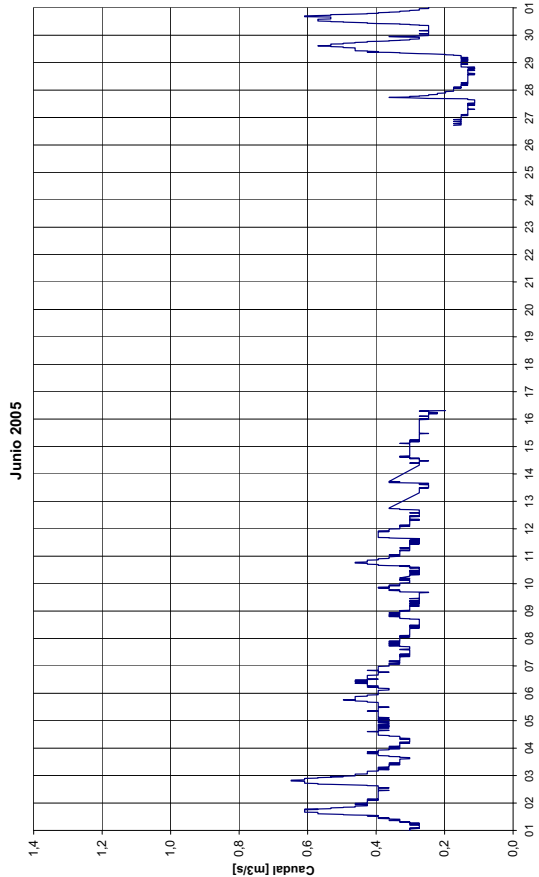
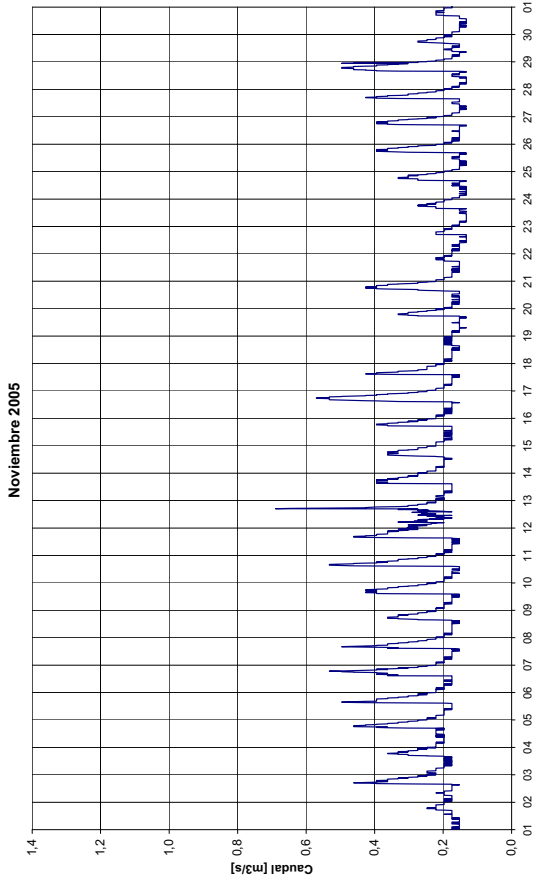
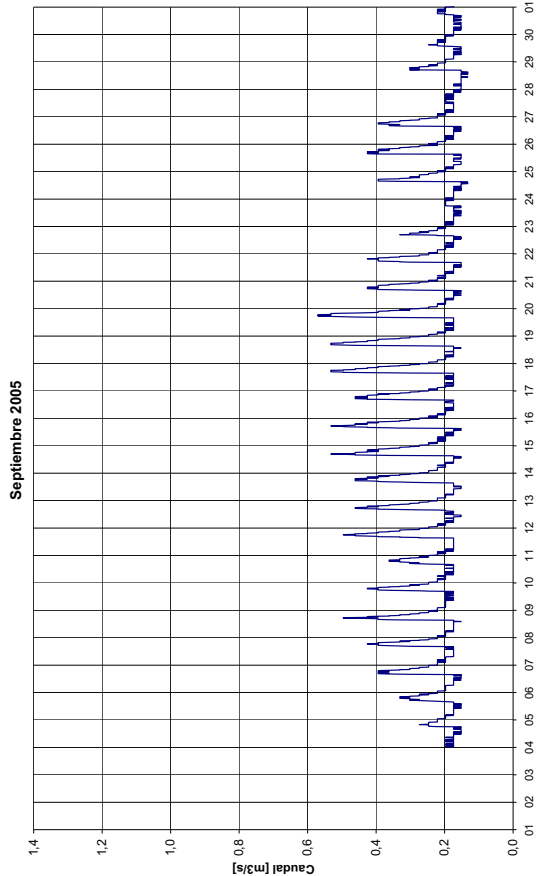
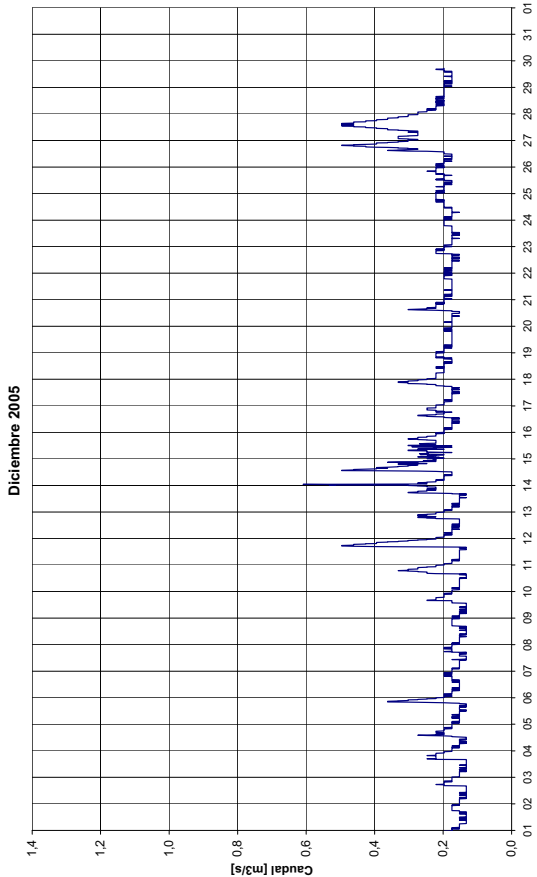
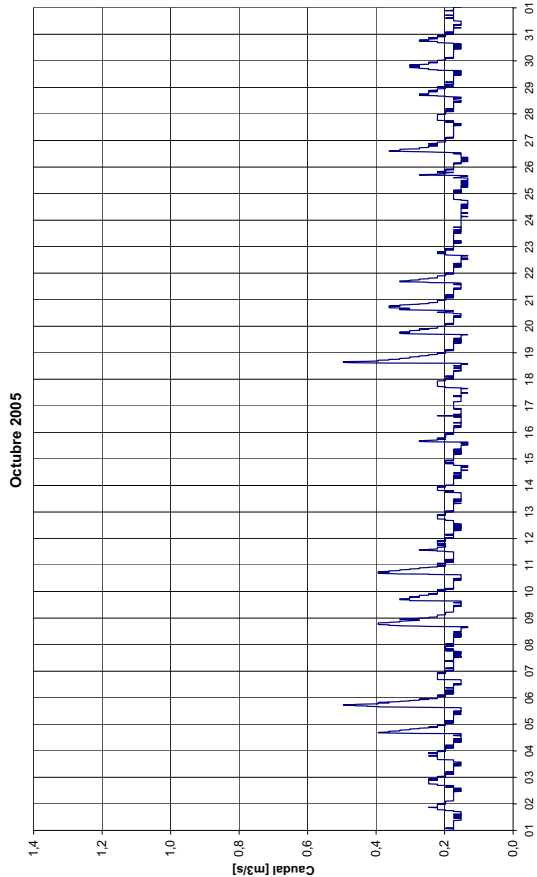


Gráfico 6.12. Caudales diarios en la estación hidrográfica Humboldt para el 2005

Gráfico 6.13. Caudales instantáneos de cada mes medidos por la estación hidrológica “Los Crespos” para el 2005







Referencias bibliográficas

1. Informes anuales Greatice Ecuador

- Cáceres, B., Maisincho, L., Taupin, J.D., Francou, B., Cadier, E., Delachaux, F., Bucher, R., Villacís, M., Paredes, D., Chazarin, J.P., et Al. 2005 : Glaciares del Ecuador: Antisana Y Carihuayrazo. Balance de Masa, Topografía, Meteorología & Hidrología. Año 2004. Informe 7. IRD, INAMHI, EMAAP-Q; 175p. (con una versión CD).
- Cáceres, B., Maisincho, L., Taupin, J.D., Bucher, R., Paredes, D., Villacís, M., Chazarin, J.P., Francou, B., Cadier E. 2004.: Glaciar 15 del Antisana (Ecuador). Balance de masa, topografía, meteorología e hidrología. Año 2003. Informe 6, IRD, INAMHI, EMAAP-Quito,: 100 p. (con una versión CD)
- Cáceres, B., Maisincho, L., Taupin J.D.; Favier, V., Tachker, P., Chazarin, J.P., Francou, B., Cadier, E., & Cruz, F. 2003: Glaciar 15 del Antisana (Ecuador). Balance de masa, topografía, meteorología, hidrología y balance de energía. Año 2002. Informe 5, IRD, INAMHI, EMAAP-Quito,: 100 p. (con una versión CD)
- Cáceres, B., Maisincho L., Taupin J.D., Tachker P., Chazarin J.P., Francou B., Favier V. 2002: Glaciar 15 del Antisana (Ecuador). Balance de masa, topografía, meteorología, hidrología y balance de energía. Año 2001. Informe 4, IRD, INAMHI, EMAAP-Quito 100p. (con una versión CD)
- Cáceres, B., Maisincho, L., Favier, V., Francou, B., Ramírez, J., Vargas, A., Chango, R., Cruz, F. & Neubert, D. 2000: Glaciar 15 del Antisana (Ecuador). Balance de masa, topografía, prospección geofísica, meteorología, hidrología y balance de energía. Año 2000. Informe 3, IRD, INAMHI, EMAAP-Quito, INGEOMINAS-COLOMBIA: 100 p. (con una versión CD).
- Favier, V., Cáceres, B., Maisincho, L., Francou, B., de la Cruz, A., Chango, R., & Neubert, D., 2000 : El Glaciar 15 del Antisana (Ecuador). Mediciones glaciológicas, hidrométricas, meteorológicas y topográficas (año 1999). Informe NGT-Ecuador, 3, IRD, EMAAP-Quito, INAMHI 100 p. (con una versión CD).
- Bontron G., Francou B., Ayabaca E., Cáceres B., Maisincho L., Chango R., de la Cruz A., Garzón, L. A., & Neubert D., 1999. El Glaciar 15 del Antisana – Mediciones glaciológicas, hidrométricas y topográficas (años 1997-1998), Informe n° 2 IRD-INAMHI-EMAAP-Q.
- Sémiond H., Francou B., Ayabaca E., de la Cruz A., & Chango R., 1998. El Glaciar 15 del Antisana (Ecuador): investigaciones glaciológicas 1994-1997. Informe ORSTOM-IFEA-EMAAP-Q-INAMHI, Quito.

2. Informes y memorias Greatice Ecuador

- Brière, J., 2004; Modélisation des écoulements issus de la fonte du glacier 15 de l'Antizana; DEA Sciences de la Terre et de l'Environnement; Université Paul Sabatier, Toulouse; IRD, 33p
- Cáceres, B; Ramírez, J.; Francou, B.; Eissen, J.P.; Taupin, J.D.; Jordan, E.; Ungerechts, L.; Maisincho, L.; Barba, D.; Cadier, E.; Bucher, R.; Peñafiel A.; Samaniego P.; Mothes, P.; 2004 Determinación del volumen del casquete de hielo del volcán Cotopaxi. INAMHI, IRD, IG-EPN, INGEOMINAS, EMAAP-Q, Quito, 2004; 53p.
- Delachaux, F., Représentativité de la station météorologique ORE Equateur par rapport à la météo locale du glacier 15 de l' Antizana (0°25'S, 78°09'O), Cordillère Orientale d'Equateur. Rapport de fin de mission, dic 2005. 60p.
- Eissen J.P., Beate B., Hall M., Francou B., Cottren D., Andrade D., Cáceres B., Hidalgo S. El volcán El altar elementos geológicos y origen del deslave del 13 de octubre de 2000. Memorias, cuartas jornadas de ciencias de la tierra , 3-6 de abril de 2001.
- Favier, V. 2004. Etude du bilan d'énergie de surface et de la production des écoulements de fonte d'un glacier des Andes d'Equateur : Relation glacier-climat en zone tropicale; Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II 243p
- Favier, V., 2001. Etude hydrologique du bassin versant du Glacier 15 de 'Antizana (0°25'S, 78° 09' O). Première modélisation hydrologique à partir du bilan d'énergie et d'une approche précipitation/débit. Mémoire de DEA SEEC de l'Université de Montpellier II, 57 p.
- Garces, A., 2004. Estudio de la hidrología del lado oeste del volcán Antisana en Ecuador. Pasantia de segundo año. Polytech'Montpellier, Ciencia y Tecnología del agua. Dic 2004, 69p.
- Laval, R., 2005. Etude hydrologique d'un bassin versant partiellement englacé subtropical en Equateur et application aux petites centrales hydroélectriques et étude d'un projet de petite hydroélectricité en Equateur. These professionnelle. Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. 62p.
- Lhuissier, P., 2005. Mise en evidence de modèles de Comportement Pluviométriques sur le Volcan Antizana. INAMHI, EMAAP-Q, IRD, GREATICE. Ecuador. Pag. 23.
- Mailler, S., 2006. Exploitation de photographies du glacier 15a de l'Antisana, tentative d'application d'un modèle degré-jour. Rapport de stage. Avril 2006, 25p.
- Praderio E., 2003. Etudes sur le transfert de l'eau du Glacier 15 de l'Antisana, Equateur. Mémoire de fin d'études EPFL, mai 2003, Lausanne, 41 p. + annexes.
- Sémiond, H., 1997, Recorrido alrededor del Antisana a inicio del mes de enero 1997; Inventario de glaciares y de recursos hídricos IFEA, ORSTOM, EMAAP-Q Quito, 18p, 1 mapa

Stephan, Marie, 1998 Hidrología preliminar de las vertientes occidental del Antisana ORSTOM-INAMHI-EMAAP-Q 100p

Ménégoz M. 2004- Etude de la couche limite atmosphérique sur le glacier de l'Antizana (Equateur) et estimation des flux turbulents. -DEA Université Joseph Fourier – Institut de Recherche pour le Développement,

Villacis M. 2001- Influencia de el Niño oscilación del sur-ENOS sobre la precipitación en los Andes centrales del Ecuador. Travail de fin d'études « Escuela Politécnica Nacional del Ecuador »; IRD

3. Artículos científicos Greaticce

a) Revista arbitrada internacional

Cáceres B., Francou B., Antisana 15 Alpha (Ecuador / Tropical Andes), Fluctuations of glaciers 2000-2005 , vol IX , World Glacier Monitoring Service, IAHS-UNEP-UNESCO , in prensa.

Cáceres B., Upgrade of the Inventory for the Glaciers of Ecuador, Fluctuations of glaciers 2000-2005 , vol IX , World Glacier Monitoring Service, IAHS-UNEP-UNESCO , in prensa.

Cáceres B., Francou B., Antisana 15 Alpha (Ecuador / Tropical Andes), Fluctuations of glaciers 2000-2005 , MBB9, 2004-2005 , World Glacier Monitoring Service, IAHS-UNEP-UNESCO , in prensa.

Cáceres B., Francou B., Favier V., Bontron G., Tachker P., Bucher R., Taupin J.D., Vuille M., Maisincho L., Delachaux F., Chazarin J.D., Cadier E., Villacís M. El glaciar 15 del Antisana investigaciones glaciológicas y su relación con el recurso hídrico. Climate Variability and Change-Hydrological impacts (Proceedings of the Fifth Friend World Conference held at habana, Cuba, November 2006) IAHS Publ. 308, 2006.

Cáceres B., Programa Glaciares Ecuador, revista Simbioe, in prensa

Favier, V., Wagnon, P., Chazarin, J.P., Maisincho, L., & Coudrain, A., 2004: One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana Glacier 15, Ecuadorian Andes, Journal of Geophysical Research, 109, D18105, doi:10.1029/2003JD004359.

Favier, V., Wagnon, P., & Ribstein, P., 2004 (in press): Glaciers of the outer and inner tropics: a different behaviour but a common response to climatic forcing. Geophysical Research Letters.

Francou, B., Cáceres, B., Ramírez, E. & Mendoza, J. 2000. Glacier evolution in the tropical Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador. Ambio, XXIX, 7, 416-422.

Francou B., Cáceres B., Gómez J., Sorurco A. Coherence oh the Glaciar signal Throughout the tropical Andes over the last decades. Conferencia Cambio Climático – Bogotá 2005.

- Francou, B., Vuille, M., Favier, V. & Cáceres, B., 2004: New evidences of ENSO impacts on glaciers at low latitude: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28' (in press). *Journal of Geophysical Research*, 109, doi: 10.1029/2003JD004484.
- Francou, B., Vuille, M., Wagnon, P., Mendoza, J. & Sicart, J.E., 2003: Tropical climate change recorded by a glacier of the central Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *Journal of Geophysical Research*, 108, D5, 4154, doi: 10.1029/2002JD002959.
- Francou, B. 2004: Glaciares al tiempo de los Viajeros. In: Homenaje a Olivier Dollfus, Ediciones del IFEA, Lima.
- Jordan E., Cáceres B., Francou B., Ungerechts L., 2003 . Die Glazialforschungen Hans Meyers aus heutiger Sicht Wertung der wissenschaftlichen Leistungen Meyers in den Hochanden von Ekuador aus aktueller Sicht und Ausblick auf die geographischen Forschungsergebnisse der vergangen 100 Jahre. Die Anden – Geographische Erforschung und künstlerische Darstellung. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte 37, München 2003, S. 159-193.
- Schotterer, U. Grosjean M., Stichler W., Ginot P., Kull C., Bonnaveira H., Francou B., Gäggeler H.W, Gallaire R., Hoffmann G., Pouyaud B., Ramirez E., Schwikowski M., Taupin J.D. 2003. Glaciers and climate in the Andes between the Equator and 30°S: What is recorded under extreme environmental conditions? *Clim. Change*, vol. 59, n°1-2, p. 157-175.
- Williams, M.W., Hood, E.W., Ostberg, G., Francou, B. & Galarraga. R, 2001: Synoptic survey of surface water isotopes and nutrient concentrations, páramo high elevation region, Antisana ecological reserve, Ecuador, Arctic, Antarctic and *Alpine Research*, 33, 4: 397-403.
- Williams, M.W., Francou, B., Hood, E.W., Vaugh, N., 2002: Interpreting climate signals from a shallow Equatorial core: Antisana, Ecuador. In: Casassa, G., Sepulveda, F. & Sinclair, R.M., *The Patagonian Ice Fields*, Kluwer, Dordrecht, 169-175.

b) Revista arbitrada nacional

- Cáceres B. Estudio de la evolución del glaciar 15 del Antisana de 1956 al 2001 utilizando fotogrametría y topografía y su relación con los eventos climáticos regionales .*Revista Politécnica. Monografía de recursos minerales 2. Volumen 24,#2. abril 2003*
- Cáceres B., Programa Glaciares Ecuador, revista de la Cámara de la construcción, in prensa.
- Cáceres B., Jordan E., Francou B., Peñafiel A. Actualización de la evaluación geométrica del Casquete Glaciar del Volcàn Cotopaxi, utilizando fotogrametría digital. *Revista Oro y Petróleo. Colegio de Ingenieros en Geología Minas y Petróleo*, in prensa.
- Cáceres B., Jordan E., Ungerechts L., Francou B., Peñafiel A. Evaluación reciente de la cobertura Glaciar del volcán Cotopaxi. *Revista Politécnica*, in prensa.
- Favier, V., Wagnon, P., Ribstein, P., Chazarin, J.P., Maisincho, L., Annual Cycle of Energy Balance of Antizana Glacier 15 (0°25' S, 78°09' O, Ecuadorian Andes), To be submitted to *Journal of Geophysical Research*.

Taupin J.D., Cáceres B. Glaciares Andinos, testigos fieles del clima del pasado. *Desafío*, revista de divulgación de Ciencia y Tecnología de Ecuador . Número seis , diciembre del 2003, p. 46-50.

c) Ponencias en reuniones nacionales y/o internacionales

Cáceres B. Evaluación reciente del área del casquete glaciar del volcán Cotopaxi mediante la utilización de Fotogrametría digital. *Memorias XII Congreso Latinoamericano de Geología* Quito, 2005.

Cadier E., Bucher R., Brière J., Villacis M. 2004– Etudes hydrologiques du glacier 15 de l'Antizana, Equateur Présentation au Congrès International de Glaciologie, Huaraz (Pérou)

Maisincho L., Delachaux, F., Wagnon P., Cadier E., Chazarin JP. ORE A long range climate monitoring program close to an inner tropical glacier. The Antizana case. (0° 25'S, 78° 09'W) Cordillera Real, Ecuador. *Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD)* Mendoza, Argentina 2006.

Maisincho, L., Análisis de los primeros datos obtenidos en el glaciar Pico de Orizaba (19,02° N, 97,26° O)- México, julio 2006, 15p.

Maisincho, L. Wagnon P., Proyecto ORE–GLACIOCLIM, workshop Symposium organizado por el Banco Mundial, Quito-Ecuador, febrero 2007

Ramirez, E. Hoffmann G., Taupin, J. D. Francou B., Pouyaud B., Ribstein P., 2004. The climatic records of three new andean ice cores from Illimani (6350 m), Sajama (6542 m) and Chimborazo (6280 m). Symposium on recent glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources, IRD, 6-9 July 2004, Huaraz, Peru, communication, abstract book.

Ramirez J., Eissen J.-P., Francou B., Cáceres B., Maisincho L., Barba D., Samaniego P., Jordan E., Taupin J.-D., Cadier E. & Bucher R., 2004 - Determination of the ice-cap volume of Cotopaxi volcano (Ecuador) as a constraint to debris flow modeling. IAVCEI General Assembly, Pucon, Chili, Nov. 2004.

Taupin J.D., Ginot P., Eissen J.-P., Schotterer U., Hoffmann G., Ramirez E., Bonnaveira H., Petit J.-R., Schwikowski M., Gäggeler H.W., Cáceres B., Maisincho L., Chango R., Francou B., Gallaire R., Wagnon P., Pouyaud B., 2004 - Preliminary results of drilling to Chimborazo (Ecuador). Symposium on mass balance of Andean glaciers, Huaraz, Perú, July 2004.

Villacis M., Taupin J.D, Vimeux F., 2004. Isotopic variability of precipitation in Nuevo Rocafuerte (Ecuador) : Climatic implication and tool towards The interpretation of Chimborazo ice core. European Geophysical Union, 1st General Assembly. Geophysical Research Abstract EGU04-A-02037, Vol 1, Nice, 25-30 april , p.299.

Villacis M., Taupin J.D, Vimeux F. 2004. Evidence of the link between the isotopic composition of precipitation in the ecuadorian sierra and precipitation over the Amazon basin : towards the interpretation of Chimborazo ice core Symposium on recent glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources, IRD, 6-9 July 2004, Huaraz, Peru, poster, abstract book.

4. Referencias Generales Glaciología, Climatología e Hidrología

- Brugman M. M., 1991. Scale dependent albedo variations and runoff from a glacierized alpine basin, Snow Hydrology And Forests in High Alpine Areas. Proceeding of the Vienna Symposium, August 1991. Bergmann, Lang, Frey, Issler & Salm ed. IAHS Publ. 205, 61-71.
- Brusteat W., 1982. Evaporation into the atmosphere, D. Reidel, Norwell, Mass., 299 p.
- Chow V. T., Maidment D. R., & Mays L. W., 1994. Hidrología aplicada: McGraw-Hill Interamericana S.A., Santafé de Bogotá. Traducido de la primera edición en inglés de: Applied Hydrology, 1988. McGraw-Hill.
- Duguay C.R., 1993. Radiation modeling in mountainous terrain Review and Status, Mountain Research and Development, 13 (4), 339-357.
- Francou, B., Pouyaud, B. 2004; (con la colaboración de 13 otros autores, 2004 : Método de observación de glaciares en los Andes tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento de datos. Documento GREAT ICE en versión electrónica (CD-WEB): 243 p.
- Funk, M., Bosch H., & Valla F., 1993. Mesures des épaisseurs de glace par la méthode radar sur le glacier de Sarennes. Grenoble. Inédito. Icefield Instruments INC., 1997. Using the Radar. Yukon.
- Jomelli, V., Naveau, P., Cooley, D., Grancher, D. (2004). Lichénométrie: une nouvelle méthode basée sur la théorie des valeurs extrêmes. Environnement périglaciaire, sous presse.
- Kaser G., Hastenrath S., & Ames A., 1992. Mass balance profiles on tropical glaciers: Zf. Gletscherkunde und Glazialgeologie, 20 (82), 85-97.
- Kuhn M., 1987. Micro-meteorological conditions for snowmelt,. J. Glaciology 33, 24-26.
- Lliboutry L., 1974. Multivariate statistical analysis of glacier annual balances. J. Glaciology, 13 (69), 371-392.
- Male D.H. & Granger R.J., 1981. Snow surface energy exchange. Water Resources Research, 17(3), 609-627.
- Monin A.S. & Obukhov A. M., 1954. Basic laws of turbulent mixing in the ground layer of the atmosphere. Tr. Geofiz. Instit. Akad. Nauk. S.S.S.R., 24(151), 164-187.
- Morris E.M., 1989. Turbulent transfer over snow and ice. J. Hydrology, 105, 205-223.
- Narod, B. B., & Clarke, G.K.C, 1994. Miniature high-power impulse transmitter for radio-echo sounding. J. Glaciology, 40 (134), 190-194.
- Naveau, P., Jomelli, V., Cooley, D., Rabatel, A. (2004). Modeling uncertainties in lichenometry studies with an application: The Tropical Andes (Charquini Glacier in Bolivia). Arctic, Antarctic and Alpine Research (submitted).

- Oerlemans J. & Fortuin N. C., 1992. Sensitivity of glaciers and small ice caps to greenhouse warming. *Science*, 258, 115-117.
- Paterson W.S.B., 1994. The physics of glaciers. Pergamon, Tarrytown, N. Y. , 3rd ed., 477 p.
- Perrin de Brichambaud Ch., 1963. Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels. Gauthiers-Villars, Paris.
- Pouyaud B., Zapata M., Rodriguez A., Ribstein P. & Yarren J. (2003). Water resources from the glaciers of the Cordillera Blanca (Peru). Variability for the second half of the twentieth century. Symposium on "mass balance of Andean glaciers", CECS-IAHS-ICSI & IGS, Valdivia (Chili).
- Prandtl L., 1952. Guide à travers la mécanique des fluides, Dunod, 448p
- Ribstein P. (2002). Climat et glaciers des Andes tropicales. Impacts hydrologiques. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris VI, Paris (France). 105 p.
- Rossel F., 1997. Influencia de El Niño sobre los regímenes del Ecuador, Tomo II. Informe INSEQ IRD-INAMHI, 18, Quito.
- Sicart J.E. - 2001 Contribution a l'étude des flux d'énergie, du bilan de masse et du débit de fonte d'un glacier tropical : le Zongo Bolivie -Thèse de doctorat Université Paris VI Pierre et Marie Curie,
- Wagnon P. 1999- Analyse du bilan d'énergie d'un glacier tropical. Application a la relation glacier-climat -Thèse de doctorat Université Joseph Fourier - Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (CNRS),
- Wagnon P., Ribstein P., Francou B., & Pouyaud B., 1999. Annual cycle of energy balance of Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, *J. Geophysical Research*, 104(D4), 3907-3923.
- Wagnon P., Ribstein P., Kaser G., & Berton P., 1999. Energy balance and runoff seasonality of a Bolivian Glacier, *Global Planetary. Change*, 22, 49-58.
- Wagnon P., Ribstein P., Schuler T., & Francou B., 1998. Flow separation on Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, *Hydrol. Processes.*, 12, 1911-1926.

5. Mapas

- EMAAP-Q (Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable – Quito), 2006. Restitución imagen Aster año 2000, Proyecto Ríos Orientales.
- IGM (Instituto Geográfico Militar), 1982. Cartas topográficas: La Mica, Papallacta; escala 1:50.000.