



GLACIARES DEL ECUADOR: ANTISANA Y CARIHUAYRAZO

Balance de Masa, Topografía, Pluviometría, Meteorología & Hidrología

INFORME DEL AÑO 2006



Bolívar Cáceres, Luis Maisincho, Carla Manciatì, Cristian Loyo, Erick Cuenca, Marcos Villacís, Daniela Freire, Bernard Francou, Eric Cadier. Cristina Guamanzara, digitación y edición.

Septiembre del 2008

IRD – INAMHI – EMAAP-Q

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCION	1
1.1 Inventario del equipo ubicado sobre el glaciar y sus alrededores:	1
1.2 Contexto climático para el 2006:	2
2. BALANCE DE MASA	4
2.1 Balance de masa Glaciar 15	4
2.1.1 Zona de acumulación	4
2.1.2 Zona de ablación	7
2.1.3 Balance anual del glaciar 15 en su totalidad (área de acumulación + área de ablación)	12
2.1.4 Síntesis para el período 1995 – 2006	15
2.2 Balance de Masa del Glaciar Los Crespos	22
2.2.1 Zona de acumulación	22
2.2.2 Zona de ablación Glaciar “Los Crespos”	24
2.2.3 Balance anual del glaciar en su totalidad (acumulación + ablación) Glaciar “Los Crespos”	29
3. GEOMETRIA DEL GLACIAR	32
3.1 Evolución del Glaciar 15	32
3.1.1 Mediciones directas de la ubicación del frente de la lengua del Glaciar 15 α	32
3.1.2 Retroceso del frente del Glaciar 15 α medido sobre el terreno y sobre los levantamientos aerofotogramétricos. Período 1996 – 2004	34
3.1.3 Evaluación de las longitudes y áreas para las lenguas α y β del Glaciar 15 del Antisana para el período 1956 – 2006.	36
3.1.4 Velocidad superficial de las balizas	43
3.2 Evolución del Glaciar Los Crespos	44
3.3 Evolución del Glaciar del Carihuayrazo	46
4. PRECIPITACIONES ENTRE 4000 Y 4900 MSNM	48
4.1 Mediciones realizadas en pluviómetros (Totalizadores) y pluviógrafos (HOBO)	49
4.2 Valores brutos	50
4.3 Correlaciones entre estaciones y entre artefactos de medición de precipitación	50
4.4 Correcciones	53
4.4.1 Procesamiento de los datos	53
4.4.2 Correlaciones entre cada pluviómetro totalizador y su respectivo pluviógrafo a nivel mensual.	53
4.4.3 Correlaciones entre los totales diarios de diversos pluviógrafos.	55
4.5 Valores definitivos e Interpretaciones	61
4.5.1 Distribución Anual	61
4.5.2 Distribución Mensual y Estacional:	64
4.5.3 Distribución diaria:	68
5. MICROMETEREOLOGIA SOBRE EL GLACIAR 15 α	71
5.1 Estación meteorológica ORE y GLACIOCLIM	71
5.1.1 Equipamiento	71
5.2 Período de funcionamiento de la estación ORE en el 2006	72
5.3 Estación meteorológica Sama a 4950 m.s.n.m	72
5.3.1 Descripción	72
5.4 Período con pérdida de datos	72
5.5 Temperatura y Humedad mensual de las estaciones Ore y Sama	73
5.6 Radiación Incidente glaciares 15 y 12	76
5.7 Velocidad del viento	79
5.8 Dirección del viento a 4900 m	80
6. HIDROLOGÍA	82
6.1 Estación Los Crespos	83
6.1.1 Equipos de medición	84
6.1.2 Series de datos	85
6.1.3 Curva de calibración	87
6.1.4 Problemas en las mediciones	88
6.1.5 Caudales calculados	91
6.2 Estación Humboldt	96
6.2.1 Equipos de medición	97
6.2.2 Recopilación de datos	99
6.2.3 Series de datos	99
6.2.4 Curva de calibración	102
6.2.5 Problemas en las mediciones	103
6.2.6 Caudales calculados	105
Referencias bibliográficas	110

<p>Proyecto Greatice en Ecuador IRD - INAMHI - EMAAP-Q Quito - Ecuador Tel (+00.5932). 2.269.276; Casilla 17-12-857 Fax 250.4020 Mail: bolivarc@inamhi.gov.ec; lmainsinc@inamhi.gov.ec; cadier@ird.fr; bernard.francou@ird.fr</p>	<p>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 www.mpl.ird.fr/hydrologie/greatice</p>	<p>INAMHI Iñaquito 700 y Corea Quito - Ecuador Tel 2269276 www.inamhi.gov.ec/ glaciares/index.htm</p>	<p>EMAAP-Q Unidad Ejecutora Ríos Orientales Av. Mariana de Jesús entre Italia y Alemania Quito - Ecuador Tel 2.994500 ext. 1401 eyabaca@emaapq.gov.ec www.emaapq.com.ec</p>
--	---	---	--

PRESENTACIÓN

Informe 2006: Glaciares del Ecuador

El presente informe reúne los resultados obtenidos en el año 2006 por el programa de estudio de glaciares GREATICE desarrollado por el INAMHI, EMAAP-Q y el IRD.

Se presenta el doceavo ciclo de mediciones continuas sobre el glaciar 15.

Como de costumbre, se presentan los principales resultados obtenidos en el Antisana y Carihuayrazo repartidos en seis partes:

- Inventario de los aparatos instalados
- Balance de masa del glaciar 15: alimentación y fusión
- Geometría del glaciar 15: su retroceso, el Glaciar 12 de Los Crespos y Carihuayrazo.
- Precipitaciones en el glaciar 15 y en algunas partes del flanco Oeste del Antisana
- Hidrología 1999-2006 en la cuenca Humboldt y 2003-2006 en la cuenca Los Crespos.
- Balance de energía y mediciones meteorológicas en el glaciar

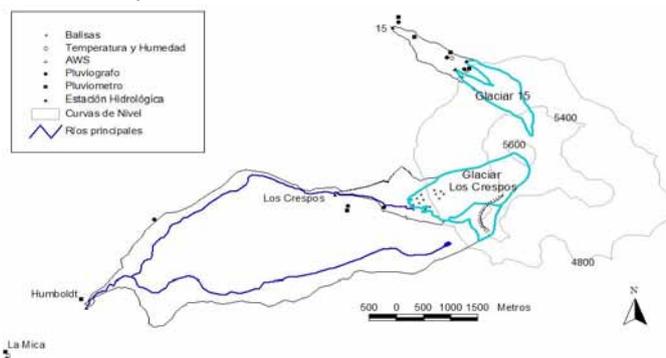
Las informaciones generadas a escala mensual se comparten con la EMAAP-Q, el INAMHI y el IRD.

A pesar de índices ENSO casi normales, el año 2006 está caracterizado por una fusión fuerte de los glaciares. En 2004, se observó un déficit prolongado de precipitación entre mayo y septiembre, como también en noviembre. El déficit fue excepcionalmente severo en los meses de agosto y septiembre. Esta situación impidió la acumulación de una capa de nieve, dejando aparecer directamente el hielo en muchas partes de la parte baja y media del glaciar, lo que provocó una disminución del albedo un aumento de la fusión y un retroceso acelerado.

Se complementó la red de mediciones anteriores, la cual estaba principalmente centralizada sobre el glaciar 15 con lo siguiente:

- Ampliación de la red de balizas, de los pluviómetros y de la red hidrológica, meteorológica y pluviométrica automática en la cuenca del Glaciar 12 (Los Crespos)
- Instalación de una estación meteorológica "ORE", la cual pertenece a un nuevo concepto de estación destinada a medir durante un largo período (10 años o más) el clima local lo más próximo posible al glaciar con vista a relacionar las variaciones del clima global con las variaciones del clima local y las variaciones ocurridas sobre el glaciar.

El concepto "ORE" se integra en una red internacional actualmente presente en Ecuador, Bolivia, Antártica y Europa. Adicionalmente se continuó con el monitoreo del glaciar ubicado al sur del Carihuayrazo.



Rede glacio e hidropluviométrica en el Antisana

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 Glaciar 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.

CAPÍTULO 1

1. Introducción

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

1.1.	Inventario del equipo ubicado sobre el glaciar y sus alrededores:	1
1.2.	Contexto climático para el 2006:	2

1.1. 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, y de la estación meteorológica "ORE" (temperatura, viento, radiación, humedad, precipitación, altura de nieve).

Los datos provenientes del sensor de humedad, del termógrafo automático instalados sobre la morrena y de los pluviografos 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 2006 se muestra sobre la Tabla 1.1 y la Figura 1.1

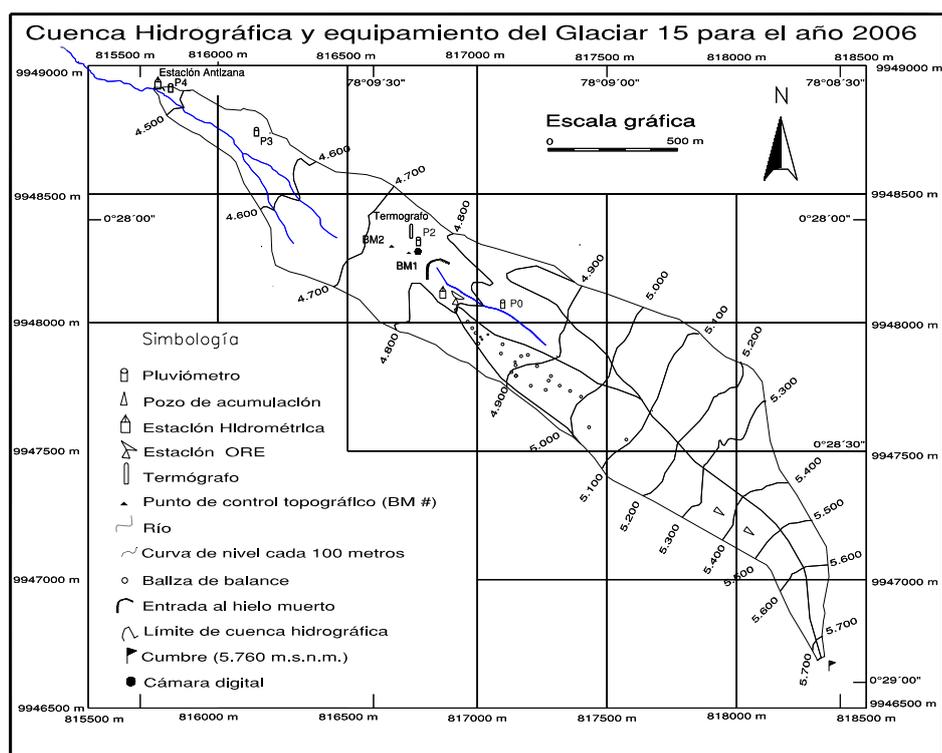


Figura 1.1. Mapa general de la cuenca del Glaciar 15 α con el equipamiento

Equipo	Dispositivo	Ubicación
---	27 Balizas de balance mensual	Ubicadas sobre la zona de ablación a diferente altura
---	1 Perforación (Pico)	5378 m.s.n.m.
---	2 Sondajes	5369, 5530 m.s.n.m.
1 Estación ORE	---	4882 m.s.n.m.
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 Termógrafo automático	---	4785 m.s.n.m.
5 Pluviógrafos automáticos	---	4455, 4010, 4000, 4785, 4850 m.s.n.m.
1 Cámara automática	---	4785 m.s.n.m.
1 Estación climatológica automática (ORE)	---	4850 m.s.n.m.

Tabla 1.1. Equipamiento del Glaciar 15 y sus zonas adyacentes

1.2 Contexto climático para el 2006:

El período 1990 – 2006 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 del 2005 el MEI1 indica la permanencia de una anomalía positiva muy poco intensa

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).

(Figura 1.2). Durante los últimos meses de 2005 hasta febrero del 2006 se observa una anomalía negativa relacionada con una situación neutra, la misma se considera que avanza hasta el mes de mayo. Para la segunda mitad del 2006 se observa una anomalía positiva la cual se la puede relacionar a un Niño de moderado a débil.

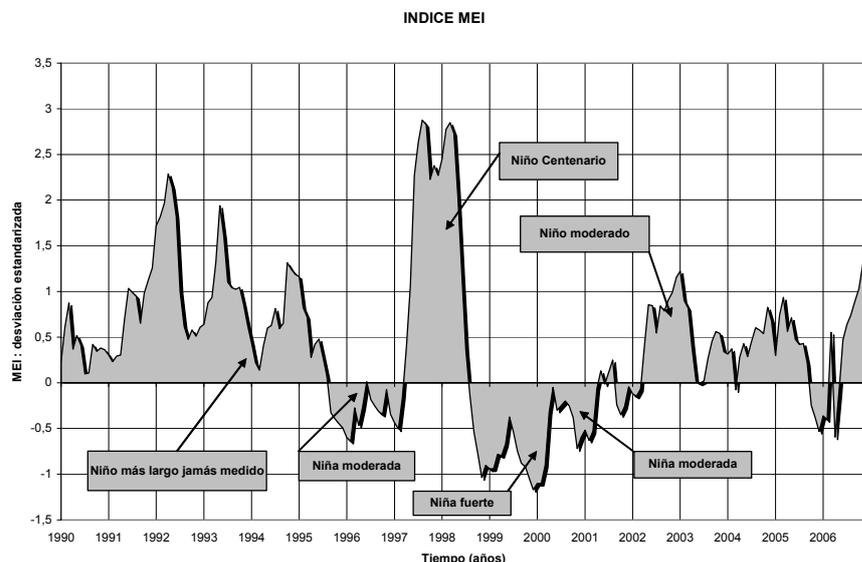


Figura 1.2. Multivariable ENSO index. Período 1990-2006

CAPÍTULO 2

2. Balance de masa

Autor Principal: Ing. Bolívar Cáceres

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

2.1	Balance de masa Glaciar 15	4
2.1.1	Zona de acumulación	4
2.1.2	Zona de ablación	7
2.1.3	Balance anual del glaciar 15 en su totalidad (área de acumulación + área de ablación)	12
2.1.4	Síntesis para el período 1995 – 2006	15
2.2	Balance de Masa del Glaciar Los Crespos	22
2.2.1	Zona de acumulación	22
2.2.2	Zona de ablación Glaciar “Los Crespos”	24
2.2.3	Balance anual del glaciar en su totalidad (acumulación + ablación) Glaciar “Los Crespos”	29

2.1 Balance de masa Glaciar 15

2.1.1 Zona de acumulación

La medición de la acumulación se hizo el 12 de diciembre de 2006.

Se determinaron tres puntos:

- Un sondeo a 5369 m en la arista entre 15 alfa y 15 beta, se colocó una baliza de acumulación (2 tramos de PVC)
- Una perforación utilizando el Pico a 5378 m.
- Un sondeo a 5530 m en la parte alta del glaciar 15 beta, se colocó una baliza de acumulación (3 tramos de PVC).

Sondeo 5369 m:

Se realizó un sondeo con un espesor total de 262 centímetros, el espesor de la capa anual fue de 218 centímetros, la densidad media calculada es de 0.45 g/cm^3 . El equivalente de agua calculada tiene un valor de 981 mm. El sondeo fue realizado en el punto de coordenadas 817883 este y 9947142 N (Navegador Garmin, WGS 84). Este sitio se encuentra en las cercanías del sitio escogido para colocar una nueva baliza de acumulación para el ciclo 2007, se dejaron tres tubos de P.V.C. de 2.5 pulgadas de 2.0 metros de longitud cada uno (P1), se midió una emergencia de 231 centímetros, se dejó una pastilla RECCO.

En la Tabla 1.1 se presentan las mediciones realizadas y una descripción de la estratigrafía del sondeo.

Profundidad cm	Característica de Nieve/Hielo
0-13	Nieve suelta fresca
13 - 87	Nieve suelta
87 - 105	Hielo
105 - 135	Nieve dura
135 - 150 ⁺	Nevisa muy dura

Tabla 2.1. Densimetría y profundidad del sondaje

El Índice de confianza se lo considera como bueno.

Perforación 5378 m:

Se realizó una perforación utilizando un "Pico" con un espesor total de 221 centímetros, la densidad media calculada es de 0.45 g/cm³. El equivalente de agua calculada tiene un valor de 1001 mm. El sondeo fue realizado en el punto de coordenadas 817809 este y 9946994 N (Navegador Garmin, WGMS 84). Este sitio se encuentra en las cercanías del sitio escogido para colocar una nueva baliza de acumulación para el ciclo 2007, se dejaron tres tubos de P.V.C. de 2.5 pulgadas de 2.0 metros de longitud cada uno (P2), se midió una emergencia de 300 centímetros, se dejó una pastilla RECCO.

En la Tabla 2.2 se presentan las mediciones realizadas y los cálculos correspondientes.

Peso (g)	Largo (cm)	Circunferencia	Radio (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Agua (mm)	Agua acumulada
204	11	25	3,98	49,74	547,10	0,37	41,02	34,98
72	6	25	3,98	49,74	298,42	0,24	14,48	35,98
201	8,5	25	3,98	49,74	422,76	0,48	40,41	36,98
118	4,5	25,5	4,06	51,75	232,85	0,51	22,80	37,98
408	13	25,5	4,06	51,75	672,69	0,61	78,85	38,98
138	7,5	24,5	3,90	47,77	358,25	0,39	28,89	39,98
273	9	25,5	4,06	51,75	465,71	0,59	52,76	40,98
167	7,5	25	3,98	49,74	373,02	0,45	33,58	41,98
Promedio	----	----	----	----	----	0,45	----	----

Tabla 2.2. Densimetría y profundidad del sondaje

El Índice de confianza se lo considera como bueno.

Sondeo 5530:

Se realizó un sondeo con un espesor total de 300 centímetros, el espesor de la capa anual fue de 250 centímetros, la densidad media calculada es de 0.45 g/cm³. El equivalente de agua calculada tiene un valor de 1125 mm. El sondeo fue realizado en el punto de coordenadas 817957 este y 9946152 N (Navegador Garmin, WGMS 84). Este sitio se encuentra en las cercanías del sitio escogido para colocar una nueva baliza de acumulación para el ciclo 2007, se dejaron tres tubos de P.V.C. de 2.5 pulgadas de 2.0 metros de longitud cada uno (P3), se midió una emergencia de 335 centímetros, no se dejó una pastilla RECCO.

En la Tabla 2.3 se presenta una descripción de la estratigrafía del sondeo.

Profundidad cm	Característica de Nieve/Hielo
0 - 20	Nieve fresca
20 - 40	Hielo
40 - 250	Nevisa densa
250 - 270	Nevisa dura
270 - 300 ⁺	Nevisa suelta

Tabla 2.3. Densimetría y profundidad del sondaje

El Índice de confianza se lo considera como bueno.

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

La Tabla 2.4 y 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 5400-5760 han sido interpolados a partir de las mediciones realizadas.

Rangos altitudinales	Acumulación mm de agua	Observaciones
5600-5760	1069	Interpolado
5500-5600	1069	Medido
5400-5500	1030	Interpolado
5300-5400	991	Medido
5200-5300	496	Interpolado
5150 -ELA	0	Observado

Tabla 2.4. Cálculos de densimetría y equivalente agua

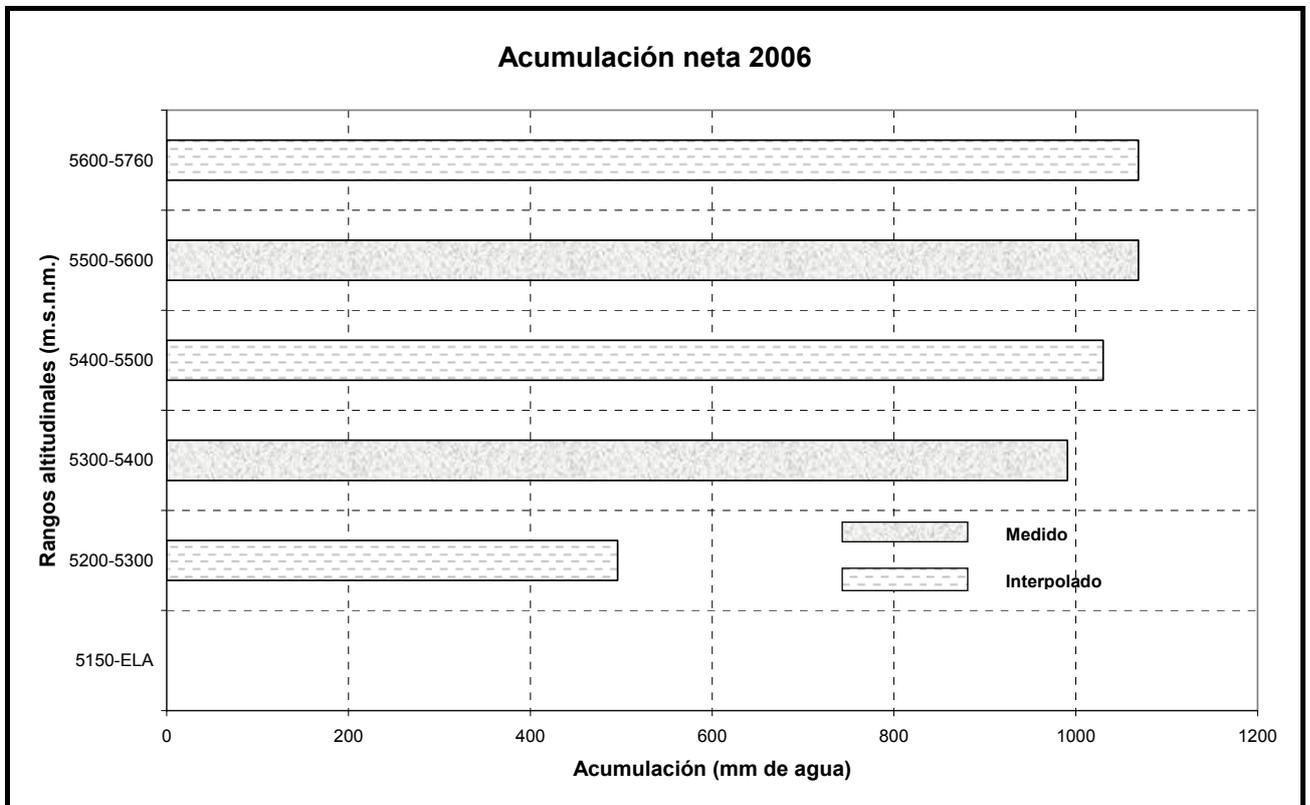


Figura 2.1. Acumulación por rangos altitudinales en el 2006

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 de “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 5600-5760 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 los meses de diciembre del 2005.
- Perdida de las balizas de acumulación colocadas en el mismo período.

2.1.2 Zona de ablación

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.

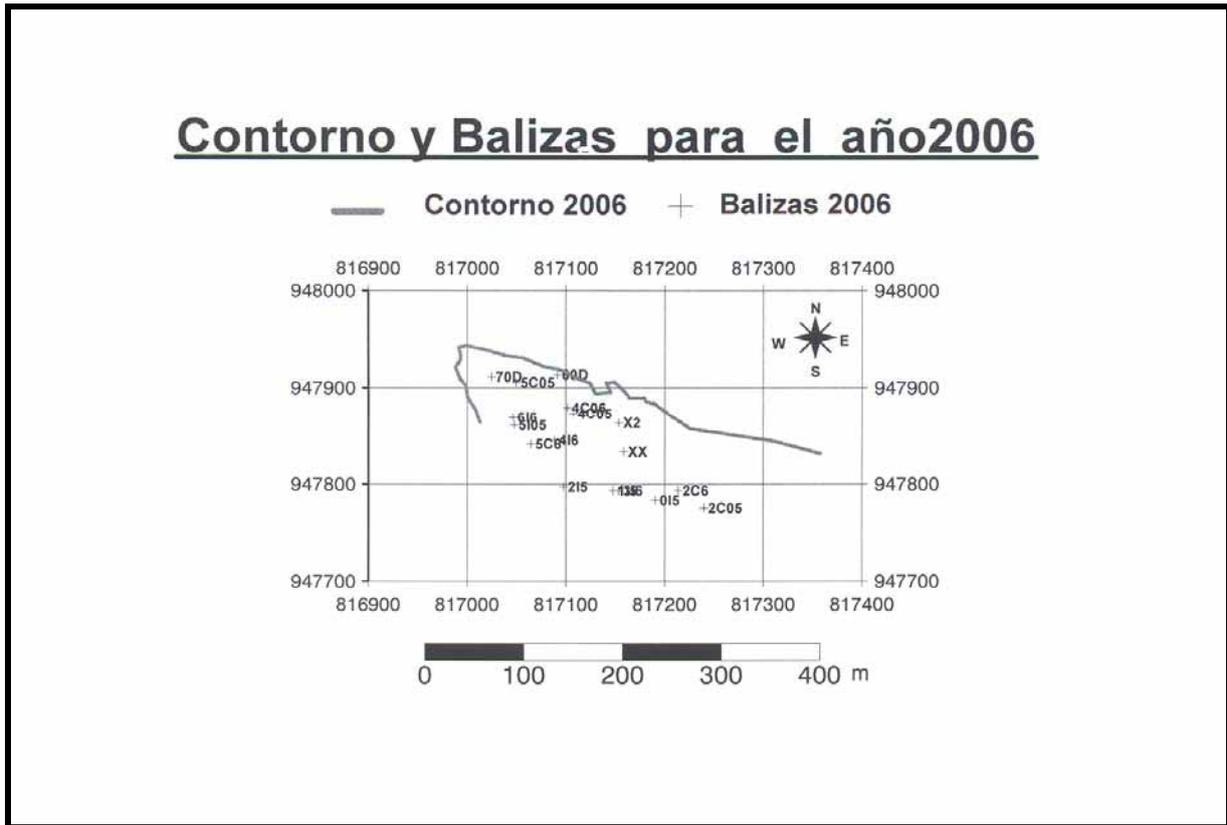


Figura 2.2. Red de balizas sobre la zona de ablación para el año 2006

c) Balance anual para cada baliza

Para conocer el balance durante el año 2006 se utilizaron los datos topográficos iniciales obtenidos en el levantamiento realizado en el 1 de diciembre del 2005, que se comparó con las lecturas realizadas el 26 de diciembre del 2006.

Para el efecto se emplearon las mediciones de doce balizas instaladas el 26 de diciembre de las 2005 y catorce balizas instaladas en el mes de diciembre del 2004 ubicadas entre los 4856 y 4947 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 la Tabla 2.5, en esta se consideran todas las balizas que han registrado lecturas.

Nº Baliza	Cotas m.s.n.m.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
2C06	4947	----	----	----	40	-412	-256	-813	-389	-198	-346	28	-11	-2357
015	4937	----	----	----	----	----	----	----	----	-288	-413	-88	-68	-857
3106	4926	----	-176	57	98	-332	-289	-726	-506	-315	-386	50	-72	-2597
115	4923	----	----	----	----	----	----	-752	-486	-216	-394	-113	-126	-2087
XX	4923	----	36	-17	-61	-355	----	----	-963	-27	-207	-99	-14	-1707
2C05	4918	----	----	----	----	----	----	----	----	-261	-369	13	-82	-699
2105	4905	----	----	----	73	-469	-286	-621	-558	----	----	-201	-71	-2133
314	----	121	-116	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	5
3C4	----	12	-39	17	-55	-560	----	----	----	----	----	----	----	-615
3C06	----	----	-168	23	32	-439	-311	-661	-684	-396	-225	----	----	-2829
214	----	----	----	----	----	----	----	-98	----	----	----	----	----	-98
3D6	----	----	----	----	-3	-417	-486	-1224	-684	-396	-360	-105	-72	-3747
4106	4897	----	-161	-5	5	-497	-173	-507	-418	-234	-288	-115	-86	-2479
5C06	4889	----	-75	-15	----	----	----	-660	-249	-270	----	----	-151	-1420
6106	4881	----	-91	9	52	-438	-233	-697	-483	-189	-324	-74	-261	-2729
4D06	----	----	39	-94	----	----	----	----	-450	-279	-513	-131	-203	-1631
4C05	----	----	----	----	-25	-574	-387	-732	-285	-198	-180	-100	-117	-2598
4C06	4878	----	-178	65	-37	-403	-432	-714	-285	-180	-180	-242	-11	-2597
4C4	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-360	----	----	----	-360
414	4872	----	----	----	----	-448	----	----	----	----	----	----	----	-448
6D06	4871	----	-185	-63	-35	-752	-576	-720	-747	-369	-297	-133	-232	-4099
6C6	4871	----	----	----	-120	-302	----	----	-319	-279	-216	-167	-455	-1858
7C06	4867	----	43	-154	-322	-433	-495	-459	-522	-405	-324	-276	-96	-3443
5C05	4857	274	-191	-8	-33	-770	----	----	-328	----	----	-191	-103	-1350
5105	4856	204	22	-67	106	-372	-190	-686	-339	-261	-180	-176	-64	-2003
5D05	----	----	----	----	-54	-885	----	----	----	----	----	-324	----	-1263
6C05	----	332	-507	264	-192	-940	-657	----	----	----	----	----	----	-1700

Tabla 2.5. Balance de cada baliza durante el 2006. Medida del 26 de diciembre del 2006

* Balizas con lecturas anuales completas

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 la Tabla 2.6.

Rango Altitudinal	Altura m.s.n.m.	Punto de medición representativo
5600-5760	5760	Interpolado
5500-5600	5550	Interpolado
5400-5500	5450	Medido sonda de nieve , interpolación
5300-5400	5324	Medido Perforacion Pico y sonda de nieve
5200-5300	5250	Interpolado
5100-5200	5150	Observado
5000-5100	5050	Interpolado
4960-5000	4980	Interpolado
4910-4960	4935	115-XX-2C05-O15-2C06-3106-314-3C4-3C06-214-3D6
4880-4910	4895	2105-4106-5C06-6106-4D06-4C05
4860-4880	4870	4C06-414-6D06-6C6-7C06-5C05-5105-5D05-6C05-4C4

Tabla 2.6. Balizas representativas para cada rango altitudinal en 2006

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 la Tabla 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
4910-4960	0,07	4,9	-6,8	1,5	0,6	-30,7	-21,2	-61,4	-45,5	-19,3	-24,8	-7,4	-4,7	-215
4880-4910	0,03	-----	-2,6	-0,5	2,0	-14,3	-8,2	-20,8	-13,6	-7,2	-10,2	-4,3	-5,1	-85
4860-4880	0,01	2,5	-2,2	-0,6	-0,6	-5,3	-3,8	-5,8	-3,7	-2,6	-2,5	-1,7	-1,4	-28
----	0,11	7	-12	0	2	-50	-33	-88	-63	-29	-38	-13	-11	-328

Tabla 2.7. Balance ponderado mensual para cada rango altitudinal en el 2006 expresado en mm equivalentes de agua

f) Evolución de la capa de nieve

Durante el año 2006, la capa de nieve promedio fue de 19 cm. Sobre la parte baja de la zona de ablación (4856-4950 m) la capa de nieve fue nula para los meses de mayo, agosto y septiembre; para los meses de junio, julio y octubre estuvo entre 1 y 10 centímetros; para el mes de noviembre oscilo entre 10 y 20 centímetros; para los meses de enero, febrero, marzo y abril 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 muy corto sobre el cual se tuvo una capa mediana de nieve que redujo la ablación de alguna manera (4 meses), siendo por lo tanto esta una de las causas para que el balance tenga un valor mas equilibrado, además se pudo constatar un mediano retroceso de la lengua (10 metros). Los resultados se los puede observar sobre la Figura 2.3.

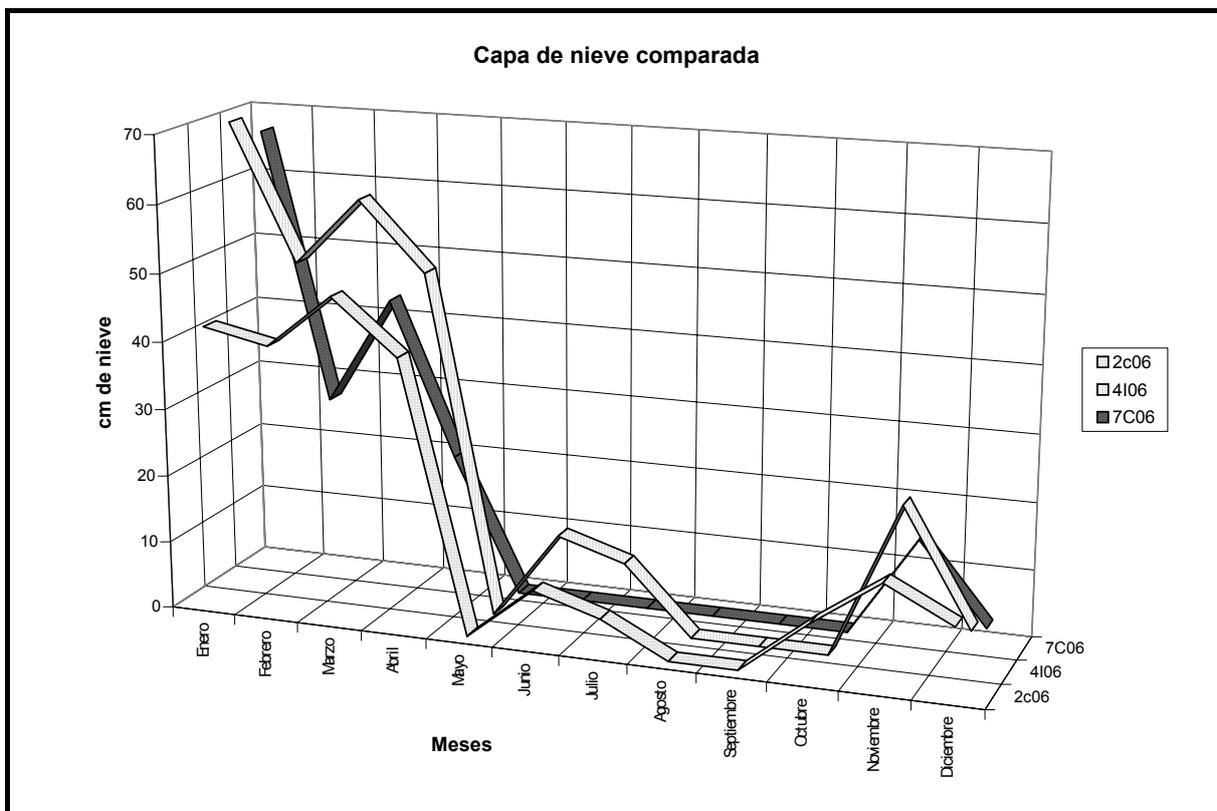


Figura 2.3. Espesor de la capa de nieve sobre la parte alta, media y baja de la zona de ablación del glaciar 15 alfa del Antisana para el año 2006. Mediciones realizadas al fin de cada mes y en algunos casos a principios del mes siguiente

g) Evolución de la línea de neviza durante el año:

Durante el año 2006 el glaciar no tuvo una cobertura de nieve para los meses de mayo, agosto y septiembre en los cuales la línea de nieve se ubicó entre los 4900 y 5200 metros. Para el mes de junio, julio y octubre la línea de nieve se ubicó un poco mas abajo al nivel de los 4900 metros, sin embargo su espesor fue pequeño. Sobre los meses de enero, febrero, marzo abril, noviembre 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 intermedia o muy escasa lo que incrementa la capacidad del hielo para no derretirse debido al aumento del albedo. Se observó además que la capa de nieve en los meses que estuvo presente fue intermedia y estuvo siempre blanca y

reflejante, lo que influye en el balance de masa durante estos meses. Cuando aparece el hielo el albedo disminuye significativamente (mayo, agosto y septiembre). 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) 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 2006 se lo puede observar en la Tabla 2.8 y la Figura 2.4

Rango	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Σ
4910-4960	42,8	-59,6	12,9	5,5	-268,9	-185,5	-537,9	-398,4	-168,8	-217,4	-65,2	-40,9	-1881
4880-4910	-----	-22,9	-4,1	17,3	-125,3	-71,7	-182,1	-118,8	-63,4	-89,5	-38,0	-44,5	-743
4860-4880	21,5	-19,5	-5,1	-5,6	-46,2	-33,1	-50,7	-32,7	-22,7	-21,7	-14,8	-12,1	-243
----	64	-102	4	17	-440	-290	-771	-550	-255	-329	-118	-98	-2867

Tabla 2.8. Balance mensual no ponderado para las balizas medidas en mm de agua.

El balance no ponderado para la zona de ablación durante el año 2006 tuvo un valor de -3056 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 2006 para la zona de ablación tiene un valor de -328 mm de agua (en relación con la superficie total del glaciar) que corresponde al 26.8% del valor del año anterior que fue de -1225 mm de agua, debido entre otros factores a la mayor cobertura de nieve que se tuvo sobre el glaciar en relación con el año anterior y al ligero aumento en las precipitaciones y a su nivel de ocurrencia.

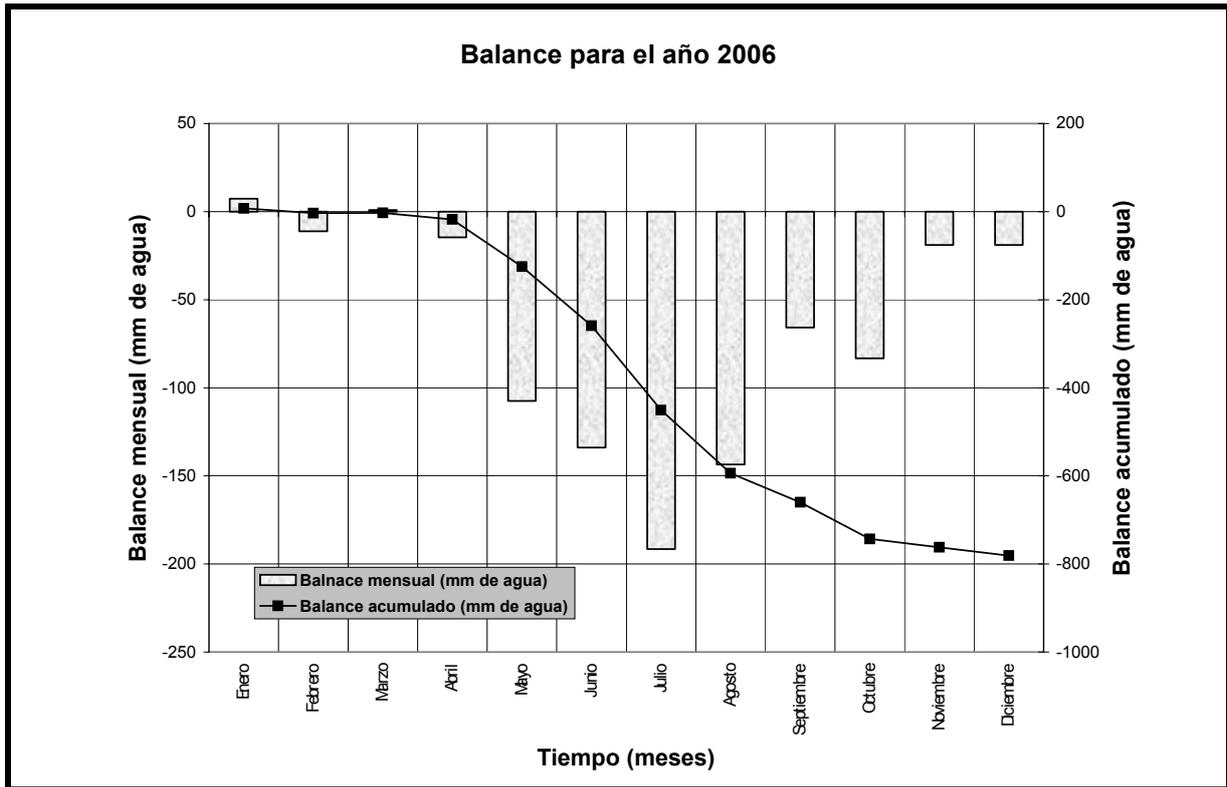


Figura 2.4. Variación del balance ponderado en la zona de ablación durante el año 2006

El balance más negativo se lo tiene en los meses de junio, julio y agosto, un balance más moderado se observa en los meses de mayo, septiembre y octubre; para los meses de febrero, abril, noviembre y diciembre se observa un balance mas equilibrado, para el mes de enero se tiene un balance positivo y para marzo un balance cercano a al equilibrio (cero). El balance negativo durante la mayor parte del año 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.

2.1.3 Balance anual del glaciar 15 en su totalidad (área de acumulación + área de ablación)

a) Balance neto específico:

Basándose en los datos medidos sobre el campo datos se obtuvo un balance neto para el año de 2006 con un valor de -450 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 mas equilibrado durante el 2004-2005.

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 paso de una fase fría (La Niña) a una fase cálida (El Niño) en el 2004 y 2005 se registraron valores de -572 y -789 mm de agua, se considera que se tuvo una fase neutra del fenómeno. Para los años de 1995, 1996, 1997, 1998, 2001, 2002 y 2003 se registraron valores de -1830, -428, -612, -845, -598, -769 y -1362 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 la Tabla 2.9 y en la Figura 2.5.

Rango altitudinal (m.s.n.m.)	Sup. Parcial (m ²)	Sup. Relativa Sr	Balance (mm)	Balance ponderado Sr*B = (mm)
5600-5760	37626	0,129	985	127
5500-5600	23516	0,081	985	79
5400-5500	28892	0,099	912	90
5300-5400	34267	0,117	838	98
5200-5300	34267	0,117	474	56
5100-5200	59656	0,204	-1311	-268
5000-5100	19800	0,068	-1836	-125
4960-5000	20375	0,070	-2357	-165
4910-4960	21463	0,074	-2597	-191
4880-4910	9207	0,032	-3670	-116
4860-4880	2657	0,009	-4030	-37
Suma	291727	1	---	-450

Tabla 2.9. Cálculo del balance ponderado (neto específico) para el año 2006 en mm de agua en relación con la superficie total del glaciar

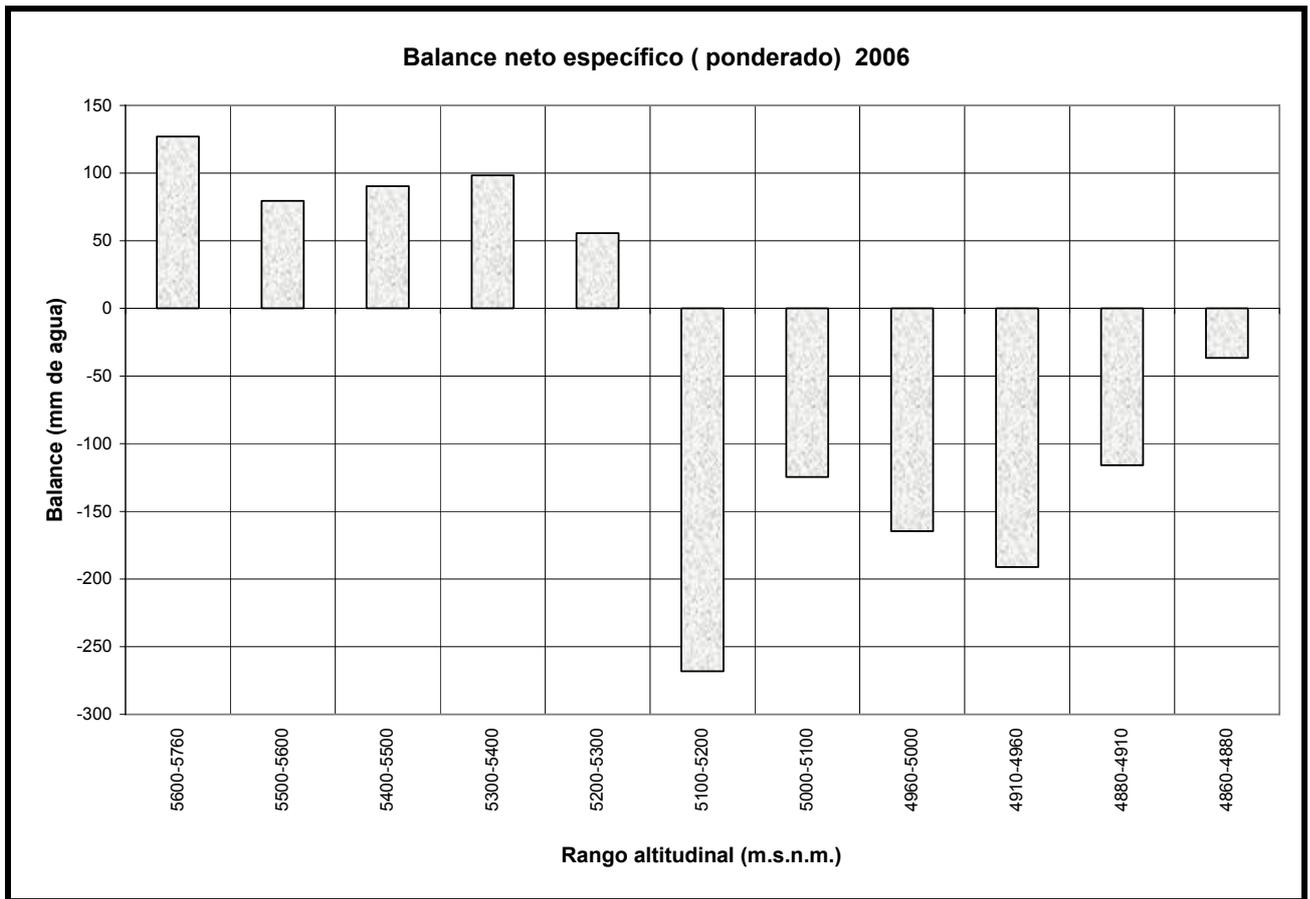


Figura 2.5. Balance neto específico por rango altitudinal para el año 2006 (mm de agua) Glaciar 15 Alfa

b) Isolíneas de balance

La línea de equilibrio (ELA) para el año de 2006 se la ubicó a 5150 m valor semejante al registrado en el año 2005 que fue igual.

Utilizando el levantamiento topográfico realizado en el mes de diciembre del año 2006 se calculó el área promedio de acumulación (AAR) que es equivalente al 54 % del área total del glaciar. Este valor es similar al registrado en los años 2004 y 2005 durante los cuales el glaciar perdió masa de una manera moderada. Además sobre el glaciar se pudo observar una ablación moderada y una acumulación mayor a la que se registro en el año 2005 y semejante a la del 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 2.6 se muestran las isolíneas de balance para el glaciar 15 alfa para el año de 2006.

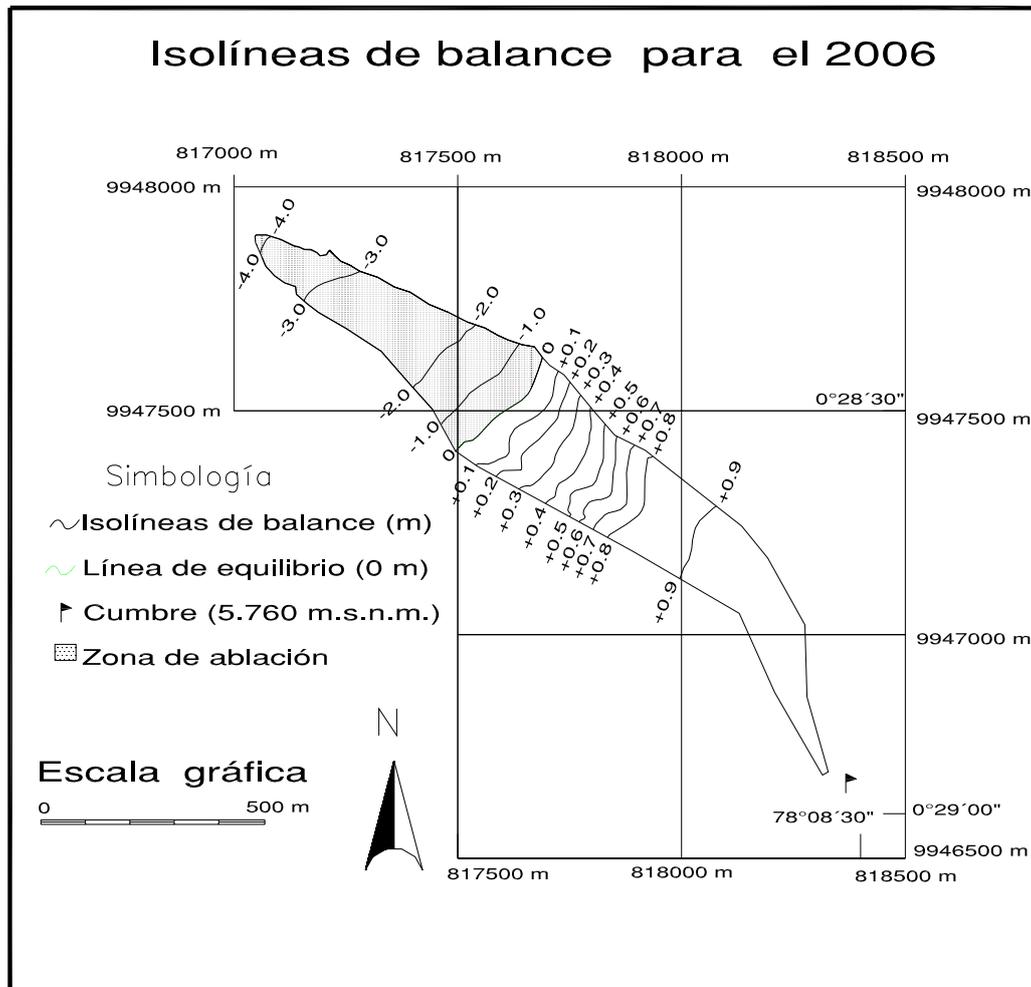


Figura 2.6. Ubicación de las líneas de isobalance en el Glaciar 15a del Antisana para el año 2006

c) Perfil altitudinal del balance

Sobre la Tabla 2.10 y la Figura 2.7 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 11 rangos altitudinales entre los 4856 y los 5760 metros.

Rango Altitudinal	Balance (mm)
5600-5760	985
5500-5600	985
5400-5500	912
5300-5400	838
5200-5300	474
5150	0
5100-5200	-1311
5000-5100	-1836
4960-5000	-2357
4910-4960	-2597
4880-4910	-3670
4860-4880	-4030

Tabla 2.10. Balance neto no ponderado y rangos altitudinales para año 2006. Glaciar 15

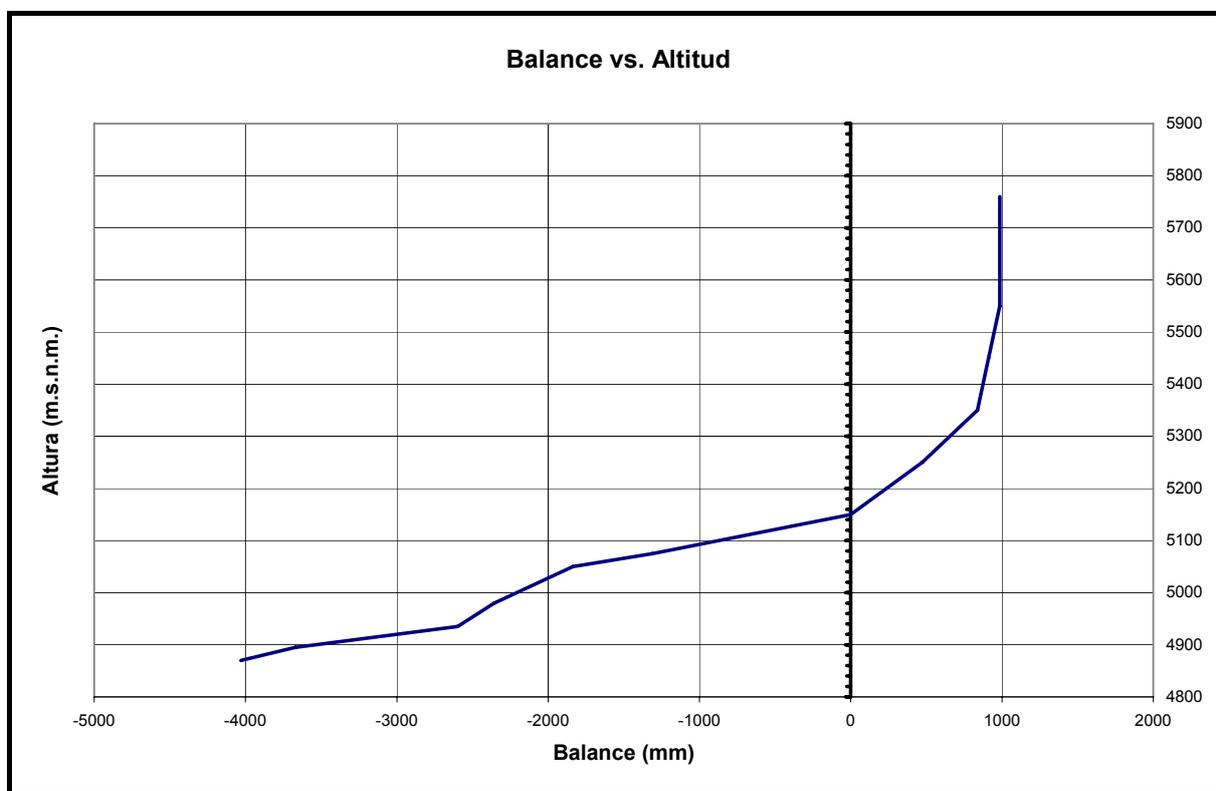


Figura 2.7. Perfil altitudinal del balance neto no ponderado para el año 2006 Glaciar 15

2.1.4 Síntesis para el período 1995 – 2006

1. Balance neto específico del glaciar:

La evolución del balance para los doce 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 más equilibrado. Para los años de 1999 y 2000 el balance es positivo y tiene valores de 515 y 393 mm de acumulación de agua. Se puede observar una coincidencia con las

fases Niño/Niña: durante El Niño se observa un derretimiento mayor y durante La Niña se tiene un menor derretimiento.

En la Tabla 2.11 se muestra un resumen de todos los datos relacionados con el balance y las principales características del Glaciar 15 α para el período 1995 – 2006.

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
2006	-450	-7437	1366	-4030	+985	5150	54	916	-10	-274
Prom	-612	----	1547	-5158	+872	5117	59	934	-23	----

Tabla 2.11. Recapitulación de los datos relacionados al balance neto específico para los doce 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 del 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)

2. Balance en función de la altitud:

La variación observada sobre el balance del glaciar a lo largo de los doce años de monitoreo concuerda bastante bien con el modelo lineal propuesto por Lliboutry (1974). (Tabla 2.12, Figura 2.8). 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 1767 mm de agua perdida por cada 100 m. Este gradiente elevado es característico para los glaciares ubicados en las zonas tropicales.

Por sobre los 5117 m el gradiente de balance presenta un patrón bastante regular, la acumulación neta aumenta como valor promedio de 137 mm por cada 100 m para los doce años.

Los valores del balance sobre la parte terminal del glaciar (doce 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 varía 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. Además, cada año se toma una baliza diferente debido a la caída o pérdida de dicha baliza al final del año.

Año 1995		Año 1996		Año 1997		Año 1998		Año 1999		Año 2000	
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		Año 2006	
Balance (mm)	Altitud (msnm)										
940	5760	1015	5740	810	5740	957	5760	878	5760	985	5760
665	5580	815	5550	810	5550	892	5550	878	5550	985	5550
540	5500	500	5450	810	5450	661	5450	878	5450	912	5450
460	5400	375	5300	675	5300	370	5324	780	5324	838	5324
380	5290	230	5244	338	5244	250	5250	520	5250	474	5250
190	5100	115	5150	-1380	5150	82	5150	0	5150	0	5150
-441	5050	-1286	5050	-2558	5050	-2004	5050	-1177	5125	-1311	5125
-3060	4980	-4410	4980	-5703	4980	-3435	4980	-2360	5050	-1836	5050
-3287	4930	-4907	4930	-6497	4930	-4147	4935	-4003	4980	-2357	4980
-3547	4890	-4999	4895	-5934	4895	-4171	4895	-4259	4935	-2597	4935
-4876	4870	----	----	-6330	4870	-4323	4870	-4670	4895	-3670	4895
-4962	4845	----	----	-6633	4845	-5420	4845	-4838	4870	-4030	4870
----	----	----	----	----	----	----	----	-6580	4845	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 2.12. Variación del balance en función de la altitud. Período 1995–2006

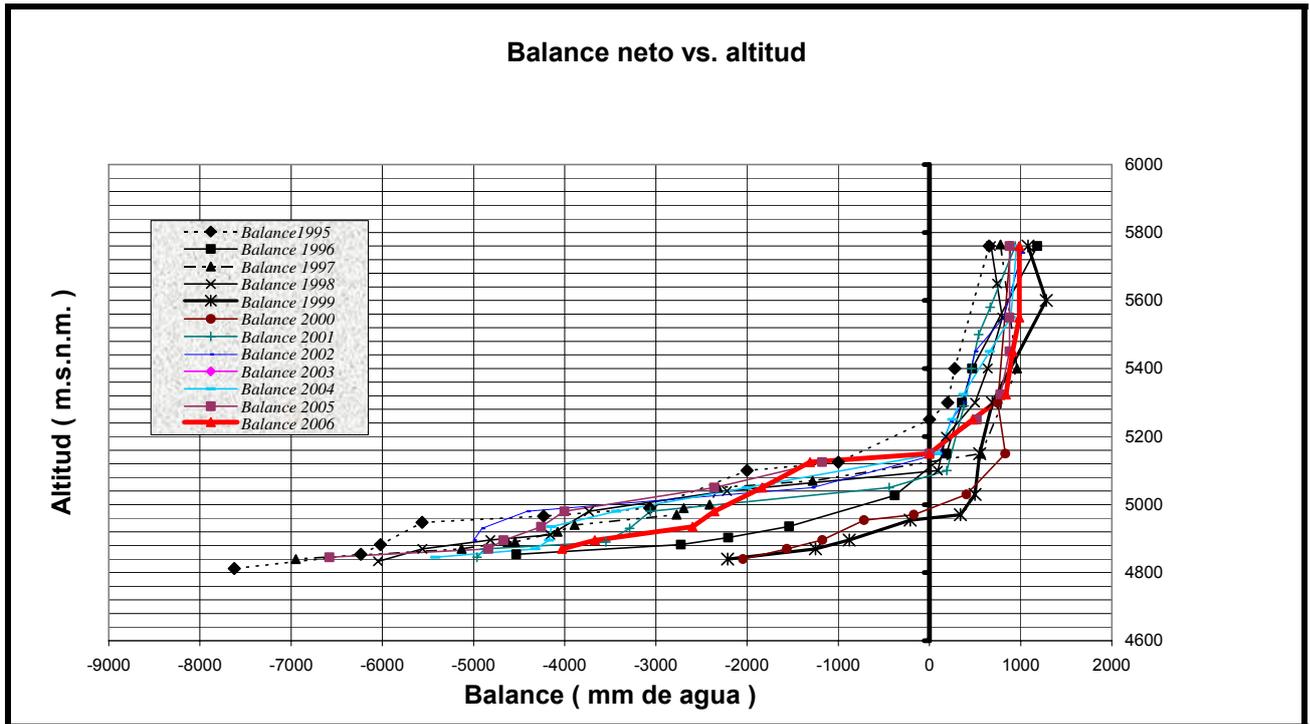


Figura 2.8. Variación del balance en función de la altitud. Período 1995-2006

3. Línea de equilibrio (ELA) versus Área Promedio de Acumulación (AAR)

La línea de equilibrio ha tenido una fluctuación máxima de 265 m durante los doce 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 ubicó a 5145m. Para el 2003 la línea de equilibrio se ubica a 5225 m, en 2004 se ubicó a 5145 valor similar al observado en el año de 2002 y 2005 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 2.9 y Figura 2.10.

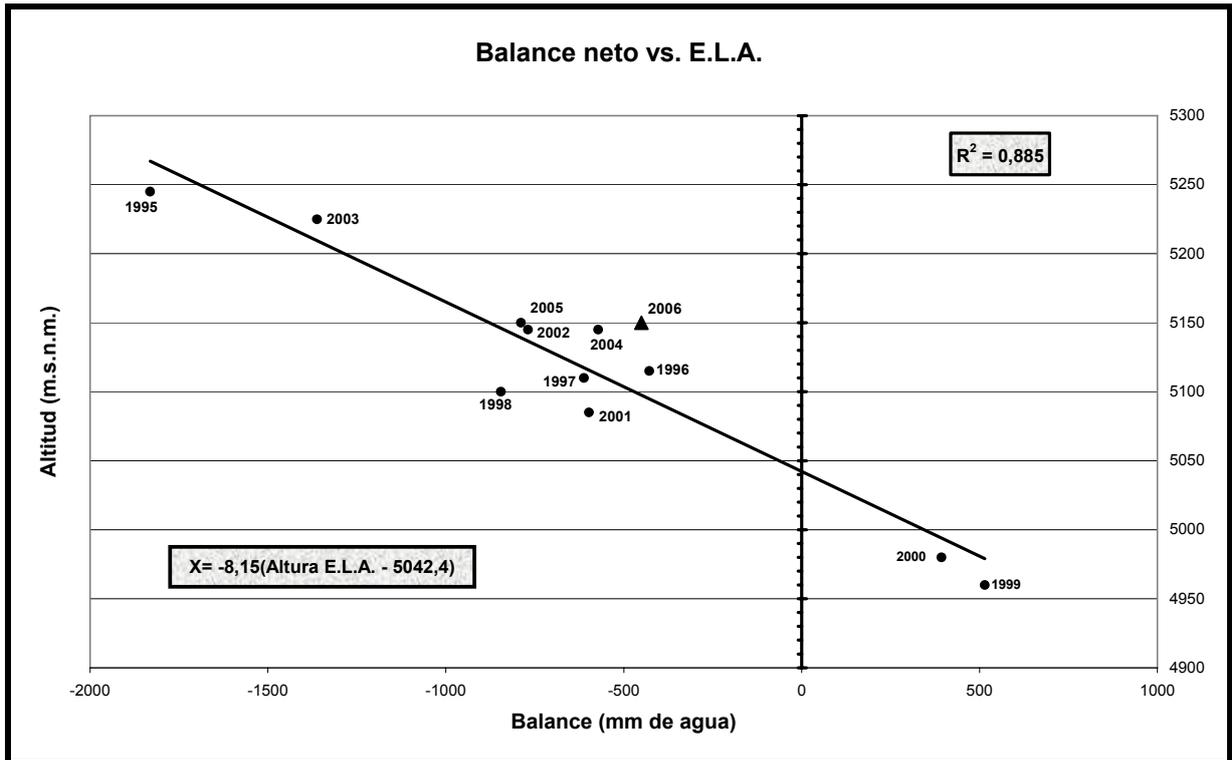


Figura 2.9. ELA versus balance neto. La ELA0 se ubica en los 5045

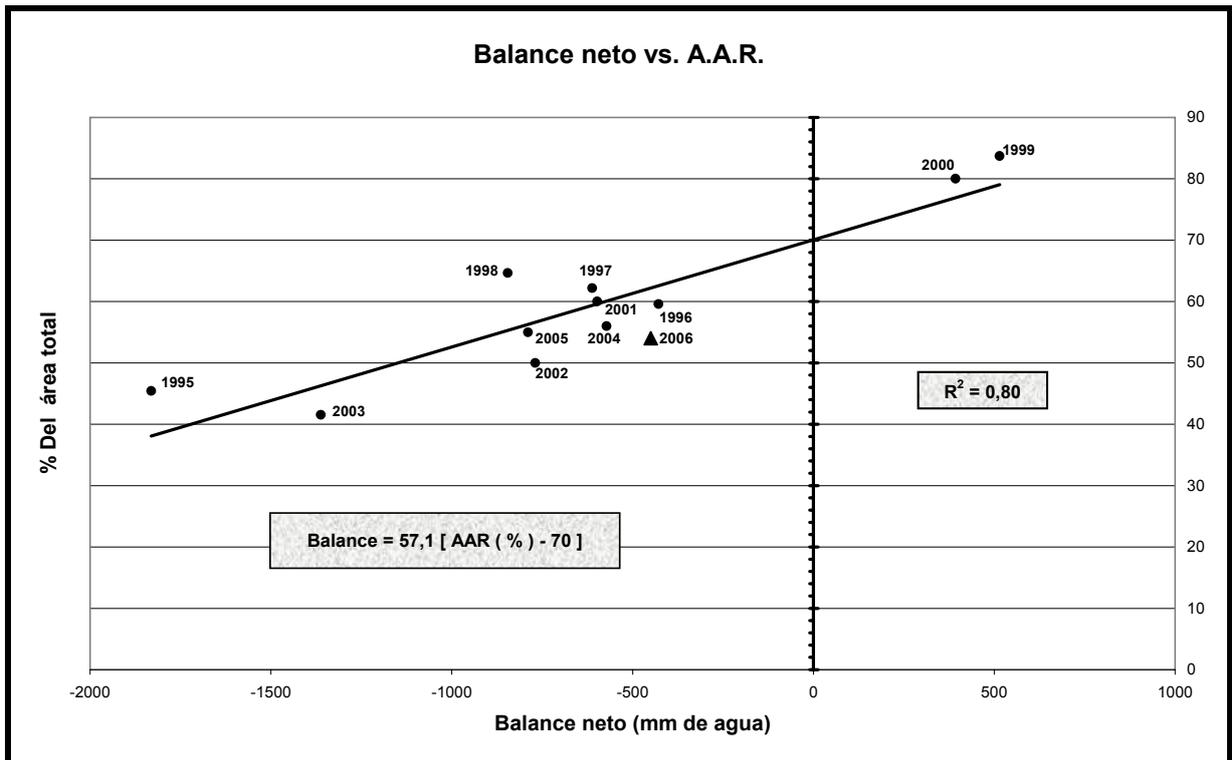


Figura 2.10. AAR versus balance neto. El AAR0 corresponde al 70%

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 (doce 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 cálculo un coeficiente de correlación R^2 de 0.88 ($R= 0.94$) y se obtuvo un valor del $ELA_0 = 5045$ m (balance equilibrado).

Para las AAR se calculó un coeficiente de correlación R^2 de 0.80 ($R= 0.89$) y se obtuvo un valor del AAR_0 que corresponde al 70% 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 pequeño y corresponde a un período de retroceso acelerado. Probablemente el glaciar aun no se encuentra en equilibrio con el clima actual

2.2 Balance de Masa del Glaciar Los Crespos

2.2.1 Zona de acumulación

La medición de la acumulación se la hizo el 28 de diciembre de 2006.

Perforación 5016 m:

Se realizó una perforación utilizando el PICO con una profundidad de 0.50 metros (medida directa) en el sitio de coordenadas GPS (E-trek Garmin, Navegación WGMS 84): 817047 E; 9945452 N (+/- 5 metros). Ubicado en la parte superior de la segunda loma, se calculó un equivalente en agua de 315 mm. en este sitio no se dejó la pastilla Recco, se instaló una baliza de acumulación consistente en un tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro con una longitud total de 6 metros, con una emergencia de 2.15 metros.

En la Tabla 2.13 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
172	8	22	3,50	38,52	308,12	0,56	44,66	44,66
423	10	25	3,98	49,74	497,36	0,85	85,05	129,71
483	12	25	3,98	49,74	596,83	0,81	97,11	226,82
450	11,5	25	3,98	49,74	571,96	0,79	90,48	317,30
Promedio	----	----	----	----	----	0,75	----	----

Tabla 2.13. Densimetría y equivalentes en agua. Perfil 5016m Glaciar "Los Crespos"

Los resultados son los siguientes:

Espesor de la acumulación: 110 cm. de neviza

Espesor medida: 41.5 cm.

Densidad promedia: 0.75 g/cm³

Equivalente agua: 315 mm

Índice de confianza: bueno

Sobre la Tabla 2.14 se muestra la estratigrafía encontrada

Profundidad cm	Característica de Nieve/Hielo
0-50	Nieve suelta fresca
50-115	Hielo

Tabla 2.14. Estratigrafía. Perfil 5016m Glaciar “Los Crespos”

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

Sobre Tabla 2.15 y en la Figura 2.11 se muestra un resumen de 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 5200-5760 han sido extrapolados a partir de las mediciones realizadas sobre el glaciar 15.

Rangos altitudinales	Acumulación mm d eagua	Observaciones
5500-5760	1069	Extrapolado
5200-5500	839	Extrapolado
4950-5200	315	Medido

Tabla 2.15. Cálculos equivalente agua por rango altitudinal Glaciar “Los Crespos”

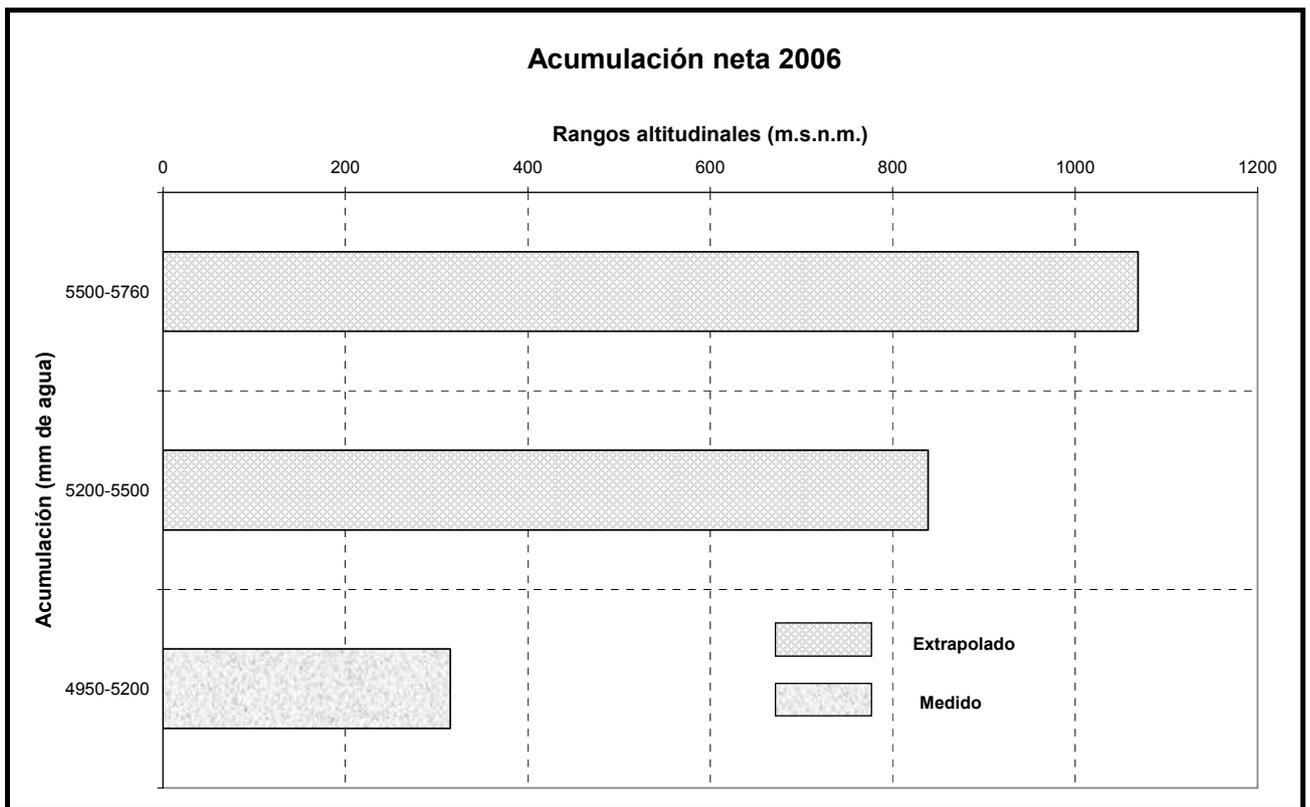


Figura 2.11. Acumulación por rangos altitudinales en el 2006 Glaciar “Los Crespos”

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 “aproximado”.

- 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 15 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 arriba de los 5016 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:

La metodología de cálculo es semejante a la descrita anteriormente para el Glaciar 15.

b) Red de balizas instaladas:

La ubicación de las balizas de balance se muestra sobre la Figura 2.12.

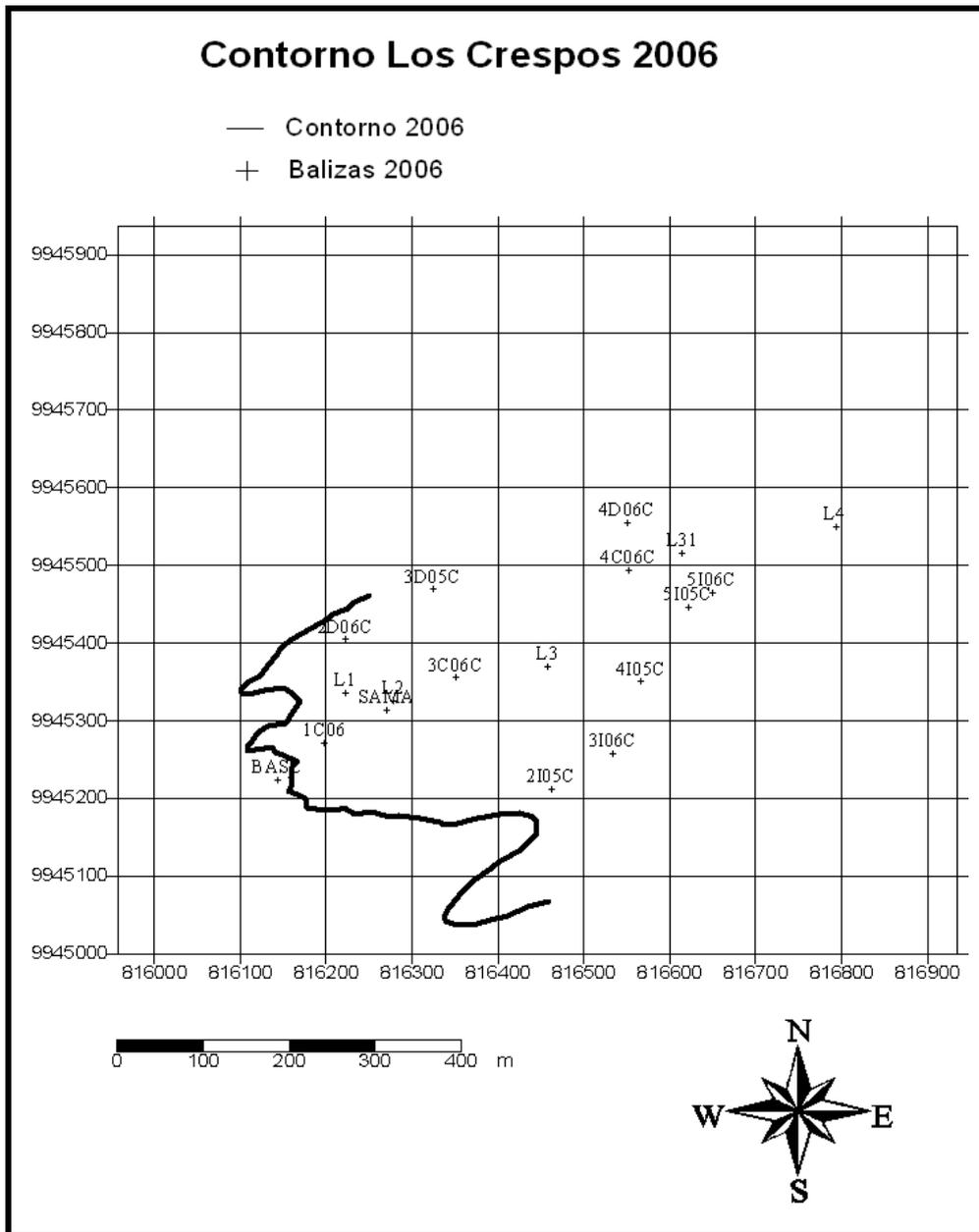


Figura 2.12. Red de balizas sobre la zona de ablación para el año 2006 Glaciar “Los Crespos”

c) Balance anual para cada baliza

Para conocer el balance durante el año 2006 se utilizaron los datos topográficos iniciales obtenidos en el levantamiento realizado en el mes de diciembre del 2005.

Para el efecto se emplearon las mediciones de diez balizas instaladas el mes de diciembre de las 2005 y doce balizas instaladas en el mes de diciembre del 2004 ubicadas entre los 4759 y 4898 m. Es importante indicar que durante el año se perdieron numerosas balizas debido a las 67avalanchas 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 la Tabla 2.16 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	Altura m.s.n.m.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
5106C	4898	-18	-75	-17	-4	-46	----	----	----	-14	----	----	-17	-190
5105C	4886	-13	-56	-13	-7	----	----	11	----	----	----	-8	-63	-148
4C06C	4882	-13	-73	-27	-1	-19	----	----	-10	----	----	-32	-84	-259
5C05C	4877	----	-93	-26	-43	-42	-32	-21	-11	----	----	-28	-9	-304
4D05C	----	----	----	----	----	-88	-2	-78	----	----	----	----	----	-168
4C05C	----	----	----	----	----	----	-56	----	----	-7	----	----	----	-64
4I05C	----	-17	----	----	3	-59	17	-7	-23	----	----	-30	-70	-206
4D06C	4874	----	-58	----	----	----	----	----	----	-16	-58	-32	-91	-254
3I06C	4825	-58	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-58
3D05C	4795	-74	-87	-36	----	----	----	-43	-36	-40	-78	-52	-44	-490
3C05C	----	-89	-30	-56	-36	-67	-33	----	----	----	----	----	----	-310
3I05C	----	-23	-4	-121	-19	-83	----	----	-56	-10	----	----	----	-317
3D06C	----	-46	-100	-30	-33	-89	----	----	----	-13	-77	-36	----	-423
3C06C	4793	-36	-105	-38	-31	-89	----	----	----	-36	-98	-72	-48	-552
1C06C	4764	-46	----	----	----	-74	-2	-42	----	----	----	-59	-77	-253
1C05C	----	----	----	----	----	----	----	-41	-44	-53	-68	-52	-54	-311
2D06C	4760	-44	-87	-35	-32	-106	-9	-25	-40	-21	-121	-54	-23	-597
2C06C	----	-32	-79	-37	-36	-127	----	----	----	----	----	----	----	-311
2I06C	----	-37	----	----	-27	-91	----	----	-50	-34	----	----	----	-238
2I05C	4759	-56	-77	-60	-31	----	----	----	----	----	----	-43	-62	-372
2D05C	----	----	----	-36	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-36
2C05C	----	-57	-79	-39	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-175

Tabla 2.16. Balance de cada baliza durante el 2006 Glaciar "Los Crespos"
* Balizas con lecturas anuales completas

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 la Tabla 2.17.

Rango Altitudinal m.s.n.m.	Altura m.s.n.m.	Punto de medición representativo
5500-5750	5750	Extrapolado
5200-5500	5340	Medido
4950-5200	5170	Medido
4900-4950	4925	Interpolado
4850-4900	4875	5105C-5C05C-5I06C-4D05C-4C05C-4I05C-4D06C-4C06C
4800-4850	4825	3C05C-3I05C-3D06C-3I06C
4750-4800	4775	2D05C-2C05C-2I05C-2D06C-2C06C-2I06C-1C06C-3D05C-3C06C
4720-4750	4735	1C05C

Tabla 2.17. Balizas representativas para cada rango altitudinal en 2006 Glaciar "Los Crespos"

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 la Tabla 2.18 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	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
4850-4900	0.04	-7	-30	-9	-6	-22	-8	-10	-6	-5	-25	-11	-24	-162
4800-4850	0.03	-17	-15	-23	-9	-25	-10	---	-18	-7	-31	-23	-15	-195
4750-4800	0.05	-25	-44	-20	-16	-50	-3	-19	-22	-14	-48	-25	-27	-314
4720-4750	0.01	---	---	---	---	---	---	-5	-6	-7	-9	-7	-7	-41
-----	0.19	-48	-89	-52	-31	-98	-21	-35	-52	-34	-113	-66	-73	-712

Tabla 2.18. Balance ponderado mensual para cada rango altitudinal en el 2006 expresado en mm de agua para la superficie total del Glaciar "Los Crespos"

f) Evolución de la capa de nieve del glaciar “Los Crespos” en la zona de ablación

Durante el año 2006, la capa de nieve promedio fue de 5 cm. Sobre la parte baja de la zona de ablación (4759 y 4898 m) la capa de nieve fue nula para los meses de febrero, mayo, octubre y noviembre; para los meses de julio y diciembre estuvo entre 1 y 5 centímetros; para enero, marzo, abril y septiembre estuvo entre los 6 y 10 centímetros; únicamente para el meses de junio y agosto fue superior a los 10 centímetros.

Este hecho nos muestra que durante la mayor parte del año (10 meses) en la parte baja del glaciar no tuvo cobertura de nieve y en algunos meses fue muy escasa (entre 1 y 5 centímetros), únicamente se observó un período de cuatro 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 2.13.

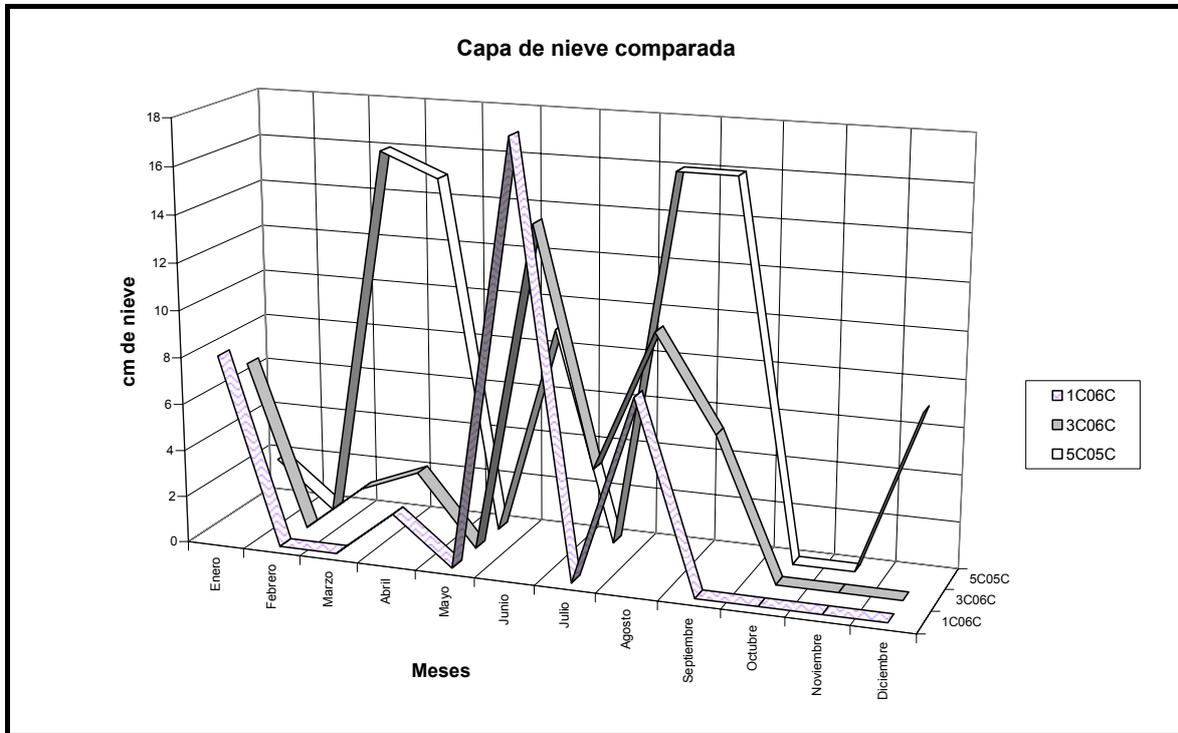


Figura 2.13. . Espesor de la capa de nieve sobre la parte alta, media y baja sobre la zona de ablación del glaciar los Crespos del Antisana para el año 2006. Mediciones realizadas mensualmente.

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

Durante el año 2006 el glaciar no tuvo una cobertura de nieve para los meses de febrero, mayo, octubre y noviembre en los cuales la línea de nieve se ubicó entre los 5000 y 5150 metros. Para el mes de enero, marzo, abril y septiembre 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 junio y agosto 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) 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 2006 se lo puede observar en las Tabla 2.18, Tabla 2.19 y la Figura 2.14.

Rango	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
4900-4950	-38	-195	-49	-46	-106	-79	-12	-26	-33	----	-44	-71	-699
4850-4900	-35	-164	-67	3	-128	-67	-99	-39	-26	-176	-71	-188	-1058
4800-4850	-94	-122	-105	-56	-142	-57	-75	-80	-43	-192	-93	-80	-1139
4750-4800	-127	-243	-125	-95	-302	-26	-70	-126	-78	-449	-136	-119	-1895
4720-4750	-33	----	----	----	-53	-1	-30	-31	-38	-64	-40	-47	-337
-----	-327	-724	-346	-194	-731	-230	-285	-302	-218	-882	-384	-505	-5128

Tabla 2.19. 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 2006 tuvo un valor de -5126 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 2006 para la zona de ablación tiene un valor de 892 mm de agua (en relación con la superficie total del glaciar)

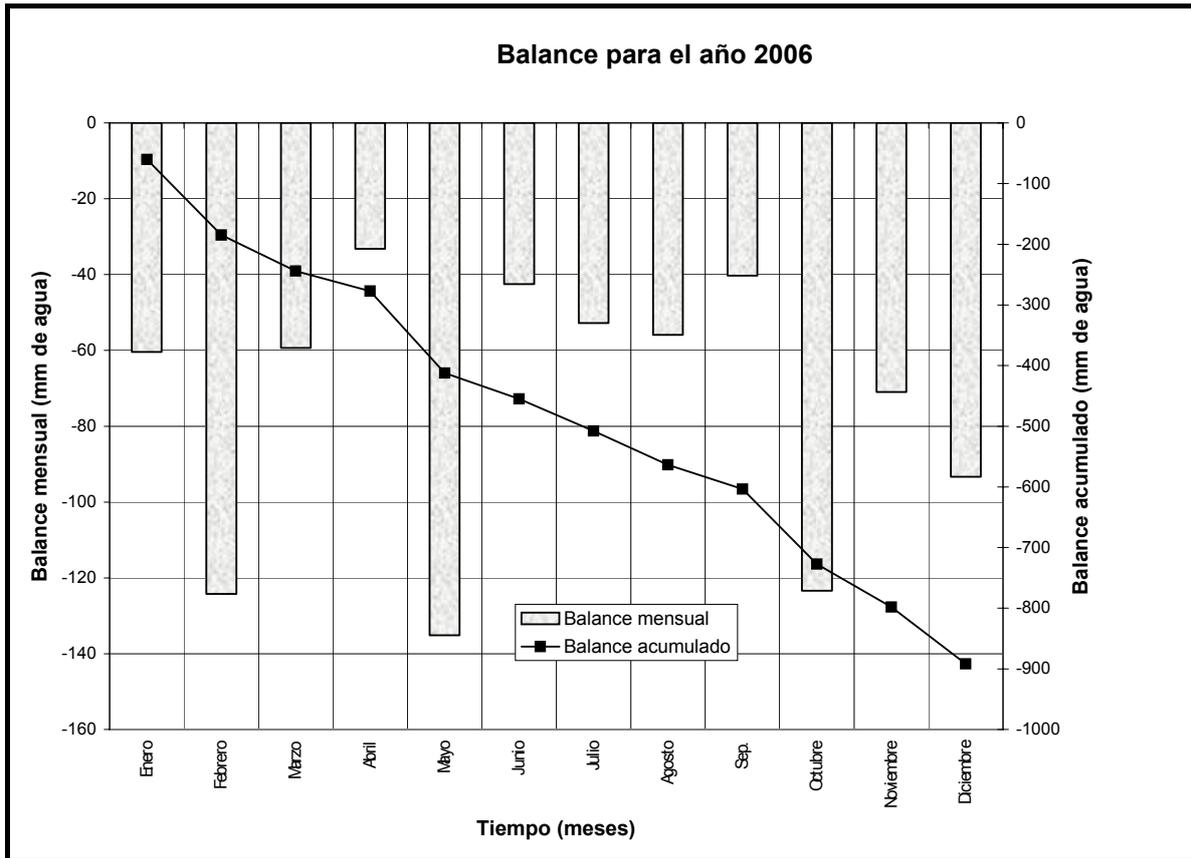


Figura 2.14. Variación del balance ponderado en la zona de ablación durante el año 2006 Glaciar “Los Crespos”

El balance más negativo se lo tiene en los meses de febrero, mayo, octubre y diciembre un balance más moderado se observa en los meses de enero, marzo, julio y noviembre; para los meses restante se observa un balance mas equilibrado, para el mes de abril se tiene un balance cercano a cero 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 y a su ocurrencia a una menor altura especialmente entre el período julio a septiembre.

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 2006 con un valor de -347 mm de agua. Los rangos altitudinales utilizados para el cálculo así como los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.20 y en la Figura 2.15. Para el cálculo se siguió la misma metodología empleada en el glaciar 15 alfa.

Rango altitudinal (m.s.n.m.)	Sup. Parcial (m ²)	Sup. Relativa Sr	Balance (mm)	Balance ponderado Sr*B (mm)
5500-5750	414495	0,24453904	1069	261
5200-5500	552660	0,32605205	839	274
4950-5200	414495	0,24453904	315	77
4900-4950	76077	0,04488328	-2821	-127
4850-4900	72481	0,04276169	-4268	-183
4800-4850	54395	0,03209153	-5790	-186
4750-4800	87882	0,05184759	-5973	-310
4720-4750	22520	0,0132858	-6119	-81
Suma	1695005	1,00		-274

Tabla 2.20. Cálculo del balance neto específico (ponderado) para el año 2006 en mm de agua Glaciar “Los Crespos”

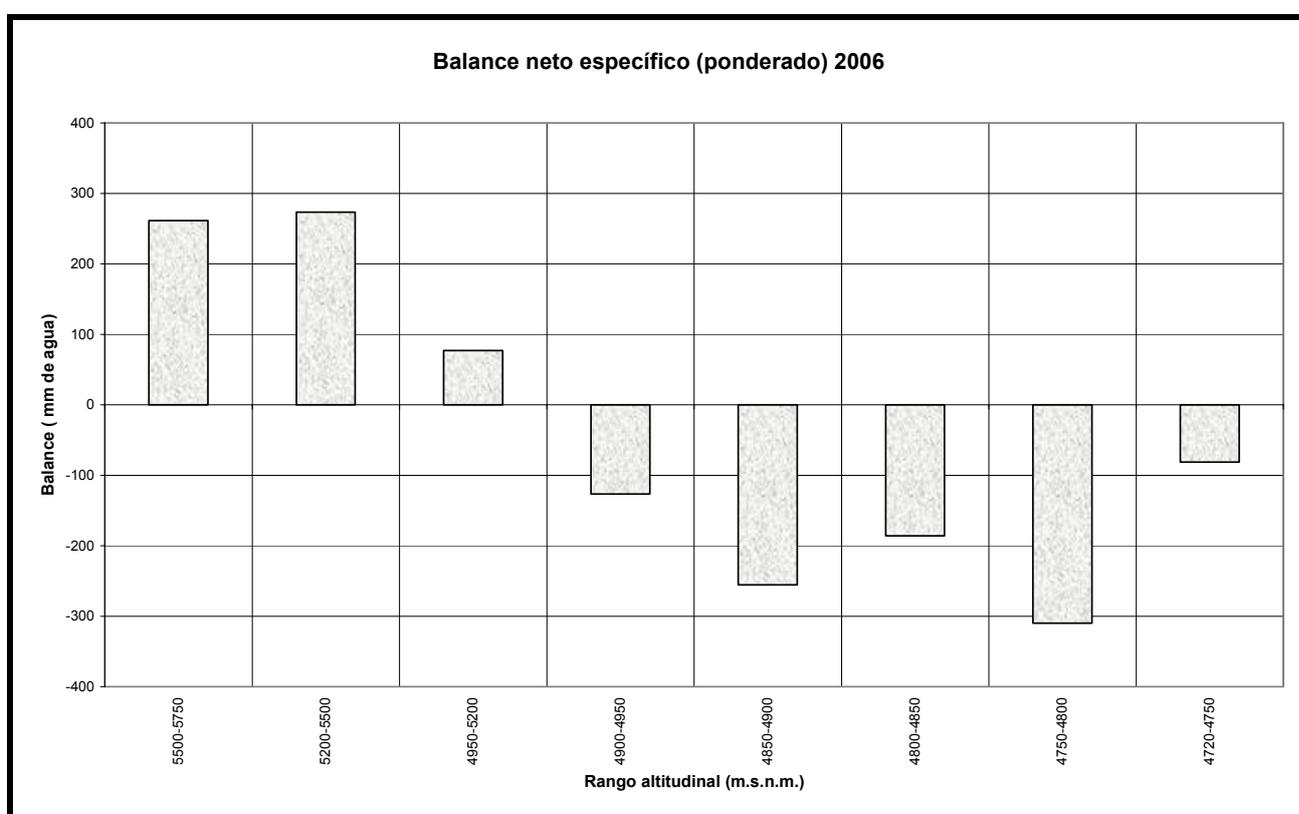


Figura 2.15. Balance neto específico (ponderado) por rango altitudinal para el año 2006 (mm de agua) Glaciar “Los Crespos”

b) Perfil altitudinal del balance Glaciar “Los Crespos”

Sobre la Tabla 2.21 y la Figura 2.16 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 4759 y los 5760 metros.

Rango Altitudinal	Balace (mm)
5500-5750	1069
5200-5500	839
4950-5200	315
4900-4950	-2821
4850-4900	-4268
4800-4850	-5790
4750-4800	-5973
4720-4750	-6119

Tabla 2.21. Balace neto no ponderado y rangos altitudinales para el año 2006. Glaciar "Los Crespos"

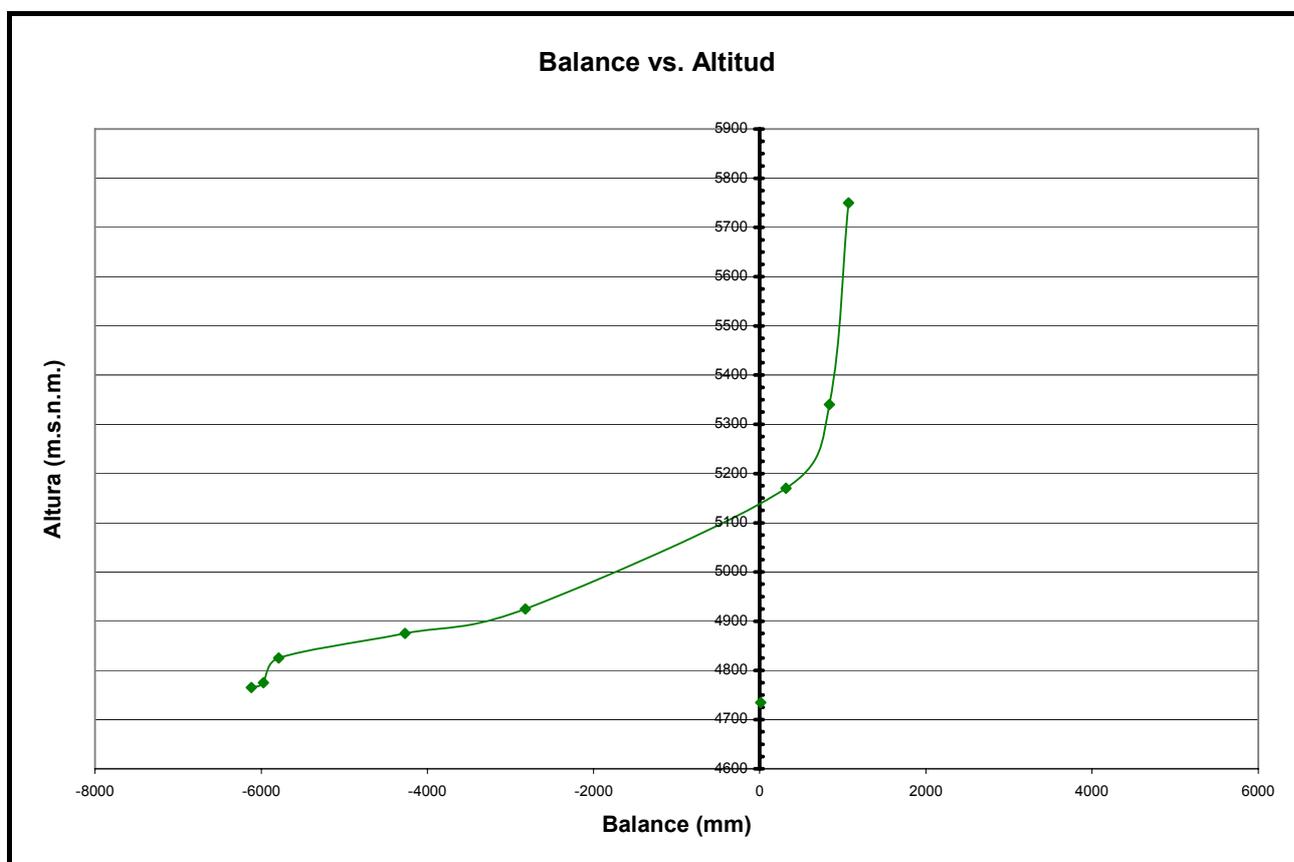


Figura 2.16. Perfil altitudinal del balace neto no ponderado para el año 2006 Glaciar "Los Crespos"

CAPÍTULO 3

3. Geometría del glaciar

Autor Principal: Ing. Bolívar Cáceres

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

3.1	Evolución del Glaciar 15	32
3.1.1	Mediciones directas de la ubicación del frente de la lengua del Glaciar 15 α	32
3.1.2	Retroceso del frente del Glaciar 15a medido sobre el terreno y sobre los levantamientos aerofotogramétricos. Período 1996 – 2004	34
3.1.3	Evaluación de las longitudes y áreas para las lenguas α y β del Glaciar 15 del Antisana para el período 1956 – 2006.	36
3.1.4	Velocidad superficial de las balizas	43
3.2	Evolución del Glaciar Los Crespos	44
3.3	Evolución del Glaciar del Carihuayrazo	46

3.1 Evolución del Glaciar 15

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

Para el año de 2006 se pudo observar un retroceso del glaciar de cinco metros al igual que el año precedente 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 el año 2001, 2002 y 2003.

Sobre la Figura 3.1 y las Tabla 3.1 y Tabla 3.2. Son presentados los resultados obtenidos y los desplazamientos sufridos por el frente del glaciar 15 de 1994 al 2006.

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
Diciembre/26/2006	9947940	816995

Tabla 3.1. Ubicación de las marcas de referencia del frente del Glaciar 15 α Período junio de 1994 – diciembre del 2006. (Sistema WGS84)

Las marcas de referencia son bloques que se ubican en la parte Terminal de la lengua hacia el lado derecho, estas pueden sufrir un desplazamiento considerable en corto tiempo y como su nombre lo indica solo son referenciales.

Año	Fecha de medición	Retroceso (m)
1994	febrero/95	-41
1995	agosto/96	-28
1996	octubre/97	-41
1997	febrero/98	-56
1998	diciembre/98	-34
1999	enero/2000	21
2000	enero/2001	18
2001	diciembre/2001	-18
2002	diciembre2002	-19
2003	diciembre2003	-31
2004	diciembre/2004	-31
2005	diciembre/2005	-28
2006	diciembre/2006	-10
Sumatoria		-298

Tabla 3.2. Fecha de medición de las marcas de referencia y retroceso del frente del Glaciar 15 a. Período junio de 1994 – diciembre del 2006

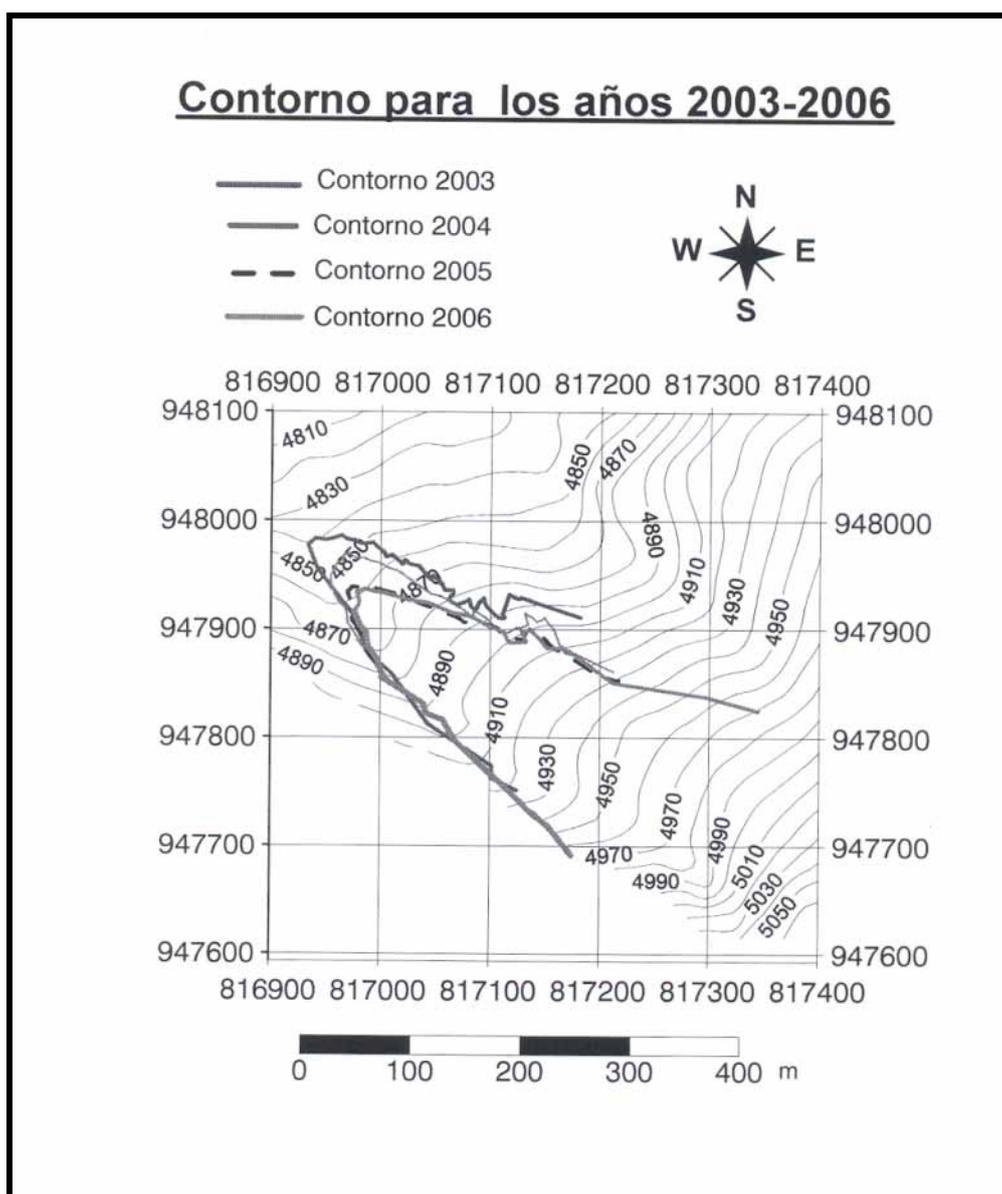


Figura 3.1 Topografía del Glaciar 15 - Años con mediciones topográficas

3.1.2 Retroceso del frente del Glaciar 15a medido sobre el terreno y sobre los levantamientos aerofotogramétricos. Período 1996 – 2004

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 27.94 m sobre la longitud total del glaciar (2235 m) que equivale a un porcentaje de error promedio del 1.25% sobre la longitud total del glaciar.

Considerando como valores confiables a los levantamientos topográficos realizados desde el año de 1996 hasta la actualidad (2006) el retroceso del glaciar es de – 228 metros.

Los resultados se los puede ver en las Tabla 3.3 y Tabla 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	-----
Topografía 2006	Diciembre-27-2006	-----

Tabla 3.3. Fecha de toma de fotografías y mediciones topográficas realizadas sobre el Glaciar 15 α . Período 1996-2006

Año	Meses	Topografía (m)	Fotogrametría (m)
1996	15	-41	-54
1997	5	-56	-60
1998	11	-34	-26
1999	12	+21	+16
2000	12	+17	+26
2001	12	-18	-27
2002	12	-19	-15
2003	12	-31	-54
2004	12	-31	-26
2005	12	-28	-27
2006	12	-9	-10
Sumatoria	127	-228	-256

Tabla 3.4. Retroceso del Glaciar 15 α medido basándose en topografía y aerofotogrametría para el período 1996 – 2006

Para las mediciones aerofotogramétricas se considera que el contorno del glaciar a partir de los 5000 m 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.

3.1.3 Evaluación de las longitudes y áreas para las lenguas α y β del Glaciar 15 del Antisana para el período 1956 – 2006.

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 389 m, lo que equivale al 17 % de la longitud para el periodo febrero de 1956 - diciembre del 2006. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 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
1997	1989	-60	11
1998	1963	-26	12
1999	1979	16	11
2000	2006	27	10
2001	1979	-27	11
2002	1964	-15	12
2003	1910	-54	15
2004	1883	-26	16
2005	1856	-27	17
2006	1846	-10	17

Tabla 3.5. Evolución de la longitud del Glaciar 15 α de 1956 al 2006. Longitudes en metros

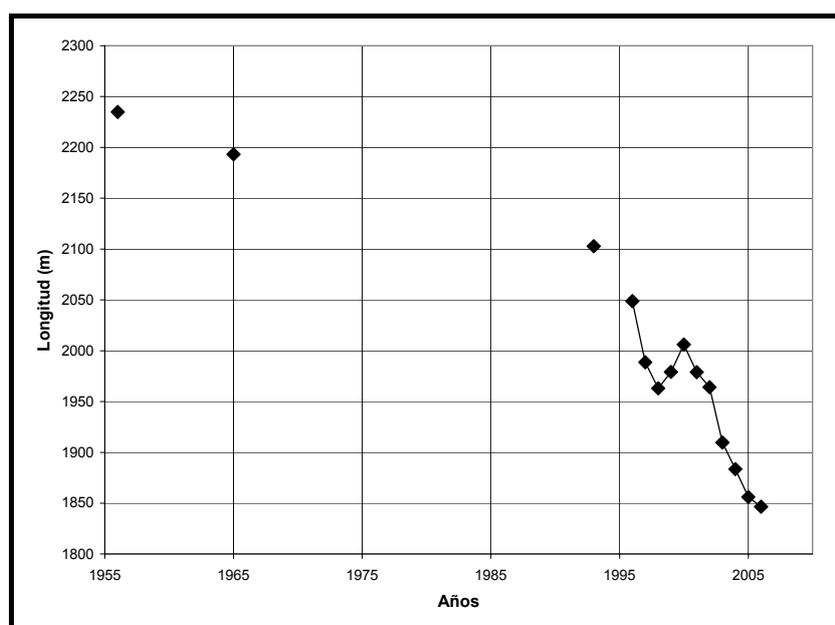


Figura 3.2. Evolución de la longitud del Glaciar 15 α período 1956-2006.

Lengua β

Se ha calculado una pérdida de 499 m, lo que equivale al 21% de la longitud total para el periodo febrero de 1956 - diciembre del 2006. Los resultados se muestran sobre la Tabla 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
1997	2104	-54	12
1998	2054	-50	14
1999	2064	10	13
2000	2060	-4	13
2001	2052	-8	14
2002	2008	-44	16
2003	1932	-76	19
2004	1913	-19	20
2005	1900	-13	20
2006	1881	-19	21

Tabla 3.6. Evolución de la longitud del Glaciar 15 β de 1956 al 2006. Longitudes en metros



Figura 3.3. Evolución de la longitud del Glaciar 15 β período 1956-2006.

b) Retroceso y de las lenguas α y β Período 1996 – 2006

Lengua α :

Durante este período de 120 meses, se ha medido por topografía directa un retroceso de 203 m, que equivale al 10 % de su longitud total, lo que nos arroja una tasa de 1.7 m de pérdida de longitud por mes. Los resultados se muestran en la Tabla 3.7.

Año	Longitud (m)	Long. Perdida/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
2006	1846	-10	10	Dic/27/2006

Tabla 3.7. Evolución de la longitud del Glaciar 15 α : periodo 1996-2006 (120 meses). Longitudes en metros

Lengua β :

La reducción medida es de 278 m, lo que equivale al 13 % de la longitud total. Esto nos arroja una tasa de 2.3 m de pérdida de longitud por mes. Los resultados se muestran en la Tabla 3.8.

Año	Longitud (m)	Long. Perdida/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
2006	1881	-19	13	Dic/27/2006

Tabla 3.8. Evolución de la longitud del Glaciar 15 β : periodo 1996-2006 (120 meses). Longitudes en metros

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 2004, 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 1996-2006, esta fue de 1.69 y 2.31 m / mes respectivamente.

Pero, para el año 2006, se observa un nuevo retroceso moderado. Parece claro que este nuevo retroceso 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 la Tabla 3.9.

Período	Velocidad (m/mes)		Longitud perdida (m)		Tiempo (meses)
	Alfa	Beta	Alfa	Beta	
1956-1996	0,38	0,45	-186,18	-221,29	492
1996-2006	1,69	2,31	-203	-278	120

Tabla 3.9. Velocidad de retroceso de las lengua α y β . para el Glaciar 15.

c) Áreas del glaciar

Lengua α :

Se considera un período de estudio de 51 años. Durante este lapso, se ha producido una pérdida del 41 % 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 la Tabla 3.10.

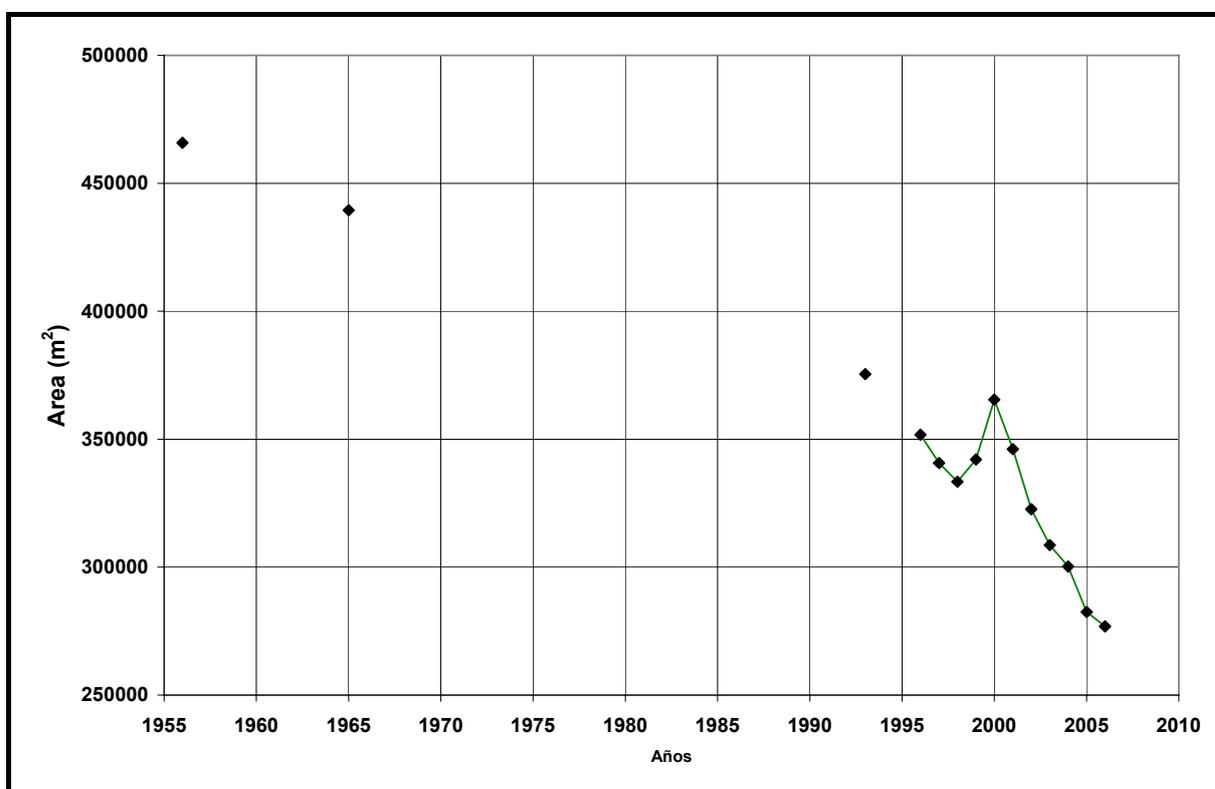


Figura 3.4. Evolución de la superficie del Glaciar 15α Período 1956 – 2006
Áreas en metros cuadrados

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
1997	340749	73	27
1998	333356	72	28
1999	342117	73	27
2000	365464	78	22
2001	346139	74	26
2002	322613	69	31
2003	308616	66	34
2004	300207	64	36
2005	282511	61	39
2006	276860	59	41

Tabla 3.10. Evolución de la superficie del Glaciar 15 α Período 1956 – 2006

Lengua β :

Utilizando la misma metodología que para el otro glaciar, se establece un porcentaje de pérdida del 34 %, los resultados se muestran en la Figura 3.5y en la Tabla 3.11.

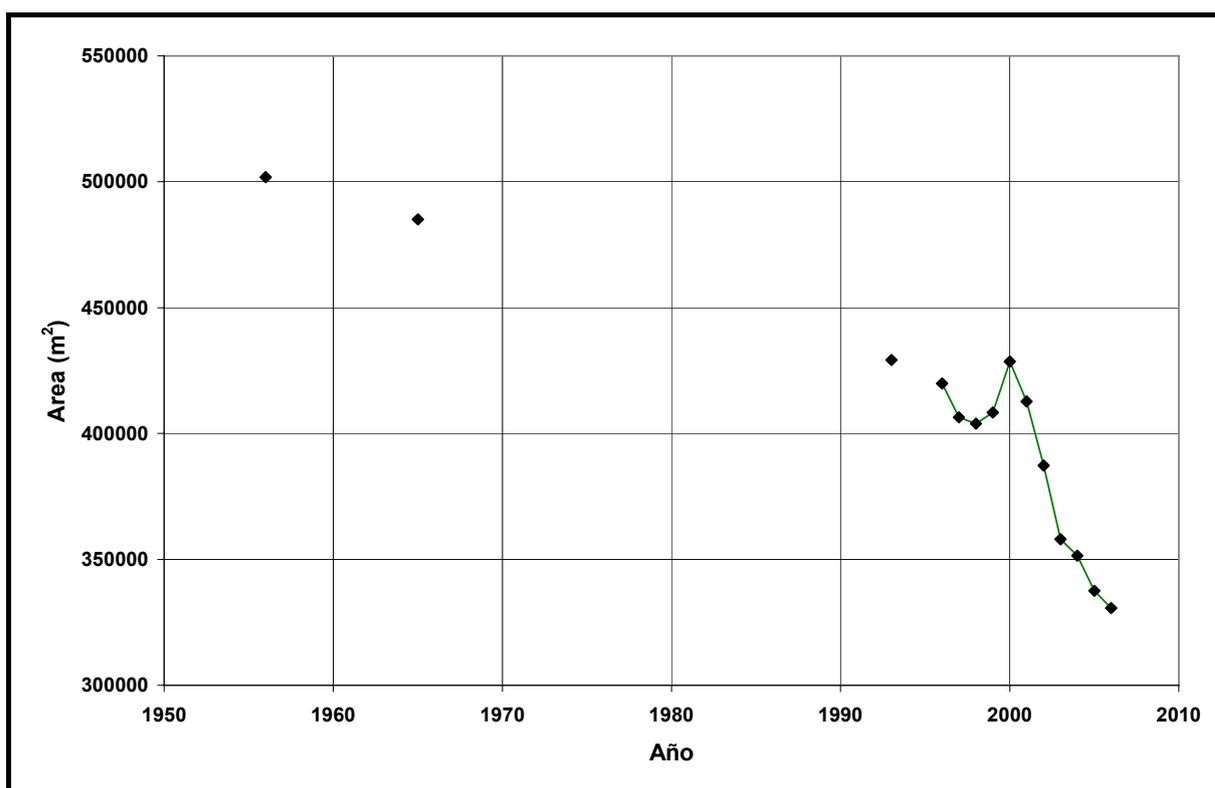


Figura 3.5. Evolución de la superficie del Glaciar 15 β Período 1956 – 2006

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
1997	406431	81	19
1998	403950	80	20
1999	408331	81	19
2000	428634	85	15
2001	412772	82	18
2002	387266	77	23
2003	358023	71	29
2004	351494	70	30
2005	337490	67	33
2006	330740	66	34

Tabla 3.11. Evolución de la superficie del Glaciar 15 β período 1956 – 2006

d) Evolución de la superficie total del glaciar 15

Los datos obtenidos para la superficie total del glaciar para los períodos 1956-2004 y 1993-2006 medidos en metros cuadrados se muestran en la Tabla 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
2006	276860	330740	607600	62,8	37,2	24,5

Tabla 3.12. Evolución de la superficie del Glaciar 15. Período 1956-2006

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 catorce años (1993-2006), la pérdida alcanza el 24.5 % del área del glaciar en 1993. Esto nos muestra que en el lapso de estudio (51 años), el proceso de desglaciación de estos catorce 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 14 años (1993 – 2006) el porcentaje de retroceso promedio anual es de 1.75 %.

El porcentaje de pérdida total tomando como punto de partida la interpretación aerofotogramétrica del año 1956 es del 37.2 %. El porcentaje de pérdida total tomando como punto de partida la interpretación aerofotogramétrica del año 1993 es de 24.5 %

e) **Determinación de la cuenca hidrográfica para la estación limnimétrica 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 WGS 84).

Las características de la cuenca se muestran en la Tabla 3.13.

Sector	Area (m ²)	%
Lengua α	276860	20,1
Lengua β	330740	24,0
Páramo	768068	55,9
Sumatoria	1375668	100,0

Tabla 3.13. Superficies cubiertas por glaciar, morrenas y páramo en la cuenca de la estación limnimétrica Antisana para el año 2006

El área de aporte de la cuenca definida de esta manera es de 137.6 hectáreas (1,37 Km²), de las cuales el 44.1 % esta cubierta por glaciares (lenguas alfa y beta) y el 55.9 % por páramo, morrenas y rocas.

Para esta cuenca, río arriba de la estación limnigráfica, el porcentaje de las superficies cubiertas por glaciares se ha reducido por sobre los 4550 m en un 26.2 % durante los 51 años estudiados, lo que probablemente afectara 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 la Tabla 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
2006	44,1

Tabla 3.14. Evolución de las superficies cubiertas por glaciares en la cuenca del Glaciar 15, arriba de los 4555 m (Estación limnimétrica Antisana)

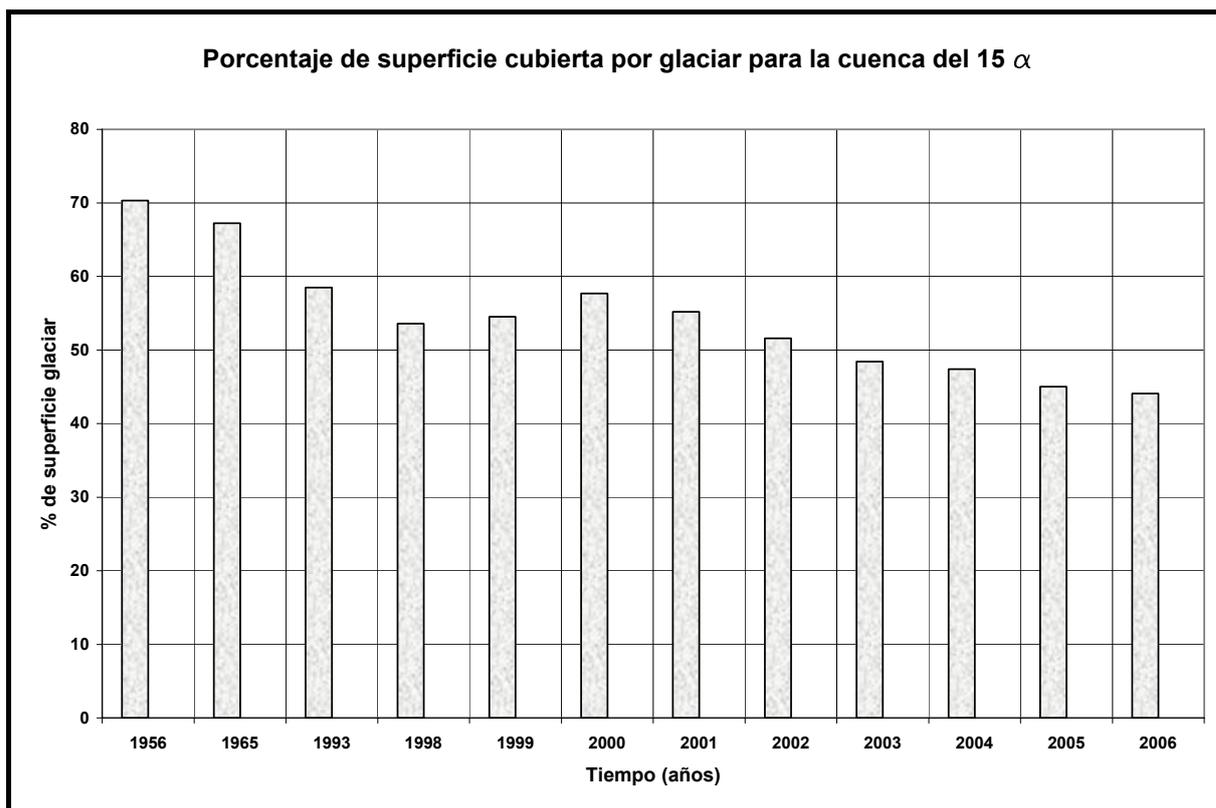


Figura 3.6. Evolución de las superficies cubiertas por glaciares en la cuenca del Glaciar 15, arriba de los 4555 m (Estación linnimétrica Antisana)

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

3.1.4 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 12.8 meses (385 días) iniciándose con el levantamiento realizado el 1 de diciembre del 2005 y concluyendo con el levantamiento realizado el 26 de diciembre del 2006. Los resultados se los puede observar sobre Tabla 3.15

Balizas	Desplazamiento m	Velocidad	
		m/mes	m/año
215	33,2	2,8	33,2

Tabla 3.15. Posición de las balizas para enero del 2006

Balizas	Dic-05	Dic-06	Cambio de altura (m)
215	4927	4915	12

Tabla 3.16. Perdida de altura de las balizas sobre la zona de ablación (dh en metros)

Rango	2006 m/año
4910-4960	33,2

Tabla 3.17. Evolución de las velocidades superficiales en la zona de ablación

3.2 Evolución del Glaciar Los Crespos

A continuación sobre la Tabla 3.18, Tabla 3.19 y la Figura 3.7 se presenta la evolución del Glaciar de Los Crespos entre el año 2004 y 2006.

Año	Area metros cuadrados	Modo	% De reducción
2004	1714689	Fotogrametría+levantamiento directo	0,0
2006	1704697	Fotogrametría+levantamiento directo	0,6

Tabla 3.18. Evolución del área del glaciar Los Crespos

Período	Retroseso (m)			
	Eje-1	Eje-2	Eje-3	Eje-4
2004-2006	87	87	78	25

Tabla 3.19 Retroseso medido sobre la parte terminal de la lengua

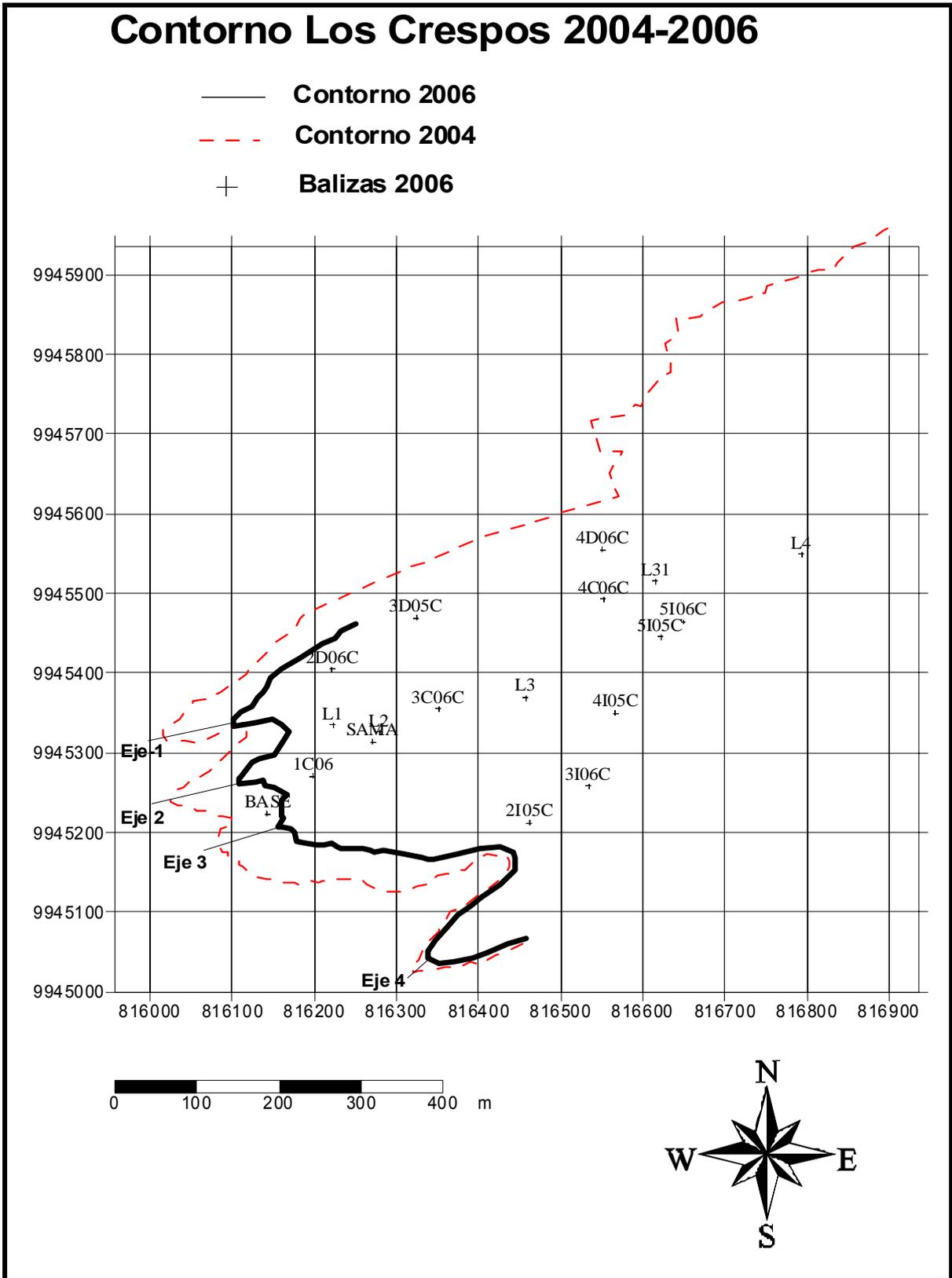


Figura 3.7. Contorno para el glaciar Los Crespos, periodo 2004-2006, retrocesos medidos en diferentes puntos

3.3 Evolución del Glaciar del Carihuayrazo

Se presenta sobre la Figura 3.8 una recopilación de los datos tomados sobre el Glaciar del Carihuayrazo, las mediciones sobre este glaciar han sido muy espaciadas y esporádicas, se espera que en un futuro las mediciones sean más continuas.

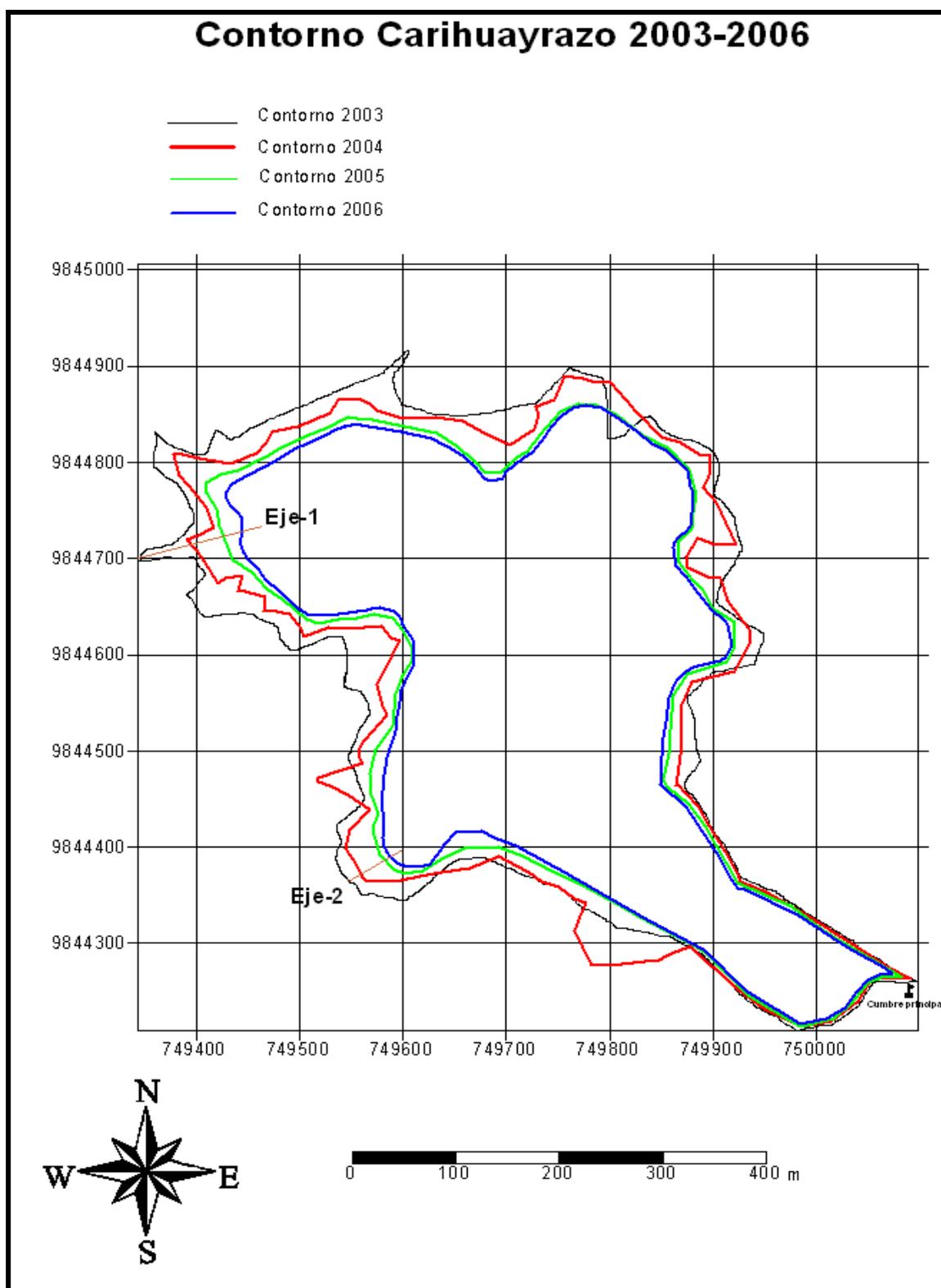


Figura 3.8. Contorno para el glaciar SW del Carihuayrazo, período 1956-2006, retroceso medido en diferentes puntos

Sobre la Tabla 3.20 y Tabla 3.21 se muestra la evolución del área del glaciar, se ha tenido una reducción del 49.4% desde el año de 1956, esta evaluación fue realizada utilizando fotogrametría digital y levantamientos directos sobre el campo.

Año	Area metros cuadrados	Modo	% De reducción
1956	333422	Fotogrametría	0,0
2003	234249	Levantamiento directo	29,7
2004	215019	Levantamiento directo	35,5
2005	180729	Levantamiento directo	45,8
2006	168841	Levantamiento directo	49,4

Tabla 3.20. Evolución aerea para el glaciar SW del Carihuayrazo, período 1956-2006

Período	Retroceso (m)	
	Eje-1	Eje-2
1956-2003	124	85
2003-2004	51	14
2004-2005	34	28
2005-2006	23	7

Tabla 3.21. Evolución de las longitudes medidas sobre diferentes puntos sobre la parte terminal de la lengua glaciar SW del Carihuayrazo

CAPÍTULO 4

4. PRECIPITACIONES ENTRE 4000 Y 4900 MSNM

Autor Principal: Ing. Carla Manciatì

ÍNDICE DEL CAPÍTULO :

4.1	Mediciones realizadas en pluviómetros (Totalizadores) y pluviógrafos (HOBO)	49
4.2	Valores brutos	50
4.3	Correlaciones entre estaciones y entre artefactos de medición de precipitación	50
4.4	Correcciones	53
4.5	Valores definitivos e Interpretaciones	61

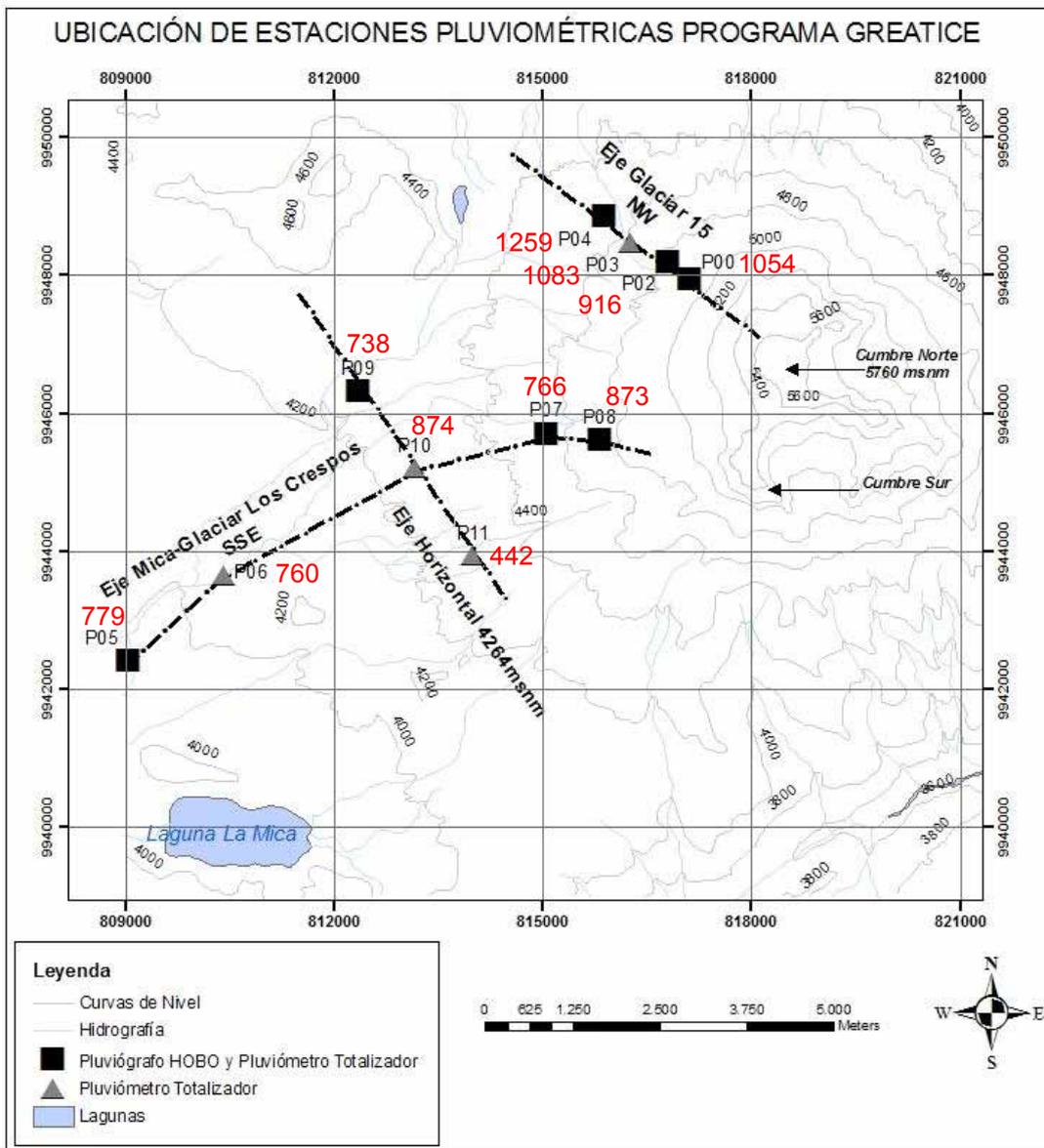


Figura 4.1. Ubicación de los pluviómetros totalizadores y pluviógrafos en el año 2006. (Fuente: EMAAP – Q, 2006. Modificado por: Guillaume Mattersdorf, Daniela Vallejos, Cristian Loyo)

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

Para el año 2006 el programa guardó la red de pluviómetros totalizadores y pluviógrafos del último año (figura 4.1).

La red de estaciones esta compuesta por: Glaciar P0 a 4850 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo más el pluviógrafo GEONOR especialmente concebido para medir las precipitaciones sólidas (nieve), Morrena P2 a 4785 msnm que tiene pluviómetro totalizador y pluviógrafo, Totalizador P3 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 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 y Páramo P9 a 4269 msnm que tiene pluviógrafo (Tabla 4.1).

P0, P2, P3 y P4 se ubican en una línea en el eje del Glaciar 15 entre 4455 y 4850 msnm, P5, P6, P7, P8 y P10 se ubican en el eje Crespos y P9, P10 y P11 en una línea a 4264 msnm.

ESTACIÓN	ARTEFACTOS	COORDENADAS WGS84		ALTURA	EJE
		ESTE	NORTE		
P00 - Glaciar	Pluviómetro y Pluviógrafo	817123	9947944	4850	GLACIAR 15
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	MICA - GLACIAR LOS CRESPOS
P06 - Humboldt	Pluviómetro	810430	9943645	4059	
P07 - Crespos	Pluviómetro y Pluviógrafo	815067	9945705	4450	
P08 - Crespos Morrena	Pluviómetro y Pluviógrafo	815834	9945610	4730	
P09 - Páramo	Pluviómetro y Pluviógrafo	812350	9946318	4269	HORIZONTAL 4264 msnm
P10 - Camino Crespos	Pluviómetro	813175	9945200	4264	
P11 - Desaguadero	Pluviómetro	814000	9943932	4264	

Tabla 4.1. Resumen de las estaciones operadas por el programa para el año 2006.
(Fuente: Trabajo de Campo: Guillaume Mattersdorf, Cristian Loyo, Erick Cuenca)

En este año se instalaron nuevos pluviómetros totalizadores: el 30 de marzo de 2006 y empezó a funcionar desde mayo, Crespos Morrena (P₈) a 4730 msnm, el 14 de octubre de 2005 y comenzó a funcionar desde enero de 2006, Camino de los Crespos (P₁₀) a 4264 msnm y el 21 de octubre del 2005 pero su funcionamiento empieza en marzo de 2006, Desaguadero (P₁₁) a 4264 msnm.

No se presentó problemas importantes de medición este año en los pluviómetros totalizadores, pero ya que los pluviómetros nuevos no empezaron su funcionamiento desde el inicio del año, se observa que el total del pluviómetro Desaguadero P11 no concuerda con los resultados de los otros pluviómetros con quienes tiene buena relación, por lo tanto, en el año 2006, no se lo tomará en cuenta en los análisis.

En los pluviógrafos hubo algunas fallas instrumentales y se perdió mucha información, especialmente en la estación La Mica P5, por lo que este año no se ha tomado en cuenta esta estación en los diferentes análisis, ya que solo se tienen tres meses de datos (observar el inventario de datos en la figura 4.3).

Al hacer estas comparaciones se apreció que la diferencia entre pluviómetros totalizadores y pluviógrafos se mantenía significativa, como se observó en el año 2005, los resultados de los ensayos realizados en las estaciones se especifican en el informe anexo, cabe mencionar que aún no se ha hecho el ajuste volumétrico de los totales que presenta los pluviógrafos HOBO.

4.2 Valores brutos

Los valores recogidos de los pluviómetros totalizadores y los pluviógrafos en este año son los que se presentan en la tabla 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.	AÑO 2006*
P00 - Glaciar	220	<i>Dato incorrecto</i>	145	120	70	110	45	48	77	75	65	30	1005
P02 - Morrena	160	50	130	110	220	<i>Dato incorrecto</i>	10	18	39	68	87	<i>Dato incorrecto</i>	892
P03 - Totalizador	<i>Dato incorrecto</i>	50	130	120	60	120	<i>Dato incorrecto</i>	30	170	<i>Dato incorrecto</i>	80	65	825
P04 - Antisana	300	<i>Dato incorrecto</i>	140	120	70	135	60	60	105	70	81	59	1200
P05 - Mica	0	17	88	98	76	11	110	40	60	45	100	80	725
P06 - Humboldt	30	30	85	81	54	120	15	30	69	46	100	100	760
P07 - Crepos	50	50	105	88	72	88	20	55	<i>Dato incorrecto</i>	840	80	85	1533
P08 - Crepos Morrena	-	-	-	<i>Dato incorrecto</i>	73	82	<i>Dato incorrecto</i>	120	78	62	125	100	640
P09 - Páramo	40	90	50	60	0	130	10	29	36	60	110	75	690
P10 - Camino Crepos	60	20	90	80	70	100	<i>Dato incorrecto</i>	135	55	50	108	82	850
P11 - Desaguadero	-	<i>Dato incorrecto</i>	60	65	35	-	60	15	25	<i>Dato incorrecto</i>	50	35	345
PROMEDIO	127	39	118	105	89	97	43	40	87	191	85	70	991

Pluviógrafo	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	AÑO 2006*
P00 - Glaciar	248	48	141	108	63	98	-	23	69	73	82	91	1042
P02 - Morrena	211	45	139	100	2	85	33	32	59	71	83	87	946
P04 - Antisana	244	53	130	109	7	122	48	47	79	62	76	76	1053
P05 - Mica	33	15	-	-	-	-	-	-	-	-	4	58	110
P07 - Crepos	45	28	82	70	1	88	35	25	47	51	76	67	616
P08 - Crepos Morrena	63	30	104	78	-	1	16	27	47	68	105	37	576
P09 - Páramo	68	37	104	73	4	92	28	32	48	49	113	80	728
PROMEDIO	130	37	100	77	11	69	23	27	50	53	77	71	724

Tabla 4.2. Datos brutos de precipitación mensual en las cercanías del Glaciar 15 y los Crespos. Pluviómetros totalizadores y Pluviógrafos. Año 2006. (Valores en "itálico" y "negrilla" son corregidos o rellenados).

OJO: Los datos definitivos están en la tabla 4.5.

* Los totales anuales son valores incompletos, pues en este cuadro no se han homogenizado los datos aún.

4.3 Correlaciones entre estaciones y entre artefactos de medición de precipitación

Los datos brutos de pluviómetros totalizadores presentan correlaciones muy bajas entre algunas estaciones (Tabla 4.3), existe este año dos estaciones en particular que se encuentran en la parte del páramo del Antisana que su correlación es extremadamente baja especialmente con las estaciones que están en la parte nor – occidental del volcán, este es el caso de la estación Mica P5 y Crespos P7, por esta

razón 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	P8	P9	P10	P11
P0		0.58	0.57	0.50	0.00	0.19	0.00	0.24	0.26	0.09	0.49
P2	0.58		0.54	0.25	0.01	0.18	0.00	0.12	0.15	0.01	0.18
P3	0.57	0.54		0.29	0.04	0.28	0.01	0.29	0.49	0.03	0.16
P4	0.50	0.25	0.29		0.11	0.27	0.02	0.07	0.23	0.09	0.59
P5	0.00	0.01	0.04	0.11		0.32	0.01	0.13	0.11	0.09	0.02
P6	0.19	0.18	0.28	0.27	0.32		0.04	0.02	0.71	0.15	0.60
P7	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.04		0.38	0.01	0.09	0.50
P8	0.24	0.12	0.29	0.07	0.13	0.02	0.38		0.06	0.72	0.05
P9	0.26	0.15	0.49	0.23	0.11	0.71	0.01	0.06		0.01	0.49
P10	0.09	0.01	0.03	0.09	0.09	0.15	0.09	0.72	0.01		0.00
P11	0.49	0.18	0.16	0.59	0.02	0.60	0.50	0.05	0.49	0.00	

Tabla 4.3. Correlación entre pluviómetros totalizadores. Datos Brutos Completos de Totalizadores desde el inicio de funcionamiento de cada estación hasta 2006.

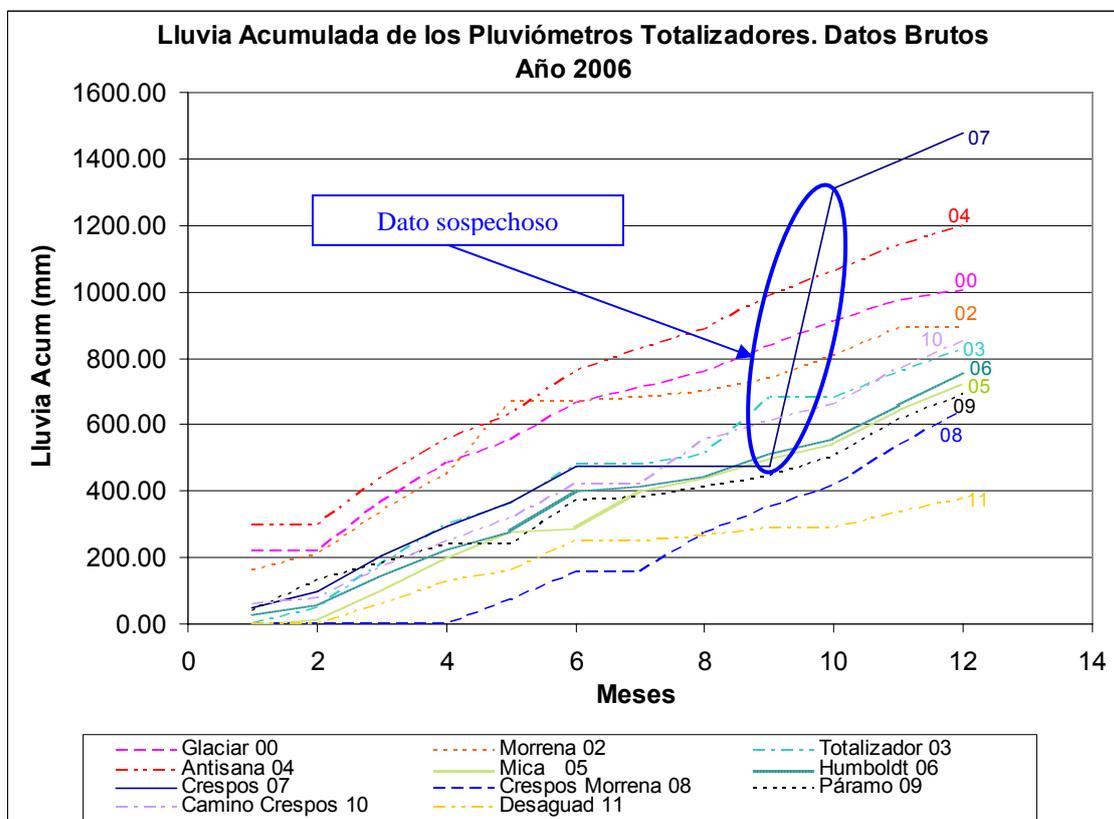


Figura 4.2. Precipitaciones mensuales acumuladas de los pluviómetros totalizadores. Datos brutos. Año 2006. (Ver el resultado de los datos corregidos en la Figura 4.7).

El valor fuerte que se resalta en el figura 4.2 corresponde al mes de octubre del pluviómetro totalizador P7 es un dato sospechoso que después tuvo que ser corregido.

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 la figura 4.3 que muestra los períodos donde existe datos faltantes que posteriormente serán rellenados o corregidos.

A excepción de La Mica, todas las estaciones tienen datos muy completos, la información faltante se encuentra principalmente en el período fácilmente apreciable del 28/04 al 25/05.

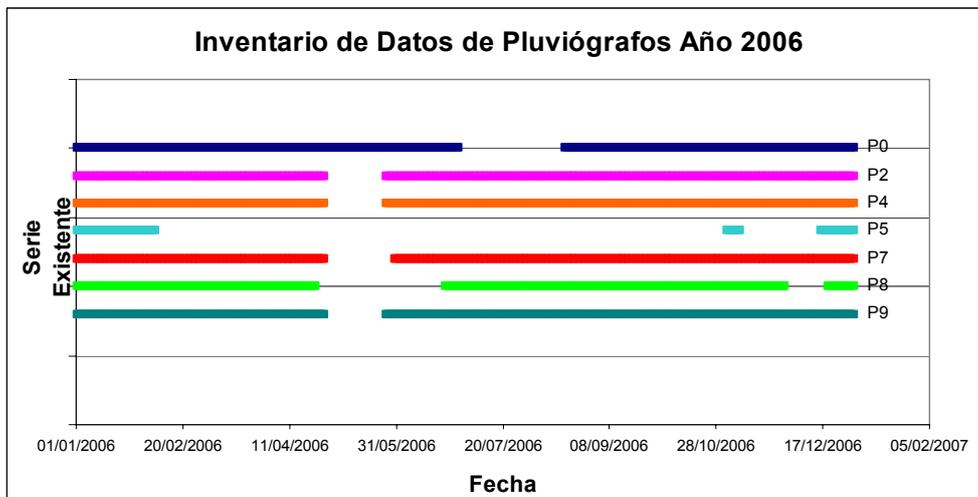


Figura 4.3. Período de funcionamiento para los pluviómetros en el año 2006.

La serie de datos del pluviómetro de las estaciones P0, P2, P4, P5, P7, P8 y P9 presentan vacíos en el siguiente período como se puede ver en la figura 4.3:

- Del 22/07 al 02/08 2006 (P0)
- Del 28/04 al 11/05 2006 (P2)
- Del 28/04 al 11/05 2006 (P4)
- Del 30/01 al 01/11; 09/11 al 15/12 2006 (P5)
- Del 28/04 al 11/05 2006 (P7)
- Del 24/04 al 11/05; 21/05 al 22/06; 30/11 al 15/12 2006 (P8)
- Del 28/04 al 11/05 2006 (P9)

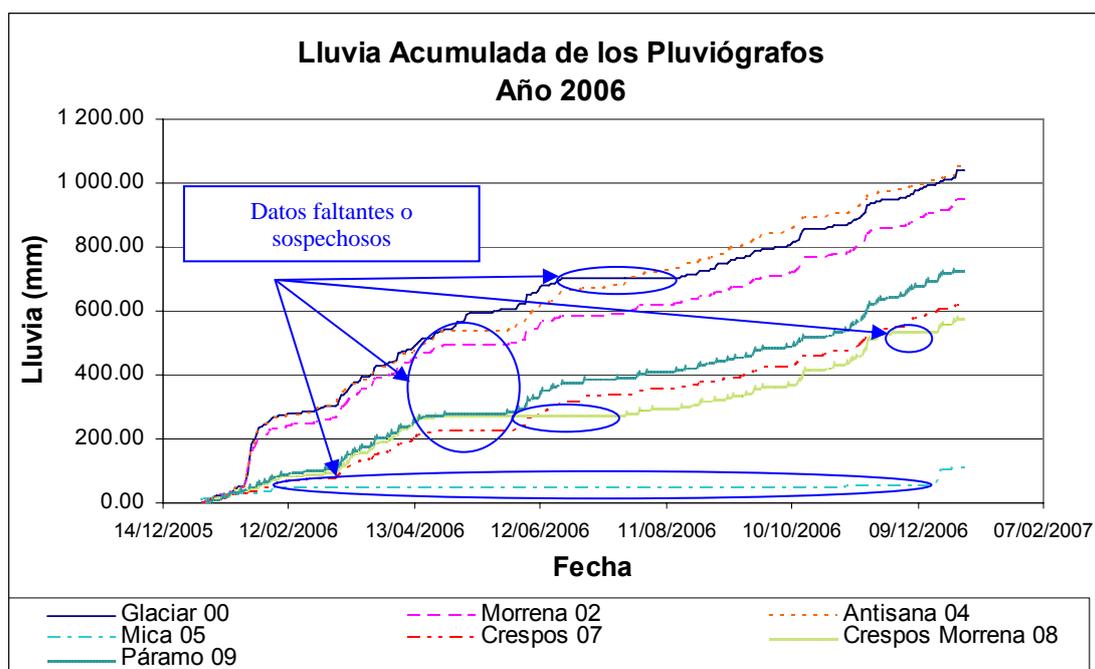


Figura 4.4. Precipitaciones diarias acumuladas de los pluviómetros. Datos brutos. Año 2006. (Ver el resultado de los datos corregidos en la Figura 4.8)

Conforme a los datos anteriores, incluyendo los datos faltantes e incorrectos, la información acumulada mensual de los pluviógrafos genera un gráfico como el que se muestra en la figura 4.4, donde se observa claramente los períodos en los que los datos no están completos o los que están incoherentes.

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 (P0, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10 y P11) entre ellos, y 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 las ecuaciones que tienen mejor coeficiente de correlación, 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.

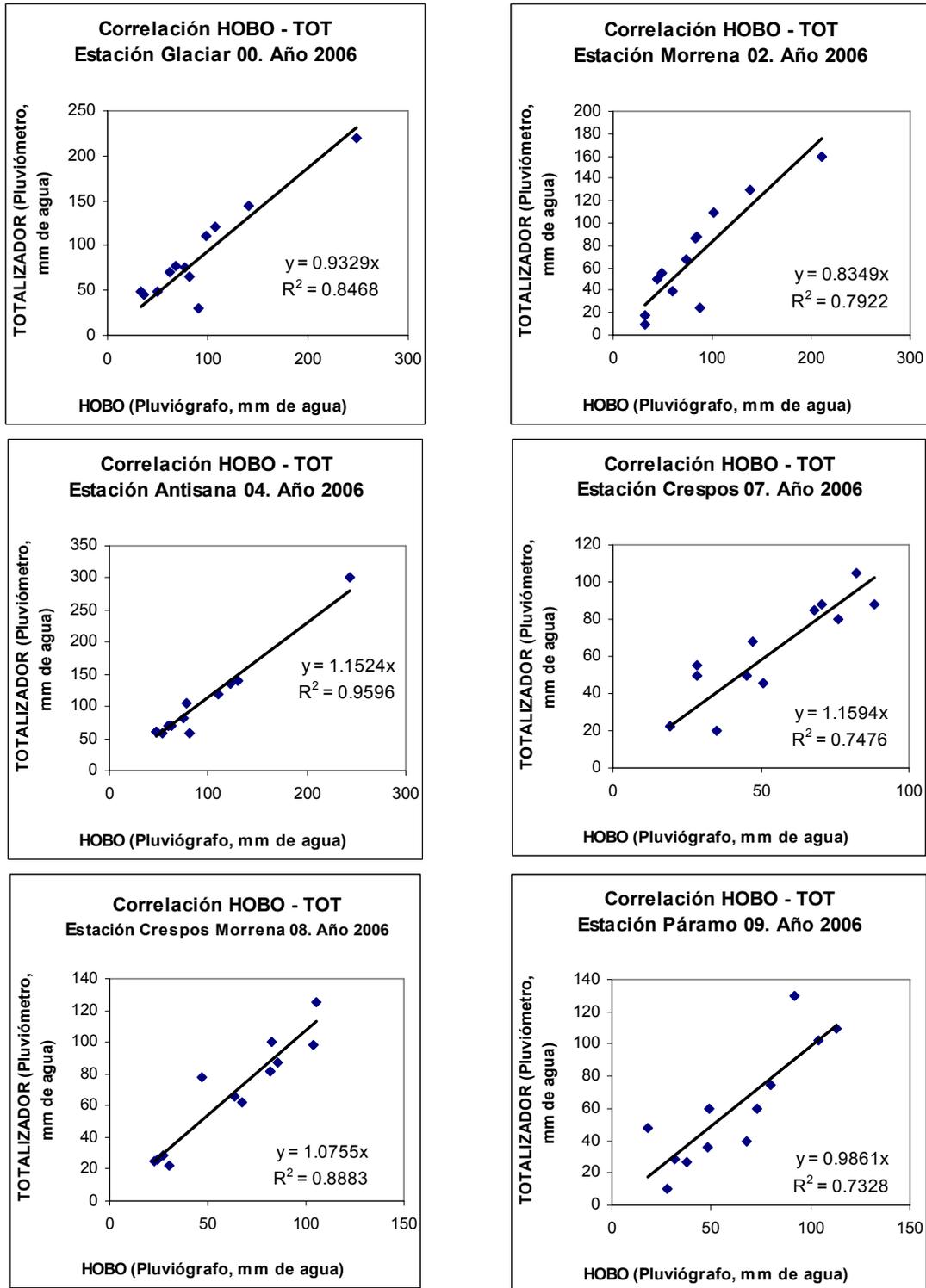
Se establece que los datos, tanto de pluviógrafos como de pluviómetros totalizadores, presentan relaciones entre ellos, los valores de los coeficientes de determinación entre estaciones, usando pluviómetros totalizadores, se muestran en la tabla 4.7. Se puede verificar que las relaciones son en general muy buenas (Tabla 4.4) y representativas para las estaciones, como se muestra en la figura 4.5

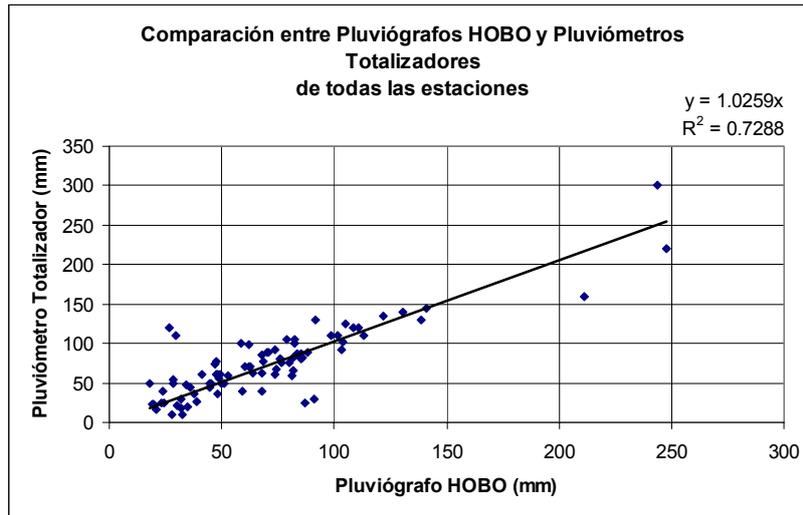
Estación	R ²
P0	0.86
P2	0.79
P4	0.96
P7	0.76
P8	0.84
P9	0.72

Tabla 4.4. Coeficientes de determinación entre cada pluviógrafo HOBO y su respectivo pluviómetro totalizador. Año 2006

Además se verificó la relación r^2 general entre todas las estaciones que poseen un pluviógrafo HOBO con su respectivo pluviómetro totalizador, y los resultados fueron alentadores, pues, se ve que se mantiene cierta tendencia entre los dos artefactos de medición con respecto a lo que cada uno capta de precipitación.

Figura 4.5. Correlación mensual entre los pluviógrafos y los pluviómetros totalizadores. Datos corregidos de todas las estaciones. Año 2006.



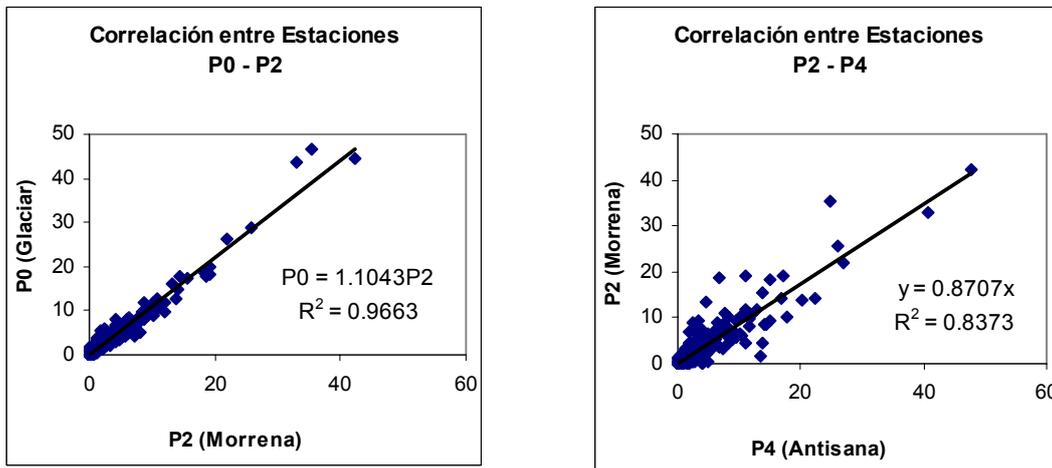


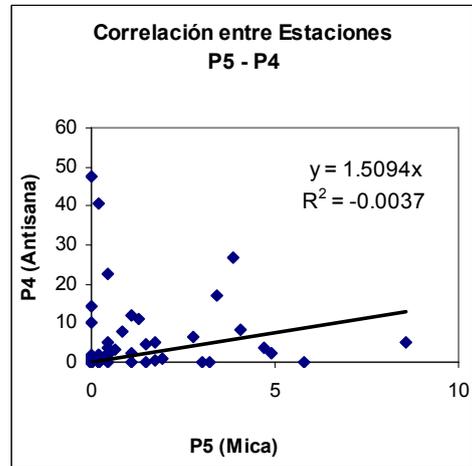
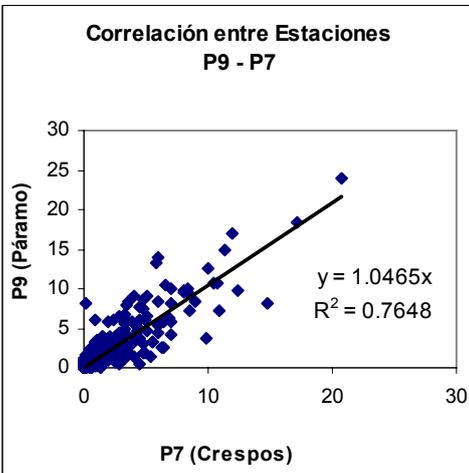
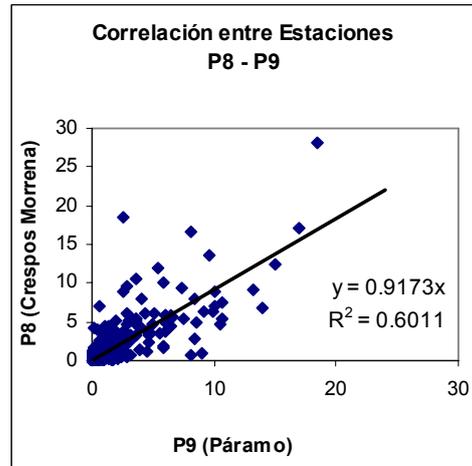
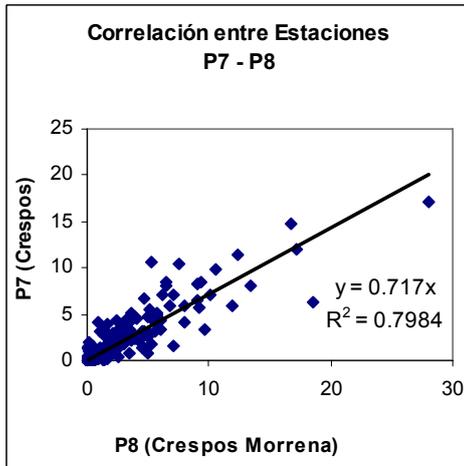
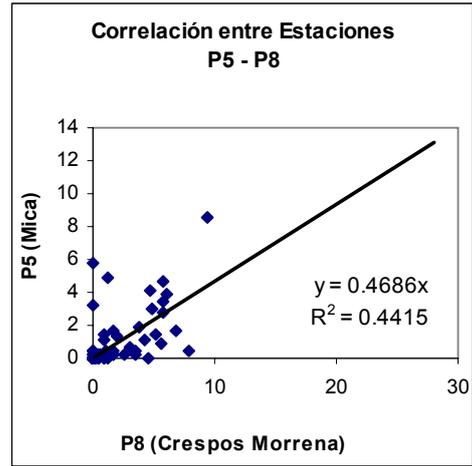
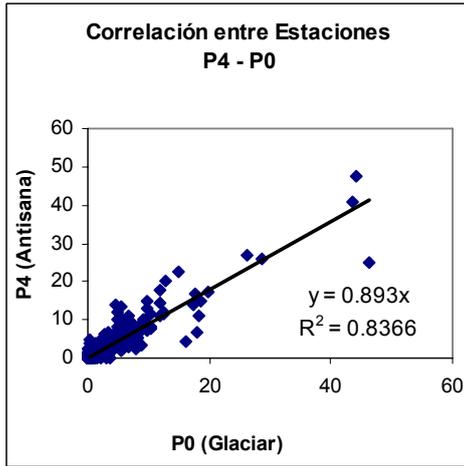
4.4.3 Correlaciones entre los totales diarios de diversos pluviógrafos.

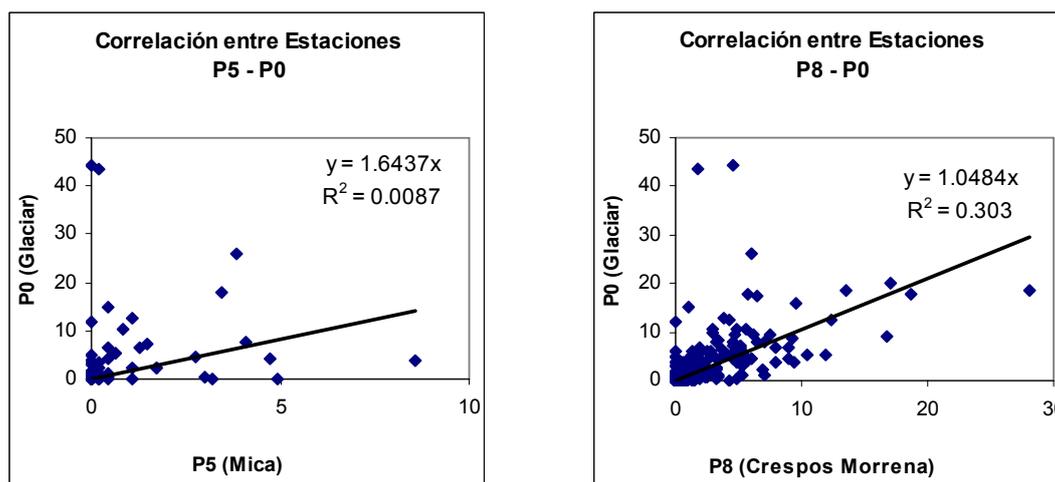
Con conocimiento de las zonas climáticas pluviométricas, planteadas por Lhuissier (2005), se ha planteado la relación entre pluviómetros totalizadores con el fin de homogenizar los datos, se utilizó el mismo método que se explico anteriormente.

Las relaciones entre los distintos pluviógrafos se observa en la Figura 4.6 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.

Figura 4.6. Correlación diaria entre pluviógrafos para el año 2006







Como se observa en la figura 4.6, existe una mala correlación entre las dos zonas climáticas pluviométricas como es el caso de P5 con P4, P5 con P0 o de P8 con P0, a diferencia de los pluviómetros que se encuentran en la misma zona, que presentan relaciones significativas, como es el caso de P0 con P2 o de P7 con P8.

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 de la tabla 4.5 y con los datos diarios de los pluviómetros de la tabla 4.6 que se muestran a continuación.

Pluviómetro	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	AÑO 2006
P00 - Glaciar	220	49	145	120	70	110	45	48	77	75	65	30	1054
P02 - Morrena	160	50	130	110	56	88	10	18	39	68	87	24	840
P03 - Totalizador	174	50	130	120	60	120	11	30	170	74	80	65	1083
P04 - Antisana	300	59	140	120	70	135	60	60	105	70	81	59	1259
P05 - Mica	26	17	88	98	23	91	110	40	60	45	100	80	779
P06 - Humboldt	30	30	85	81	54	120	15	30	69	46	100	100	760
P07 - Crepos	50	50	105	88	23	88	20	55	73	49	80	85	766
P08 - Crepos Morrena	62	21	92	82	24	82	25	120	78	62	125	100	873
P09 - Páramo	40	37	102	60	49	130	10	29	36	60	110	75	738
P10 - Camino Crepos	60	20	90	80	70	100	24	135	55	50	108	82	874
PROMEDIO	152	43	120	108	56	111	42	38	87	63	86	60	963
Índice Pglaciar	213	52	136	118	64	113	31	39	98	72	78	44	1059
Índice Ppáramo	28	24	87	90	39	106	63	35	65	46	100	90	769

Pluviógrafo	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	AÑO 2006
P00 - Glaciar	248	50	141	108	63	98	36	34	69	77	82	91	1096
P02 - Morrena	211	45	139	102	49	85	33	32	59	74	84	87	999
P04 - Antisana	244	53	130	111	60	122	48	47	79	62	76	81	1113
P07 - Crepos	45	28	82	71	20	88	35	28	47	51	76	68	640
P08 - Crepos Morrena	64	30	104	86	23	82	24	27	47	68	105	82	741
P09 - Páramo	68	37	104	73	18	92	28	32	48	49	113	80	743
PROMEDIO	131	38	110	88	36	92	33	32	56	61	85	82	843

Tabla 4.5. Datos homogenizados de precipitación mensual en la parte occidental del Antisana, año 2006.

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").

Tabla 4.6. Precipitación diaria registrada por los pluviógrafos para el año 2006 (en "itálico y negrilla" se encuentran los datos rellenados o corregidos).

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	0.6	4.7	2.6	0.9	12.0	0.0	<i>1.9</i>	2.4	0.0	0.0	3.4
2	0.0	0.6	1.5	2.1	9.4	3.2	<i>0.2</i>	<i>2.4</i>	1.1	2.6	0.9	0.0
3	0.0	10.5	0.0	1.5	11.6	0.0	<i>2.1</i>	0.0	2.6	0.6	0.0	2.1
4	5.4	4.7	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	1.9
5	0.6	2.8	3.0	18.4	0.2	0.4	0.0	0.0	3.9	0.2	0.0	3.9
6	1.3	0.0	0.0	0.2	0.0	28.7	0.0	0.0	1.1	1.7	3.4	2.8
7	10.5	7.1	4.9	8.1	3.6	0.4	0.0	0.0	0.0	<i>3.9</i>	2.4	3.0
8	4.3	0.9	17.3	0.6	17.1	3.9	0.0	0.0	0.4	6.0	6.6	6.6
9	0.2	0.2	8.8	0.2	7.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.1
10	0.2	0.0	2.6	2.1	0.6	1.3	0.0	0.0	5.8	6.0	5.4	6.0
11	<i>0.2</i>	0.6	5.8	2.4	1.3	0.9	0.0	0.0	6.4	1.1	4.5	0.0
12	0.0	2.4	4.7	6.6	0.0	11.8	0.0	0.0	1.5	0.0	2.8	1.9
13	0.0	<i>0.9</i>	18.0	4.5	0.0	8.3	<i>0.5</i>	0.0	0.6	9.6	5.1	3.2
14	0.0	3.6	6.8	5.4	0.0	0.4	<i>3.5</i>	0.0	1.1	16.1	9.4	5.4
15	2.4	0.0	1.3	5.1	0.0	0.4	<i>0.2</i>	<i>1.9</i>	0.9	9.0	18.6	1.3
16	7.5	0.0	0.0	9.8	0.0	1.1	0.0	<i>2.6</i>	0.2	7.9	3.9	0.0
17	12.6	0.0	0.0	0.6	0.0	1.9	0.0	<i>2.1</i>	1.5	0.0	4.1	0.2
18	3.2	0.0	8.3	0.6	0.0	1.7	0.0	0.6	6.2	0.0	2.6	2.1
19	0.9	2.1	10.5	3.2	0.0	2.1	0.0	0.2	2.1	0.0	2.1	3.9
20	<i>0.2</i>	<i>1.4</i>	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	5.4	0.0	0.0	1.1	4.1
21	0.0	0.6	0.2	0.4	3.2	4.9	0.0	4.3	0.6	0.0	3.0	0.4
22	0.0	0.0	1.9	3.6	0.4	5.6	<i>0.2</i>	0.0	12.4	0.0	0.9	1.3
23	<i>43.7</i>	0.0	6.2	12.8	0.2	0.4	<i>9.2</i>	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2
24	<i>44.3</i>	1.1	0.2	0.0	2.6	0.0	<i>5.7</i>	0.0	0.2	<i>0.2</i>	1.5	0.9
25	<i>46.4</i>	4.9	19.9	1.7	1.3	0.0	<i>1.2</i>	0.9	0.0	0.0	0.6	1.3
26	<i>12.0</i>	1.5	6.0	0.2	0.2	0.0	<i>0.2</i>	1.5	9.6	0.0	0.6	4.3
27	6.6	2.4	0.0	7.7	0.0	0.2	0.0	8.1	0.0	4.7	1.1	0.2
28	15.0	0.9	2.1	0.4	0.2	0.0	<i>3.1</i>	0.0	0.0	1.3	0.0	26.1
29	17.8	0.0	0.6	0.4	1.3	0.2	<i>9.9</i>	0.2	0.0	0.9	0.0	0.4
30	5.8	-	3.2	1.3	0.0	<i>0.5</i>	0.0	1.9	0.0	3.6	0.4	0.0
31	7.1	-	2.1	-	1.1	-	0.0	0.0	-	1.3	-	0.0
TOTAL MENSUAL	248.0	49.9	140.8	108.3	62.7	98.5	36.0	34.0	68.7	76.7	81.5	91.0
TOTAL ANUAL	1096.1											

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	0.4	2.8	2.8	<i>0.7</i>	10.1	0.0	1.7	1.5	0.0	0.6	2.8
2	0.0	1.3	1.5	3.2	<i>7.3</i>	2.1	0.2	2.1	1.3	2.4	1.3	0.0
3	0.0	9.8	0.0	0.2	<i>8.9</i>	0.0	1.9	0.0	2.6	0.6	0.0	1.7
4	5.1	3.9	0.0	6.6	0.0	0.2	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	2.4
5	0.6	2.8	3.6	19.3	<i>0.2</i>	1.3	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	4.5
6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.9
7	11.1	5.8	8.1	6.0	<i>2.8</i>	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	<i>3.6</i>	2.6
8	4.9	0.9	15.6	0.4	<i>13.3</i>	3.0	0.0	0.0	0.2	4.1	7.3	7.3
9	0.2	0.9	9.4	0.4	<i>5.8</i>	2.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	7.1
10	0.0	0.0	1.9	1.5	<i>0.5</i>	1.3	0.0	0.0	5.1	5.8	4.1	2.4
11	0.2	0.2	6.4	2.6	<i>1.0</i>	1.1	0.0	0.0	5.8	1.1	4.7	0.2
12	0.0	2.6	4.3	7.5	0.0	12.0	0.0	0.0	1.1	0.2	4.3	1.5
13	0.0	0.9	18.6	6.0	0.0	7.9	0.4	0.0	0.2	12.0	6.6	4.7
14	0.2	2.8	6.8	2.6	0.0	0.2	3.2	0.0	1.3	13.3	9.2	4.5
15	1.3	0.0	2.1	3.4	0.0	0.4	0.2	1.7	0.6	10.1	18.2	0.9
16	7.1	0.0	0.0	8.3	0.0	0.9	0.0	2.4	0.2	8.8	4.5	0.2
17	10.7	0.0	0.2	0.6	0.0	1.5	0.0	1.9	1.7	0.0	4.5	0.2
18	2.6	0.0	6.2	1.1	0.0	0.9	0.0	1.1	6.2	0.0	2.8	2.6
19	0.6	1.5	10.3	3.6	0.0	0.9	0.0	0.4	2.1	0.0	1.3	4.3
20	<i>0.2</i>	1.3	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	4.3	0.0	0.0	1.3	4.1
21	0.2	0.0	0.4	0.2	<i>2.5</i>	4.5	0.0	3.2	0.2	0.0	3.0	0.2
22	0.0	0.2	1.9	1.3	<i>0.3</i>	1.7	0.2	0.0	10.9	0.0	0.9	0.2
23	<i>33.0</i>	0.0	6.0	13.7	<i>0.2</i>	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
24	<i>42.4</i>	0.6	0.6	0.0	<i>2.0</i>	0.0	5.1	0.0	0.2	0.2	1.1	1.1
25	<i>35.5</i>	6.4	19.3	1.9	<i>1.0</i>	0.0	1.1	0.9	0.6	0.2	0.6	1.7
26	<i>8.6</i>	0.0	5.6	0.2	0.0	0.0	0.2	1.5	9.4	0.0	0.6	5.8
27	4.3	1.9	0.2	6.4	0.0	0.0	0.0	8.1	0.2	4.3	0.9	0.9
28	14.1	0.4	2.8	<i>0.3</i>	0.0	0.0	2.8	0.6	0.0	1.9	0.0	22.0
29	14.3	0.0	0.6	<i>0.3</i>	1.9	0.0	9.0	0.2	0.0	1.3	0.0	0.4
30	6.2	-	1.1	<i>1.0</i>	0.0	0.4	0.0	1.9	0.0	3.4	<i>0.9</i>	0.0
31	6.4	-	2.4	-	0.4	-	0.0	-	-	0.9	-	0.0
TOTAL MENSUAL	211.0	44.5	138.9	101.6	48.7	85.2	32.7	32.1	59.3	74.4	83.5	87.1
TOTAL ANUAL	999.0											

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	0.2	0.6	5.4	2.8	<i>0.8</i>	17.8	0.4	3.4	3.4	0.0	1.1	2.8
2	0.0	0.6	2.1	1.9	<i>8.3</i>	0.6	1.7	4.7	1.9	2.1	0.2	0.2
3	0.0	11.6	0.2	0.2	<i>10.2</i>	0.4	2.4	0.0	3.4	0.2	0.0	1.3
4	3.4	6.6	0.0	9.0	0.0	1.5	0.2	0.2	6.2	0.2	0.2	2.1
5	0.2	2.1	5.1	10.9	<i>0.2</i>	0.9	0.0	0.4	1.9	1.1	0.0	1.9
6	1.7	0.0	0.2	3.9	0.0	25.9	0.2	0.0	0.4	2.8	1.3	1.7
7	7.7	4.5	11.8	5.4	<i>3.2</i>	0.6	0.0	0.2	0.0	4.1	4.9	0.2
8	4.9	0.2	13.9	1.1	<i>15.2</i>	4.7	0.4	0.0	0.2	5.6	3.9	6.0
9	0.2	0.2	3.4	0.6	<i>6.6</i>	2.8	0.4	0.2	0.6	0.0	0.0	1.9
10	0.6	0.0	2.4	0.2	<i>0.6</i>	1.5	0.2	1.5	8.8	3.6	6.0	<i>5.3</i>
11	1.1	0.6	4.9	2.6	<i>1.1</i>	1.1	0.0	0.6	9.6	0.9	4.5	0.0
12	0.2	1.9	13.7	8.1	0.0	11.1	0.2	0.0	0.9	0.6	6.2	1.3
13	0.0	0.9	6.8	3.4	0.0	8.3	2.4	0.0	0.6	12.8	3.0	4.7
14	2.4	3.0	3.0	3.6	0.0	0.9	7.3	0.2	1.1	4.5	9.4	2.1
15	0.4	0.0	1.9	4.3	0.0	1.3	0.4	3.0	0.9	10.1	15.0	0.2
16	8.3	0.0	0.0	7.3	0.0	1.3	0.0	2.6	0.2	2.4	3.6	0.2
17	12.0	0.0	0.2	0.9	0.0	2.1	0.0	2.6	4.1	0.0	2.4	0.0
18	3.0	0.2	4.3	1.3	0.0	1.9	0.0	2.4	5.4	0.0	2.1	2.1
19	0.9	1.5	8.1	6.6	0.0	4.3	0.0	0.2	0.6	0.0	0.9	4.9
20	0.2	1.5	0.0	0.2	0.0	10.3	0.0	6.2	0.0	0.0	1.5	2.1
21	0.2	0.4	0.9	4.9	<i>2.8</i>	8.1	0.0	4.9	0.4	0.0	1.9	0.2
22	0.4	0.0	4.3	0.0	<i>0.4</i>	13.5	0.6	0.0	11.6	0.0	0.9	1.9
23	<i>40.7</i>	0.2	4.1	20.3	<i>0.2</i>	0.4	14.1	0.4	0.0	1.1	0.2	0.2
24	<i>47.7</i>	1.1	0.6	0.2	<i>2.3</i>	0.0	6.2	0.2	0.6	1.9	0.6	1.7
25	<i>24.8</i>	10.1	17.1	1.9	<i>1.1</i>	0.0	1.5	0.4	0.6	0.0	0.9	1.7
26	<i>14.3</i>	1.7	5.6	0.4	0.4	0.0	0.6	1.5	15.0	0.4	2.1	3.9
27	10.9	2.1	0.0	6.8	0.9	0.2	0.0	7.7	0.2	3.6	1.7	1.3
28	22.5	1.3	4.3	<i>0.4</i>	0.2	0.0	2.1	0.9	0.0	2.1	0.0	27.0
29	16.9	0.0	0.9	<i>0.4</i>	3.9	0.0	6.4	0.2	0.0	0.0	0.2	2.1
30	7.9	-	2.8	<i>1.1</i>	0.0	0.2	0.2	2.6	0.0	1.3	1.1	0.2
31	9.6	-	2.4	-	1.7	-	0.0	0.0	-	0.6	-	0.0
TOTAL MENSUAL	243.5	53.1	130.3	110.8	60.1	121.8	48.2	47.3	78.8	62.1	75.8	81.5
TOTAL ANUAL	1113.2											

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	5.8	0.2	<i>0.9</i>	<i>2.1</i>	<i>0.4</i>	<i>10.2</i>	<i>1.2</i>	<i>0.7</i>	<i>0.5</i>	0.0	<i>0.9</i>	<i>0.5</i>
2	3.2	<i>0.4</i>	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	<i>2.5</i>	0.0	<i>4.5</i>	<i>2.8</i>	<i>0.4</i>	<i>1.0</i>	0.2	0.0
3	0.2	<i>1.6</i>	0.0	<i>2.4</i>	<i>3.0</i>	0.0	<i>9.0</i>	0.0	<i>2.1</i>	<i>0.4</i>	0.2	0.2
4	0.6	2.8	0.0	<i>8.1</i>	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	0.0	0.0	<i>2.4</i>	0.0	0.2	<i>1.0</i>
5	0.2	<i>3.6</i>	<i>1.4</i>	<i>6.7</i>	<i>0.2</i>	<i>2.8</i> </						

Glaciares del Ecuador Antisana y Carihuayrazo: Informe del año 2006

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	0.0	0.6	0.9	2.4	0.3	12.4	1.3	0.6	0.4	0.0	0.9	0.4
2	0.0	0.2	0.0	0.2	2.9	0.0	5.4	3.2	0.2	1.1	0.4	0.0
3	0.0	1.7	0.0	2.8	3.5	0.0	10.9	0.0	2.4	0.2	0.0	9.0
4	2.6	5.1	0.0	9.8	0.0	0.2	0.2	0.0	2.8	0.0	1.1	1.1
5	0.3	4.3	1.5	8.1	0.1	3.2	0.2	0.0	3.4	0.0	0.6	5.1
6	4.1	0.0	0.2	2.8	0.0	20.8	0.2	0.2	1.3	0.2	0.2	5.6
7	3.2	5.6	3.2	1.3	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	1.1	6.0	0.4
8	0.9	1.5	8.6	0.4	5.2	2.6	0.2	0.0	0.2	0.0	4.1	6.8
9	0.2	0.2	5.8	0.4	2.3	1.5	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	1.3
10	0.0	0.0	1.7	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	1.1	1.9	1.3	1.3
11	2.4	0.4	1.9	4.3	0.4	0.6	0.0	0.2	2.1	0.9	4.3	0.0
12	0.2	1.5	10.7	8.3	0.0	10.1	0.0	0.0	0.9	1.1	4.1	0.9
13	0.0	0.9	6.2	6.4	0.0	7.1	0.2	0.2	0.2	10.5	6.0	4.5
14	2.8	0.4	4.9	4.5	0.0	0.6	1.1	0.0	0.2	3.4	6.6	3.4
15	0.6	0.0	4.7	3.6	0.0	0.6	1.9	1.9	0.4	14.8	17.1	2.8
16	3.2	0.0	0.0	1.9	0.0	1.9	0.0	1.5	1.3	1.5	4.7	0.0
17	2.1	0.0	0.0	0.9	0.0	6.0	0.0	1.1	2.6	0.0	0.4	0.2
18	1.5	0.4	3.2	0.2	0.0	2.1	0.0	1.7	4.5	0.0	0.2	0.9
19	1.3	1.1	2.6	0.4	0.0	0.6	0.0	0.2	0.9	0.0	0.9	8.6
20	0.9	1.5	0.0	0.6	0.0	4.7	0.0	1.5	0.0	0.0	7.1	4.9
21	0.2	1.1	0.0	0.4	1.0	6.4	0.0	1.1	0.0	0.2	1.7	0.9
22	0.0	0.2	4.3	0.0	0.1	3.4	0.2	0.0	11.3	0.2	0.4	0.9
23	3.9	0.0	1.3	4.7	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
24	2.8	0.0	1.5	0.4	0.8	0.0	0.2	0.6	2.6	0.2	0.0	0.4
25	0.2	0.2	12.0	0.9	0.4	0.0	0.2	0.2	0.4	0.0	3.4	0.4
26	0.0	0.0	2.6	0.4	0.0	0.2	0.4	1.7	7.1	0.6	0.2	3.9
27	1.3	0.9	0.0	3.0	0.0	1.3	0.0	8.1	0.0	3.2	3.0	0.6
28	0.6	0.4	1.7	0.1	0.0	0.4	5.1	3.2	0.0	3.0	0.0	3.4
29	4.5	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	7.1	0.0	0.6	0.2	0.9	0.0
30	3.0	-	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	6.0	0.2	0.0
31	2.6	-	1.7	-	1.1	-	0.0	0.0	-	0.6	-	0.0
TOTAL MENSUAL	45.3	28.2	82.4	70.6	19.5	88.2	35.1	28.5	47.1	50.9	75.9	67.8
TOTAL ANUAL	639.5											

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	0.0	1.3	1.9	3.2	0.3	8.9	0.0	0.9	0.9	0.0	0.9	0.8
2	0.0	0.4	0.2	0.6	3.4	0.0	1.2	1.1	0.0	0.2	0.6	0.2
3	0.0	3.0	0.0	2.6	4.2	0.0	6.6	0.0	3.2	0.2	0.0	7.5
4	3.0	5.8	0.0	10.5	0.0	0.4	0.0	0.4	3.2	0.0	0.6	3.1
5	0.4	3.2	1.5	13.5	0.1	5.6	0.0	0.0	1.3	0.0	0.9	8.1
6	3.4	0.0	0.0	3.2	0.0	21.6	0.0	0.0	0.2	0.0	1.7	2.9
7	5.6	5.1	3.6	4.5	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	6.8	0.2
8	3.4	1.5	6.4	0.6	6.2	2.1	0.0	0.0	0.4	1.3	7.9	5.6
9	0.2	0.2	9.2	0.2	2.7	1.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	1.0
10	0.0	0.0	1.7	1.5	0.2	0.2	0.0	0.0	1.5	2.6	1.3	0.0
11	3.9	0.4	1.9	3.2	0.5	1.0	0.0	0.0	3.6	0.6	6.0	0.0
12	0.9	1.9	5.4	9.0	0.0	11.4	0.0	0.0	1.1	1.5	0.9	0.6
13	0.0	0.6	18.6	9.0	0.0	7.3	0.2	0.0	0.0	7.5	12.0	7.0
14	1.3	0.6	5.1	4.1	0.0	0.4	0.0	0.9	9.6	4.7	7.2	0.4
15	1.7	0.2	5.4	2.8	0.0	1.2	0.2	2.4	0.2	16.7	28.0	0.4
16	4.7	0.0	0.0	3.0	0.0	1.4	0.0	1.9	1.1	7.1	4.9	0.0
17	4.3	0.0	0.2	1.5	0.0	4.1	0.0	0.4	2.1	0.0	2.6	0.0
18	2.4	0.2	3.4	0.4	0.0	2.5	0.0	2.4	5.4	0.0	0.2	1.2
19	2.6	0.6	4.9	0.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.4	0.0	2.1	9.4
20	0.9	1.5	0.0	0.6	0.0	2.7	0.0	2.8	0.2	0.0	7.1	5.8
21	0.0	0.9	0.0	0.0	1.2	5.2	0.0	0.9	0.0	0.9	5.4	4.9
22	0.0	0.0	2.4	0.0	0.2	1.9	0.0	0.0	12.4	0.0	0.4	1.7
23	1.7	0.2	4.7	3.9	0.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2
24	4.5	0.0	0.4	0.6	0.9	0.0	0.0	0.4	1.9	0.4	0.0	1.3
25	0.6	0.0	17.1	0.4	0.5	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	3.4	0.4
26	0.0	0.2	2.8	0.4	0.0	0.0	0.9	2.1	6.2	0.6	0.2	5.8
27	1.9	1.3	0.0	5.6	0.0	0.4	0.0	6.4	0.0	4.5	5.1	1.3
28	1.1	0.6	2.4	0.2	0.0	0.0	3.6	4.3	0.0	2.1	0.0	6.0
29	5.8	0.0	0.0	0.2	0.4	0.9	10.1	0.0	0.4	1.7	0.4	0.0
30	5.1	-	1.9	0.5	0.0	0.0	0.6	0.0	7.9	0.2	0.0	0.0
31	4.5	-	2.4	-	1.0	0.0	0.0	0.0	-	1.1	-	0.0
TOTAL MENSUAL	63.7	30.0	103.6	85.8	23.0	81.7	24.2	27.0	47.3	67.6	105.1	82.4
TOTAL ANUAL	741.3											

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	1.5	1.3	3.2	0.2	9.8	0.0	0.6	1.5	0.2	2.8	0.9
2	0.0	0.6	0.6	8.1	2.3	0.2	1.3	2.6	0.2	1.1	0.6	0.2
3	0.0	1.7	0.2	0.9	2.8	0.0	7.3	0.2	3.0	0.2	0.4	8.3
4	3.4	6.4	0.2	3.6	0.0	0.4	0.2	0.0	2.1	0.4	2.4	3.4
5	0.6	4.7	0.9	9.6	0.1	6.2	0.2	0.2	1.9	0.4	1.3	9.0
6	1.5	0.4	0.2	3.2	0.0	24.0	0.2	0.2	1.7	0.4	0.2	3.2
7	6.6	3.2	4.5	1.3	0.9	0.9	0.4	0.0	0.0	0.9	13.9	0.2
8	0.9	3.9	9.2	1.5	4.1	2.4	0.4	0.2	0.2	0.0	4.1	6.2
9	0.0	0.2	13.3	1.1	1.8	1.3	0.4	0.4	0.9	0.2	1.1	1.1
10	0.4	0.4	0.9	0.9	0.2	0.2	0.4	0.4	1.3	2.8	2.4	0.2
11	6.0	0.4	5.8	3.6	0.3	1.1	0.6	0.2	2.6	3.2	5.1	0.4
12	0.4	1.9	10.7	10.1	0.0	12.6	0.4	0.4	0.6	0.9	9.0	0.6
13	0.2	1.5	2.6	2.6	0.0	8.1	0.2	0.4	1.7	10.7	5.4	7.7
14	4.5	1.3	1.9	0.4	0.0	0.4	0.2	0.0	0.2	2.8	10.5	7.9
15	1.5	0.0	7.5	8.3	0.0	1.3	0.9	1.1	0.6	6.1	18.4	0.4
16	4.9	0.0	0.2	2.6	0.0	1.5	0.0	2.4	1.1	0.6	8.6	0.0
17	3.9	0.0	0.2	0.9	0.0	4.5	0.2	1.5	2.1	0.0	1.9	0.2
18	1.1	0.6	5.6	0.4	0.0	2.8	0.2	3.0	3.6	0.0	2.1	1.3
19	0.6	0.6	3.4	0.4	0.0	0.6	0.2	0.2	0.4	0.0	0.6	7.3
20	1.7	3.9	0.4	0.2	0.0	3.0	0.2	2.1	0.2	0.0	10.1	6.0
21	0.2	0.6	0.2	0.2	0.8	5.8	0.2	0.9	0.4	0.0	3.6	6.0
22	0.4	0.2	4.7	0.2	0.1	2.1	0.2	0.2	15.0	0.4	2.4	0.2
23	5.8	0.0	2.8	1.9	0.1	0.0	0.9	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2
24	6.4	0.2	2.8	0.6	0.6	0.4	0.4	0.2	0.6	0.9	0.0	0.4
25	0.6	0.4	16.9	0.4	0.3	0.0	0.6	0.4	1.3	0.0	2.1	1.7
26	0.2	0.0	1.9	0.4	0.4	0.4	0.4	2.4	4.3	2.1	0.2	3.0
27	0.9	1.9	0.0	6.2	0.9	0.9	0.2	9.8	0.2	1.1	3.0	0.4
28	1.1	0.6	1.3	0.7	0.9	0.0	4.7	0.2	0.0	2.1	0.2	2.8
29	6.0	0.0	0.2	0.7	0.4	0.4	5.8	0.2	0.0	0.4	0.2	0.0
30	3.6	-	1.1	0.3	0.0	0.4	0.0	0.6	0.2	8.3	0.2	0.4
31	3.9	-	2.6	-	1.1	-	0.2	0.4	-	0.6	-	0.0
TOTAL MENSUAL	67.8	37.5	104.0	73.5	18.1	91.8	27.8	31.9	48.4	49.2	113.2	79.8
TOTAL ANUAL	743.0											

Vale destacar la secuencia de lluvias excepcionalmente fuertes de los días 23 al 26 de enero de 2006 en la cuenca del glaciar 15, donde cayeron más de 120 mm en estos cuatro días. Pocas lluvias ocurrieron en los mismos días en los otros pluviómetros lo que demuestra la heterogeneidad de algunas precipitaciones.

Los resultados de la 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 la figura 4.7 y figura 4.8 a continuación.

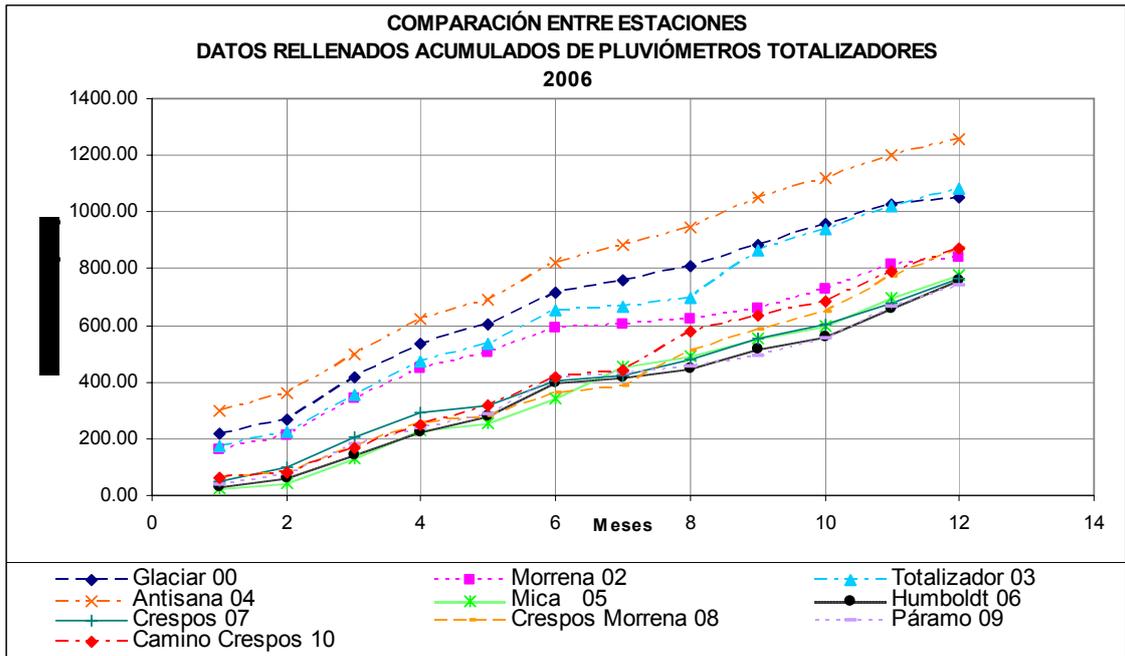


Figura 4.7. Precipitaciones mensuales acumuladas registradas en el Glaciar 15 y Glaciar Los Crespos. Datos Homogenizados de Pluviómetros Totalizadores. (Ver el resultado de los datos antes de las correcciones en la Figura 4.2)

En la figura 4.7 y en la tabla 4.5 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, probablemente debido al efecto del viento, pues la estación se encuentra en una zona muy expuesta. Este efecto se repite en los pluviógrafos.

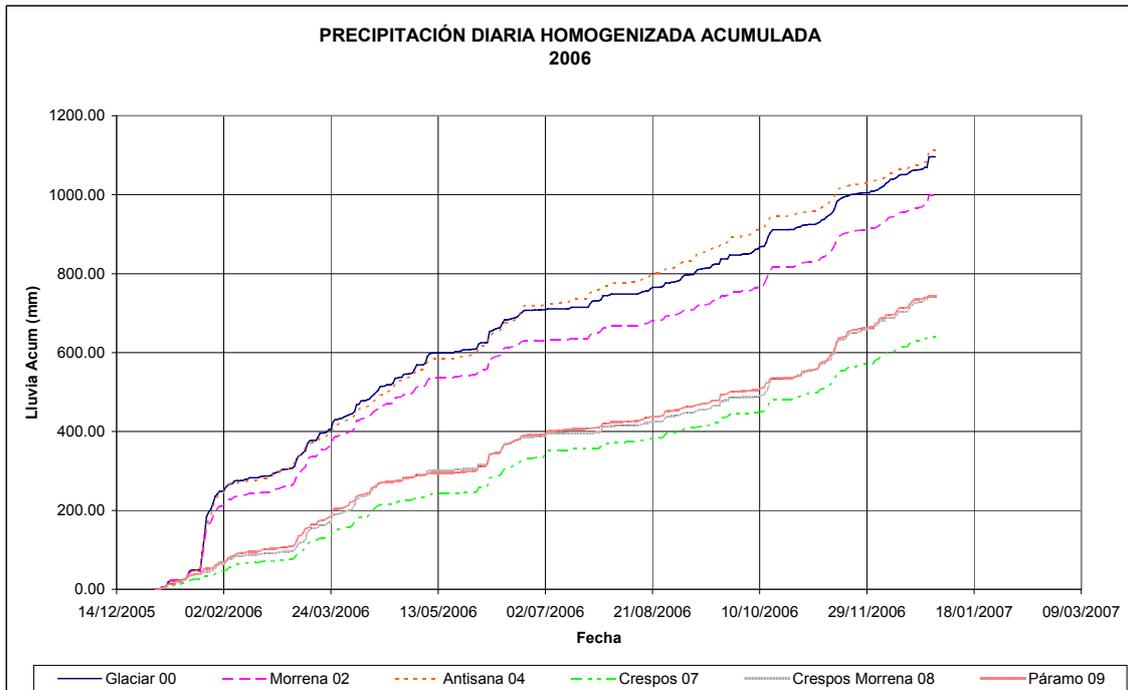


Figura 4.8. Datos homogenizados diarios de los pluviógrafos para el año 2006 (Para visualizar los periodos de datos faltantes o sospechosos, ir al Figura 4.4 que presenta el mismo gráfico antes de las correcciones).

Después de esta homogenización de la información, los coeficientes de determinación r^2 entre las estaciones mejoraron significativamente, como se puede observar en la tabla 4.7.

	P0	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P0		0.78	0.88	0.77	0.37	0.42	0.45	0.00	0.22	0.00	0.00
P2	0.78		0.80	0.64	0.31	0.38	0.41	0.02	0.34	0.02	0.03
P3	0.88	0.80		0.77	0.36	0.42	0.42	0.04	0.22	0.00	0.00
P4	0.77	0.64	0.77		0.33	0.37	0.37	0.00	0.05	0.00	0.01
P5	0.37	0.31	0.36	0.33		0.73	0.70	0.15	0.34	0.05	0.78
P6	0.42	0.38	0.42	0.37	0.73		0.78	0.32	0.88	0.26	0.24
P7	0.45	0.41	0.42	0.37	0.70	0.78		0.50	0.70	0.26	0.13
P8	0.00	0.02	0.04	0.00	0.15	0.32	0.50		0.26	0.72	0.02
P9	0.22	0.34	0.22	0.05	0.34	0.88	0.70	0.26		0.27	0.19
P10	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.26	0.26	0.72	0.27		0.03
P11	0.00	0.03	0.00	0.01	0.78	0.24	0.13	0.02	0.19	0.03	

Tabla 4.7. Correlación r^2 entre pluviómetros totalizadores. Datos Homogenizados Completos de Totalizadores desde el inicio de funcionamiento de cada estación hasta 2006.

Existen coeficientes excepcionalmente bajos del valor de r^2 en la estación Páramo P9 con las estaciones Glaciar P0, Morrena P2, Totalizador P3, Antisana P4, Mica P5, Humboldt P6 y Crespos P7 que puede darse por la diferencia del número de datos que existe entre estas estaciones, ya que P0, P2, P3, P4, P5 y P6 son estaciones que cuentan con datos desde el año 1997 y P7 desde el 2003, P9 tiene información desde finales del 2005, pero esto también explica que pueda plantearse una relación aceptable con estaciones que tienen datos a partir de enero del 2006, como es el caso de P8, P10 y P11, ya que contendrían un número similar de datos que esta estación.

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 (Lhuissier, 2005). El índice **Pglaciar** es el promedio de las precipitaciones de las estaciones P0, P2, P3 y P4 tomadas en los totalizadores 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 y entre los 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 2006.

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, aunque este año, el mes de enero presentó un total pluviométrico excepcionalmente elevado.

Hasta el presente informe se cuenta con una serie completa de datos obtenidos en las cercanías del Nevado Antisana con un período de 148 meses de registro continuo. Todos los valores de la tabla 4.8 y tabla 4.9, se los ha calculado con los índices definidos anteriormente, Pglaciar y Pparamo.

La precipitación total para este año fue ligeramente inferior a la del 2005. Globalmente esta cantidad de lluvia se encuentra cerca del promedio anual, en la figura 4.9 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 1259 mm y el valor mínimo de la lámina de precipitación anual se registra sobre el pluviómetro totalizador P11 a 4264 msnm y es igual a 529 mm.

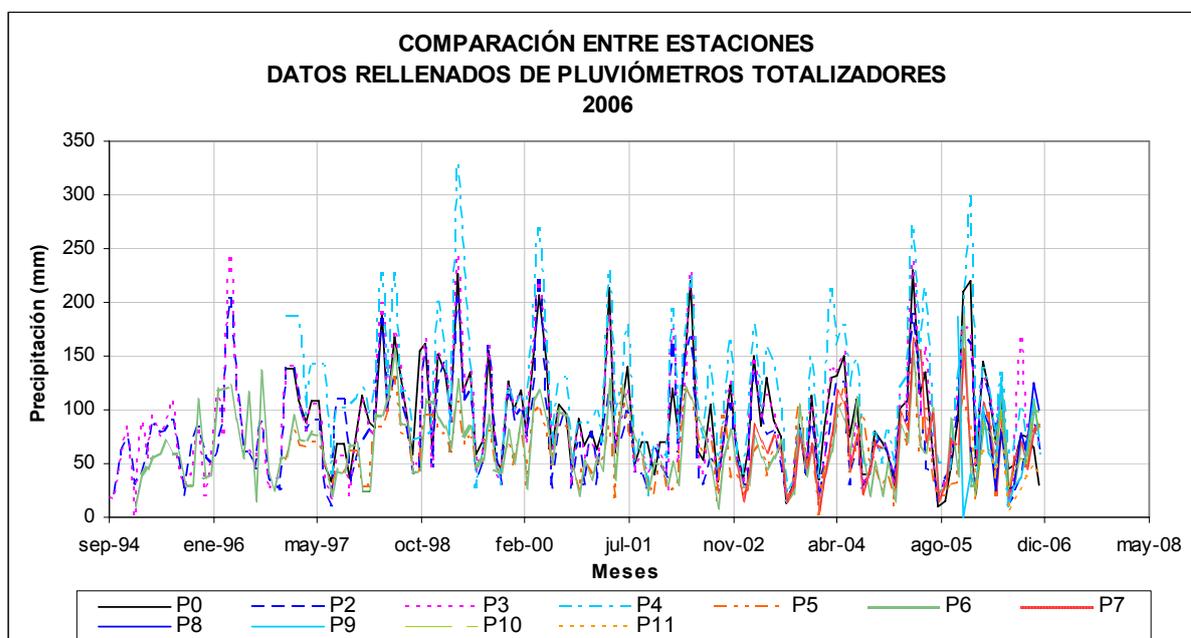


Figura 4.9. Precipitaciones mensuales registradas en el Glaciar 15 y Glaciar Los Crespos. Pluviómetros totalizadores. 1994 – 2006

Meses / Años	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Prom
Enero	151	104	157	96	80	46	34	26	35	213	88
Feb.	151	86	140	113	61	166	56	69	106	52	94
Marzo	126	91	83	78	72	65	155	144	107	136	103
Abril	86	200	252	150	188	144	92	138	234	118	168
Mayo	112	103	145	230	69	211	120	153	113	69	135
Junio	112	175	128	138	97	58	101	69	139	117	113
Julio	63	126	39	52	135	49	68	105	55	31	73
Ag.	25	92	60	103	45	96	16	37	24	39	57
Sept.	85	54	141	104	63	34	31	39	33	98	66
Oct.	85	81	50	36	36	67	83	71	45	72	60
Nov.	47	140	34	84	61	132	42	66	104	78	82
Dic.	79	59	122	59	60	61	116	64	180	54	86
Σ	1120	1311	1350	1243	966	1129	914	979	1172	1078	1127

Tabla 4.8. Precipitaciones mensuales registradas del Índice Pglaciar años 1997-2006.

Meses / Años	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Prom
Enero	55	27	86	49	38	28	24	6	13	45	35
Feb.	88	27	79	88	53	38	28	41	83	24	51
Marzo	70	89	63	29	47	30	68	63	68	87	60
Abril	69	89	118	103	106	120	63	94	151	90	104
Mayo	74	103	72	109	25	110	42	105	63	37	74
Junio	73	143	79	84	121	80	58	51	81	111	90
Julio	49	83	47	49	90	70	65	87	65	25	64
Ag.	22	82	52	94	63	59	18	78	23	35	56
Sept.	43	42	88	89	56	12	23	35	23	65	48
Oct.	42	43	45	49	27	78	105	48	60	46	55
Nov.	64	102	42	22	36	58	42	23	36	100	51
Dic.	65	102	75	51	50	45	65	45	151	90	75
Σ	714	931	845	815	710	726	599	673	814	752	763

Tabla 4.9. Precipitaciones mensuales registradas del Índice Pparamo años 1997-2006.

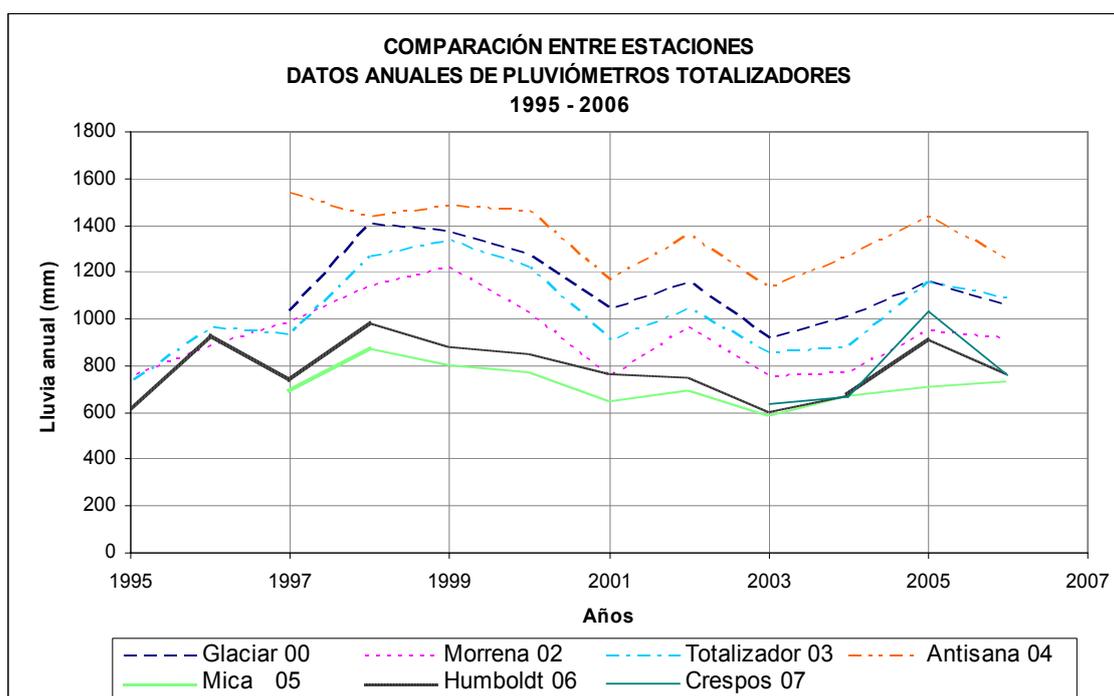


Figura 4.10. Precipitaciones anuales registradas en el Glaciar 15 y Glaciar Los Crespos. Pluviómetros totalizadores. 1994 – 2006. (Actualización de Lhuissier, 2005)

Al analizar la información de la tabla 4.8 y tabla 4.9 y las figura 4.10 y figura 4.11. Se puede ver claramente que durante los años 1998, 1999 y 2000 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 de la lluvia, han sido períodos menos lluviosos.

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, P7) como se puede observar en la figura 4.11, y en los tabla 4.8 y tabla 4.9, donde se marca una clara diferencia entre estas dos zonas.

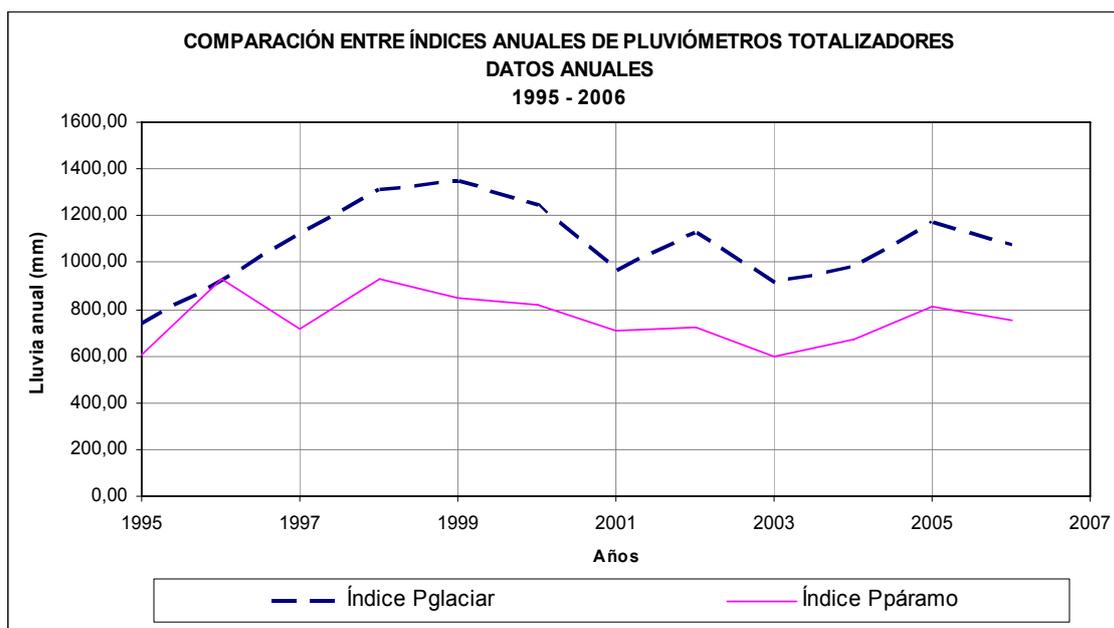


Figura 4.11. Índices de pluviometría anuales “Pglaciar” y “Pparamo”. Pluviómetros totalizadores. Período 1995 – 2006. (Actualización de Lhuissier, 2005).

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 el inicio de funcionamiento de cada estación hasta el 2006, se muestran en la tabla 4.7. 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 2006, 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 los meses de enero, marzo, abril y junio (enero sobretodo) donde la precipitación varía entre 39 y 248 mm, en cambio la menor precipitación se da en los meses de julio y agosto con valores entre 24 mm y 48 mm, entre las dos zonas climáticas, como se observa en la tabla 4.5 .

La distribución de la lluvia que los resultados de los pluviógrafos arrojan, se puede observar en la figura 4.12 y figura 4.13.

Se puede apreciar que la tendencia de la distribución es muy similar a la que se registra con los pluviómetros totalizadores, como se indicará en las líneas siguientes.

La precipitación total para este año fue menor al del 2005, globalmente esta cantidad de lluvia se encuentra en el promedio anual, en los figura 4.12 y la tabla 4.5 se puede observar que los meses con menor precipitación son: febrero, julio y agosto (36, 38 y 36 mm promedio mensual entre P0, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11). Los meses con mayor precipitación promedio mensual son: excepcionalmente enero, marzo, abril y junio (113, 107, 94, 107). La precipitación anual es de 951 mm entre los pluviómetros totalizadores P0, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, comparado

con las precipitaciones anuales de los índices calculados: Pglaciar es de 1127 mm (P0, P2, P3, P4) y del Pparamo es de 774 mm (P5, P6).

Con la figura 4.14 se puede decir que existe una secuencia de estaciones secas y húmedas, donde el período más lluvioso se produce, este año, entre enero y abril, mientras que de manera contraria se produce un descenso de precipitación en julio 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 poca fusión lo que da solamente pequeñas crecidas glaciares.

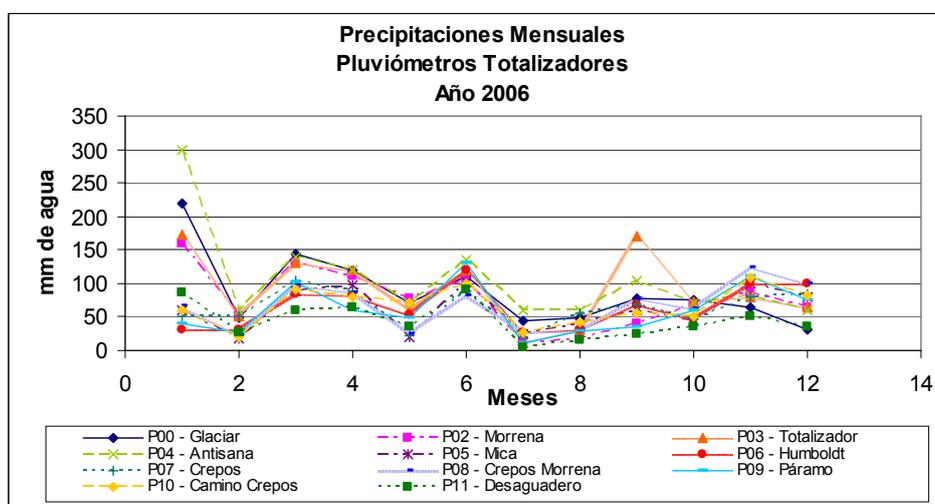


Figura 4.12. Precipitaciones mensuales registradas en el Glaciar 15 y en el Glaciar Los Crespos, año 2006. Datos homogenizados

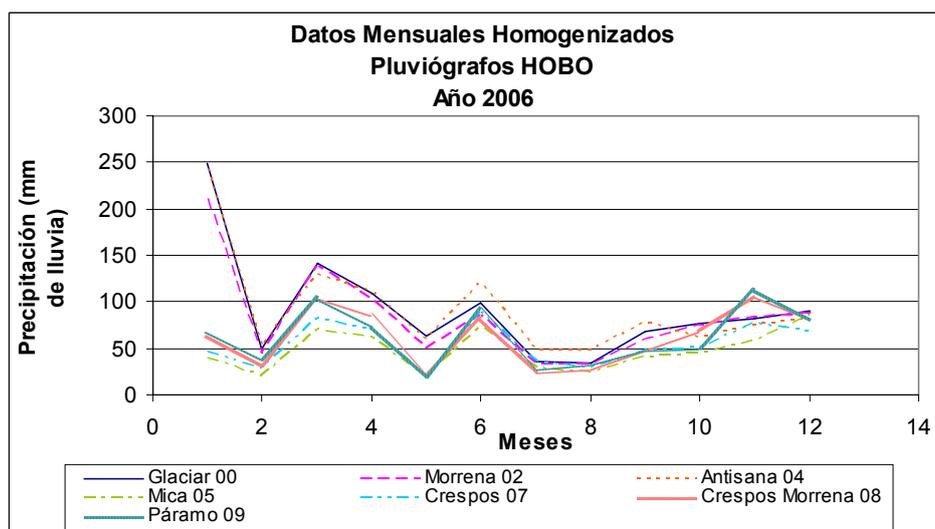


Figura 4.13. Datos homogenizados mensuales de los pluviógrafos. Año 2006.

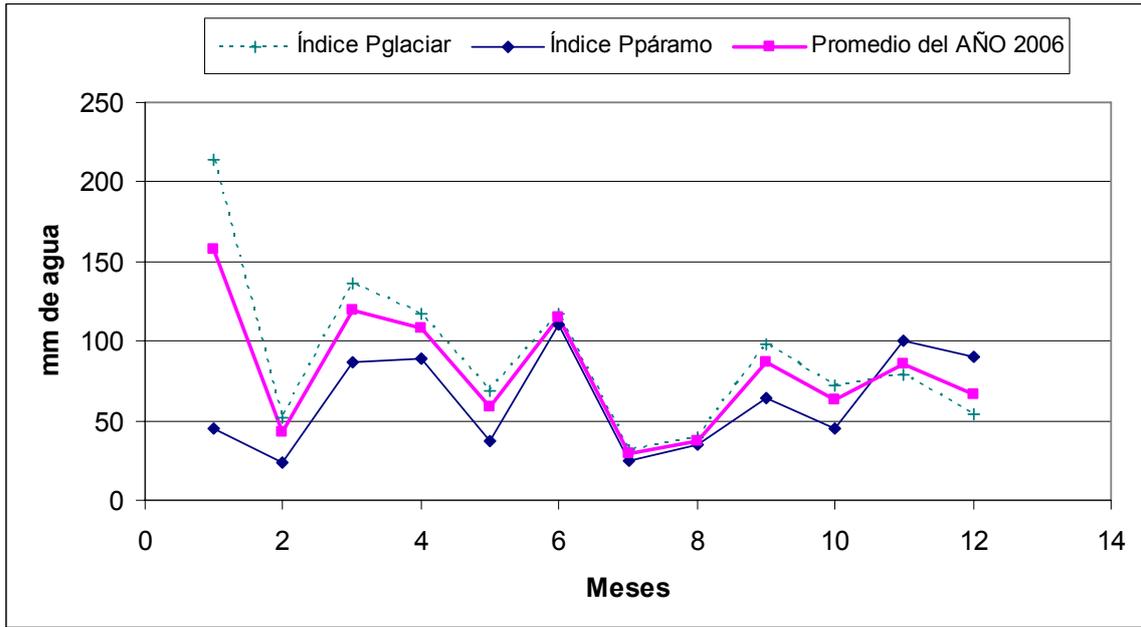


Figura 4.14. Régimen estacional de las precipitaciones en las zonas del “Pglaciar” y “Pparamo” a lo largo del año. Índices Pluviométricos año 2006. (Actualización de Lhuissier, 2005)

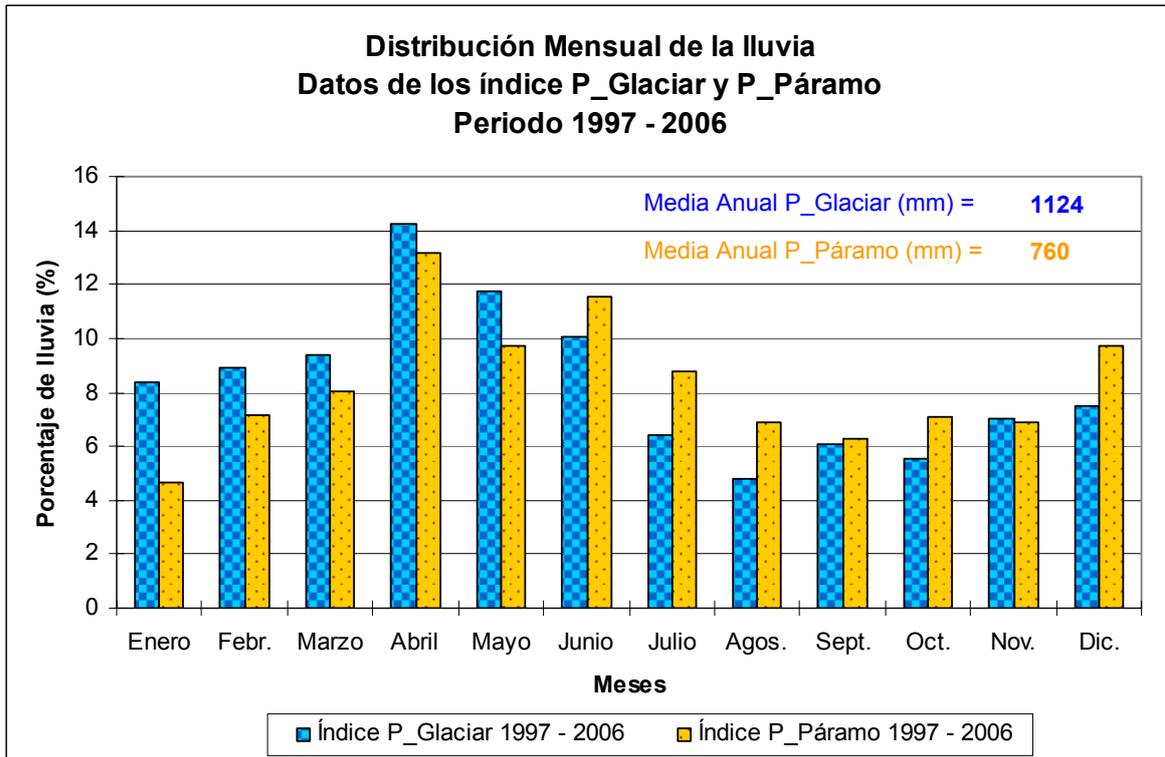


Figura 4.15. Porcentaje de distribución mensual de la lluvia en las estaciones cercanas al glaciar y al páramo. Media de todos los años.

En la figura 4.15 se aprecia que tanto en las estaciones del glaciar como en las del páramo, en relación al promedio mensual del periodo 1997 – 2006, la época del año en la que existe mayor lluvia empieza en diciembre y termina en junio, con un porcentaje de 70% de la lluvia total anual en el periodo 1997 - 2006 para las

estaciones del glaciar y 61% de la lluvia total anual en el período 1997 – 2006 para las del páramo, y que los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre son los más secos del año con 30% del total de lluvia anual en las estaciones cercanas al glaciar y 39% del total de lluvia para las estaciones del páramo, en los cuatro meses durante el mismo periodo mencionado, sin embargo se puede afirmar que existe precipitación durante todo el año que se distribuye de manera uniforme en los diferentes meses.

En la figura 4.16, se nota que a nivel mensual, en el año 2006, la precipitación de la zona del glaciar (calculada con el índice Pglaciar), en los meses de febrero, abril, mayo, julio, agosto y diciembre se encuentran bajo el promedio que se ha presentado con mayor frecuencia durante el período 1997 – 2006, en un porcentaje que varía entre 30% y el 57% de disminución de lluvia, sin embargo se observa que en los meses de febrero, mayo y julio son meses deficitarios con respecto a la desviación estándar de que en esos meses se ha presentado normalmente durante el periodo 1997 – 2006. Al contrario, en el mes de enero, marzo, septiembre y octubre la lluvia del año 2006 ha sido un poco mayor al promedio del período mencionado, en un 16% y 59%, pero el mes de enero presenta una anomalía de precipitación de 56% del promedio normal. En los meses de junio y noviembre los valores se mantienen dentro del promedio calculado en el período 1997 – 2006.

Con la figura 4.17, se aprecia que en el año 2006, la precipitación de la zona del páramo (calculada con el índice Pparamo), en los meses de febrero, abril, mayo y agosto se encuentran bajo el promedio del período 1997 – 2006, en un porcentaje que varía entre 11% y el 57% de disminución de lluvia, pero los meses de febrero y mayo presentan un déficit de precipitación en el año 2006 con respecto a lo que se ha dado en el periodo 1997 – 2006. Al contrario, en el mes de enero, marzo, junio, septiembre, noviembre y diciembre, la lluvia del año 2006 ha sido un poco mayor al promedio del período mencionado, en un 17% y 49%, pero solamente en marzo y en noviembre se nota un exceso en las lluvias del 2006 en un 29% y 48% respectivamente con lo que se ha observado en el periodo 1997 – 2006. Mientras que el mes de octubre mantiene su valor de precipitación dentro del promedio calculado en el período 1997 – 2006.

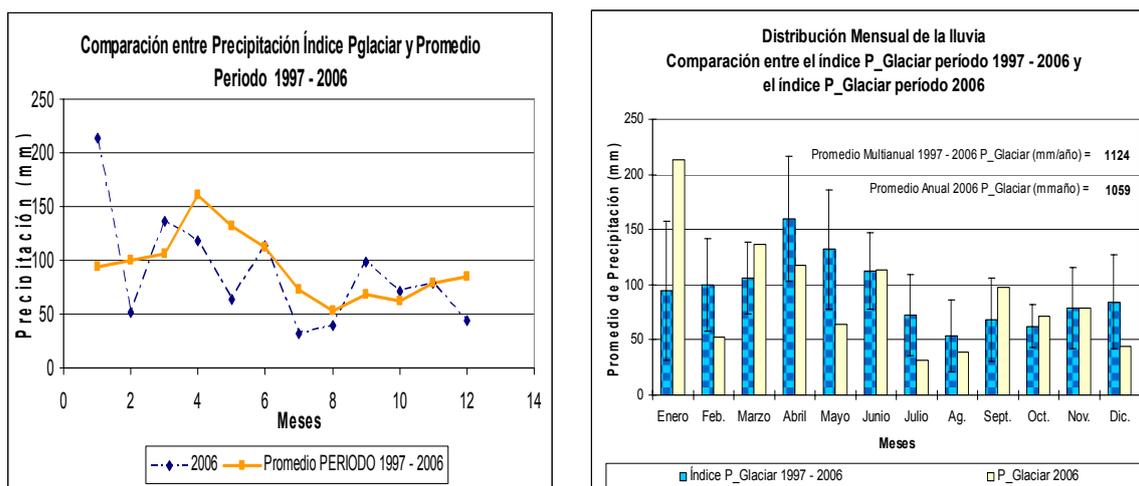


Figura 4.16. Comparación entre el Índice Pglaciar y el Promedio Mensual del periodo 1997 – 2005.

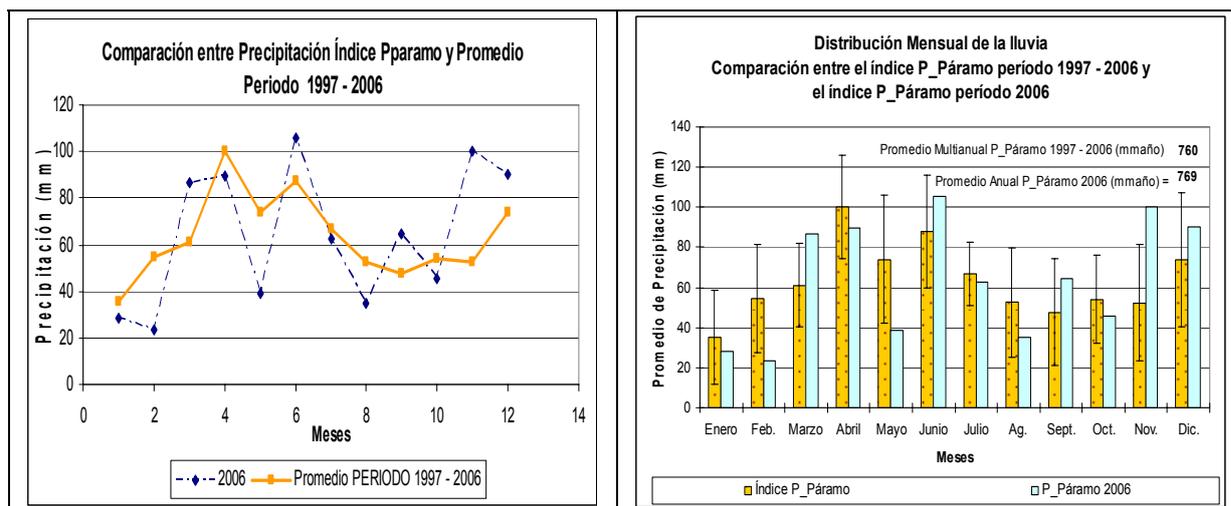


Figura 4.17. Comparación entre el Índice Pparamo y el Promedio Mensual del periodo 1997 – 2005.

4.5.3 Distribución diaria:

Para hacer este análisis se ha trabajado con los siete pluviógrafos. La tabla 4.10, 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.

Observando la tabla 4.10 se constata que en el 2006 las estaciones donde se observa precipitaciones máximas más frecuentes son: la P0 Glaciar, la P2 Morrena y la P4 Antisana en el mes de enero.

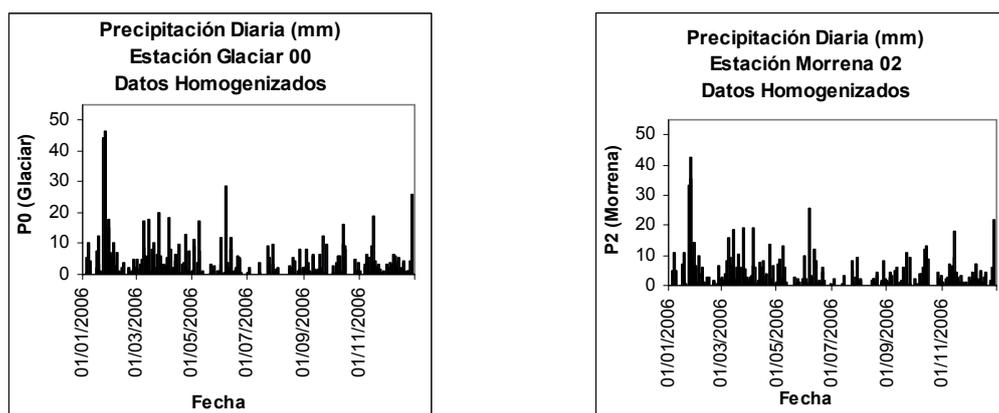
Otro parámetro que se puede ver en el tabla 4.10 es que, basándose únicamente en las observaciones del 2006, la lluvia más probable que ocurra por lo menos una vez al año es de 35.52 mm. La lluvia con más probabilidad de que ocurra por lo menos dos veces en el año es de 25.68 mm. La lluvia que puede ocurrir probablemente 4 veces al año tiene un valor de 18.40 mm, etc.

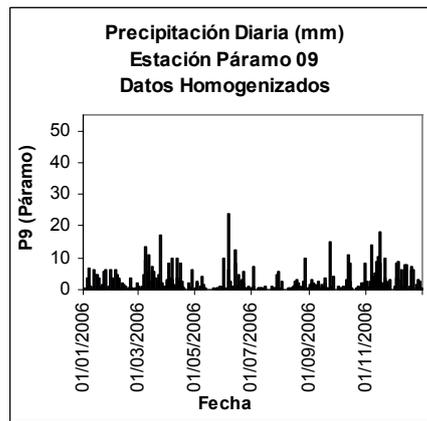
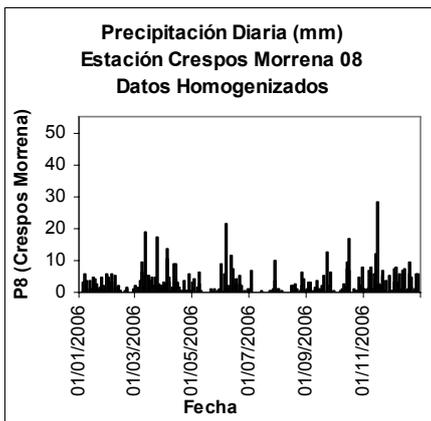
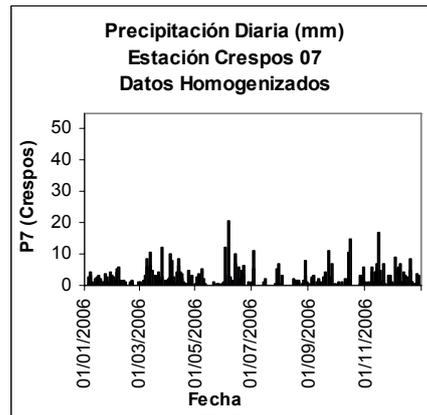
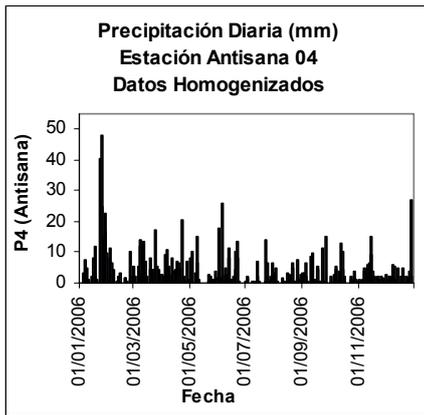
En la figura 4.18 se puede observar que los pluviógrafos del Glaciar, Morrena y Antisana presentan las precipitaciones más fuertes en comparación con los otros pluviógrafos y que las menores precipitaciones, entre las máximas, se da en la estación P0 Glaciar, sin embargo a nivel general, la estación con menos lluvia es la P7 Crespos.

Orden	Fecha	Dato	Estación
1	24/01/2006	47.72	P4
2	25/01/2006	46.44	P0
3	24/01/2006	44.30	P0
4	23/01/2006	43.66	P0
5	24/01/2006	42.37	P2
6	23/01/2006	40.66	P4
7	25/01/2006	35.52	P2
8	23/01/2006	32.96	P2
9	06/06/2006	28.68	P0
10	15/11/2006	28.03	P8
11	28/12/2006	26.96	P4
12	28/12/2006	26.11	P0
13	06/06/2006	25.89	P4
14	06/06/2006	25.68	P2
15	25/01/2006	24.82	P4
16	06/06/2006	23.97	P9
17	28/01/2006	22.47	P4
18	28/12/2006	22.04	P2
19	06/06/2006	21.65	P8
20	06/06/2006	20.76	P7
21	23/04/2006	20.33	P4
22	25/03/2006	19.90	P0
23	25/03/2006	19.26	P2
24	05/04/2006	19.26	P2
25	15/11/2006	18.62	P0
26	13/03/2006	18.62	P2
27	13/03/2006	18.62	P8
28	05/04/2006	18.40	P0

Tabla 4.10. Precipitaciones Máximas en 24 horas durante el año 2006 en las estaciones.

Figura 4.18. Precipitación diaria en las estaciones. Año 2006





CAPÍTULO 5

5 . Micrometeorología sobre el Glaciar 15 α

Autor Principal: Ing. Luis Maisincho

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

5.1	Estación meteorológica ORE y GLACIOCLIM	71
5.1.1	Equipamiento	71
5.2	Periodo de funcionamiento de la estación ORE en el 2006	72
5.3	Estación meteorológica Sama a 4950 m.s.n.m	72
5.3.1	Descripción	72
5.4	Periodo con pérdida de datos	72
5.5	Temperatura y Humedad mensual de las estaciones Ore y Sama	73
5.6	Radiación Incidente glaciares 15 y 12	76
5.7	Velocidad del viento	79
5.7.1	Dirección del viento a 4900 m	80

5.1 Estación meteorológica ORE y GLACIOCLIM

Durante el año 2006 la estación meteorológica automática ORE funcionó de manera regular cumpliendo con las expectativas del proyecto GLACIOCLIM: Recolectar datos de buena calidad con el fin de comprender y modelizar el funcionamiento de los sistemas y su dinámica a largo plazo. De esta manera se puede responder a cuestiones científicas concernientes al medio ambiente y en particular al impacto antrópico.

GLACIOCLIM tiene por objetivo constituir una base de datos glacio-meteorológicos de largo plazo a fin de:

1. Estudiar la relación Clima-Glaciar es decir comprender las relaciones entre las variables climáticas y los balances de masa glaciares (Análisis de los flujos de masa y energía entre el glaciar y la atmósfera).
2. Prever la evolución futura de los glaciares en términos de recursos agua, contribución del retroceso de los glaciares a la elevación del nivel del mar y de otros impactos ligados a los glaciares.
3. Comprender la respuesta dinámica de los glaciares (variación de espesor, longitud y velocidad de desplazamiento) a las fluctuaciones de los balances de masa y estudiar los riesgos naturales de origen glaciar.

5.1.1 Equipamiento

El equipamiento en las estaciones ORE no ha cambiado durante este año. Para obtener información sobre las características técnicas de las estaciones y sus respectivos sensores se puede revisar los informes precedentes.

5.2 Periodo de funcionamiento de la estación ORE en el 2006

La estación ORE durante el año 2006, presenta su serie de datos únicamente con un vacío que va del 30 de junio al 17 de agosto, provocado posiblemente por una descarga de corriente estática en la central de la estación.

La serie de datos disponibles para el año 2006 se presentan en Figura 5.1

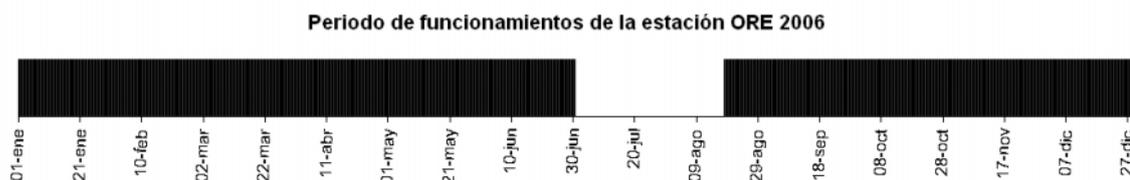


Figura 5.1. . Serie de datos disponibles para la estación ORE año 2006 a 4870 m

5.3 Estación meteorológica Sama a 4950 m.s.n.m

5.3.1 Descripción

La estación Sama (Estación Automática Móvil de Altitud, siglas en francés) conservando su configuración original fue trasladada en diciembre del año 2005, hacia el glaciar 12 "Los Crespos", a una altitud de 4800 m sobre la superficie glaciar.

La fusión del glaciar que provoca cambios importantes en la superficie obligó a mover paulatinamente la estación terminando en diciembre del 2006 a una altitud de 4760 m.

5.4 Periodo con pérdida de datos

Durante el año 2006 la estación Sama situada a 4800 m.s.n.m. sobre el glaciar 12 del Antisana presenta vacíos en su serie de datos en los siguientes periodos:

- 27 al 28 de junio: Pérdida de datos total, problemas de almacenaje en la central
- 24 al 27 de julio : Pérdida total de datos, Sama caída por efectos de los fuertes vientos
- 28 de julio al 21 de agosto: Pérdida total de datos, Sama trasladada a Quito para reparaciones.
- 25 al 31 de enero: Pérdida de datos de la velocidad del viento, hélice caída del anemómetro (Young).

La serie de datos de la estación Sama disponibles para el año 2006 se presentan en la Figura 5.2.

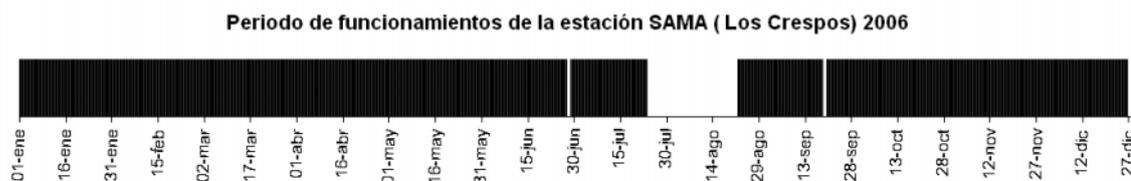


Figura 5.2. Serie de datos disponibles para la estación Sama año 2006 sobre el glaciar Los Crespos a 4800 m.

5.5 Temperatura y Humedad mensual de las estaciones Ore y Sama

Los datos de temperatura presentados en la Tabla 5.1 y la Figura 5.3 no muestran un patrón marcado en la evolución de la temperatura mensual durante los seis últimos años 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 y 2006.

Meses	Temperatura 2000 Campbell fix	Temperatura 2001 Campbell fix	Temperatura 2002 Campbell fix	Temperatura 2003 Campbell fix	Temperatura 2004 SAMA	Temperatura 2004 Campbell fix	Temperatura 2005 SAMA	Temperatura 2005 ORE	Temperatura 2006 ORE
enero	-0.4	1.08		0.57	0.4	0.83	0.48	1.75	0.63
febrero	-0.56	0.95		0.72	0.09		1.17	2.11	1.45
marzo	-0.48	0.82	0.82	0.28	0.74		0.64	1.29	1.04
abril	0.01	0.84	0.61	0.7	0.83	0.83	1.00	1.72	1.11
mayo	0.14	1.51	0.73	0.95	0.45	1.27	0.61		1.79
junio	0.08	0.93	-0.3	-0.16	-0.46	0.48	0.41	1.50	1.08
julio	-0.57	1.06	0.22	-0.08		0.34	-0.12	0.98	
agosto	-0.82	1.22	-0.33	-0.01		0.48	-0.25	1.07	0.93
septiembre	-0.59	0.99	0.12	-0.42		0.6	0.13	1.38	0.54
octubre	0.21	1.65	0.17			2.48	0.03	1.11	1.47
noviembre	0.41	1.39	0.1	0.58	0.73	1.35	0.30	1.28	0.83
diciembre	0.07	1.24	0.82		0.4	1.38		0.63	1.10
Promedio anual	-0.208	1.14	0.3	0.31	0.4	1	0.40	1.34	1.09

Tabla 5.1. Promedios mensuales y anuales de temperatura Campbell, Sama y Ore

El promedio anual de temperatura entre las estaciones Campbell–fix y Sama del año 2004 presenta una diferencia de alrededor de 0.6 °C, es decir la temperatura tiende a ser más alta en la Campbell –fix a pesar que las dos estaciones realizaron sus mediciones sobre el mismo glaciar, sin embargo este valor debe ser tomado con cuidado debido al vacío de datos en las dos estaciones.

Los promedios de los años 2005 y 2007 medidos en la estación permanente ORE presentan un incremento significativo con relación a los años anteriores, este incremento puede ser consecuencia del nuevo lugar de emplazamiento de la estación: Es lógico pensar que la temperatura será mayor al menos durante la jornada diurna sobre la morrena que en el glaciar.

Los promedios mensuales, mostrada en la Figura 5.3 presentan una tendencia a bajar entre mayo y agosto alcanzando valores negativos excepto los años 2001, 2004, 2005 y 2006 donde la temperatura desciende pero conserva valores positivos.

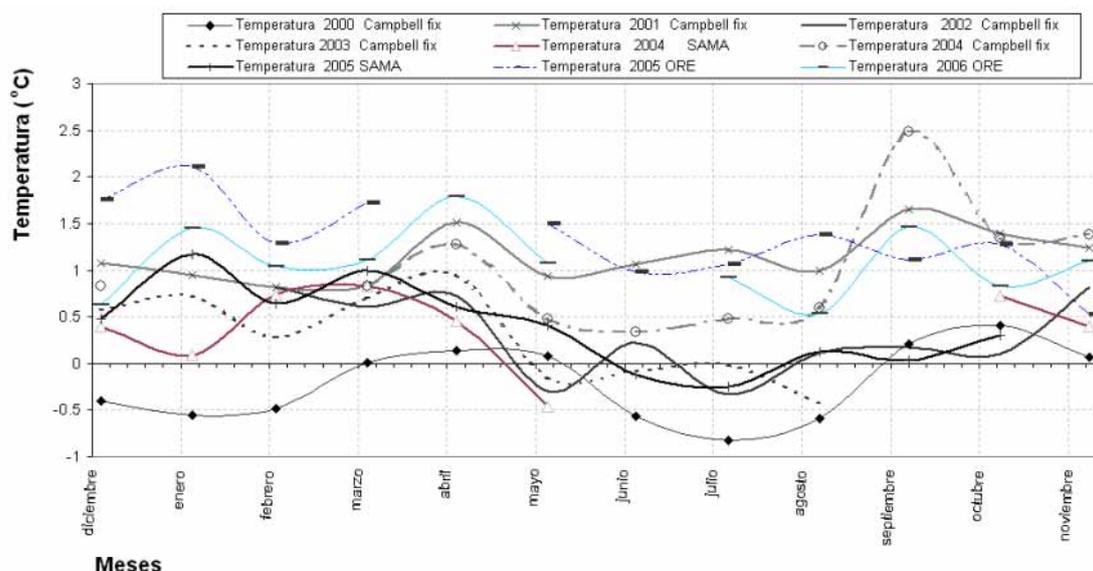


Figura 5.3. Evolución mensual de la temperatura en las estaciones Campbell, Sama y Ore.

Después del año 2000, la temperatura tiende a incrementarse dando como consecuencia una subida del isoterma de temperatura en altitud, esta subida puede provocar que el límite entre las precipitaciones sólidas y líquidas también suba lo que implica la posible presencia de lluvia líquida sobre la superficie glaciar, este fenómeno incrementaría el flujo térmico sobre el glaciar y por ende mayor fusión del hielo/nieve.

Algo relevante en los dos primeros años de la estación ORE es que entre enero y agosto del 2006 la temperatura mensual se mantiene en promedio 0.4 °C por debajo de la media mensual del 2005 durante el mismo período. Sin embargo en septiembre y octubre (2006) la temperatura sube, superando el promedio del año precedente pero en diciembre en el valor mensual de temperatura 2006 nuevamente descienden con respecto al mismo mes del 2005 como se muestra en la Figura 5.5.

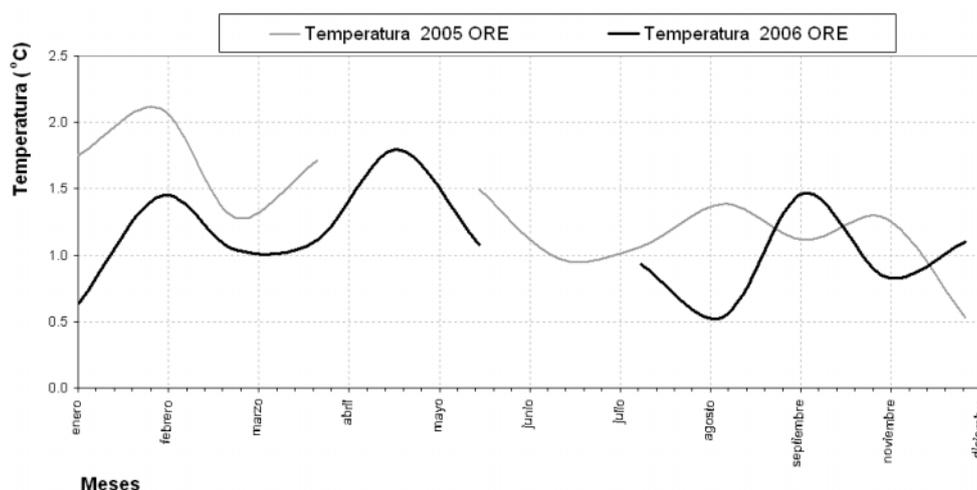


Figura 5.4 Evolución mensual de la temperatura medida sobre la morrena a 4850 metros de altitud (glaciar 15 - estación ORE).

Pasando al parámetro de humedad relativa del aire, en este informe no se presenta los valores de humedad Sama 2006 porque estos datos serán analizados en un informe

especial del glaciar Los Crespos. De este modo únicamente se realizará una presentación de los datos y una rápida crítica de los mismos, obtenidos en el glaciar 15.

Los promedios mensuales de humedad registrados durante los últimos 6 años en el glaciar 15 indicados en la Tabla 5.2 y Figura 5.4 se puede ver que durante el año 2004 parecen un poco inferiores a los del 2000, 2002 y 2003, de enero a junio, si tenemos en cuenta los datos de la estación Sama. El año 2000 presenta una evolución un poco diferente de los otros: un pico máximo en abril y un otro en septiembre y dos picos mínimo: julio y noviembre. Recordamos que este año fue marcado por La Niña. Mientras que los años 2002, 2003 y 2004 presentan una tendencia similar: un pico máximo entre marzo y abril y un segundo en noviembre, y un pico mínimo entre agosto y septiembre (Tabla 5.2).

Meses	Humedad 2000 Campbell fix	Humedad 2002 Campbell fix	Humedad 2003 Campbell fix	Humedad 2004 SAMA	Humedad 2004 Campbell fix	Humedad 2005 SAMA	Humedad 2005 ORE	Humedad 2006 ORE
enero	84		77.71	60.77	32.4	79.61	76.48	83.77
febrero	82		81.64	77.27		80.16	79.66	82.32
marzo	87	86.64	85.39	80.84		85.13	85.68	85.38
abril	89	88.3	87.22	80.13	82.12	86.34	85.60	86.76
mayo	87	85.06	81.95	78.91	74.86	78.37		75.42
junio	81	80	83.34	76.34	70.54	80.50	77.55	77.47
julio	80	75.82	73.98		76.13	70.79	68.66	
agosto	81	74.63	75.12		67	74.01	70.54	76.68
septiembre	84	72.98	68.41		77.62	70.89	69.26	75.38
octubre	80	83.81			77.66	83.31	83.11	74.25
noviembre	74	84.98	90.2	79.87	83.17	90.18	71.18	86.80
diciembre	77	83.95		78.56	73.12		83.86	84.79
Promedio anual	82.17	81.62	80.5	76.59	71.46	79.93	76.77	80.42

Tabla 5.2 Promedios mensuales y anuales de humedad registradas por las estaciones Campbel fix, Sama y Ore.

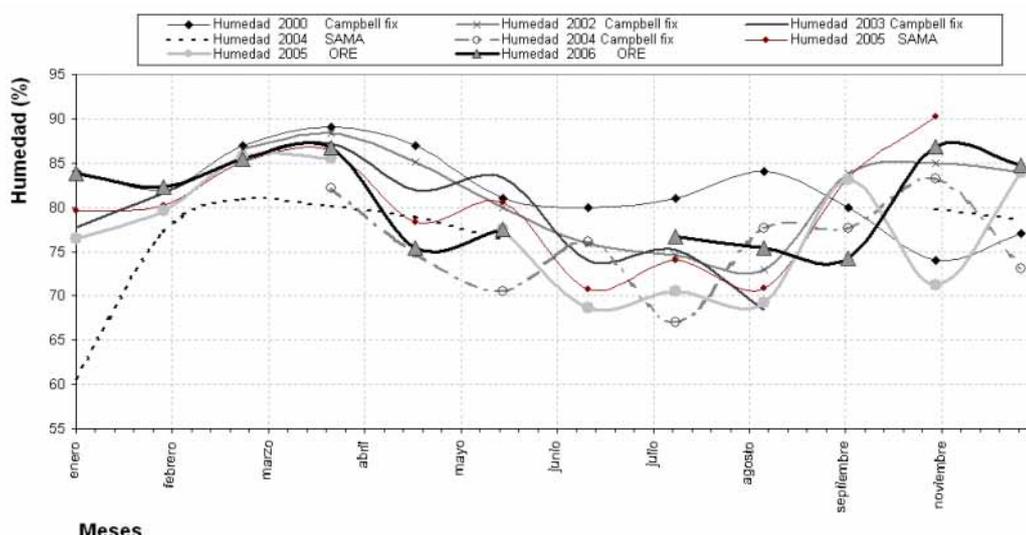


Figura 5.5. Evolución de la Humedad a nivel mensual en las estaciones Campbell-fix, Sama y Ore.

Al comparar los datos de los últimos 2 años 2005 y 2006, se puede ver que sigue la lógica inversa de la temperatura es decir si la temperatura sube la humedad baja y viceversa.

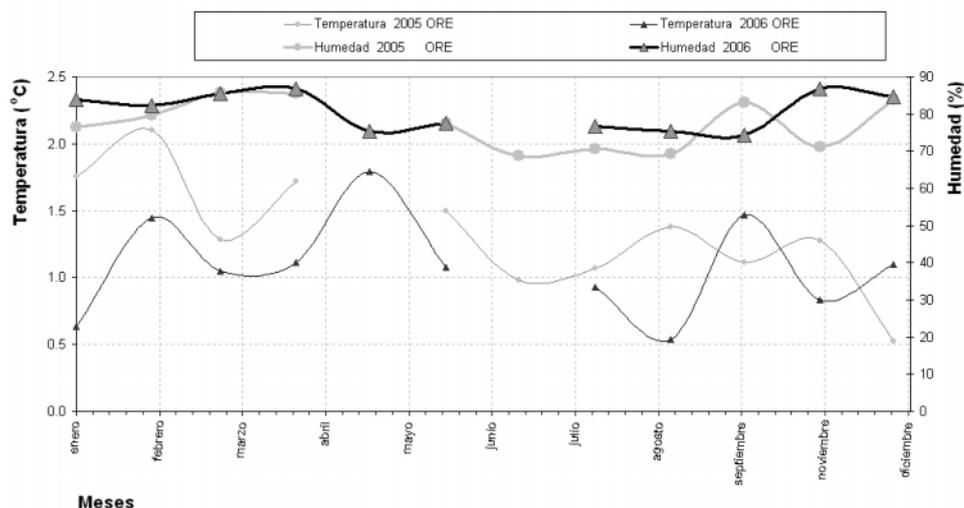


Figura 5.6 Evolución mensual de humedad relativa y temperatura medida sobre la morrena a 4850 metros de altitud (glaciar 15 - estación ORE)

Analizando los promedios extremos de los dos últimos años: En el 2005 el mínimo aparece en el mes de julio con un valor de 68.66 y el máximo en marzo con 85.68 %, pero en el 2006 los valores extremos se presentan en dos meses seguidos en octubre y noviembre con 74.24 y 86.8 % respectivamente.

5.6 Radiación Incidente glaciares 15 y 12

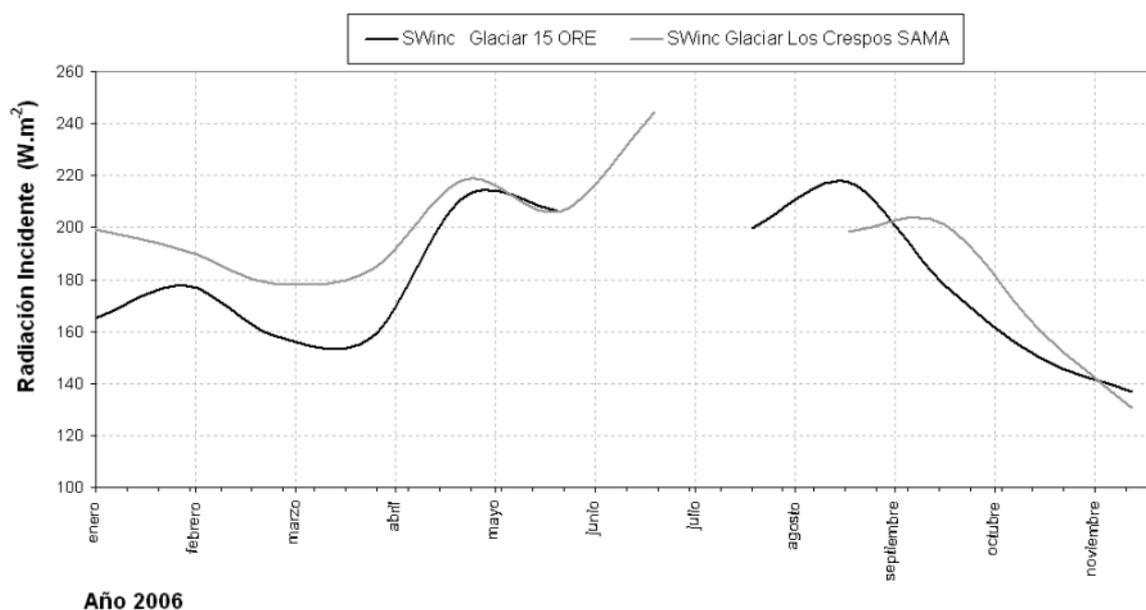
De manera muy rápida se analiza las radiaciones de onda corta incidentes medidas en el glaciar 15 (alpha) y 12 (Los Crespos). En el futuro se intentará relacionar los datos entre estos dos glaciares.

En la Tabla 5.3 y Figura 5.7, los valores de radiación mensual.

Año 2006	SWinc Glaciar 15 ORE	SWinc Glaciar Los Crespos SAMA
enero	164.18	199.78
febrero	177.51	190.89
marzo	158.37	178.42
abril	157.49	183.81
mayo	211.81	218.41
junio	205.86	206.50
julio		244.36
agosto	199.53	
septiembre	217.25	198.26
octubre	178.53	201.35
noviembre	150.03	160.55
diciembre	136.84	130.51

Tabla 5.3. Promedios mensuales de radiación neta para el año 2006 a 4950 m (Sama) y 4900 m (Campbell)

Las radiaciones parecen seguir la misma tendencia en los dos glaciares aunque la mayor parte del año los datos en la estación ORE se mantienen inferiores con respecto a la SAMA, únicamente entre julio y septiembre se observa que la radiación medida en el glaciar 15 supera al del 12.



Año 2006
 Figura 5.7. Promedios diarios de la radiación neta del año 2006.
 (Estaciones Glaciar 12 Sama y Glaciar 15 ORE)

En desfase entre las dos radiaciones pueden deberse a la perturbación provocada por el pasaje de nubes que atenúan las mediciones: Durante las visitas de rutina se ha podido observar que las nubes llegan desde la amazonía (noreste) estas chocan contra el cuerpo del Antisana formando un pequeño anticiclón y por la configuración del volcán los flujos de aire/humedad pasan en su mayor parte rodeando al glaciar 15 lo que implica que el cielo del glaciar 12 puede tener menos cobertura de nubes.

Otro factor que puede afectar las mediciones es la diferencia entre los sitios de medición ya que una superficie glaciar puede incrementar el valor de radiación por las múltiples reflexiones en las paredes de hielo/nieve que rodean a la SAMA, Además hay que tomar en cuenta la diferencia de precisión en la medición en los sensores: La ORE cuenta con un Radiómetro (CNR1-Kipp), mientras que la SAMA esta equipada con un par de piranómetros (LI-COR)

Comparando los datos en la Figura 5.8, la correlación de $R^2 = 0.66$ es bastante buena si tomamos en cuenta la distancia y diferencia de ambiente que existe entre las dos estaciones sin embargo para poder extrapolar los datos de un lugar a otro es necesario buscar factores que permitan de corregir la radiación en función de la nebulosidad, temperatura velocidad del viento, etc., y de esta manera intentar mejorar la correlación entre las dos estaciones.

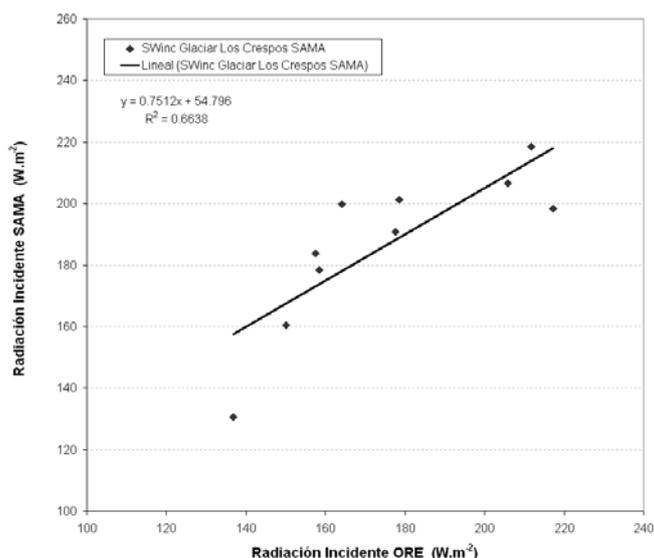


Figura 5.8. Correlación a nivel diario entre las estaciones ORE y SAMA para el año 2006

A nivel de media hora se observa que la correlación baja hasta $R^2 = 0.57$ en la Figura 5.9, sin embargo la pendiente sube lo que quiere decir que a nivel de media hora la relación podremos obtener mejores resultados aplicando las correcciones en función de las otras variables meteorológicas.

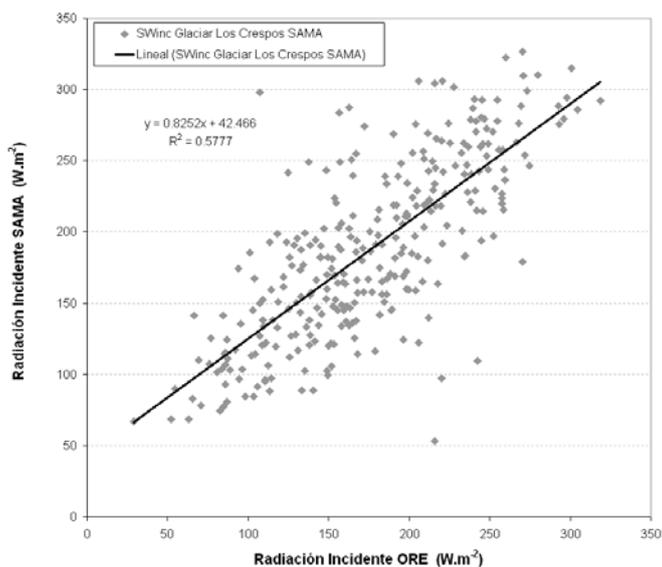


Figura 5.9. Correlación entre los promedios diarios de la radiación incidente año 2006 estaciones ORE y SAMA.

Con coeficientes de correlación inferiores a $R = 0.65$ en las estaciones Campbell y Sama se puede ver que no existe una buena sincronización en los datos del año 2006. No podemos definir una tendencia marcada para la evolución de la radiación incidente a partir de los promedios diarios sobre el primer año de medición por lo que se hace necesario continuar con las mediciones en paralelo en los dos glaciares.

5.7 Velocidad del viento

Los promedio mensuales de velocidades del viento medidas en los glaciares 15 y 12, están presentados en la Figura 5.10, Figura 5.11 y Tabla 5.4 tienen una buena correspondencia que se demuestra con el coeficiente de correlación $R^2 = 0.84$ de este modo la velocidad de viento puede convertirse en una herramienta para corregir el resto de parámetros, pero se deberá observar el comportamiento de las velocidades del viento con diferentes pasos de tiempo.

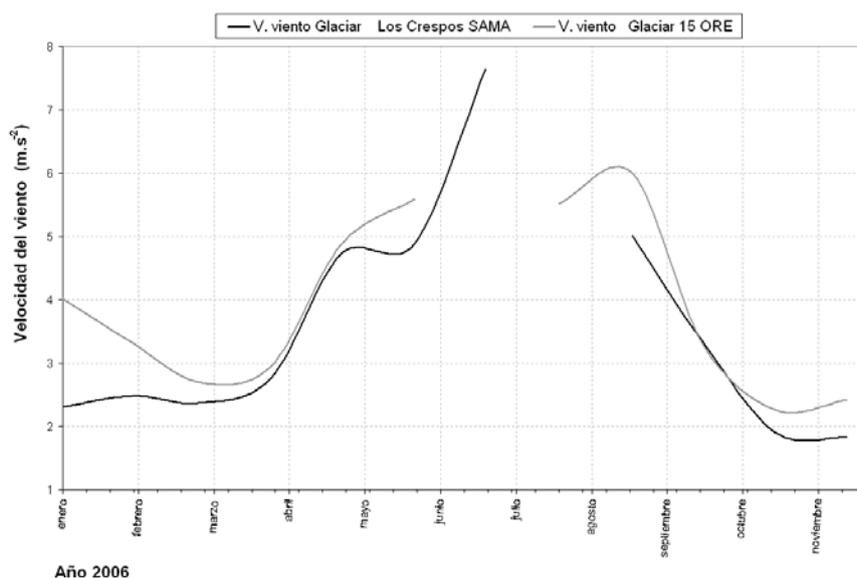


Figura 5.10. Evolución de la velocidad del viento en la estación SAMA Y ORE a nivel mensual año 2006

Date	V. viento Glaciar Los Crespos SAMA	V. viento Glaciar 15 ORE
enero	2.30	4.06
febrero	2.48	3.34
marzo	2.38	2.71
abril	2.75	2.93
mayo	4.73	4.87
junio	4.89	5.59
julio	7.64	
agosto		5.52
septiembre	5.01	6.00
octubre	3.34	3.31
noviembre	1.90	2.26
diciembre	1.83	2.42

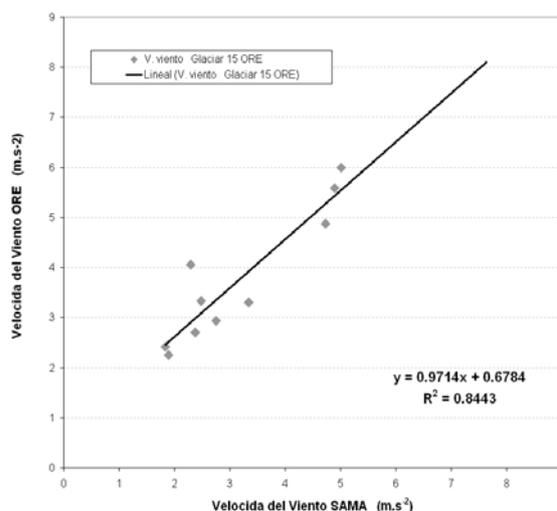


Tabla 5.4. y Figura 5.11. Promedios y correlación de a velocidad del viento SAMA y ORE a nivel mensual año 2006

Los vientos más fuertes se producen en verano (entre junio y agosto, que corresponden a los vientos fuertes del este (easterlies) cuyo eje se encuentra sobre la línea ecuatorial.

5.7.1 Dirección del viento a 4900 m

Los anemómetros instalados en cada una de las estaciones nos permiten conocer la procedencia de los flujos de viento y con un análisis detallado podremos saber la dirección privilegiada así como también la menos favorecida. para la llegada de los vientos.

En los glaciares 15 y 12 para el año 2006, tomamos como referencia los anemómetros de las estaciones ORE y SAMA a partir de estos puntos trazamos dos círculos imaginarios divididos en espacios de 36 grados cada uno. De esta manera podemos graficar la rosa de los vientos como se indica en la Figura 5.12.

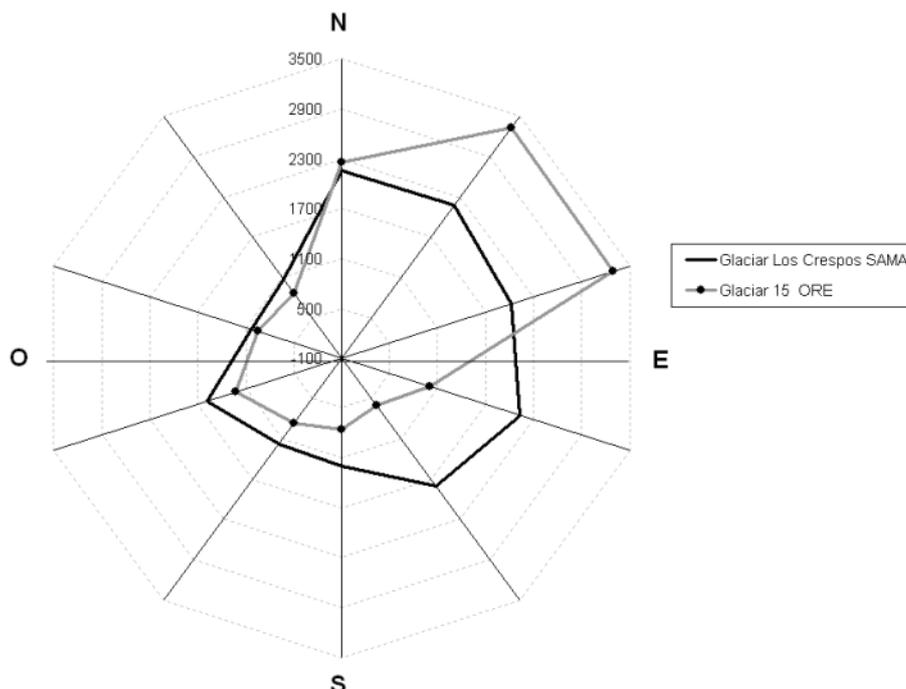


Figura 5.12 Rosa de los vientos para en los glaciar 15 y 12 con muestras de cada media hora

En el glaciar 15 la dirección del viento la distribución de los vientos no varía mucho ya que la dirección privilegiada es el Noreste mientras que el cuadrante suroeste es el menos favorecido. En el glaciar 12 la distribución cambia un poco debido al hecho que el viento se presenta en mayor en cantidad en los cuadrantes Noreste y Sureste y el menos favorecido es el Noroeste.

Los flujos de vientos durante la mayor parte del año provienen del amazonía además se debe tomar en cuenta que el cuerpo del glaciar es capaz de producir vientos catabaticos los cuales descienden desde la parte alta hacia el pie del glaciar. Estos dos factores inciden en el predominio del viento proveniente del Este es decir entre 0 y 180 grados indicados en la Tabla 5.5

Dirección del viento (grados)	Glaciar Los Crespos SAMA	Glaciar 15 ORE
0>Dv<36	2147	2253
36>Dv<72	2169	3319
72>Dv<108	2020	3286
108>Dv<144	2134	993
144>Dv<180	1799	605
180>Dv<216	1191	762
216>Dv<252	1169	864
252>Dv<288	1581	1221
288>Dv<324	1014	948
324>Dv<360	1069	871

Tabla 5.5 Ocurrencia del viento cada 36 grados calculados a partir de muestras de cada media hora Estaciones ORE Y SAMA).

En el futuro, utilizando la dirección del viento se puede clasificar los vientos, locales regionales, catabaticos y anabaticos en las dos estaciones.

CAPÍTULO 6

6. Hidrología

Autor Principal: Ing. Cristian Loyo

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

6.1	Estación Los Crespos	83
6.1.1	Equipos de medición	84
6.1.2	Serie de datos	85
6.1.3	Curva de calibración	87
6.1.4	Problemas en las mediciones	88
6.1.5	Caudales calculados	91
6.2	Estación Humboldt	96
6.2.1	Equipos de medición	97
6.2.2	Recopilación de datos	99
6.2.3	Serie de datos	99
6.2.4	Curva de calibración	102
6.2.5	Problemas en las mediciones	103
6.2.6	Caudales calculados	105

El presente capítulo muestra los resultados hidrológicos del año 2006 de las estaciones hidrológicas Los Crespos y Humboldt.

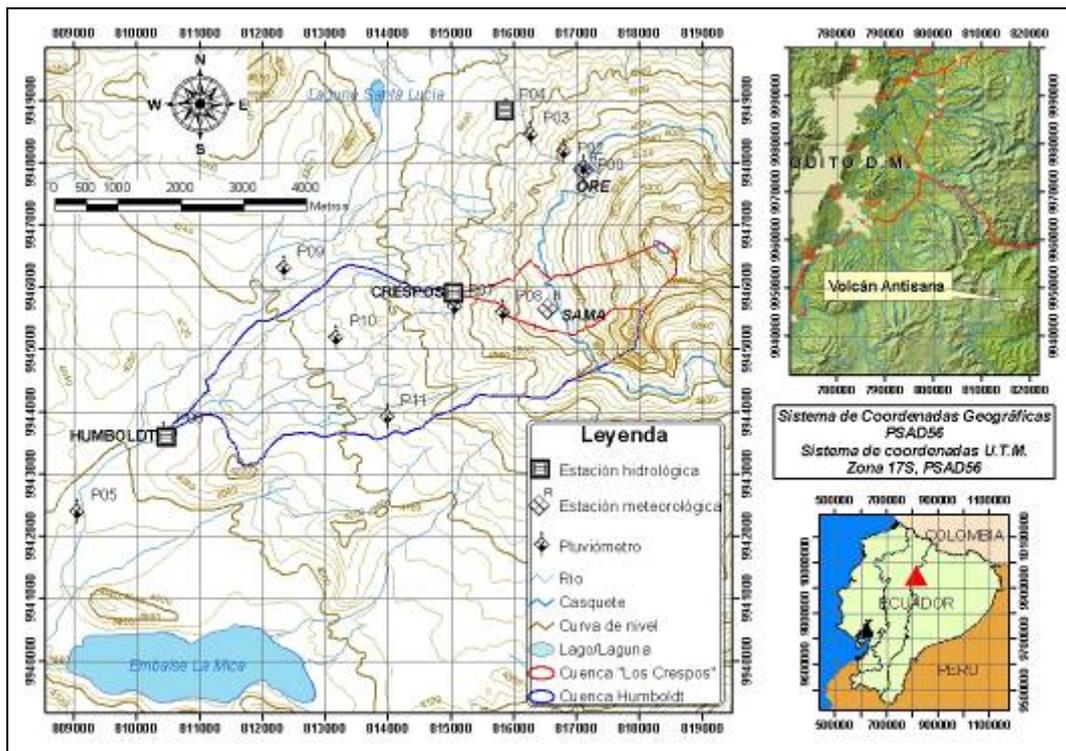


Figura 6.1. Mapa de ubicación de las estaciones hidrológicas y delimitación de las cuencas

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 Estación Los Crespos

Superficie drenada:
2,4 Km²

Superficie Glaciar:
1,6 Km² (67%)

Altitud:
4521m

Funcionamiento:
2003-2006

Sección de control:
Vertedero trapezoidal

Captor actual:
Orphimedes OTT



Figura 6.2. Foto de la 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 U.T.M.² 815.058E y 9'945.918N, a una altitud de 4.521 m.s.n.m. Esta estación drena un área de 2,4 Km², en donde, 1,6 Km² corresponde a cubierta glaciar, lo que representa el 66% 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 1987 producido por la rotura de la laguna de origen glaciar o subglaciar 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, la cual fue desinstalada en 2006. Estas dos estaciones en Los Crespos funcionaron de manera simultánea para permitir correlacionar los datos obtenidos, además, la estación "Crespos río arriba"

² Las coordenadas se presentarán en el Sistema de Coordenadas U.T.M. PSAD1956 Zona 17S, a menos que se indique lo contrario.

proveyó 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 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.



Figura 6.3. Foto del vertedero trapezoidal y regleta. Estación Los Crespos

6.1.1 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.



Figura 6.4. 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. En agosto de 2006 se instaló un segundo sensor del mismo tipo y de la misma marca para asegurar las mediciones.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA SONDA DE PRESIÓN ORPHIMEDES 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 ½ dígitos, altura de símbolos: 12 mm.
Intervalo de lectura	5, 15, 20, 30 min, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 h
Interface	IrDA (Tecnología Infrarroja)
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 De -5 a +50 °C.

Tabla 6.1 Datos técnicos del Orphimedes de marca OTT

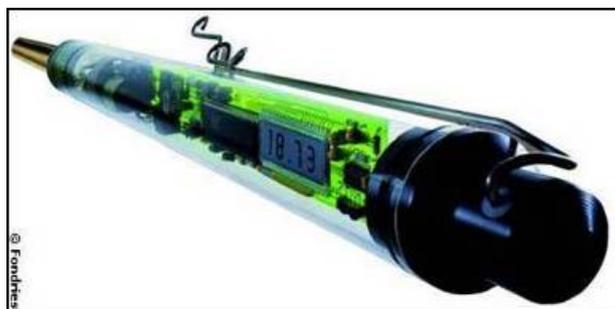


Figura 6.5. Limnígrafo Orphimedes de marca OTT

6.1.2 Series de datos

En el proyecto GREATICE se tiene disponible para la estación Los Crespos los siguientes datos para el periodo 2003 - 2006.

Las series de datos existentes en la estación Los Crespos

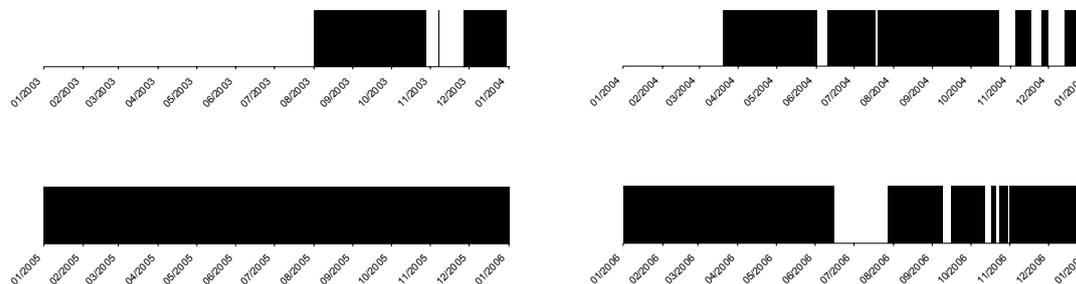


Figura 6.6. Serie de datos – Estación Los Crespos

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.

En el informe del año 2005 se presentan en detalle las correcciones realizadas a las series de datos de los años 2003 a 2005.

En la actualidad, el sistema de medición de arriba esta 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 Hydracces en el captor **C07_Crespos_I-Defi_Cotas instantáneas definitivas desde 2003**.



Figura 6.7. Ubicación de los datos de cotas corregidas de Los Crespos en Hydracces

CORRECCIONES REALIZADAS A LOS DATOS DE LA ESTACIÓN LOS CRESPOS

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 encuentran datos de cotas para este periodo.
	FEB	Se encuentran 4 puntos de control para la sonda Chloé (12, 19, 19,27) pero no se encuentran 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.]; $R^2 = 93 \%$.
	AGO	Se eliminan cotas menores a 4 cm. Serie de datos dudosos.
	SEP- OCT	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.
	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.

CORRECCIONES REALIZADAS A LOS DATOS DE LA ESTACIÓN LOS CRESPOS

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.
2006	OCT	Orphimedes se elimina los datos desde 05/10/2006 hasta 11/10/2006 en los que se presentaban un desfase y 2 crecidas fuertes en el mismo día.

Tabla 6.2 Correcciones realizadas en la estación Los Crespos de 2003 – 2006

6.1.3 Curva de calibración

Para esta estación con los datos obtenidos en el campo se ha definido la siguiente Curva de calibración:

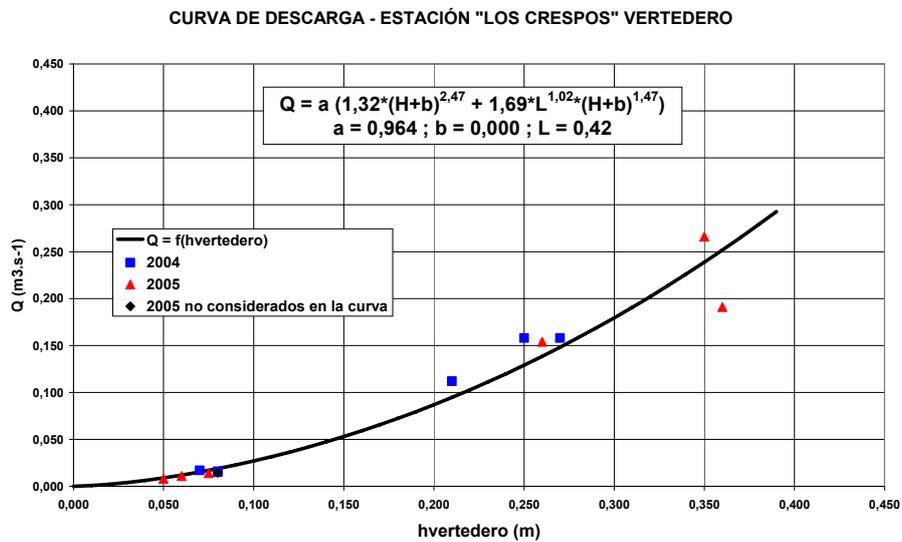


Figura 6.8. Curva de calibración de la estación Los Crespos vertedero (Villacís-Garcés)

Los datos de los caudales instantáneos, diarios y mensuales se encuentran en la base de Hydracces en los captores que se encuentran marcados en la figura 6.9

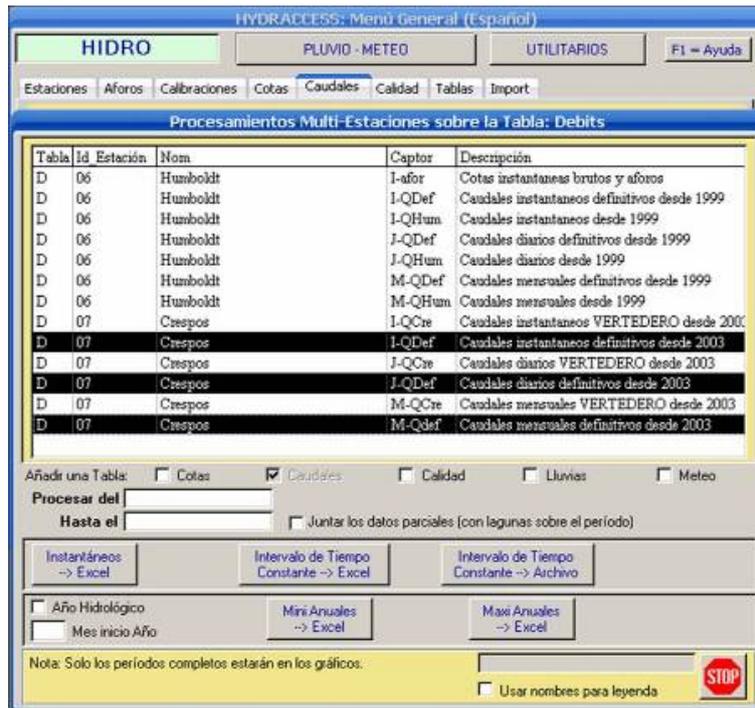


Figura 6.9. Ubicación de los datos corregidos de la estación Los Crespos en Hydraccess

6.1.4 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 total o parcialmente la lámina de agua en la sección de control.

- Factores humanos

La diversidad del personal que opera la estación 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								
Coordenadas: 815058E 9945918N								
Altitud: 4.521 m.s.n.m.							Prom:	134,6
Área de Drenaje: 2,44 Km ²							Máx:	400,7
							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

6.1.5 Caudales calculados

Caudales medios diarios – Estación hidrológica Los Crespos 2006

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

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	0,033	0,06	0,044	0,021	0,092	0,041		0,017	0,05	0,087	0,037	0,063
2	0,032	0,084	0,096	0,033	0,093	0,049		0,02	0,056	0,104	0,053	0,078
3	0,032	0,087	0,072	0,041	0,1	0,055		0,021	0,039	0,104	0,074	0,058
4	0,02	0,056	0,081	0,052	0,069	0,044		0,022	0,018	0,101	0,068	0,045
5	0,023	0,059	0,048	0,033	0,058	0,041		0,034	0,015		0,052	0,063
6	0,019	0,048	0,092	0,029	0,062	0,03		0,042	0,017		0,081	0,06
7	0,027	0,059	0,068	0,042	0,058	0,021		0,059	0,024		0,049	0,07
8	0,034	0,045	0,053	0,039	0,076	0,027		0,053			0,038	0,045
9	0,055	0,065	0,042	0,05	0,064	0,031		0,052			0,054	0,039
10	0,043	0,042	0,048	0,029	0,052	0,026		0,056			0,063	0,037
11	0,026	0,068	0,064	0,037	0,061	0,018		0,056			0,044	0,047
12	0,039	0,07	0,056	0,028	0,058	0,021		0,047			0,053	0,022
13	0,06	0,073	0,042	0,027	0,059	0,029		0,052			0,028	0,016
14	0,041	0,056	0,03	0,032	0,057	0,027		0,051			0,056	0,019
15	0,052	0,079	0,048	0,025	0,066			0,033			0,051	0,02
16	0,038	0,102	0,047	0,033	0,049			0,03	0,072		0,043	0,037
17	0,034	0,112	0,037	0,032	0,062			0,04	0,076		0,043	0,048
18	0,029	0,074	0,034	0,045	0,06			0,047	0,041		0,035	0,081
19	0,047	0,054	0,041	0,056	0,048			0,049	0,045		0,035	0,063
20	0,031	0,037	0,048	0,055	0,061			0,052	0,059		0,039	0,069
21	0,082	0,048	0,048	0,071	0,047			0,032	0,048		0,052	0,043
22	0,073	0,082	0,058	0,07	0,041			0,046	0,057		0,058	0,05
23	0,069	0,081	0,048	0,087	0,057			0,049	0,054		0,059	0,068
24	0,089	0,057	0,056	0,092	0,055			0,045	0,052		0,072	0,083
25	0,105	0,067	0,03	0,071	0,059			0,045	0,078		0,071	0,057
26	0,106	0,088	0,041	0,078	0,063			0,027	0,041		0,065	0,046
27	0,094	0,07	0,052	0,051	0,079			0,016	0,045		0,053	0,072
28	0,071	0,037	0,047	0,079	0,066			0,023	0,064		0,062	0,054
29	0,059		0,059	0,046	0,068		0,01	0,027	0,068		0,068	0,062
30	0,05		0,031	0,091	0,079		0,014	0,022	0,082		0,078	0,092
31	0,057		0,022		0,067		0,015	0,05				0,088
Med	0,051	0,066	0,051	0,049	0,064			0,039	0,05		0,054	0,055
Min	0,019	0,037	0,022	0,021	0,041			0,016	0,015		0,028	0,016
Max	0,106	0,112	0,096	0,092	0,1			0,059	0,082		0,081	0,092

Tabla 6.4. Caudales diarios – Estación Los Crespos 2005

Mini Instantáneo = 0,002 m³/s --> 30/07/2006 08:30 Maxi Instantáneo = 0,369 m³/s --> 26/01/2006 16:15
 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 "Los Crespos"
2006

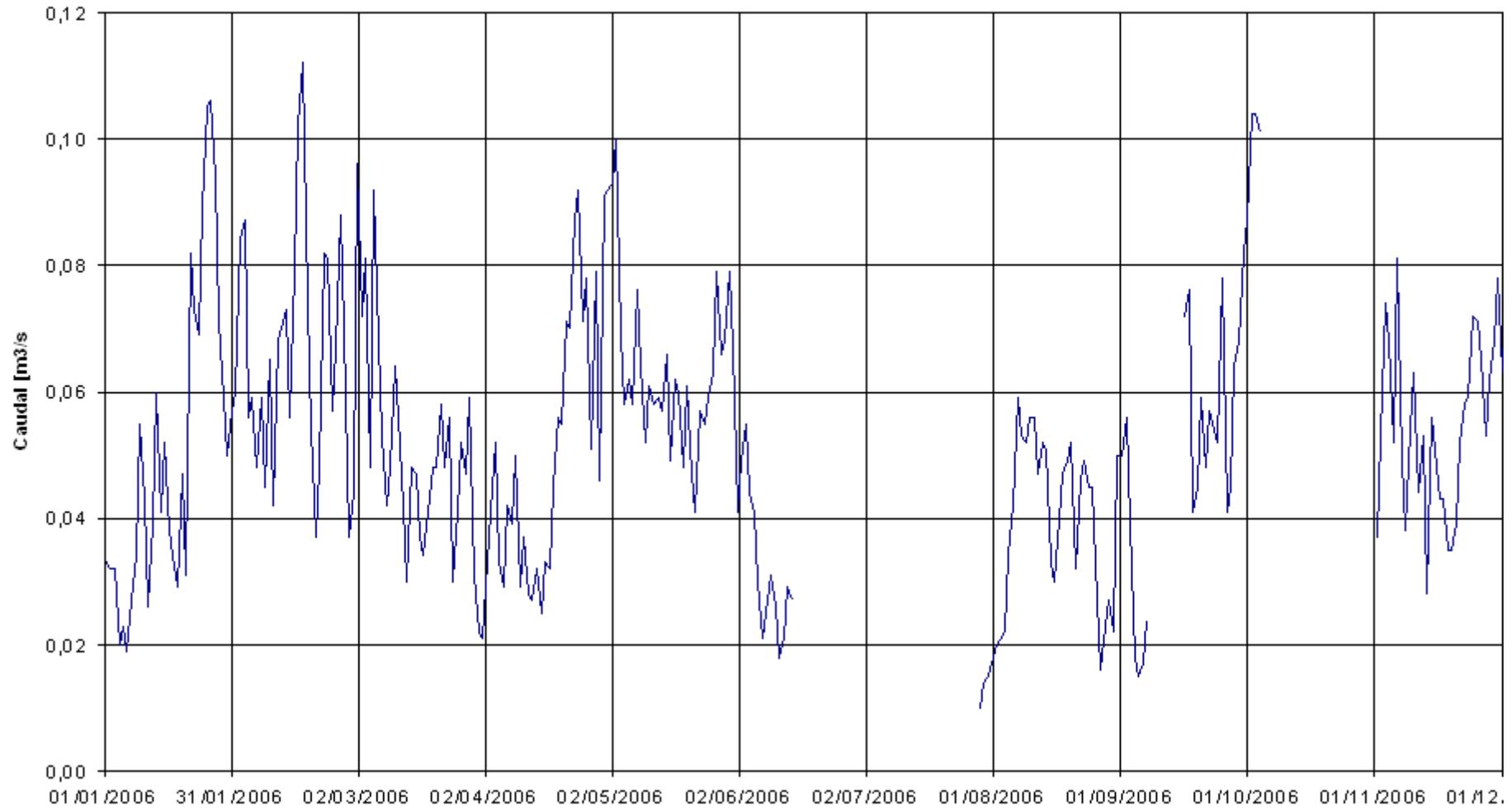
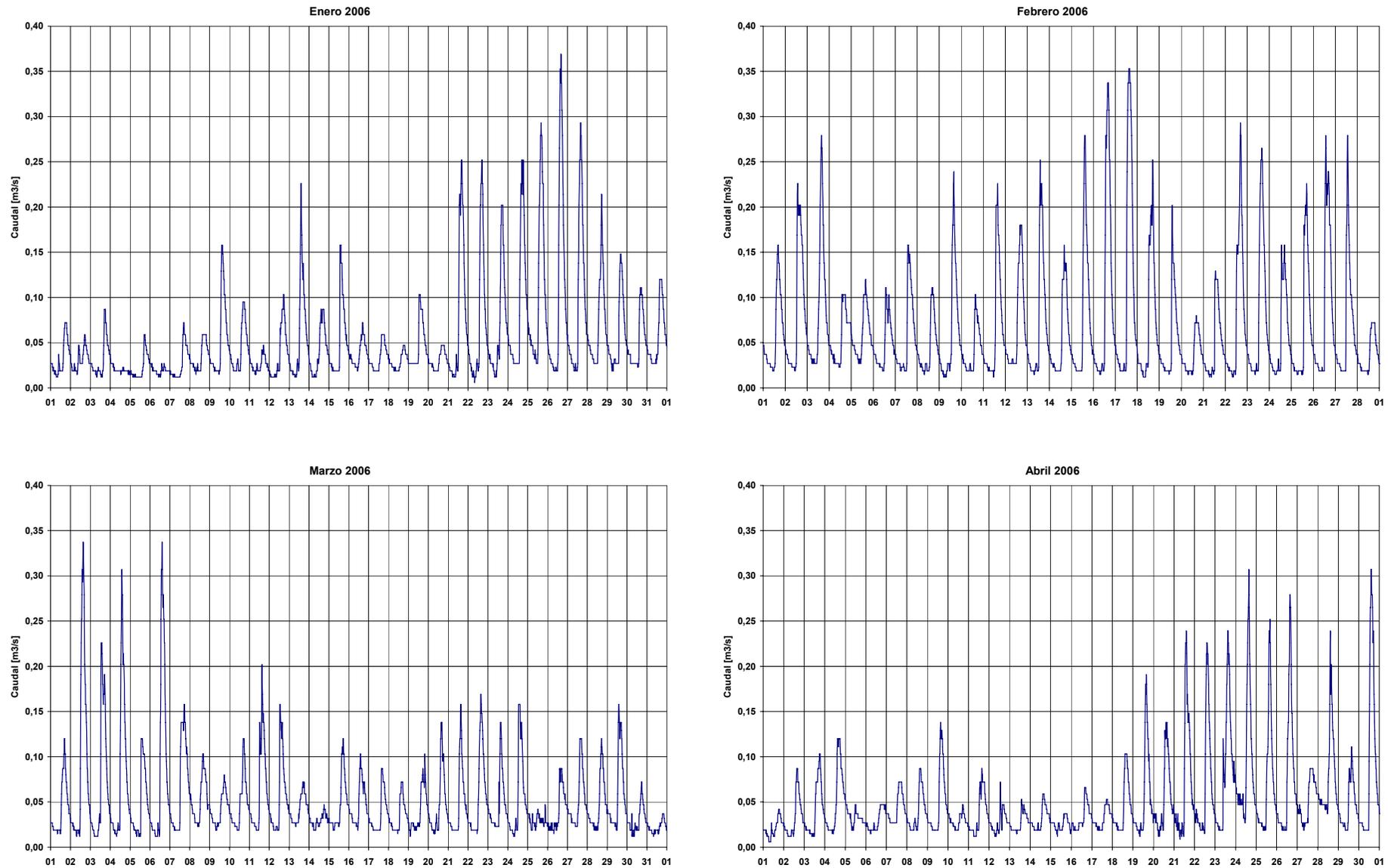
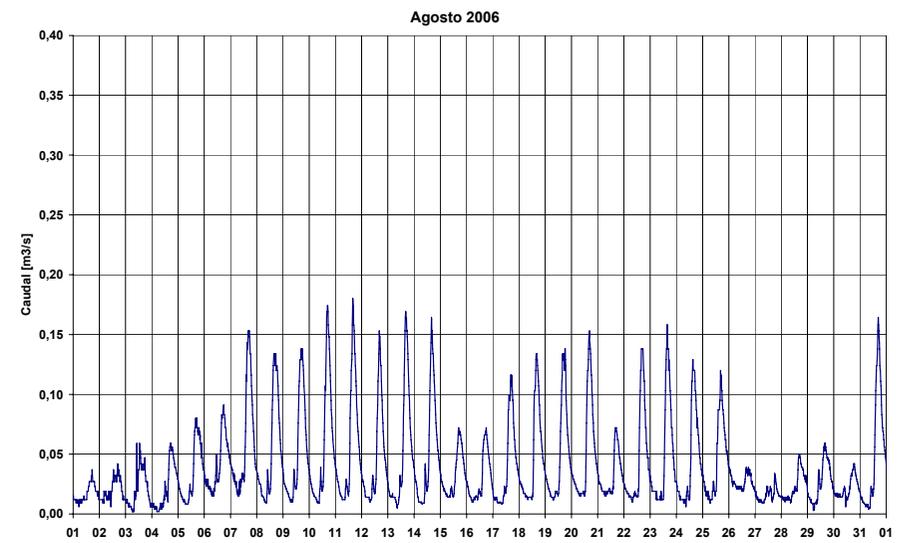
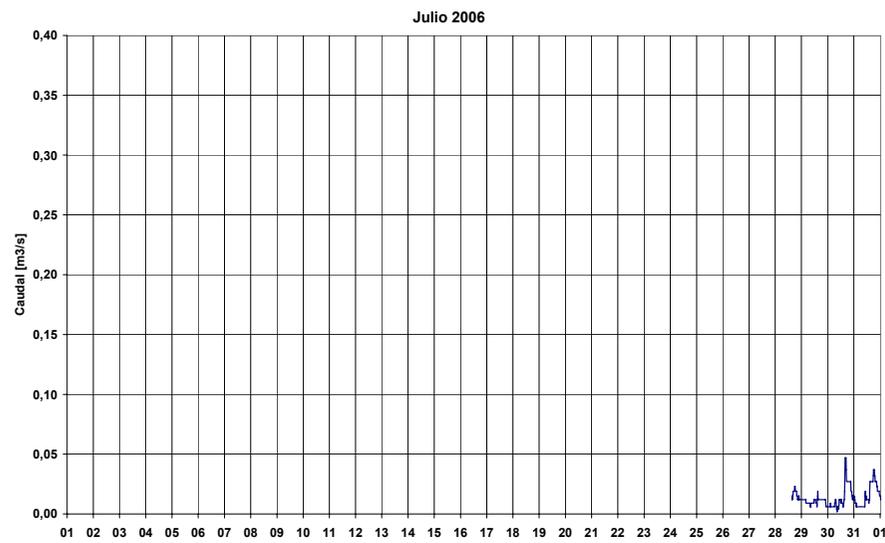
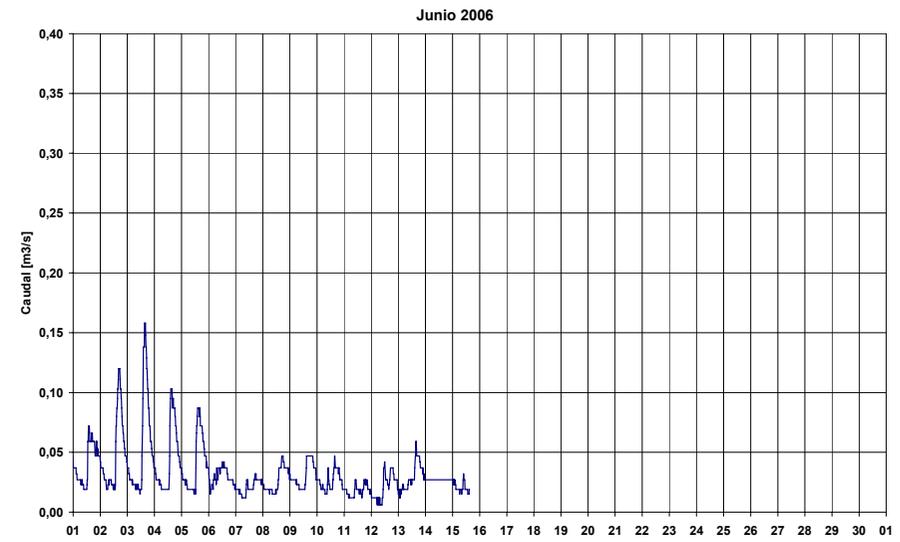
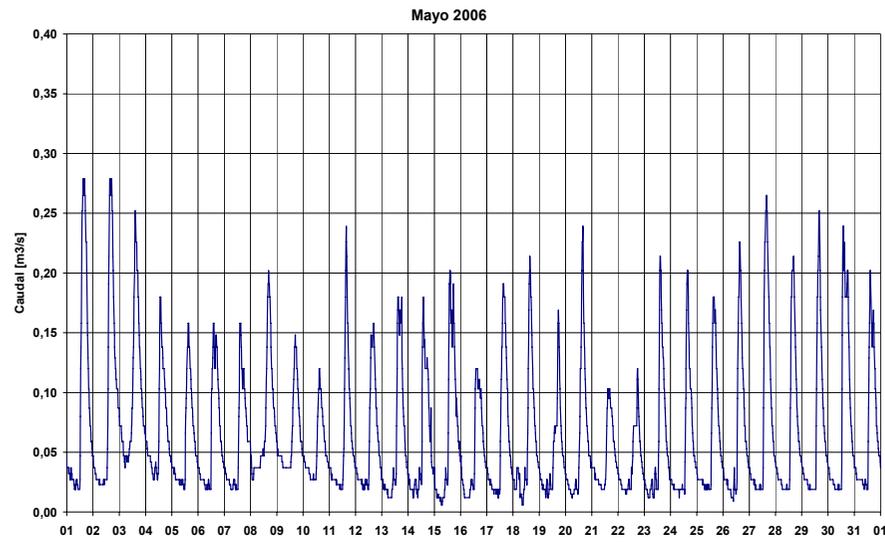
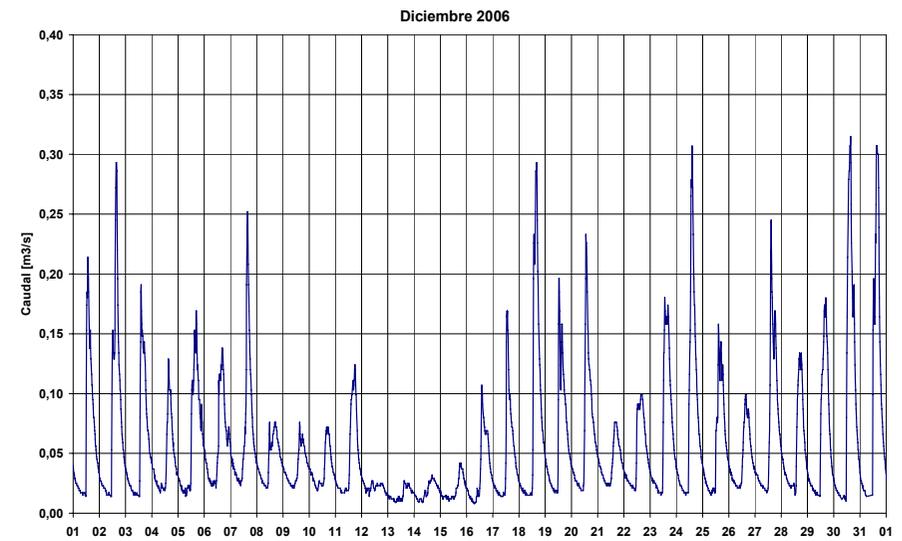
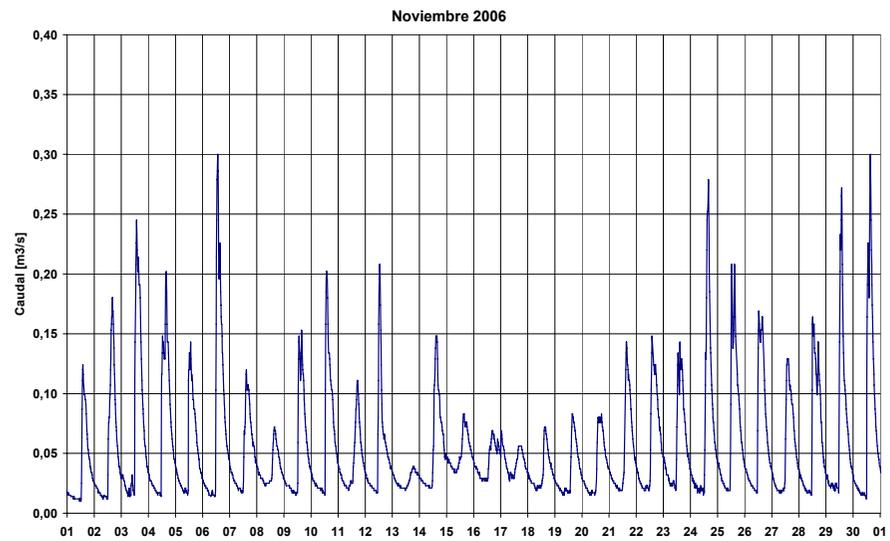
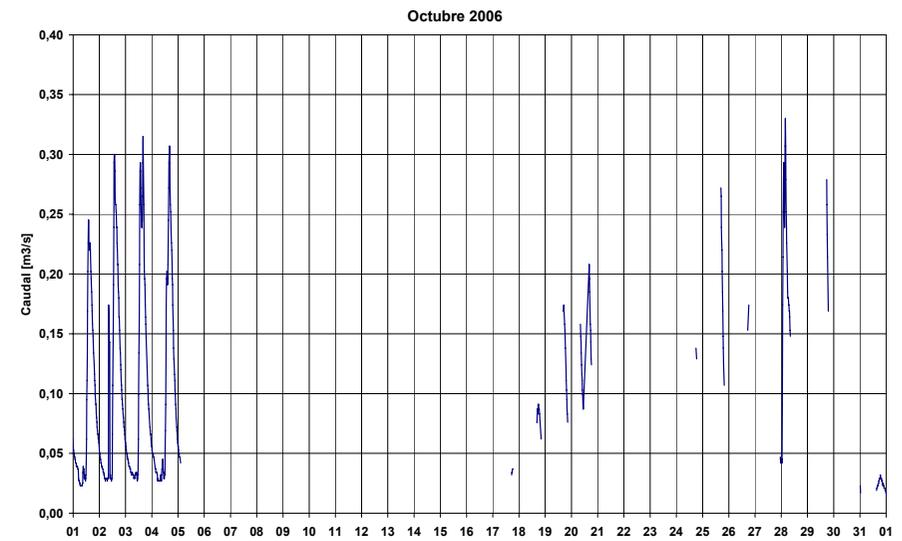
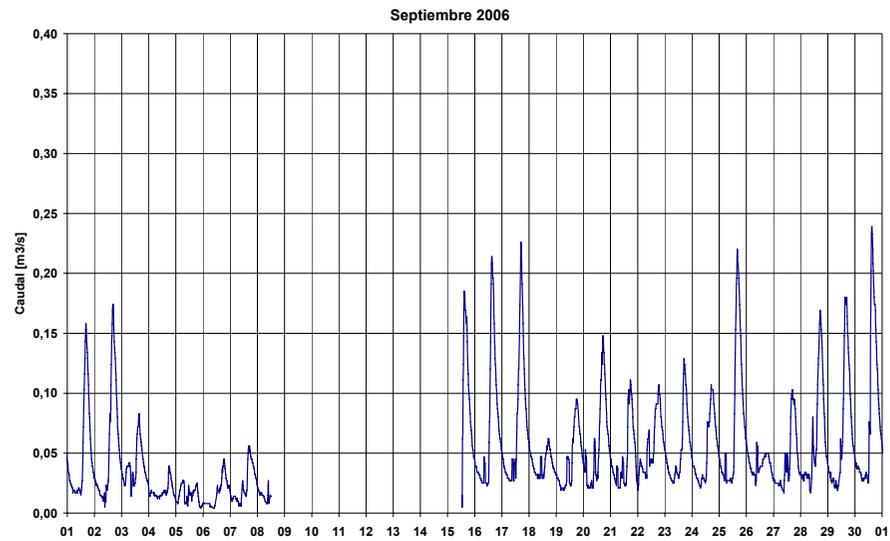


Figura 6.10. Caudales diarios en la estación hidrológica Los Crespos vertedero para el 2006

Figura 6.11. Caudales instantáneos de cada mes medidos por la estación hidrológica Los Crespos para el 2006







6.2 Estación Humboldt

Superficie drenada:
14,20 Km²

Superficie Glaciar:
1,97 Km² (14%)

Altitud:
4010m

Funcionamiento:
1999-2006

Sección de control:
Canal rectangular con
caída abajo

Captor actual:
Nimbus OTT



Figura 6.12. Foto de la estación hidrológica Humboldt

La estación hidrológica Humboldt está ubicada en la parte baja de la cuenca del río Antisana, en las coordenadas U.T.M. 810.477E y 9'943.609N, a una altitud de 4.010 m.s.n.m. 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.

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 contribuye también a 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.

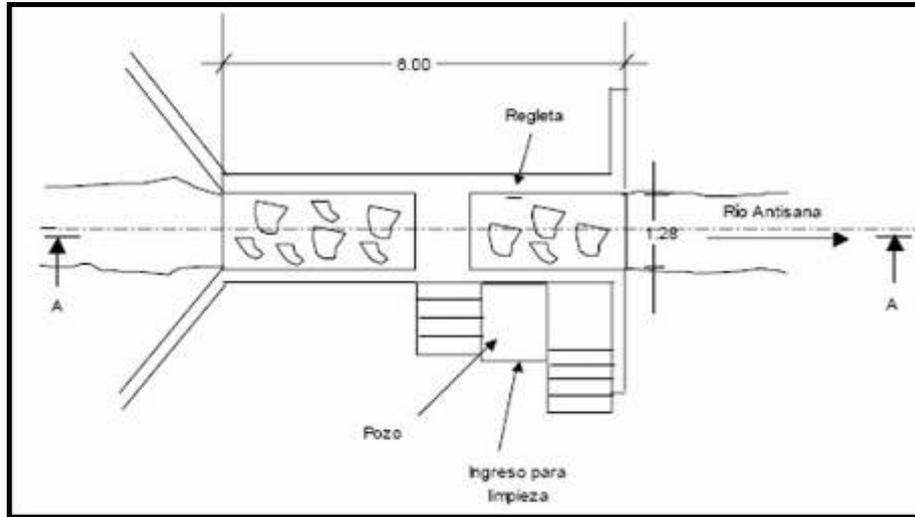


Figura 6.13. Plano de la estación hidrológica Humboldt
Fuente: EMAAP-Q 2004



Figura 6.14. 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.

6.2.1 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 tipo Chloé de la marca SERPE/ELSYDE, 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.

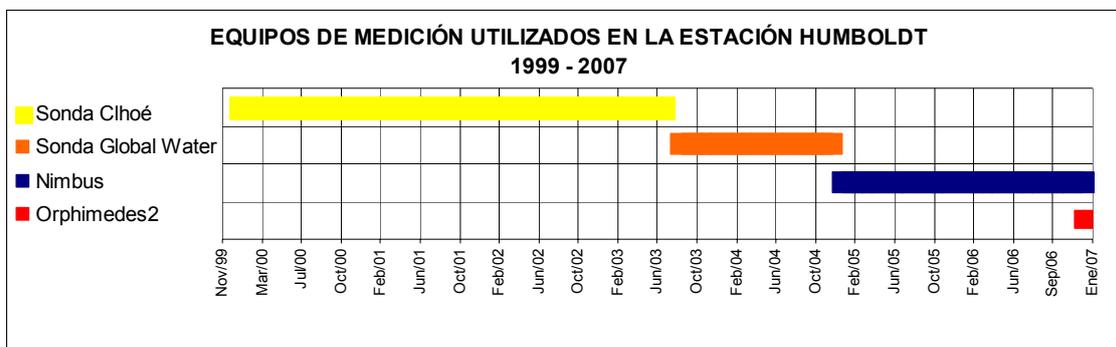


Figura 6.15. Cronograma de los equipos de medición utilizados en la estación Humboldt

En la actualidad, “Nimbus” esta funcionando en paralelo con un Orphimedes para asegurar la continuidad de las mediciones.

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

Este equipo esta 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.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA SONDA DE PRESIÓN NIMBUS OTT

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	de Intervalo regulable de 5 min a 24 horas
Interfase	Conexión a dispositivos externos, IrDA (Tecnología Infrarroja)
Alimentación	Externa de 12V vía paneles solares, batería y regulador
Dimensiones	230 x 100 x 60 mm (L x W X H)
Rango de temperaturas	de De -10 a +60 °C

Tabla 6.5 Datos técnicos de Orphimedes de marca OTT



Figura 6.16. Detalle del equipo Limnógrafo Nimbus de marca OTT

6.2.2 Recopilación de datos

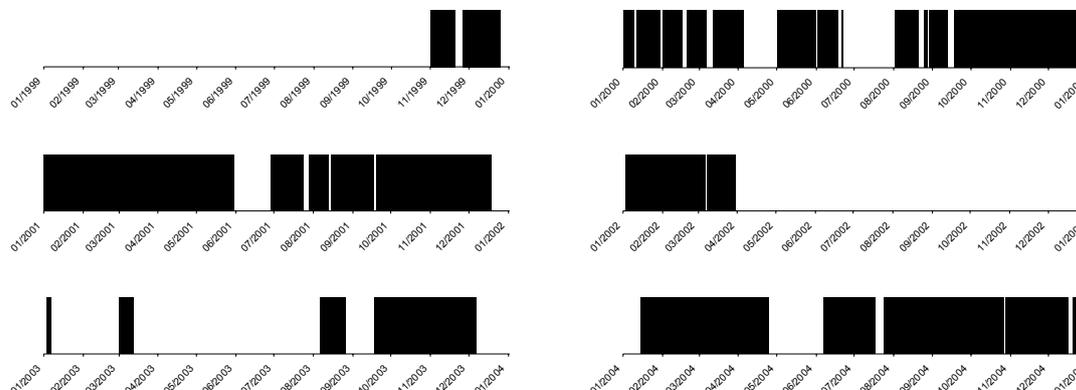
La recopilación de datos de cotas de esta estación hidrológica ha procedido principalmente de dos fuentes: los registros de los sensores electrónicos y los rollos limnigráficos, estos últimos han sido digitalizados.

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. En ambas estaciones hidrológicas cada vez que se realiza una inspección de campo se toma cuidadosamente lectura del nivel del agua en la regleta que esta en el vertedero, la lectura que en ese mismo instante se registra en el equipo de medición, la hora y la fecha; esto da un valor puntual en hidrograma llamado Punto de Control, y permite comprobar que los datos registrados por los equipos de medición sean correctos.

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

6.2.3 Series de datos

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



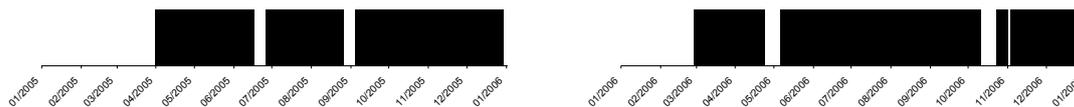


Figura 6.17. Serie de datos existentes en la estación Humboldt

Los espacios en negro corresponden a las series de datos de cotas existentes en la estación Humboldt, en esta serie se realizaron algunas correcciones previas a la realización del presente estudio, correcciones que se muestran en detalle en el informe 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.

Para algunos meses se eliminaron datos que evidentemente estaban erróneos debido a variaciones abruptas en la serie. El figura 6.18 indica un ejemplo de esta situación.

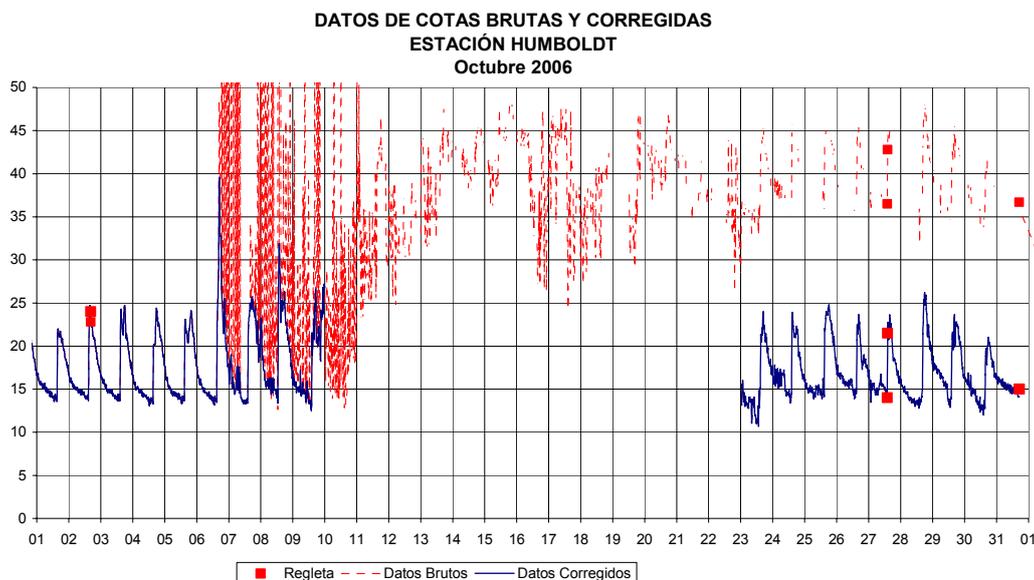


Figura 6.18. Datos de cotas brutas y corregidas de la estación Humboldt. Octubre 2006

Para diciembre de 2006 los datos de la sonda Nimbus se desfasaron 4 cm., situación que fue confirmada por los controles de campo. Por lo que, a los datos brutos se les restó 4 cm.

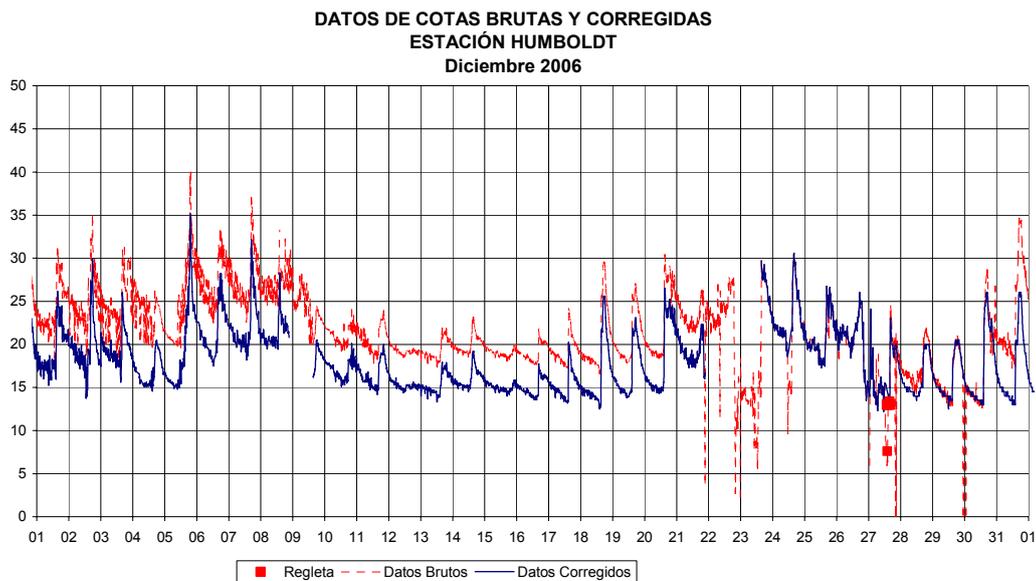


Figura 6.19. Datos de cotas brutas y corregidas de la estación Humboldt. Diciembre 2006

Los datos corregidos se encuentran en la base de Hydracces en el captor C06_Humboldt_I-Defi_Cotas instantáneas Definitivas desde 2003.

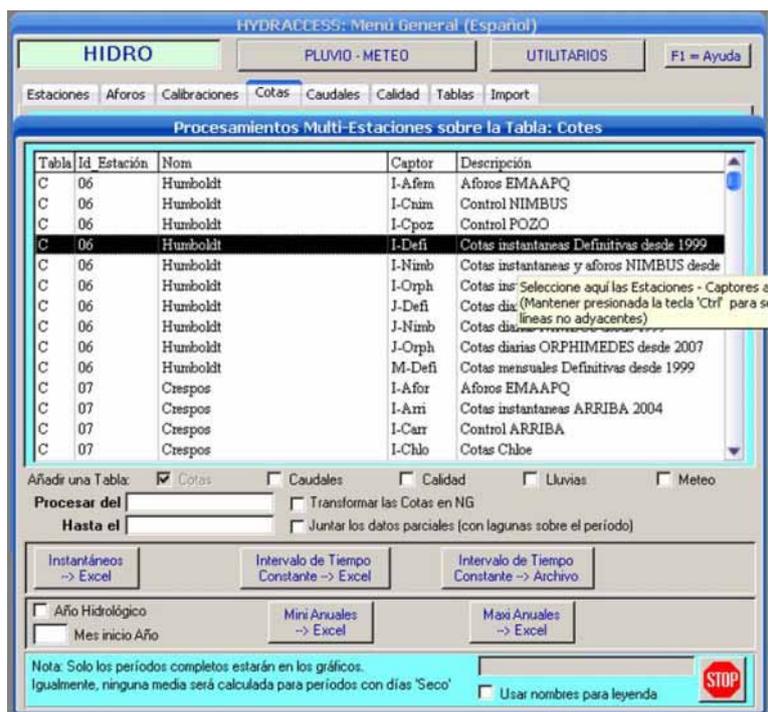


Figura 6.20. Ubicación de los datos de cotas corregidas de Humboldt en Hydracces

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

2006	FEB	Desde el 5 al 26 hay un desfase que no es posible corregir debido a que solo hay 2 puntos de control, además, es muy probable que la descalibración sea progresiva. Se podría utilizar los datos climatológicos a fin de justificar una posible corrección.
	OCT	Del 6-9 se eliminan los datos que aumentan abruptamente. Se eliminan los datos del 10-22, debido a que no se pudo reconstruir esta serie. Desde el 23 se resta 21,8cm de las cotas desfasadas y se eliminan datos erróneos (nuevos datos coinciden con los controles).
	NOV	Desde el día 30 a las 15:00 se reducen 4cm y se corrigen los saltos abruptos
	DIC	Desde 30/11 15:00 hasta 27/12 la serie de datos esta desfasada, por lo que, se reducen 4cm con la finalidad de igualar la cota base con periodos anteriores y posteriores y se corrigen los saltos abruptos. A partir del 27 se reemplazan los datos con la serie de Orphimedes3

Tabla 6.6 Resumen de las correcciones realizadas en la estación Humboldt

6.2.4 Curva de calibración

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 limnógrafo y de realizar aforos. (Cáceres, B., 2004)

Para obtener la Curva de calibración la EMAAP-Q realizó 145 aforos entre 152 l/s y 1756L/s. Lamentable solo hay un aforo arriba de 624l/s (1756l/s el 23 de mayo de 2000), pero el caudal máximo fue estimado en solamente 3700l/s el 23 de mayo de 2000. El 10% de los aforos son superiores a 456l/s mientras que 90% son superiores a 170 l/s. (Cáceres, B., 2004)

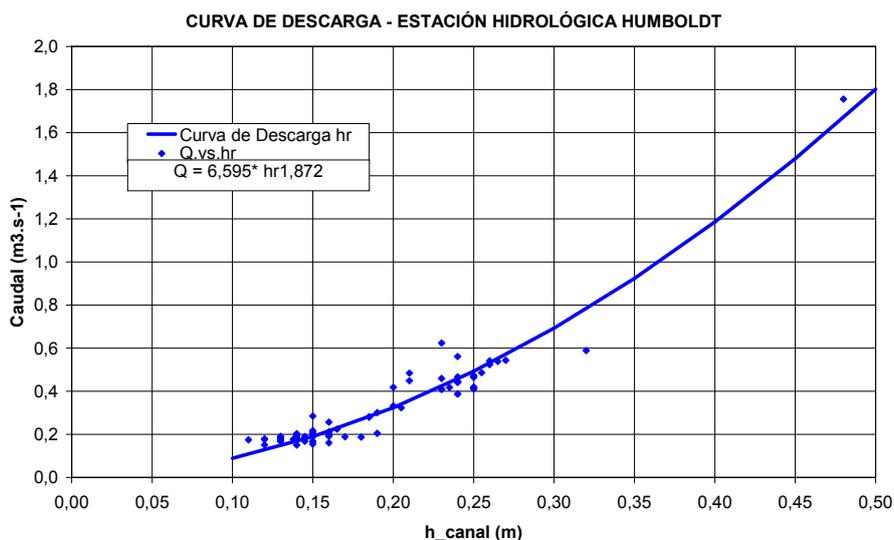


Figura 6.21. Curva de calibración para la estación hidrológica Humboldt

Los datos de los caudales instantáneos, diarios y mensuales se encuentran en la base de Hydracces en los captosres que se encuentran marcados en la figura 6.22.

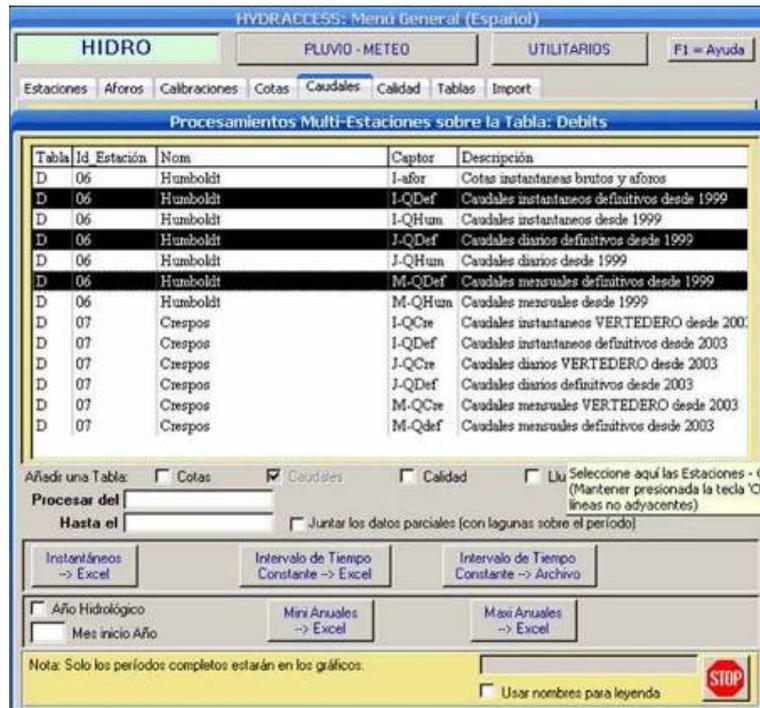


Figura 6.22. Ubicación de los datos de caudales de Humboldt en Hydraccess

6.2.5 Problemas en las mediciones

Básicamente, se presentan las mismas dificultades para obtener datos confiables en la estación Humboldt y en la estación Los Crespos, además:

Debido a las irregularidades del fondo del canal se produce oleaje y la turbulencia por lo que se disminuye la precisión en la toma de datos de nivel de agua, además las pequeñas variaciones de altura no se registran por los sensores por lo que se necesita una sección que de mayor sensibilidad a equipos de medición.

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

El transporte de sedimentos es importante y se deposita en el pozo tranquilizante que se comporta como una trampa se 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	810429E	9943630N	Prom 267
Altitud	4010	msnm	Max 497
Área de Drenaje:	14,3	Km ²	Min 162

No	Fecha	Hora	LECTURA REGLETA		Calado medio (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Veloc (m/s)	Caudal (l/s)
			Inicio	Fin					
153	05-Ene-06	12:20		0,18	0,20	1,30	0,260	0,816	212
154	02-Feb-06	11:35		0,16	0,20	1,28	0,261	0,841	219
155	23-Feb-06	11:40		0,17	0,17	1,28	0,218	0,853	186
156	08-Mar-06	12:05		0,18	0,18	1,20	0,220	0,736	162
157	22-Mar-06	11:20		0,14	0,18	1,28	0,228	0,772	176
158	04-Abr-06	11:50		0,15	0,20	1,28	0,253	0,839	213
159	25-Abr-06	13:30		0,19	0,19	1,25	0,233	0,845	196
160	11-May-06	12:30		0,17	0,22	1,28	0,285	0,880	251
161	30-May-06	16:15	0,23	0,22	0,29	1,28	0,376	1,321	497
162	07-Jun-06	11:40	0,17		0,22	1,28	0,280	0,943	264
163	26-Jun-06	11:25	0,14	0,14	0,21	1,28	0,274	0,929	254
164	28-Jun-06	14:30	0,15	0,15	0,21	1,28	0,274	0,862	236
165	04-Jul-06	11:20	0,12	0,12	0,21	1,28	0,270	0,949	256
166	02-Ago-06	11:40	0,15		0,19	1,28	0,246	0,661	163
167	30-Ago-06	11:50	0,14	0,14	0,18	1,28	0,235	0,723	170
168	30-Ago-06	13:40			0,18	1,28	0,226	0,727	164
169	05-Sep-06	11:20	0,16		0,18	1,28	0,225	0,824	186
170	26-Sep-06	12:00	0,20		0,23	1,28	0,293	0,904	265
171	28-Sep-06	16:20	0,15		0,18	1,28	0,230	0,816	188
172	10-Nov-06	10:50	0,15	0,15	0,19	1,28	0,237	0,932	220
173	18-Dic-06	12:30	0,15		0,17	1,28	0,221	0,886	196
174	27-Dic-06	17:20	0,21	0,23	0,25	1,28	0,314	1,217	382

Tabla 6.7 Aforos de la estación Humboldt

6.2.6 Caudales calculados

Caudales medios diarios – Estación hidrológica Humboldt 2006

Sitio:	Río Antisana	Coordenadas:	810477E y 9943609N
Código:	MS21	Altitud:	4.010 m.s.n.m.
Cuenca:	Río Antisana	Área drenada:	14,20 Km ²

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1			0,177	0,175		0,29	0,244	0,196	0,221	0,243		0,316
2			0,26	0,188		0,257	0,247	0,206	0,222	0,252		0,323
3			0,226	0,204		0,226	0,385	0,181	0,199	0,258		0,319
4			0,234	0,232		0,202	0,282	0,185	0,186	0,251	0,259	0,245
5			0,186	0,256		0,209	0,238	0,213	0,179	0,261	0,239	0,334
6			0,247	0,229		0,407	0,237	0,203	0,183	0,308	0,26	0,384
7			0,215	0,251	0,238	0,239	0,228	0,232	0,187	0,289	0,307	0,401
8			0,213	0,212	0,517	0,219	0,217	0,232	0,193	0,319	0,384	
9			0,198	0,216	0,38	0,216	0,221	0,232	0,199	0,281	0,365	
10			0,193	0,196	0,278	0,2	0,211	0,238	0,198		0,371	0,25
11			0,213	0,196	0,273	0,187	0,22	0,241	0,192		0,34	0,237
12			0,212	0,259	0,263	0,263	0,222	0,225	0,209		0,286	0,203
13			0,199	0,228	0,253	0,29	0,224	0,229	0,228		0,185	0,207
14			0,19	0,222	0,239	0,231	0,222	0,233	0,212		0,327	0,223
15			0,21	0,223	0,25	0,21	0,227	0,212	0,21		0,522	0,198
16			0,196	0,224	0,233	0,217	0,222	0,204	0,219		0,346	0,198
17			0,179	0,207	0,247	0,292	0,217	0,21	0,23		0,263	0,206
18			0,178	0,217	0,236	0,32	0,216	0,221	0,221		0,209	0,244
19			0,208	0,217	0,22	0,246	0,23	0,223	0,208		0,189	0,247
20			0,199	0,213	0,236	0,28	0,228	0,242	0,21		0,212	0,298
21			0,194	0,237	0,226	0,342	0,242	0,216	0,202		0,227	
22			0,21	0,237	0,21	0,356	0,238	0,229	0,249		0,215	
23			0,216		0,218	0,302	0,214	0,236	0,218		0,222	
24			0,21		0,215	0,242	0,205	0,228	0,213	0,26	0,239	0,424
25			0,267		0,235	0,235	0,234	0,213	0,235	0,271	0,233	0,363
26			0,205		0,226	0,229	0,233	0,198	0,267	0,253	0,204	0,354
27			0,21		0,254	0,238	0,22	0,204	0,221	0,246	0,193	0,235
28		0,174	0,204		0,236	0,24	0,208	0,193	0,22	0,248	0,207	0,226
29			0,214		0,245	0,224	0,206	0,191	0,223	0,272	0,193	0,229
30			0,188		0,248	0,225	0,187	0,186	0,239	0,222		0,265
31			0,176		0,238		0,185	0,209				0,262
Med			0,207	0,22	0,257	0,254	0,229	0,215	0,213	0,265	0,269	0,277
Min			0,176	0,175	0,21	0,187	0,185	0,181	0,179	0,222	0,185	0,198
Max			0,267	0,259	0,517	0,407	0,385	0,242	0,267	0,319	0,522	0,424

Tabla 6.8 Caudales medios diarios – Estación hidrológica Humboldt 2006

Mini Instantáneo = 0,098 m³/s --> 30/11/2006 14:00

Maxi Instantáneo = 1,136 m³/s --> 06/10/2006 17:00

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

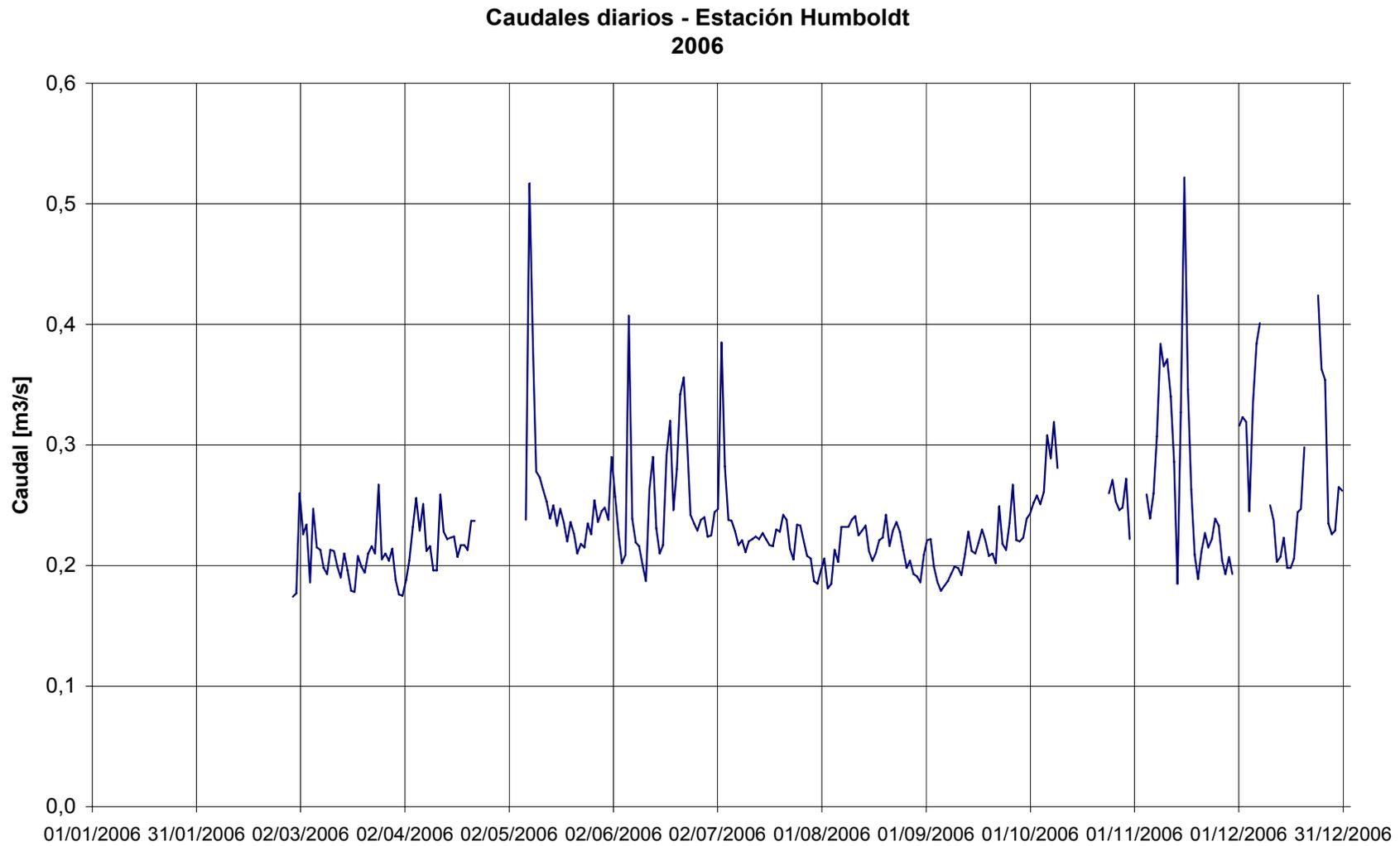
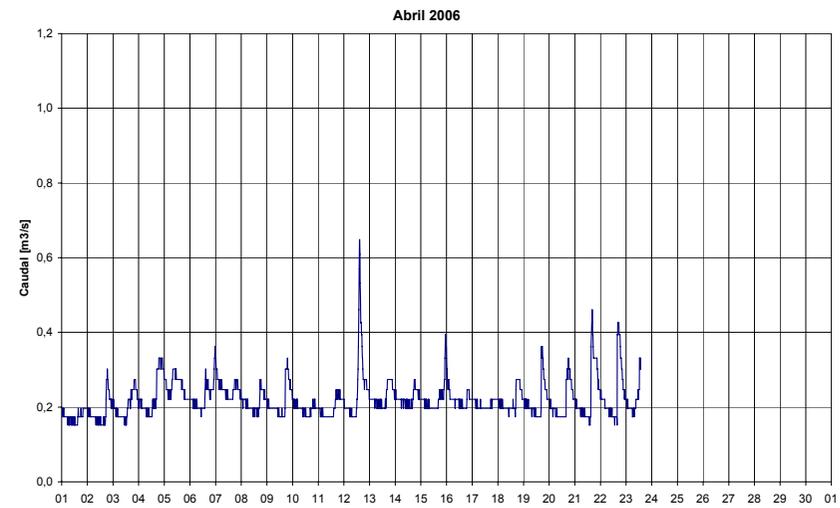
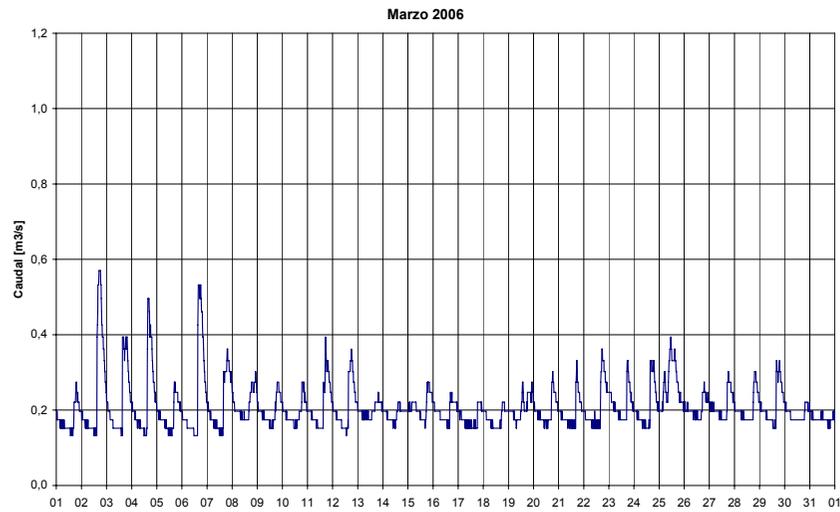
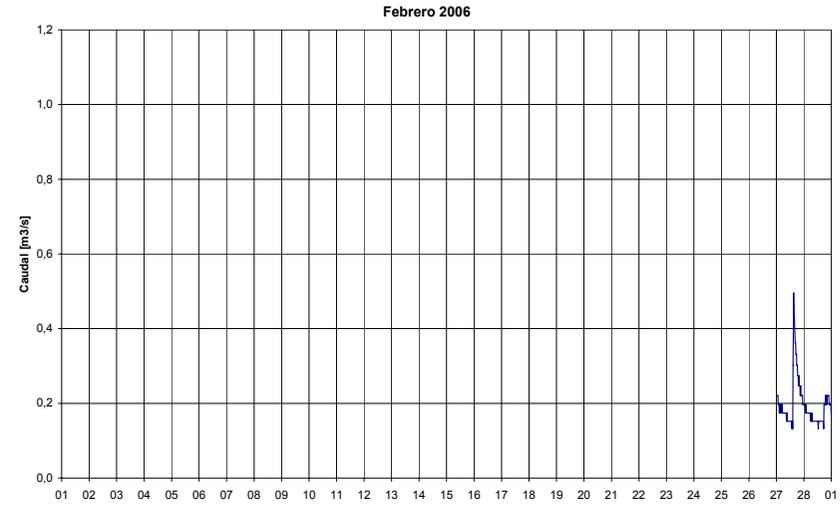
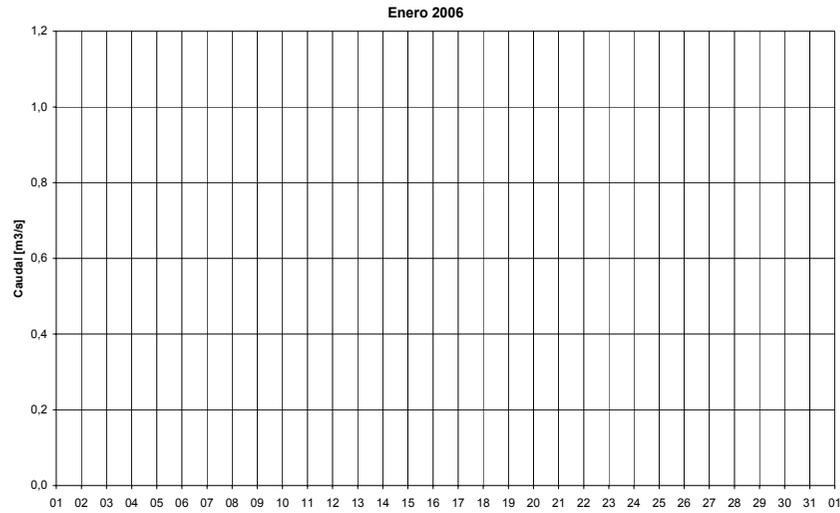
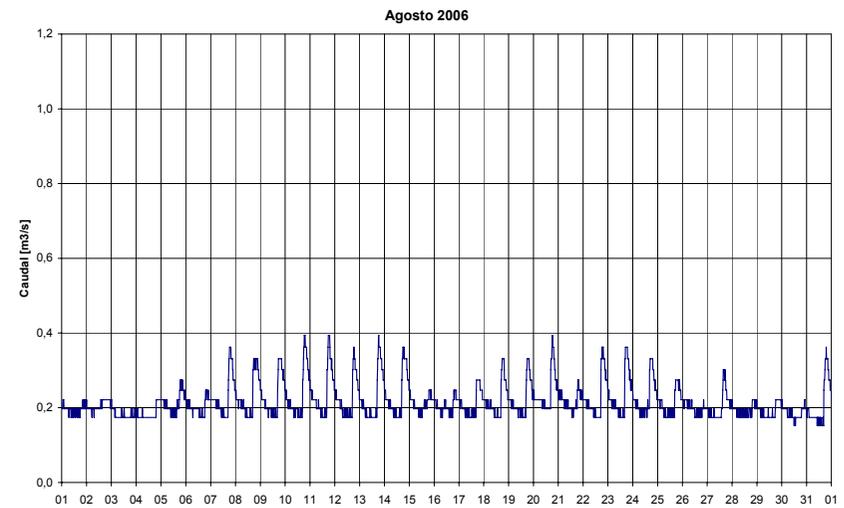
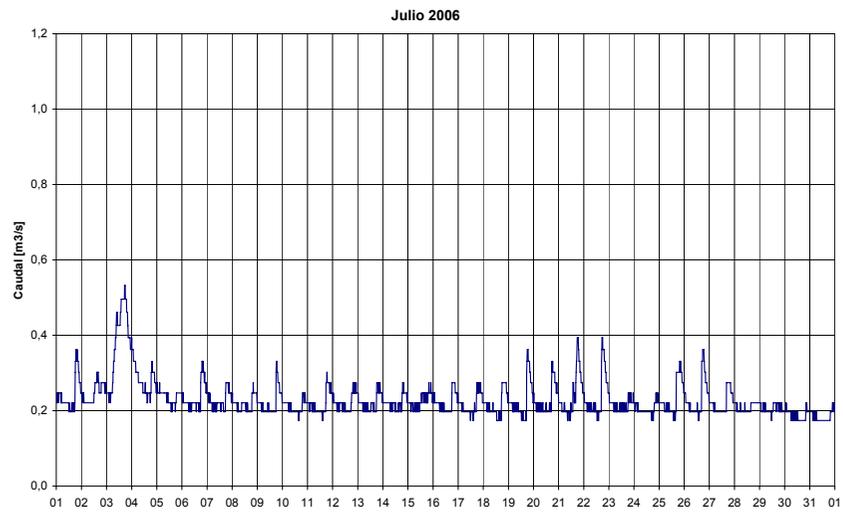
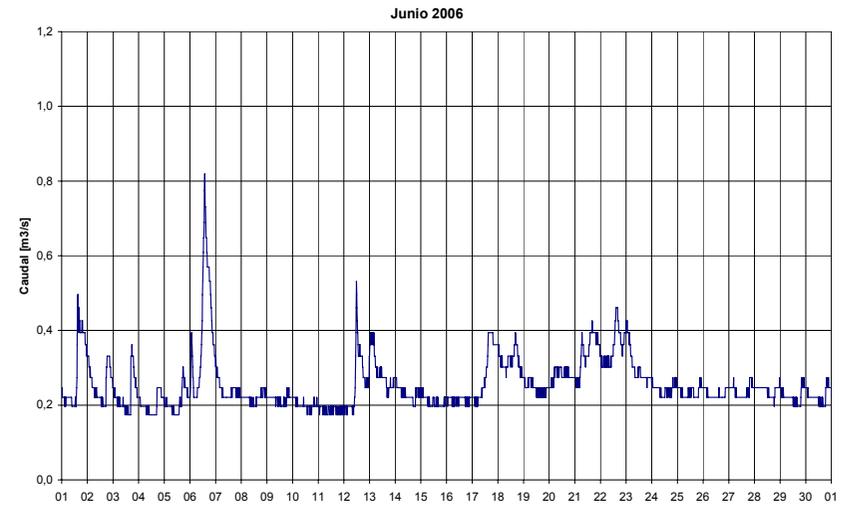
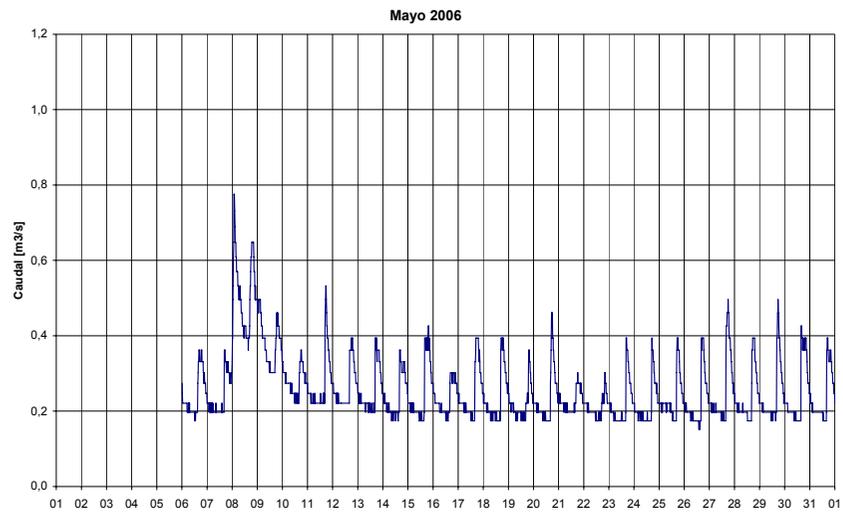
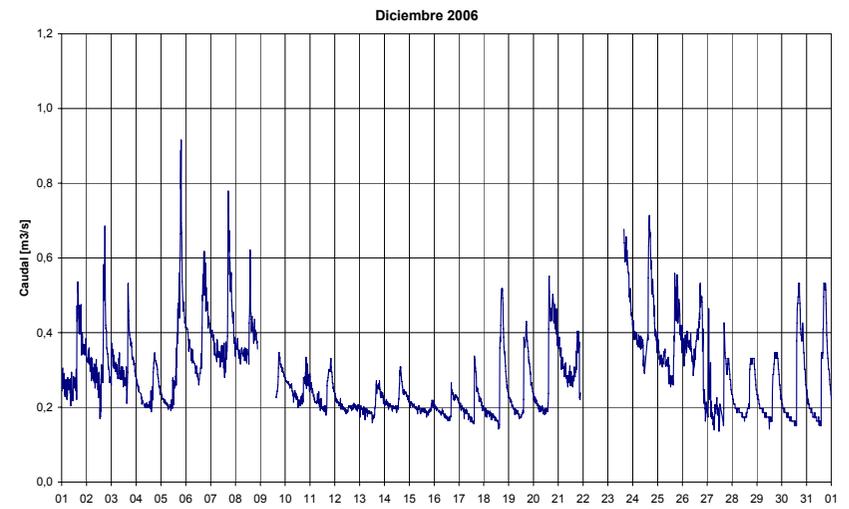
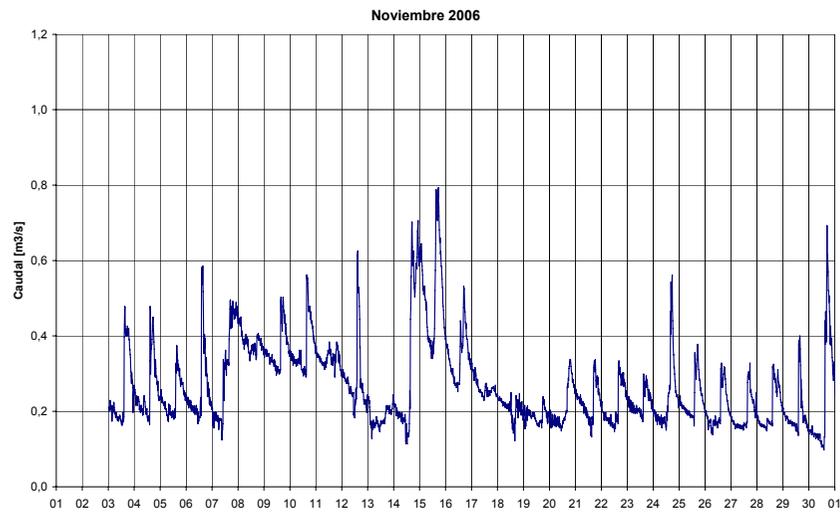
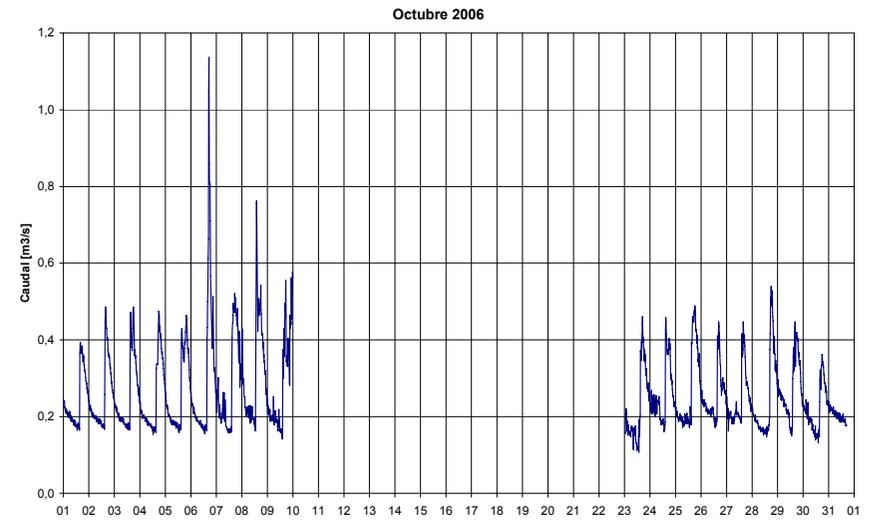
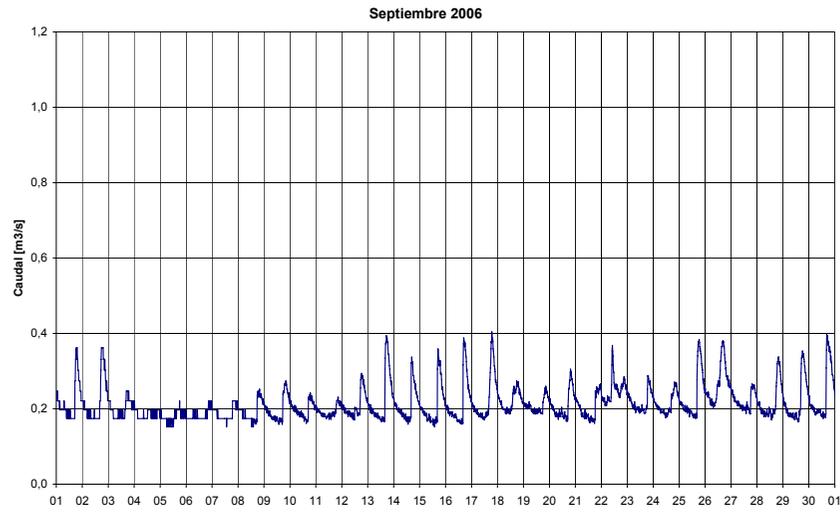


Figura 6.23. Caudales diarios en la estación Humboldt para el 2006

Figura 6.24. Caudales instantáneos de cada mes medidos por la estación hidrológica Humboldt para el 2006







Referencias bibliográficas

1. Informes anuales Greatice Ecuador

- Maisincho L., Cáceres B., Manciatì, C., Loyo C., Cuenca E., Villacís M., Paredes D., Garces A., Laval R., Mailler S., et Al. 2008: Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayrazo. Balance de Masa, Topografía, Pluviometría, Meteorología & Hidrología. Año 2005. Informe 8. IRD, INAMHI, EMAAP-Q; 142p. (con una versión CD).
- Cáceres B., Maisincho L., Taupin JD., Francou B., Cadier E., Delachaux F., Bucher R., Villacís M., Paredes D., Chazarin JP., 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 Antizana (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 Antizana (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 JD, Tachker P., Chazarin J.P., Francou B., Favier V. 2002: Glaciar 15 del Antizana (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 Antizana (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 Antizana (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 Antizana – Mediciones glaciológicas, hidrométricas y topográficas (años 1997-1998), Informe n0 2 IRD-INAMHI-EMAAP-Q.
- Sémiond H., Francou B., Ayabaca E., de la Cruz A., & Chango R., 1998. El Glaciar 15 del Antizana (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.
- Cadier E., Maisincho L., Ulloa D., Mella R., Mothes P., Martina Schaeffer, Bernard Francou, David Rivero Ekkehard Jordan, Lars Ungerechts, Diego Barba, Emmanuel David, Pablo Samaniego, 2007, Segunda campaña de mediciones de los glaciares del volcán Cotopaxi; 19-27 de enero 2007; Informe provisional; INAMHI; IRD-LGGE; IG-EPN; Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional CECS(Centro de Estudio de Glaciología y Cambio Climático Chile) 37p
- 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 l'Antizana (0o25'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.
- Lhuissier P., 2005. Mise en évidence de modèles de Comportement Pluviométriques sur le Volcan Antizana. INAMHI, EMAAP-Q, IRD, GREATICE. Ecuador. Pag. 23.
- Loyo C., 2008. Afectación a los Recursos Hídricos por el retroceso de Los Glaciares. Estudio de Caso: Cuenca del Río Antisana y Glaciar "Los Crespos" del Volcán Antisana. Tesis de ingeniería de la Universidad Central del Ecuador. IRD INAMHI, EMAAP-Q, IRD. Pag. 122
- Mailler S., 2006. Exploitation de photographies du glacier 15a de l'Antisana, tentative d'application d'un modèle degré-jour. Rapport de stage. Pag. 25.
- Maisincho L. 2007 Primer intento para extrapolar los datos meteorológicos desde la Morrena hacia el Glaciar: Antizana 15 -Ecuador y Zongo-Bolivia. Reporte de estadia junio – julio 2007 LGGE - IRD- GREATICE-INAMHI Septiembre 2007 18p
- Manciatì C., Freire, D., 2007. Relación a escala mensual y estacional entre la información hidrometeorológica local y regional y la fusión de los glaciares tropicales del Ecuador. Casos de estudio: Glaciar15 y Glaciar "Crespos" del

- Nevado Antisana. Tesis de ingeniería de la Escuela Politécnica Nacional. IRD, INAMHI, EMAAP-Q, IRD. Pag. 176
- Manciati C., Freile D. Fierro, V., Cadier E.; Calvez R. 2007, Correcciones de las mediciones de precipitaciones realizadas en el Antisana; 17p
- 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 M., 1998. Hidrología preliminar de las vertientes occidental del Antisana ORSTOM-INAMHI-EMAAP-Q 100p
- Vallejos D., 2008. Implementación de un Gis para estimar la Variación de la Cobertura Glaciar y de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Glaciares del Antisana. Tesis de ingeniería de la Universidad Central del Ecuador. IRD, INAMHI, EMAAP-Q, IRD. Pag. 160
- 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
- Villacís M. 2008 Ressources en eau glaciaire dans les Andes d'Equateur en relation avec les variations du climat : Le cas du volcan Antisana Thèse de Doctorat Montpellier IRD-USTL 250p

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

- Cadier E., Villacis M., Garcés A., Lhuissier, Maisincho, Laval, R., Parédes D., Cáceres B., & Francou B., 2007. Variations of a low latitude Andean glacier according to global and local climate variations: first results. *Glacier Mass Balance Changes and Meltwater Discharge (selected papers from sessions at the IAHS Assembly in Foz do Iguacu, Brazil, 2005)*. IAHS Publ. 318 : 66-74.
- Favier V., Coudrain A., Cadier E., Francou B., Ayabaca E., Maisincho L., Praderio E., Villacis M., and Wagnon, P. (2008). Evidence of groundwater flow on Antizana ice covered volcano, Ecuador. *Hydrological Science Journal* sous presse.
- 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 of 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., Pouyoud 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, nº1-2, 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 Volcán 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 nergy 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)

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., Francou B., Favier V., Bontron G., Maisincho L., Tachker P., Bucher R., Taupin J.D., Delachaux F., Chazarin J.P. El Glaciar 15 del Antisana. Diez años de investigaciones glaciológicas. Memorias Conferencia sobre Cambio Climático, Bogotá 2007.

- Cáceres B., Francou B., Favier V., Bontron G., Maisincho L., Tachker P., Bucher R., Taupin J.D., Delachaux F., Chazarin J.P., Cadier E. 2007 El glaciar 15 del Antisana. Once años de investigaciones glaciológicas. Pág. 8. Memorias IX Congreso Nacional de Hidráulica y I de Manejo Integral de Recursos Hídricos, Quito 2007
- Loyo C., Villacís M., Manciatí C. y Cadier E., 2007 Estimaciones del comportamiento hidrológico de los recursos hídricos de alta montaña. Caso de estudio: cuenca del río Antisana y glaciar “los Crespos” del volcán Antisana 9p. Memorias IX Congreso Nacional de Hidráulica y I de Manejo Integral de Recursos Hídricos, Quito 2007
- Maisincho L., Delachaux, F., Wagnon P., Cadier E., Chazarin J.P. ORE A long range climate monitoring program close to an inner tropical glacier. The Antisana 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
- Manciatí C., Freile D., Galárraga R., Sánchez, Cadier E., Francou B., 2007 Modelación del balance de glaciares tropicales de América del sur. Casos de estudio en el nevado Antisana, Ecuador. Pág. 9. Presentado en el IX Congreso Nacional de Hidráulica y I de Manejo Integral de Recursos Hídricos. Quito 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.

Villacís M., Galárraga R., Ayabaca M. and Molina J. 2007 Daily precipitation-runoff modelling in an Andean Amazon River Basin. Case Study: The Quijos River Basin in the Upper Amazon Napo River Basin in Ecuador Pág. 7. Memorias IX Congreso Nacional de Hidráulica y I de Manejo Integral de Recursos Hídricos, Quito 2007

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.

Brustart 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. Institut. 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).
- Oerlermans 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. Yerren 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.

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*.