



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**

**MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO**

SECRETARÍA DE ESTADO
DE MEDIO RURAL Y AGUA

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

**SERVICIOS PARA EL ESTUDIO DE LA CUANTIFICACIÓN DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS PROCEDENTES DE LA FUSIÓN NIVAL Y SU
INFLUENCIA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE EN LAS PRINCIPALES
CORDILLERAS ESPAÑOLAS (PROGRAMA ERHIN 2009-2011)**

INFORME

**DETERMINACIÓN DEL BALANCE ANUAL DE MASA Y MOVIMIENTO DEL HIELO
EN EL GLACIAR DE LA MALADETA. AÑO HIDROLÓGICO 2010-2011**

ANTECEDENTES

El funcionamiento de la dinámica glaciar establece una conexión evidente entre los procesos de hielo y nieve; la acumulación de hielo glaciar se produce desde la transformación de acumulaciones anteriores de nieve que perduran después del período cálido anual. Más allá del valor que presenta la cuantificación de los recursos hídricos implicados en estos procesos, el mayor interés del conocimiento de la evolución de los aparatos glaciares procede de ser éstos unos valiosos testigos de la actividad nival y por lo tanto hidrológica, por cuanto proporcionan información sobre dos aspectos muy importantes relacionados con el factor nieve: acumulación total anual y fluctuación climática a media y larga escala.

Esta propiedad que ostentan los glaciares de acusar las variaciones interanuales del clima, cuya respuesta más evidente es la fluctuación de sus frentes, los convierte en útil instrumento para determinar el sentido y magnitud de los cambios climáticos. En particular, la posición meridional de los glaciares pirenaicos les confiere un valor excepcional y casi único en Europa para el estudio de dichos cambios climáticos en nuestras latitudes.

El Programa ERHIN (Evaluación de los Recursos Hídricos procedentes de la Innivación) de la DGA, viene realizando desde 1990 un seguimiento sistemático de los glaciares, atendiendo a sus dinámicas morfológicas, evolutivas, climáticas, nivológicas e hidrológicas. Para ello este programa desarrolla un plan de trabajo que engloba actividades muy diversas en estos campos, como son:

- Control anual de las fluctuaciones glaciares.
- Actualización permanente de la información cartográfica.
- Medida del balance de masa glaciar.
- Determinación de espesores y estructura interna de las masas de hielo.
- Determinación de la topografía de los lechos glaciares.
- Cuantificación del movimiento superficial del hielo.
- Relación de la dinámica glaciar con respecto a la climática y más en concreto con respecto a la nival.
- Planificación general de investigaciones.

En lo que se refiere a los trabajos específicos de balance masa, la DGOH procedió en 1991 a la instalación en el glaciar de La Maladeta de siete balizas de ablación. Así, desde 1992 se vienen realizando controles anuales sistemáticos de este aparato glaciar, disponiéndose en la actualidad de datos de dieciocho años hidrológicos completos. El control topográfico de las balizas de ablación ha permitido, además, la determinación del movimiento superficial del hielo.

Los trabajos se han desarrollado con la ayuda del helicóptero AS 350 Ecureuil B3 (Aerospatiale Soud Aviation), contratado con la empresa TAF Helicopters con base en el Valle de Arán (Lérida). Resulta un aparato altamente cualificado para este tipo de trabajos en alta montaña.

METODOLOGÍA

CONCEPTOS Y TÉRMINOS

El balance anual de masa es la cantidad que expresa la variación sufrida por el volumen de hielo de un determinado glaciar a lo largo de un período hidrológico anual completo. En la práctica, este balance se expresa en términos de columna de agua equivalente (aplicando las densidades respectivas de hielo y nieve), como valor específico aplicable a toda la superficie ocupada por el hielo. De este modo se trabaja con una variable reducida que permite rápidas comparaciones con otros glaciares de muy distintos tamaños.

Los diferentes procesos que intervienen sobre el glaciar a lo largo del año se describen, simplificadaamente, a continuación.

Al comienzo del período invernal, esto es, cuando comienza el período de acumulación nival sobre el glaciar, la superficie presenta un estado que denominaremos inicial. Sobre un corte transversal, como el presentado en la figura 1, esta superficie define un perfil inicial. Durante todo el período invernal se suceden las precipitaciones en forma de nieve, de tal modo que, cuando dicho período puede darse en teoría por concluido, se ha definido un perfil de máxima acumulación nival superpuesto sobre el

anterior. A partir de entonces comienza el período de ablación, en el que predomina la fusión de nieve -también la sublimación- y las precipitaciones pueden considerarse en su mayor parte líquidas (lluvia). Al terminar el período de ablación y con él el anual dando comienzo un nuevo ciclo, el glaciar adopta un perfil final definitivo distinto del inicial.

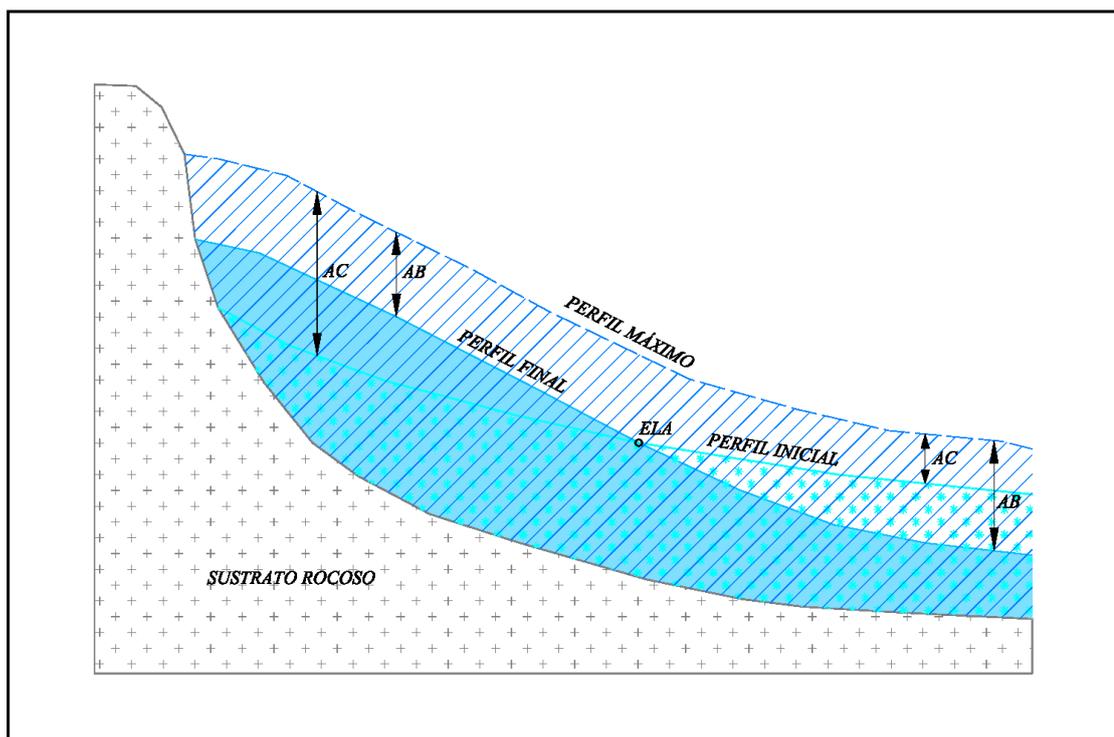


Figura 1. Esquema de un perfil glaciar.

En general, sobre cada punto del glaciar se habrán dado valores particulares de acumulación y de ablación y de la diferencia entre ambos se obtendrá el balance puntual. En determinadas áreas, las más altas o de acumulación, ocurre que durante el período de ablación no llega a fundir toda la nieve acumulada en invierno; en este caso el perfil definitivo se sitúa intermedio entre el inicial y el máximo, el balance es positivo y se da ganancia de masa. En las partes bajas la tasa de ablación supera a la de acumulación máxima; en este caso toda la nieve invernal desaparece e incluso funde parte del hielo glaciar subyacente, dándose una cierta pérdida de la masa preexistente.

Estas condiciones determinan la existencia de un punto (sobre el perfil, que es una línea a nivel superficial) en el que el balance es nulo, ya que la ablación es exactamente igual a la acumulación nival. La línea así dibujada sobre la superficie del glaciar es la

denominada "línea de equilibrio". En la práctica, como es bien conocido, tanto la acumulación como la ablación pueden ser consideradas como fuertemente relacionadas con la precipitación y temperatura y éstas, caracterizadas por gradientes que dependen fundamentalmente de la altitud. Dicho de otro modo, la línea de equilibrio se asemeja mucho a una curva de nivel topográfico, de ahí que se maneje el concepto de "altitud de la línea de equilibrio" (ELA: Equilibrium Line Altitude) como valor característico anual en un glaciar determinado, separando claramente las llamadas zonas de acumulación (ganancia) y ablación (pérdida).

Esta exposición responde, como se ha dicho, a una interpretación ciertamente simplista. En la realidad el fenómeno es más complicado, no existiendo, por ejemplo, una separación temporal tan meridianamente clara entre los distintos períodos (lo cual no influye demasiado a la hora de calcular el balance).

A todo ello se debe superponer la componente dinámica asociada a la masa de hielo. La existencia de una zona con ganancia de masa, frente a otra con pérdida, determina la existencia de un flujo natural que provoca el desplazamiento del hielo como material plástico, con velocidades muy diversas que dependen de tamaños y espesores de la masa de hielo. Así, en algunos casos deberá tenerse en cuenta la llamada "zona de hielo sobrepuesto", que corresponde a una pequeña banda situada por debajo de la línea de equilibrio pero donde existe ganancia de masa; esta ganancia es debida al aporte másico producido dinámicamente desde la zona de acumulación situada inmediatamente por encima de la línea de equilibrio, dándose un balance puntual positivo a pesar de encontrarse situada en una altitud donde la ablación es superior a la acumulación.

TÉCNICAS APLICADAS

Los procedimientos utilizables para proceder al cálculo de los diferentes componentes que intervienen en el balance son muy variados, y su diferente aptitud depende en gran medida de las características particulares de cada problema planteado.

En el del glaciar de La Maladeta y dada la superficie a controlar, se ha optado por un método englobado entre los denominados "lineales".

Consiste, básicamente, en un procedimiento de cálculo que se apoya sobre datos obtenidos a partir de una red de balizas previamente instaladas en el hielo. La disposición de esta red persigue determinar, lo más fielmente posible, el gradiente altitudinal existente tanto en precipitaciones (acumulación), como en fusión (ablación-temperatura). Con estos valores puntuales se definen las correspondientes funciones lineales -con respecto a la altitud- que permiten realizar un cálculo extrapolado sobre el total de la superficie glaciar.

Las medidas de acumulación se realizan con la ejecución de sondeos en la capa de nieve, con extracción continua de testigo y determinación de la densidad -o equivalente en agua- por pesada directa de columna de testigo. Los puntos de muestreo se emplazan lo más cercano posible al emplazamiento de las balizas incrustadas en el hielo. No obstante, y dado que tales balizas son invisibles en la época de realización de las medidas (con máxima acumulación nival de hasta 6 metros de espesor, sobre balizas con emergencia máxima de 2 metros), dicho posicionamiento se realiza de manera aproximada -por ejemplo con uso de altímetro y en los últimos años mediante GPS de navegación-. Esta práctica no tiene por qué añadir errores adicionales, siempre y cuando la lectura de altitudes se realice correctamente, no teniendo mayor trascendencia el hecho de que las lecturas no correspondan a posiciones exactas de baliza.

Las medidas de ablación se realizan directamente sobre las balizas incrustadas en el hielo, a partir de la diferencia de lecturas -de longitud de emergencia sobre el hielo-, respecto a la temporada anterior. Así mismo, en los últimos años se están tomando puntos de la superficie por topografía clásica. Esto permite también medir el balance por diferencia entre superficies topográficas correspondientes a dos años hidrológicos consecutivos.

RED DE BALIZAS DE ABLACIÓN

De acuerdo con los criterios enunciados, la red de balizas instaladas inicialmente en La Maladeta se componía de un total de siete. Cinco de ellas se situaron a diferentes altitudes conformando una línea de máxima pendiente sobre el eje principal del glaciar. Las dos restantes se emplazaron a uno y otro lado, respectivamente, de esta línea teórica, en la zona de mayor amplitud del glaciar, formando una cruz a la altura de la baliza intermedia del eje principal (pueden observarse en la figura 2).

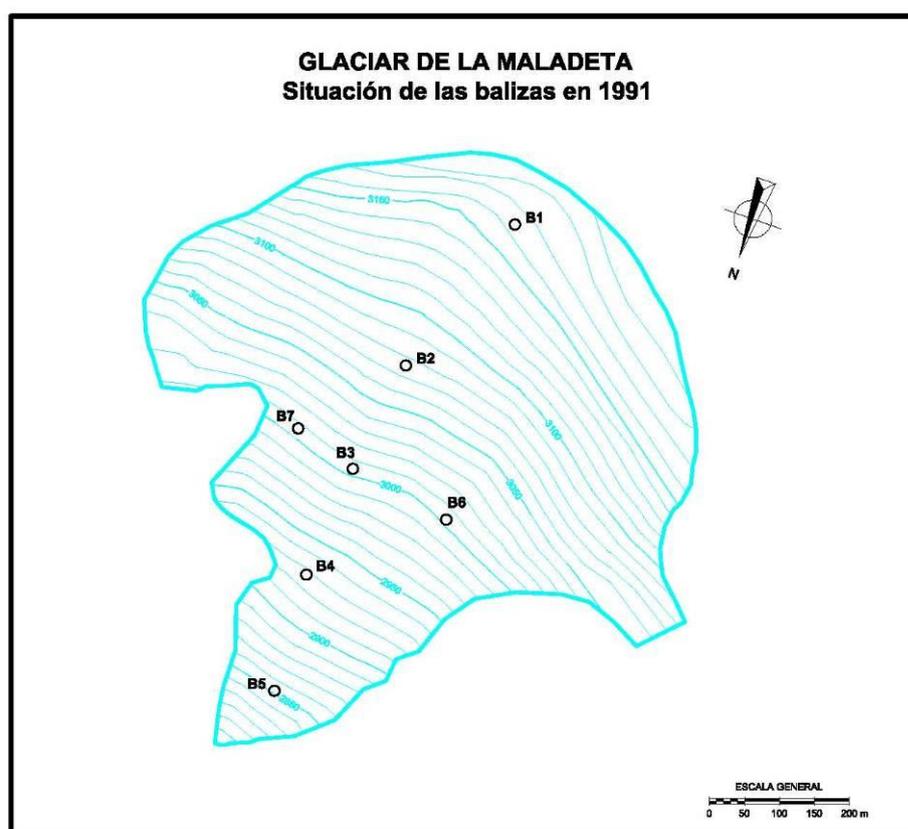


Figura 2: Red inicial de Balizas de Ablación

Cada baliza totaliza una longitud de 10 metros y está formada por cinco tramos de 2 metros cada uno, fabricados en madera y pintados en colores diferentes (azul-negro-verde-amarillo-rojo). La unión entre tramos se realiza por medio de un pequeño trozo de cadena metálica, con el fin de dotar de la necesaria flexibilidad al conjunto y permitir, con ello, su adecuación al movimiento diferencial del hielo estratificado. En el extremo inferior de la baliza (tramo rojo) se dispone un fleje metálico, con el fin de garantizar la sujeción permanente del conjunto a la masa de hielo.

Para el emplazamiento de las balizas se realizan perforaciones previas en la capa de hielo, con el fin de preparar el taladro hueco de acogida del conjunto. En este caso se ha empleado un procedimiento de sondeo con vapor de agua, que resulta un procedimiento sencillo y de gran rendimiento (hasta 100 metros/hora). Los sondeos se prolongan hasta profundidades entre 9 y 10 metros, de acuerdo con las longitudes de las balizas preparadas en taller. Todas las balizas quedan después replanteadas con topografía de precisión, realizada desde una base adecuada externa al hielo.

La red de balizas de ablación del glaciar de La Maladeta se implantó en octubre de 1991 con un total de 7 balizas, pero posteriormente en 1996, 2000, 2004 y 2007 se han realizado reinstalaciones de estos elementos a medida que han ido quedando inoperativas, al aflorar del hielo en su totalidad. Así se han instalado un total de 23 balizas. La red básica ha pasado a ser de 4 elementos de control en vez de 7 ya que la zona donde se situaba la B7 y B8 ha quedado prácticamente aislada debido a la aparición de un afloramiento rocoso con lo que el movimiento en esa zona es inapreciable. Tampoco se ha instalado en la última campaña (2007) balizas en la zona de la B6 ya que el continuo estrechamiento del glaciar ha hecho que prácticamente desaparezca esa zona, por lo que se ha preferido instalar las balizas tan solo en el eje central del mismo. Así mismo, en la zona donde se encontraban las balizas B5, B12 y B17, el hielo ha desaparecido por completo, por lo que ahora la baliza situada más aguas abajo es la B23, situada donde se encontraban la B4, B16 y B19. Se ha instalado una baliza (B20) a una cota situada entre las primeras B1 y B2 que permitirá obtener el movimiento del glaciar en su parte superior, pero sin que ocurra como con la B1 que se perdió desde el primer año de instalación debido a que se situó en la zona alta del glaciar en la cual éste aumentaba de espesor, es decir, por haberse instalado por encima de la línea de equilibrio.

Durante las mediciones de ablación realizadas en el año hidrológico 2006-2007, se observó la desaparición de las balizas centrales B13 y B19 que eran las únicas que quedaban en 2006 con apenas 1 m de las mismas incrustadas en el hielo. Por ello, los cálculos de pérdida de espesor del glaciar se realizaron en dicho año hidrológico a partir

de las cotas de puntos tomados mediante topografía clásica en la superficie del hielo glaciar en aquellas zonas donde estaban ubicadas las balizas antiguas.

Durante el presente año hidrológico 2010-2011, la baliza B23 situada a menor cota ha desaparecido también, al salir en su totalidad al exterior. No obstante, el cálculo del balance en esa zona se ha realizado por topografía clásica, a partir de la diferencia de cota entre el año actual y el anterior. Dado el poco espesor de hielo que debe quedar en esa parte del glaciar (según el estudio geofísico realizado en 2008), lo más probable es que no se vuelvan a instalar balizas a esa cota.

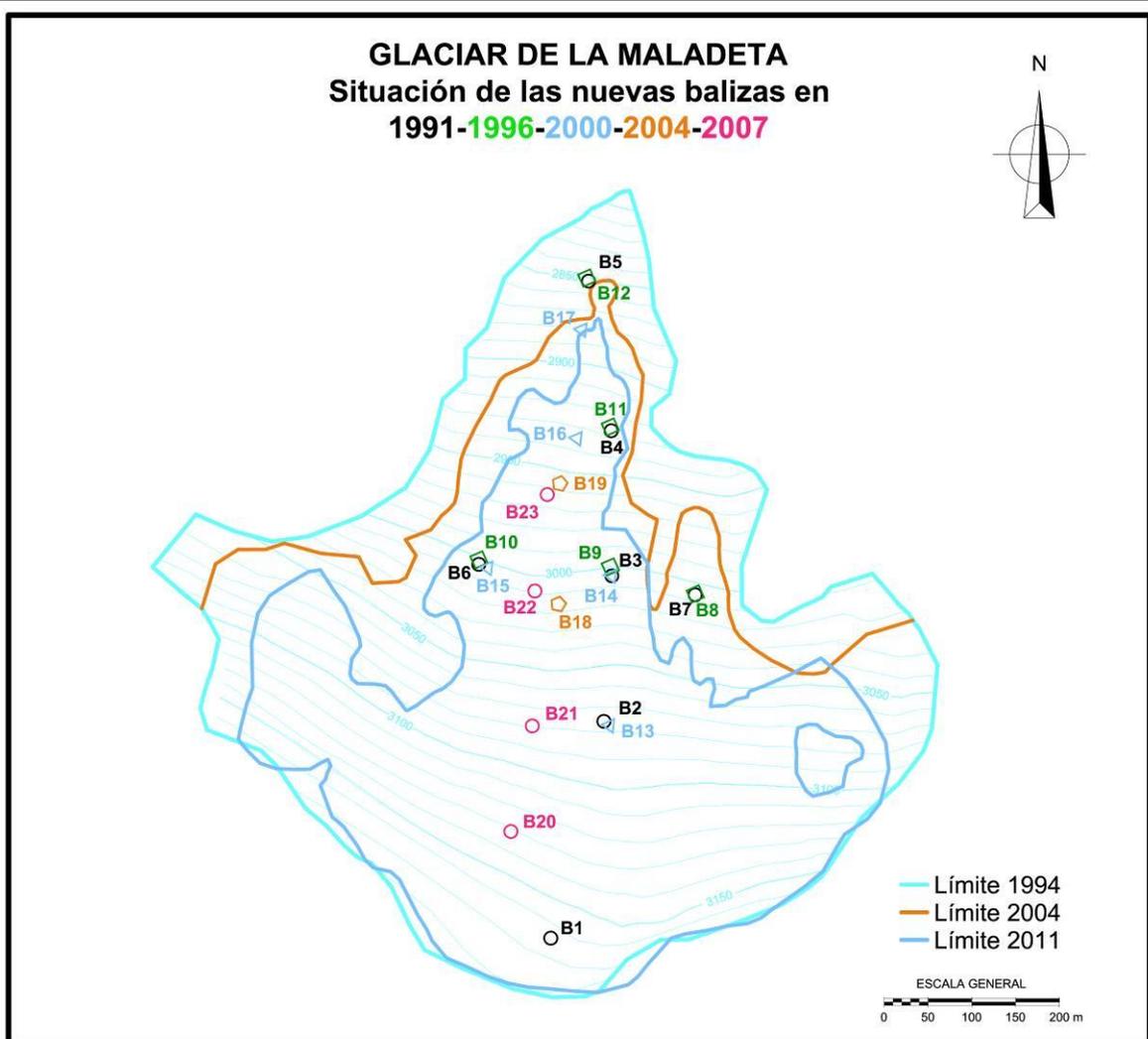


Figura 3: Situación de las nuevas Balizas de Ablación

TRABAJOS REALIZADOS

BALANCE DE MASA 2010-2011

El 20º año de observación (2010-2011), presenta un balance total de -1.504 mm EQA, el tercero más desfavorable de toda la serie. La línea de equilibrio (ELA) fija su posición por encima de los 3.200 m, con un ratio de superficie de acumulación AAR del 0%. Cabe destacar el hecho de que desde el año hidrológico 2002-2003 la línea de equilibrio ha estado situada por encima de la cota superior del glaciar, salvo en el año hidrológico 2007-2008 que se situó a 3.100 m y en el pasado año 2009-2010 que se situó a 3.000 m.

En el Gráfico 1 se representan las correspondientes curvas de acumulación, ablación y balance.

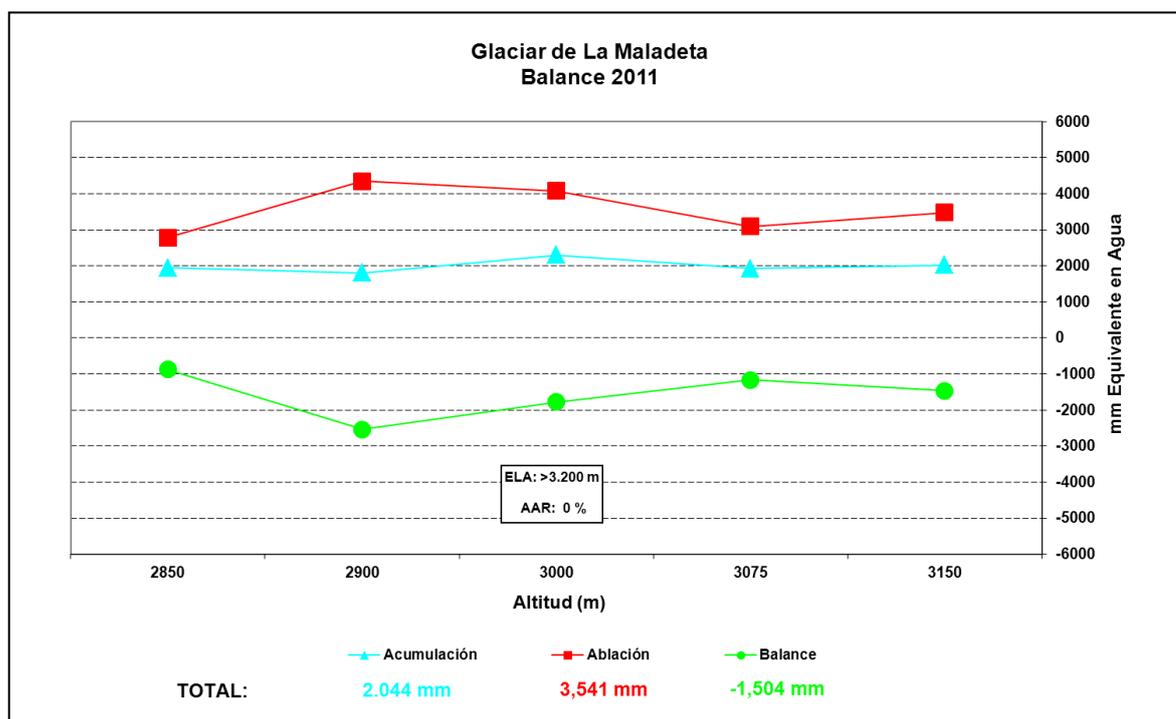


Gráfico 1

BALANCE DE MASA. GLACIAR DE LA MALADETA									
				Nº baliza / Altitud					
AÑO		TOTAL mm	ELA msnm	AAR %	B1 3150	B2 3100	B7(8)-3(9)-6(10) 3000	B4(11) 2900	B5(12) 2850
1992	AC 92	1682	3090	25,5	2160	2550	1147	1210	960
	AB 92	2009			386	2447	2081	2314	3034
	B 92	-327			1774	103	-935	-1104	-2074
1993	AC 93	2132	3066	34,5	3471	1775	1793	1565	2024
	AB 93	2164			1087	1456	2405	2653	3982
	B 93	- 32			2384	319	- 612	-1088	-1958
1994	AC 94	1975	3028	48,8	2650	1950	1856	1579	1668
	AB 94	1624			30	910	2259	2060	3385
	B 94	351			2620	1040	- 403	- 481	-1717
1995	AC 95	1976	3075	31,1	3068	1915	1953	1059	1551
	AB 95	2619			448	1415	3453	3559	5551
	B 95	- 643			2620	500	-1500	-2500	-4000
1996	AC 96	2585	3049	40,8	3907	1978	2659	1471	3183
	AB 96	2378			1962	1750	2880	2056	3933
	B 96	207			1945	228	- 221	- 585	- 750
1997	AC 97	1865	3025	49,9	3280	1700	1832	1135	1046
	AB 97	1354			- 613	948	2086	1850	2516
	B 97	512			3893	752	- 253	- 715	-1470
1998	AC 98	1967	3100	21,7	4316	1650	1597	1130	1144
	AB 98	2922			2387	1650	3854	4217	4276
	B 98	- 955			1929	0	-2258	-3 087	-3132
1999	AC 99	1197	3104	20,2	2472	918	1144	684	288
	AB 99	1961			1780	968	3034	2619	3078
	B 99	- 764			692	-50	-1890	-1935	-2790
2000	AC 00	1706	3138	9,0	2682	1119	1732	1800	288
	AB 00	2606			1990	2257	3661	4509	3078
	B 00	- 900			692	- 1138	- 1929	- 2709	- 2790
2001	AC 01	2448	3025	69,0	3007	2250	2623	1624	1440
	AB 01	1945			1578	1233	2972	2434	4149
	B 01	503			1429	1017	- 349	- 810	- 2709
2002	AC 02	1776	3142	10,0	2610	1098	2089	1717	1628
	AB 02	2587			2470	1812	3357	3742	3788
	B 02	- 811			140	- 714	- 1268	- 2025	- 2160
2003	AC 03	3103	> 3200	0,0	3349	3819	2256	1668	1330
	AB 03	4205			3358	4287	3984	4031	5200
	B 03	- 1102			- 9	- 1008	- 1728	- 2363	- 3870
2004	AC04	2446	> 3200	0,0	3338	1971	2508	2041	1890
	AB 04	3962			3338	3969	4146	5011	5490
	B 04	- 1516			0	-1998	-1638	-2970	-3600
2005	AC05	1759	3150	0,0	2651	1720	1074	1383	954
	AB 05	3238			2651	3583	3095	3642	4554
	B 05	- 1479			0	-1863	-2021	-2259	-3600

BALANCE DE MASA. GLACIAR DE LA MALADETA									
				Nº baliza / Altitud					
AÑO		TOTAL mm	ELA msnm	AAR %	B1 3150	B2 3100	B7(8)-3(9)-6(10) 3000	B4(11) 2900	B5(12) 2850
2006	AC06	1405	> 3200	0,0	1553	1446	1319	1131	855
	AB 06	3192			1553	3765	3456	4528	4959
	B 06	- 1787			0	-2320	-2138	-3398	-4104
2007	AC07	1221	> 3200	0,0	1881	807	1248	711	518
	AB 07	2168			2364	1326	2746	3180	3290
	B 07	- 947			-483	-519	-1498	-2469	-2772
2008	AC08	2934	3100	34	4633	2288	2438	1888	1961
	AB 08	2971			3875	2395	2776	3116	3397
	B 08	- 37			758	-107	-338	-1228	-1436
2009	AC09	1986	> 3200	0,0	2639	1587	1994	1656	1367
	AB 09	3401			3047	2838	4245	4579	4265
	B 09	-1415			-407	-1251	-2251	-2923	-2898
2010	AC10	2519	3000	80	3116	2179	2457	2246	1929
	AB 10	2260			2756	1500	2392	3640	2132
	B 10	259			360	679	65	-1394	-203
2011	AC 11	2044	>3200	0	2015	1919	2298	1807	1941
	AB 11	3541			3479	3087	4076	4347	2778
	B 11	-1504			-1464	-1168	-1779	-2540	-873

Tabla I: Balance de Masa del glaciar de La Maladeta. 1992 a 2011

Con la ayuda de la Tabla I y los gráficos 2, 3, 4 y 5, podemos comparar los datos de los 20 ciclos estudiados hasta el momento.

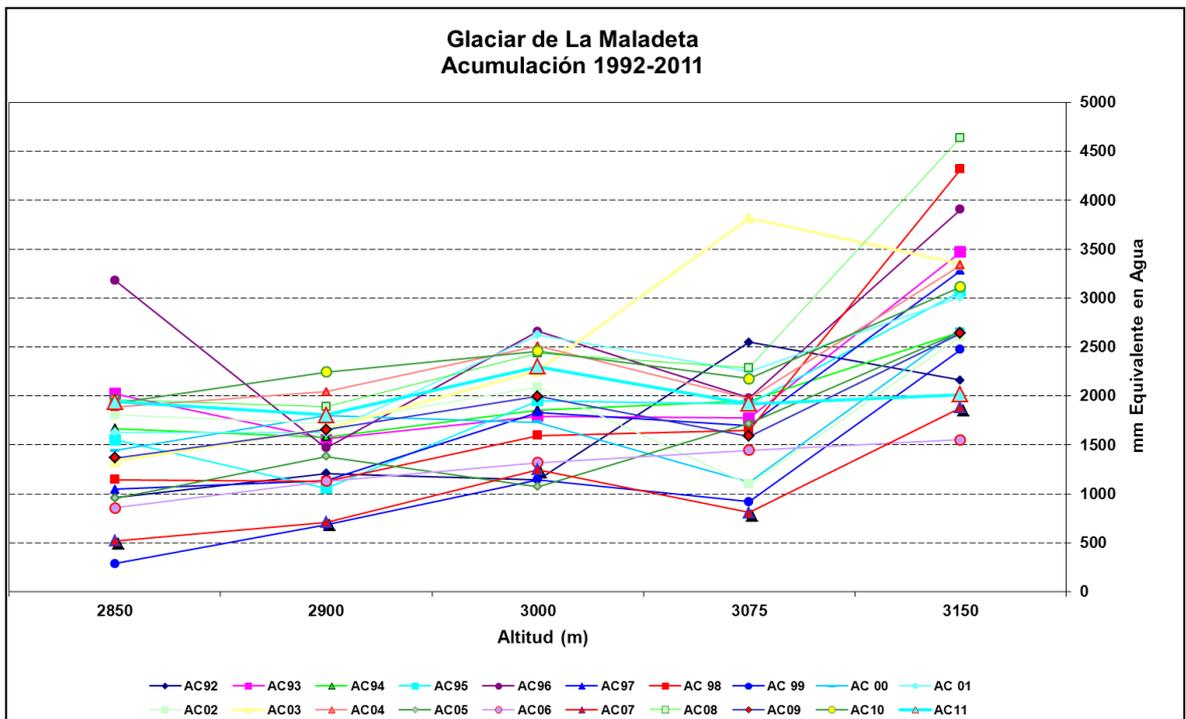


Gráfico 2

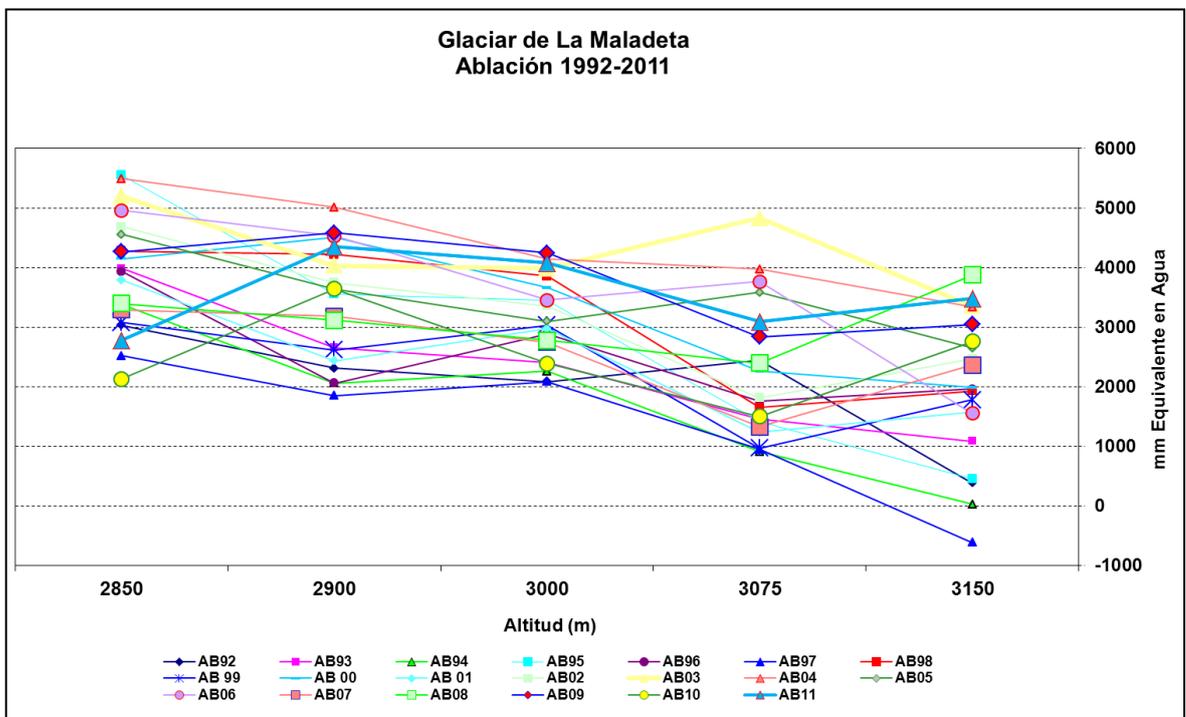


Gráfico 3

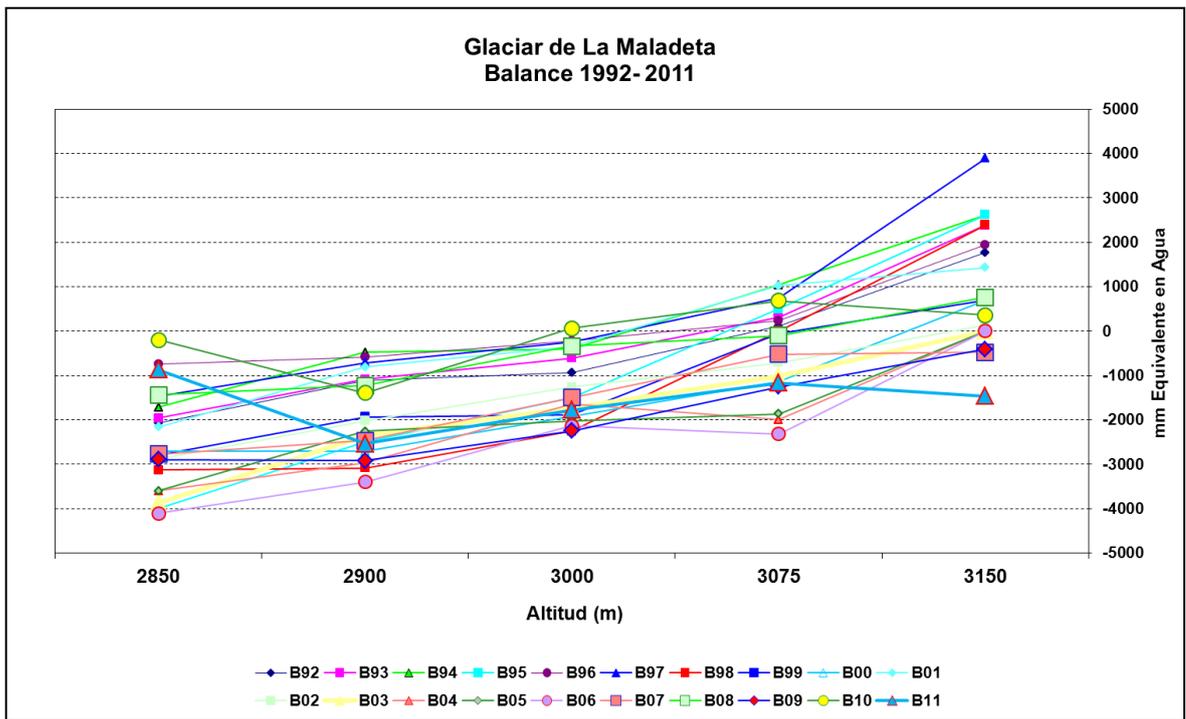


Gráfico 4

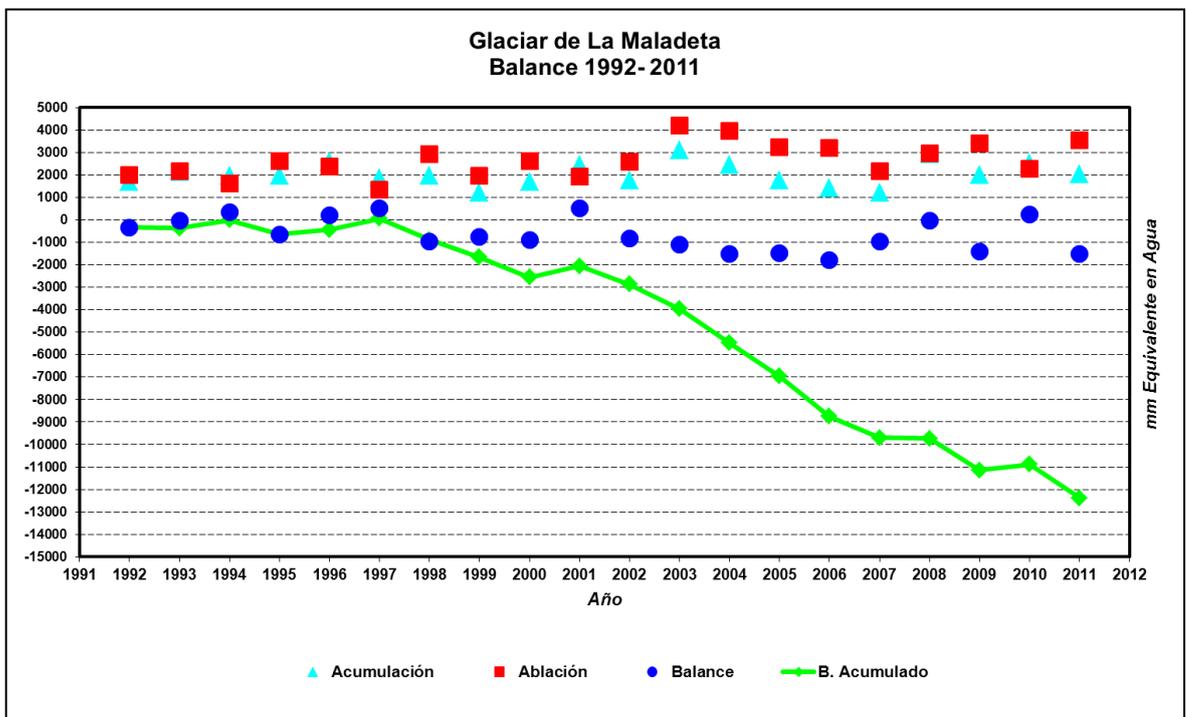


Gráfico 5

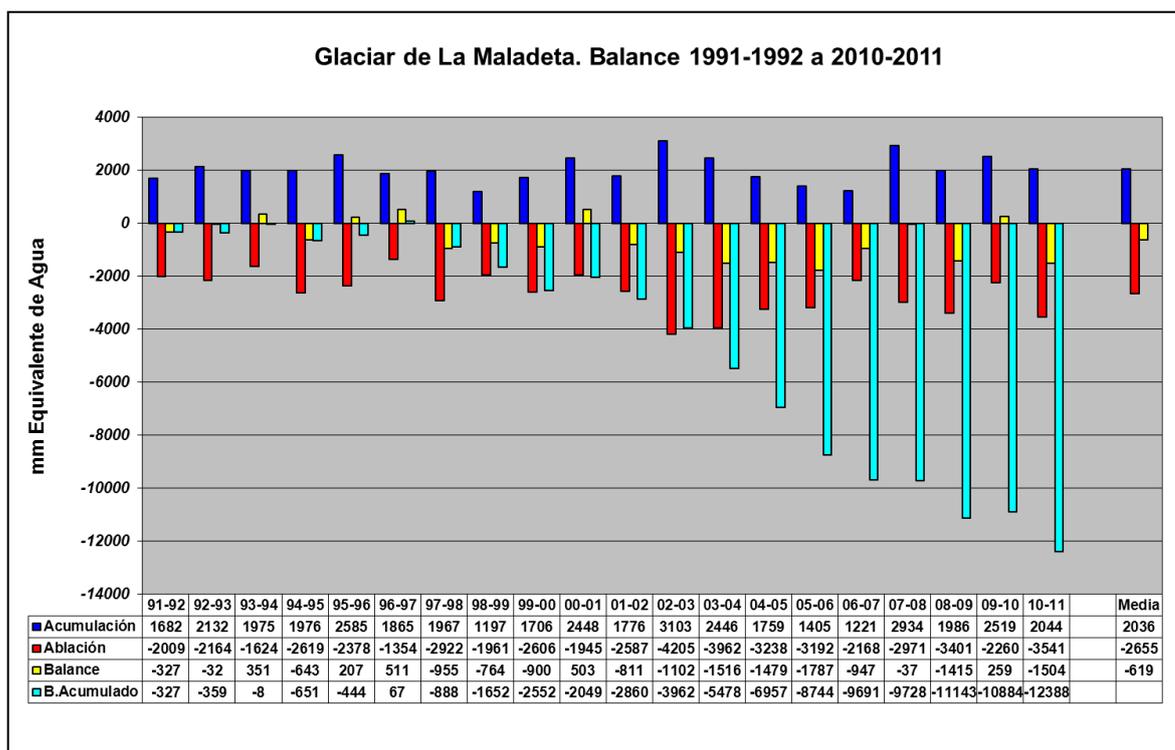


Gráfico 6

CAMPAÑAS DE CAMPO

La acumulación invernal se ha determinado por sondeo en seis puntos característicos del glaciar, el **24 de mayo de 2011**, siguiendo la metodología establecida, con tiempo bueno y sin ninguna incidencia destacable. La medición se ha realizado antes de lo habitual (normalmente se realiza a mediados de junio) debido a que este año el deshielo se ha producido un mes antes de lo normal y además no se estaban produciendo las típicas nevadas de abril y mayo.

La toma de datos de ablación se llevó a cabo el **28 de septiembre de 2011**. Todavía quedaba nieve reciente caída una semana antes, por lo que el personal se pudo desplazar por el glaciar sin apenas dificultades, salvo por la margen superior izquierda debido a la caída de grandes bloques de piedra. Como ya se ha indicado anteriormente, la baliza B23, situada en la parte inferior del glaciar, ha desaparecido al salir en su totalidad al exterior.

ANÁLISIS DE DATOS

Año 2010-2011: en lo que se refiere a la acumulación detectada (2.044 mm), nos encontramos con el octavo valor total más alto de la serie estudiada (20 años hidrológicos completos), aunque sólo un poco por encima de la media (2.036 mm). Los espesores de nieve sobre el hielo glaciar son bastante apreciables, llegando a los 4,20 m en la parte alta (3.117 m) y 2,90 m en la parte baja (2.874 m). Aun así, el espesor es menor de lo normal en la parte alta del glaciar y mayor en la parte inferior.

La ablación total (3.541 mm) resulta de las más altas de la serie de estudio (la tercera) estando por encima de la media (2.655 mm). Esto es debido a las altas temperaturas de finales de agosto y septiembre así como a la práctica ausencia de precipitaciones ocurridas durante el periodo de ablación, tanto en forma de agua como sobre todo en forma de nieve.

El balance (-1.504 mm) resulta el tercer peor de toda la serie y muy por debajo de la media (-619 mm). El balance acumulado supera los 12.000 mm (12.388 mm en concreto), lo que representa una pérdida media en todo el glaciar de más de 14 m de espesor en estos 20 años.

A lo largo de los años de estudio hemos podido constatar la mayor importancia de la ablación frente a la acumulación como factor determinante del balance de masa. Si nos fijamos detenidamente en el gráfico 6, observamos que en algunos casos (96-97 y 97-98) partiendo de acumulaciones muy similares llegamos a ablaciones (y por lo tanto balances) muy dispares. Estos hallazgos nos llevaron a analizar con detalle los datos meteorológicos (cuando existían), encontrando que la ablación no tenía una relación con la termometría tan clara como "a Priori" pudiera parecer, es decir, con temperaturas medias mensuales muy similares encontrábamos ablaciones muy diferentes. Ello nos llevó a pensar en el factor precipitación como determinante de la ablación. En efecto, este análisis demostró que, con independencia de las temperaturas, se daban mayores ablaciones cuando el verano resultaba seco y, más aún, a igualdad de cantidad de precipitación, se encontraban diferencias notables dependiendo del mayor o menor número de días exentos de precipitación.

Los episodios esporádicos de pequeñas nevadas resultan normales en las áreas glaciares a lo largo del periodo estival y, aunque su importancia desde el punto de vista de la ganancia de masa es mínima, la nieve nueva, por su elevada capacidad de reflexión y su baja conductividad térmica aísla el glaciar, retardando los procesos de ablación. Este fenómeno es aún más significativo cuando afecta directamente al hielo descubierto, dado su menor albedo.

No obstante, la brevedad de la serie estudiada, la baja disponibilidad de datos meteorológicos, así como la relativa aplicabilidad de los datos termométricos y pluviométricos -se utilizan estaciones situadas unos 2.000 metros por debajo de la cota del glaciar- recomiendan interpretar estas primeras conclusiones como provisionales. Así mismo, sería de gran ayuda contar con datos termométricos más directos (instalación de termómetros de registro), así como la realización de campañas de control suplementarias (sobre todo en el periodo de ablación). En la misma línea, disponer de datos de balance de energía del glaciar supondría un gran apoyo a la investigación.

De cualquier modo, los datos de balance de masa disponibles indican una pérdida acumulada a lo largo de los últimos 20 años superior a los 12.388 mm de agua, es decir unas pérdidas medias de hielo sobre el glaciar del orden de 14 metros, lo que indica una clara regresión de este aparato. Las pérdidas acumuladas en la parte terminal del glaciar (baliza 5) alcanzan los 35 metros de pérdida de hielo.

Hasta el último año hidrológico completo estudiado (2010-2011), el cuerpo principal del glaciar presenta una superficie de 25,49 ha, frente a las 27,68 ha que presentaba en 2010, es decir, una pérdida de casi el 8 % de su superficie. Así mismo supone una pérdida de casi el 50 % desde 1991, cuando el glaciar presentaba una superficie de 50 ha.

		1994	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
COTA INFERIOR	COTA SUPERIOR	m²											
2787,5	2812,5	1709	328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2812,5	2837,5	4616	2673	1525	981	606	0	0	0	0	0	0	0
2837,5	2862,5	7459	3808	3119	2007	1624	907	1303	1454	1092	1106	1190	1613
2862,5	2887,5	10274	7830	7443	5766	5467	4264	4078	4594	5043	3447	3576	3290
2887,5	2912,5	12786	10673	9879	8797	8625	8391	7854	7842	6835	8061	7874	6663
2912,5	2937,5	15549	12029	10160	10681	9897	9275	8931	8671	8754	7752	7487	6423
2937,5	2962,5	21489	15414	14274	12454	12561	11190	9228	8338	9580	8341	8447	7557
2962,5	2987,5	21427	18262	16150	15453	15608	15283	12697	11432	12154	11365	11511	10378
2987,5	3012,5	25849	22327	20742	16788	17764	17689	17500	14134	16438	14025	14220	12389
3012,5	3037,5	40589	32883	37677	37134	31516	29473	31393	19578	20630	17611	17299	15377
3037,5	3062,5	46499	45073	42724	42724	46480	40199	43055	30270	37082	33878	34084	29974
3062,5	3087,5	48681	47070	44214	44214	41731	43793	44173	35226	36732	37487	36132	30037
3087,5	3112,5									38385	37218	36793	33113
3112,5	3137,5									37799	37089	37409	37068
3137,5	3162,5									40030	38265	39652	41114
3162,5	3187,5									18382	17840	18052	16913
3187,5	3212,5									2770	2770	3083	3041
3087,5	3212,5	161478	159242	157924	157924	153320	147803	132823	134095	137366	133182	134989	131249
TOTAL		418405	377612	365831	354923	345199	328267	313035	275634	291706	276255	276809	254950
		42 ha	38 ha	37 ha	35 ha	35 ha	33 ha	31 ha	28 ha	29 ha	28 ha	28 ha	25 ha

		DIFERENCIA 1994-2001	DIFERENCIA 2001-2002	DIFERENCIA A 2002-2003	DIFERENCIA 2003-2004	DIFERENCIA A 2004-2005	DIFERENCIA A 2005-2006	DIFERENCIA 2006-2007	DIFERENCIA 2007-2008	DIFERENCIA 2008-2009	DIFERENCIA 2009-2010	DIFERENCIA 2010-2011	DIFERENCIA 1994-2011
COTA INFERIOR	COTA SUPERIOR	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²
2787,5	2812,5	-1381	-328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1709
2812,5	2837,5	-1943	-1148	-544	-375	-606	0	0	0	0	0	0	-4616
2837,5	2862,5	-3651	-689	-1112	-383	-717	396	151	-362	14	84	423	-5846
2862,5	2887,5	-2444	-387	-1677	-299	-1203	-186	516	449	-1596	129	-286	-6984
2887,5	2912,5	-2113	-794	-1082	-172	-234	-537	-12	-1007	1226	-187	-1211	-6123
2912,5	2937,5	-3520	-1869	521	-784	-622	-344	-260	83	-1002	-265	-1064	-9126
2937,5	2962,5	-6075	-1140	-1820	107	-1371	-1962	-890	1242	-1239	106	-890	-13932
2962,5	2987,5	-3165	-2112	-697	155	-325	-2586	-1265	722	-789	146	-1133	-11049
2987,5	3012,5	-3522	-1585	-3954	976	-75	-189	-3366	2304	-2413	195	-1831	-13460
3012,5	3037,5	-7706	4794	-543	-5618	-2043	1920	-11815	1052	-3019	-312	-1922	-25212
3037,5	3062,5	-1426	-2349	0	3756	-6281	2856	-12785	6812	-3204	206	-4110	-16525
3062,5	3087,5	-1611	-2856	0	-2483	2062	380	-8947	1506	755	-1355	-6095	-18644
3087,5	3112,5									-1167	-425	-3680	
3112,5	3137,5									-710	320	-341	
3137,5	3162,5									-1765	1387	1462	
3162,5	3187,5									-542	212	-1139	
3187,5	3212,5									0	313	-42	
3087,5	3212,5	-2236	-1318	0	-4604	-5517	-14980	1272	3271	-4184	1807	-3740	-30229
TOTAL		-40793	-11781	-10908	-9724	-16932	-15232	-37401	16072	-15451	554	-21859	-163455
		-4 ha	-1 ha	-1 ha	-1 ha	-2 ha	-2 ha	-4 ha	2 ha	-2 ha	0 ha	-2 ha	-16 ha

DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL HIELO

El estudio topográfico de las balizas ha permitido determinar el movimiento superficial anual del hielo. Los trabajos coinciden con la campaña de ablación. Los movimientos detectados se exponen en la figura 4.

Según lo observado, los movimientos anuales registrados en las distintas balizas marcan las zonas con flujo extensivo (balizas 2, 3, 6 y 4) y compresivo (balizas 5 y 7), quedando así definidas las áreas de mayor o menor dinámica. Actualmente las balizas 5, 6 y 7 (y las que las sustituyeron) han desaparecido.

La zona más rápida del glaciar presenta un movimiento medio anual de aproximadamente 5 m.

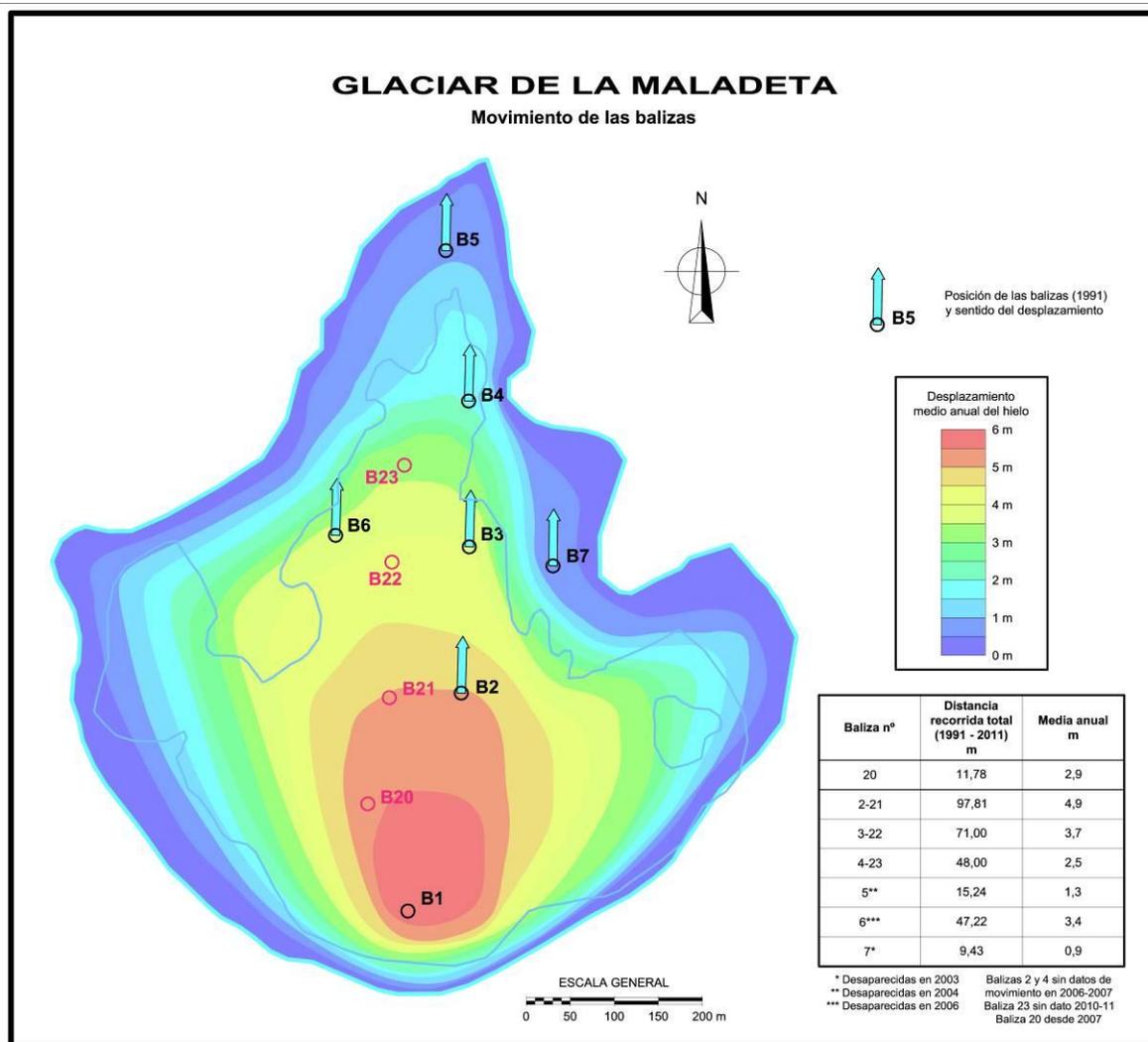
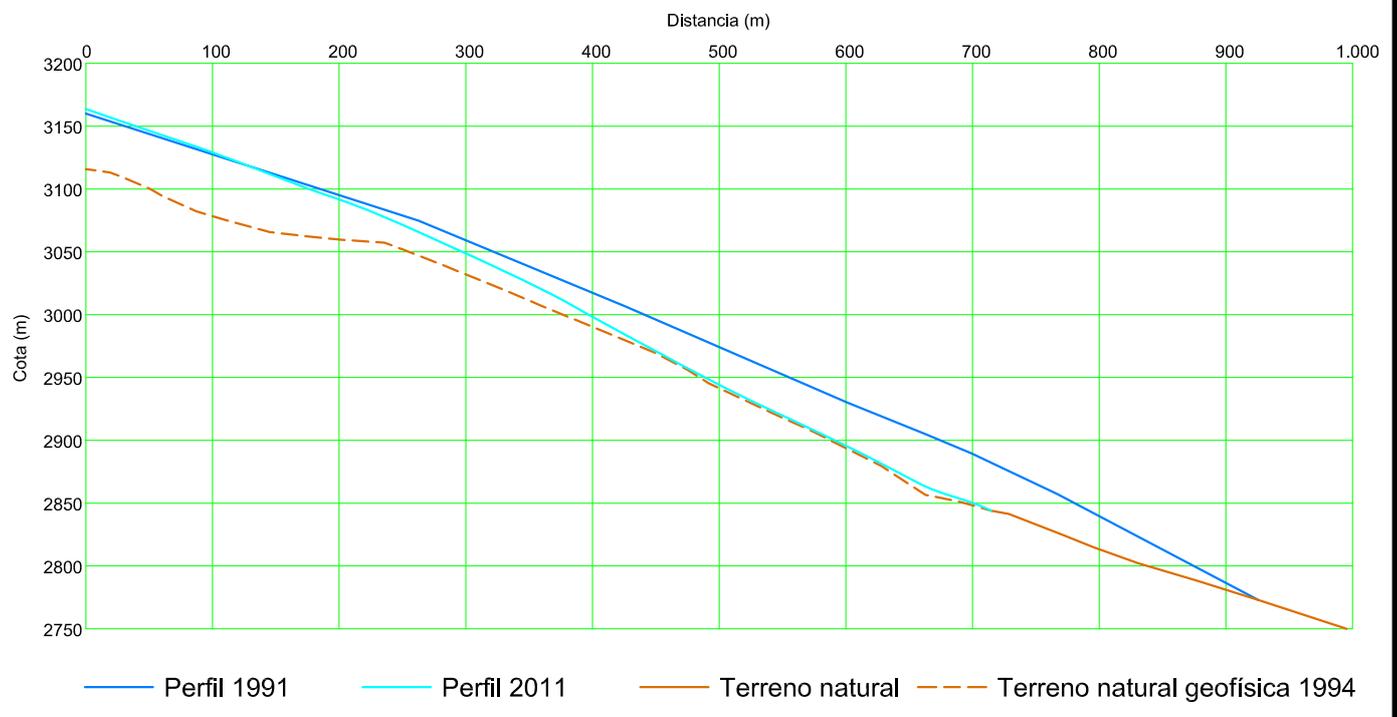


Figura 4: Movimiento superficial del hielo

GLACIAR DE LA MALADETA

Perfiles longitudinales 1991-2011



GLACIAR DE LA MALADETA
Medida de la acumulación (24/05/2011)



Glaciar del Aneto. Aproximación en helicóptero al glaciar de La Maladeta.



Glaciar de La Maladeta. Aproximación en helicóptero al glaciar de La Maladeta.



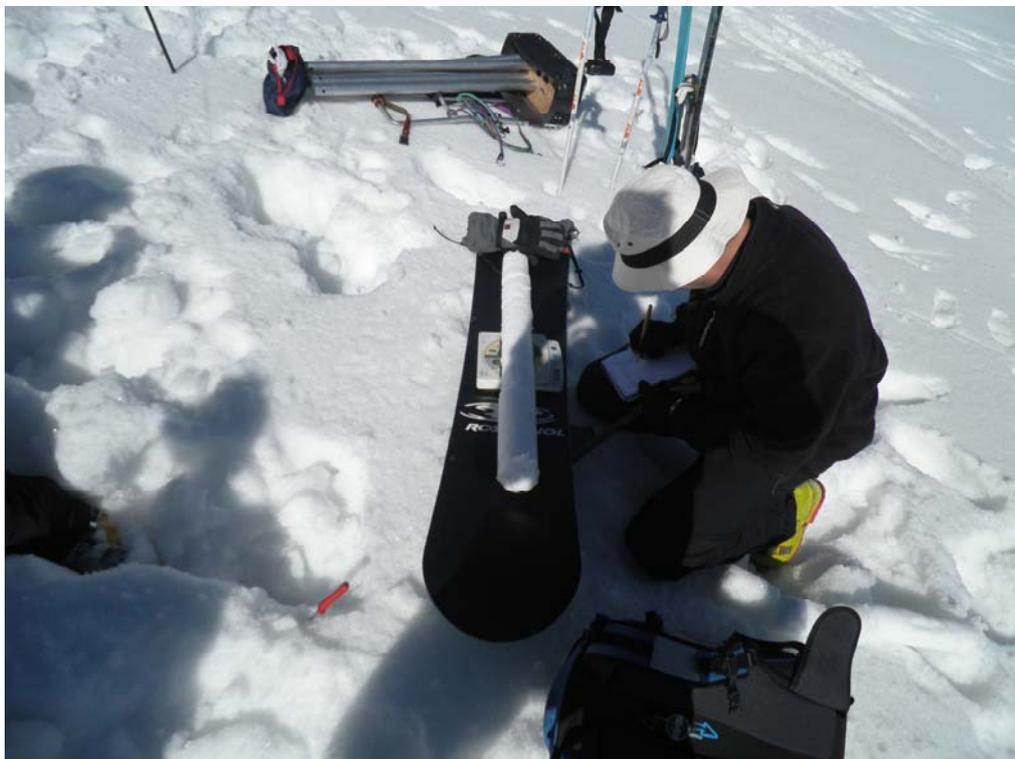
Glaciar del La Maladeta. Rimaya. Lugar en el que aterriza el helicóptero para dejar al personal



Parte superior del glaciar. Medida del espesor de nieve sobre la Baliza 20, cota 3.135 m, 380 cm de nieve



Parte superior del glaciar. Sondeo nº 1 cota 3.117 m



Parte superior del glaciar. Sondeo nº 1 cota 3.117 m. Pesado y medida de los testigos de nieve



Parte superior del glaciar. Sondeo nº 2 cota 3.075 m



Parte superior del glaciar. Sondeo nº 2 cota 3.075 m. Testigos extraídos



Parte intermedia del glaciar. Sondeo nº 3 cota 3.004 m



Parte intermedia del glaciar. Sondeo nº 3 cota 3.004 m



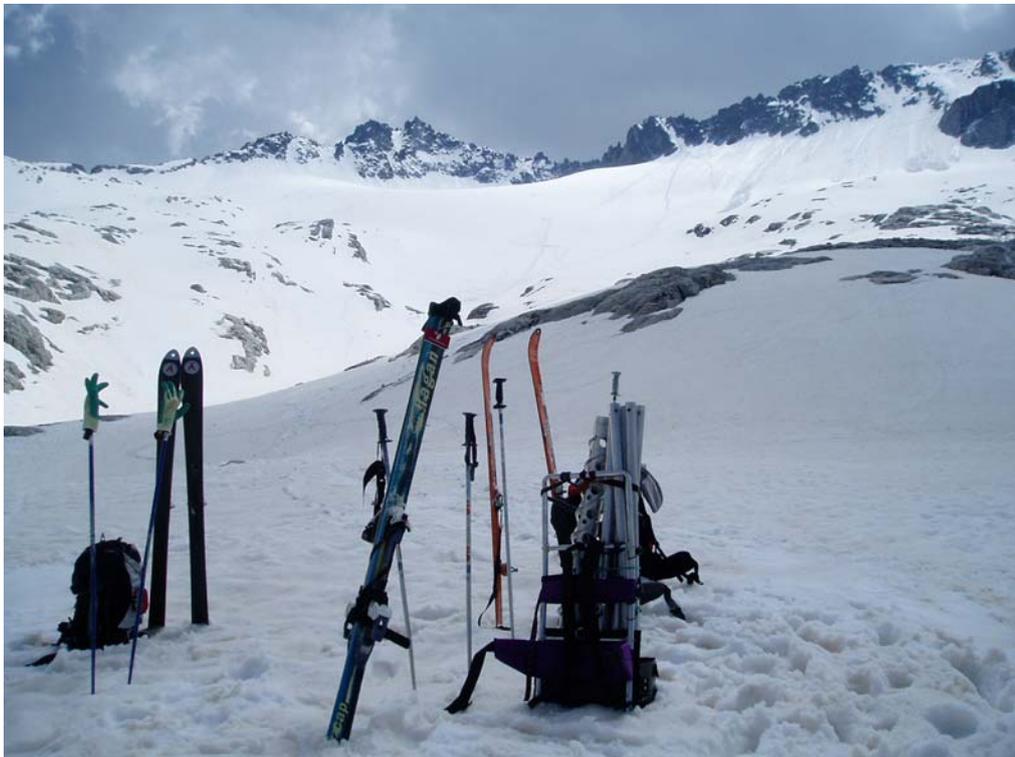
Parte intermedia del glaciar. Sondeo nº 4 cota 3.004 m. Medida del espesor de la nieve, 390 cm



Parte baja del glaciar. Sondeo nº 5 cota 2.944 m



Parte baja del glaciar. Sondeo nº 6 cota 2.874 m. Último testigo extraído, con hielo glaciar



Glaciar de La Maladeta desde el punto de recogida por el helicóptero

GLACIAR DE LA MALADETA
Medida de la ablación (28/09/2011)



Glaciar del Aneto desde el helicóptero en 2010



Glaciar del Aneto desde el helicóptero en 2011



Glaciar de La Maladeta desde el helicóptero en 2010



Glaciar de La Maladeta desde el helicóptero en 2011



Glaciar de La Maladeta visto desde la base topográfica en 2010



Glaciar de La Maladeta visto desde la base topográfica en 2011



Parte baja del glaciar visto desde la base topográfica en 2010



Parte baja del glaciar vista desde la base topográfica en 2011



Parte intermedia del glaciar vista desde la base topográfica en 2010



Parte intermedia del glaciar vista desde la base topográfica en 2011



Parte alta del glaciar vista desde la base topográfica en 2010



Parte alta del glaciar vista desde la base topográfica en 2011



Parte alta (margen izquierda) del glaciar vista desde la base topográfica en 2009



Parte alta (margen izquierda) del glaciar vista desde la base topográfica en 2011



Rimaya. Lugar en el que aterriza el helicóptero para dejar al personal



Parte superior del glaciar, salida de la rimaya



Parte superior-izquierda del glaciar



Base topográfica desde el glaciar



Baliza 20. 10 cm negro. Cota 3.121 m



Parte superior central del glaciar



Parte intermedia del glaciar, margen derecha



Parte intermedia del glaciar



Baliza 21. 51 cm amarillo. Cota 3.062 m



Antigua isla margen izquierda



Cueva en margen izquierda, antigua isla



Cueva margen derecha



Baliza 22. 5 cm amarillo. Cota 2.987 m



Parte baja del glaciar desde la margen izquierda



Frente del glaciar desde la margen izquierda



Frente del glaciar, margen derecha



Glaciar de La Maladeta desde el punto de recogida por el helicóptero

GLACIAR DE LA MALADETA. EVOLUCIÓN DE LA ISLA GLACIAR EN SU MARGEN IZQUIERDA



Año 2004



Año 2005



Año 2007



Año 2008



Año 2009



Año 2010



Año 2011