

Analizando el cambio climático a partir de los

GLACIARES DEL ECUADOR





¿CUÁNTOS GLACIARES EN EL ECUADOR?

A partir de recientes estudios utilizando aerofotogrametría en los volcanes nevados Cotopaxi, Antisana, Chimborazo y Carihuayrazo, se ha estimado una cobertura glaciaria de 60km² en el país para el año 1997 y probablemente menor a

50 km² en 2011 (Cáceres, 2010). Los glaciares del Ecuador representan entonces el 4% de los glaciares del trópico andino (Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia).

Casquetes glaciares	Número de glaciares	Área (km ²) estimaciones en 2006
Antisana	17	12.2
Cotopaxi	19	11.8
Chimborazo	22	9.4
Cayambe	20	9.3
Altar	6	4.6
Illiniza	10	0.3
Carihuayrazo	9	0.24

*Principales macizos glaciares del Ecuador, números de lenguas glaciares y estimación de su superficie en 2006. Entre 1997 y 2006 ha sido calculada para el Cotopaxi una pérdida de área del 22%, la cual sirve de base de cálculo para las superficies de los glaciares de los otros volcanes en 2006 [Cáceres, 2010].



Para citar este folleto:

Francou, B., Cáceres, B., Villacís, M., Basantes, R., Maisincho, L., Galárraga, R., Romero, J.C., 2011. Analizando el cambio climático a partir de los glaciares del Ecuador. IRD, SENESCYT, EPMAPS, INAMHI, EPN, Quito - Ecuador.

Esta publicación fue posible gracias al apoyo del IRD y su DSF, de la EPN, de la SENESCYT y de la EPMAPS.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no representan la opinión de las instituciones vinculadas a este proyecto.

Diseño: belénmena

Impresión: Imprimax

Foto Portada: Antisana norte. (©B.Francou, 2011)

¿QUIÉN SOMOS?

En junio del 1994, el IRD tomó la iniciativa para crear un programa de estudio de los glaciares en el Ecuador. Este programa era la extensión de un programa fundado en Bolivia en el año 1991. Se escogió el volcán Antisana para realizarlo, vinculando este estudio con el proyecto La Mica Quito-Sur de la EMAAP-Q (la actual EPMAPS). Las instituciones fundadoras de este programa científico, junto con el IRD han sido el INAMHI y la EPMAPS, las cuales han asegurado la continuidad del mismo hasta la fecha. A partir de 1997, y más activamente a partir del 2008, la EPN a través de su Departamento de Ingeniería Civil y Ambien-

tal y mediante fondos de la SENESCYT (con el Proyecto SENACYT PIC-08-506), se unió a este programa y en 2010, el programa recibió un apoyo significativo del Ministerio del Medio Ambiente y del Banco Mundial a través del proyecto PRAA. En el 2009 se conformó en la EPN-INAMHI el Equipo de Investigadores Asociado al IRD denominado IMAGE, y luego en 2011 el IRD facilitó los fondos para la conformación del Laboratorio Mixto Internacional (LMI) Greatice, a fin de estructurar el programa a nivel de toda la región de los Andes centrales (Ecuador, Perú, Bolivia y en el futuro, Colombia).

Este programa en el Ecuador tiene cuatro objetivos:

- Comprender las razones del retroceso actual de los glaciares del país
- Documentar la evolución de la atmósfera tropical a más de 4000m en las cercanías de la línea ecuatorial
- Estudiar el impacto del retroceso de los glaciares sobre el recurso agua y sobre el comportamiento hidrológico de ecosistemas como el páramo
- Relacionar las informaciones glacioclimatológicas de los Andes ecuatoriano con las provenientes de la misma red de observación de glaciares en Bolivia, Perú y Colombia.



* Cara noroeste del Antisana, con el glaciar 15 en el centro derecha (©B.Francou, 2000)

¿PORQUÉ ESTUDIAR LOS GLACIARES?



*Glaciares oeste y sur del Antisana, con el glaciar 12 "Los Crespos" en el centro derecho (©B.Francou, 2011)

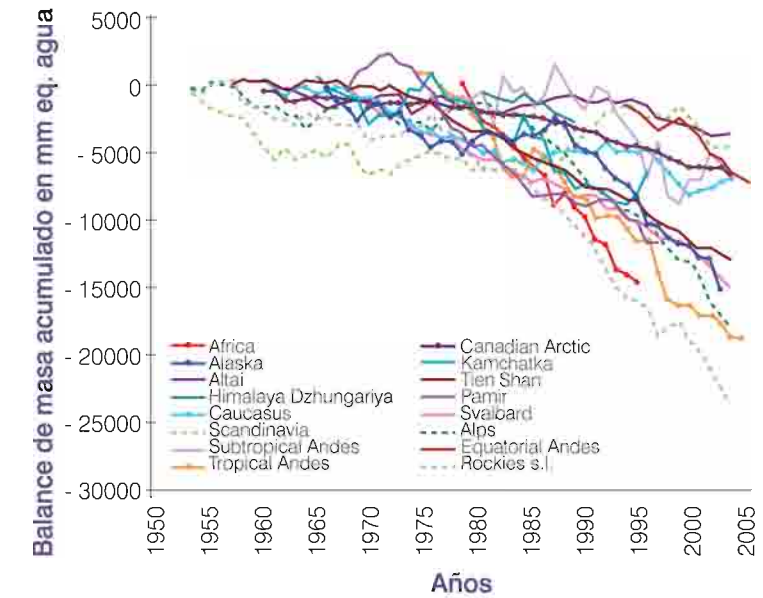
Los glaciares reciben precipitaciones sólidas (nieve, granizo), que se acumulan en su parte superior.

Por otra parte, pierden su hielo - por fusión principalmente - en su parte inferior. De este modo, reflejan los estados sucesivos de la atmósfera (precipitación, radiación solar, temperatura, humedad, vientos) y constituyen indicadores muy sensibles de las variaciones del clima

La mayor parte de los glaciares del planeta se reducen como consecuencia del calentamiento global. Los glaciares de alta montaña son los más sensibles a esta tendencia. Pero estos retroceden a ritmos y magnitudes distintos según las regiones y los macizos del mundo: en el trópico, el retroceso se ha acelerado a partir de los años 1976-1980, a tal punto que muchos ya han desaparecido.

Existe una red de observación de glaciares a nivel mundial cuya información es compilada por el *World Glacier Monitoring Service* (Suiza). El sistema de monitoreo organizado por el programa *GreatIce* comprende unos 10 glaciares del trópico andino. Esta red es única en la zona tropical y proporciona una información continua y de referencia sobre los glaciares y su entorno hidrometeorológico desde hace 15 - 20 años.

* Evolución del balance de masa acumulado en 75 glaciares del mundo agrupados en 15 grandes regiones. Los glaciares en su mayoría pierden masa. Los que pierden en mayor cantidad tienen un déficit de 15 a 25 m, lo que equivale a una capa de agua de este espesor sacada de toda la superficie del glaciar. [Francou & Vincent, 2007].



¿QUÉ REPRESENTAN LOS GLACIARES DE MONTAÑA EN EL PLANETA?

Además del impacto a nivel local que puede tener su retroceso y su posible desaparición, la reducción de los glaciares de montaña tiene consecuencias a nivel global.

- Su fusión completa provocaría la elevación del nivel oceánico en aproximadamente 24 cm, lo que es poco en comparación con la fusión de los casquetes polares de la Antártica y del Groenlandia, cuya masa elevaría 72 m el nivel.

- Sin embargo, los glaciares de montaña representan 30% del valor de la subida del nivel oceánico, estimado a $3,4 \pm 0,4$ mm / año por altimetría satelital durante los últimos 15 años, al igual que los casquetes polares.

¿Cuál es la importancia de los glaciares del Trópico?

- Suman aproximadamente 1700 km² (un área comparable a la cobertura glaciar de los Alpes),



- es a decir un poco menos del equivalente de 0,3mm del nivel oceánico en caso de fusión total
- Las zonas de altura del Trópico, por los efectos combinados de la baja latitud y de la alta altitud, son las que reciben con más intensidad la energía del Sol: este aporte es máximo en verano en Bolivia y Perú, y durante el periodo de los equinoccios en Ecuador.
- Debido a la baja densidad de la atmósfera a esta altura (más de 4500m), el aire no puede calentarse suficientemente para provocar una fusión directa importante: la fusión depende sobre todo de la cantidad de energía radiativa absorbida por la superficie del glaciar.
- La precipitación, su frecuencia y su fase (sólida / líquida), tiene un rol importante, no solamente a través del proceso de acumulación de la nieve que se incorpora al glaciar, sino también por la presencia de una capa de nieve con un albedo¹ elevado que atenúa la ablación.
- Los glaciares del Trópico son entonces buenos indicadores de la evolución de la temperatura atmosférica y de las precipitaciones.

- Por su ubicación, los glaciares andinos son muy sensibles a la variación de la temperatura superficial del Pacífico (fenómenos El Niño / La Niña) y a los flujos húmedos originarios del Atlántico ("monzón amazónico").

Adicionalmente, tienen un rol importante en el abastecimiento de agua: constituyen un aporte adicional a las precipitaciones del año, por lo cual regulan el régimen hidrológico de las cuencas de alta montaña y son, con las zonas de páramo, los "reservorios de agua" de los Andes.



* Llegada a la cumbre del Antisana para medir la acumulación del año (©B.Francou, 2011)



¿QUÉ HACEMOS, Y DONDE?

Observamos los cambios que afectan a los glaciares a largo plazo.

- Cuantificamos la evolución del volumen de los glaciares midiendo el balance de masa² a paso de tiempo anual y mensual

- Medimos las fluctuaciones geométricas del glaciar: avance/retroceso, cambios de área, de velocidad y de espesor de la parte inferior.
- Por métodos aerofotogramétricos e imágenes satelitales, evaluamos los cambios de los casquetes de hielo de distintos macizos, Antisana,

1. El albedo es la capacidad de un cuerpo, sobre todo por su color, de reflejar la luz.

2. El balance de masa es la diferencia entre el aporte por la precipitación (acumulación) y las pérdidas por ablación (fusión y sublimación). Se expresa en general en metros de agua por año. Puede ser positivo (ganancia), negativo (pérdida) o nulo (equilibrio).

Cotopaxi, Chimborazo, Carihuayrazo, principalmente, a fin de establecer comparaciones y correlaciones.

- Relacionamos la evolución de la masa de hielo con los cambios atmosféricos: medimos la precipitación y los flujos de energía intercambiados entre la atmósfera y la superficie del glaciar (radiación, flujos turbulentos).
- Cuantificamos también la fusión del hielo y de la nieve a través de la medición del caudal del río que drena la cuenca donde se encuentra el glaciar.
- Esas observaciones geofísicas e hidrológicas, las hacemos en dos lenguas del casquete del volcán Antisana, los glaciares 15 (NO) y 12 (SO).
- Son partes de una red regional, que se extiende a Bolivia, Perú y Colombia, y que constituye un observatorio único a nivel de la toda zona tropical.



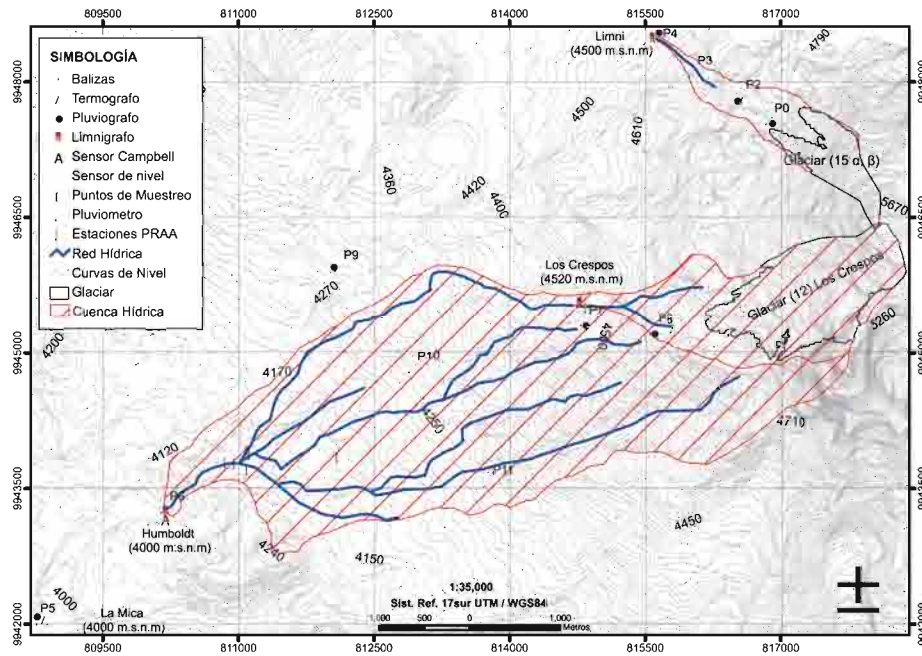
* Extracción de testigos de nieve para medir su densidad y estimar la capa de agua acumulada por las precipitaciones en un año. Zona de acumulación del glaciar 15 del Antisana a 5400m. (©B.Francou, 2008)



* Perforación de la capa de hielo de 54 m de espesor en la cumbre Veintimilla del Chimborazo (6230 m) en 2000 y extracción de un núcleo para realizar análisis geoquímicos en laboratorio (en Grenoble, Francia). Esos análisis permiten reconstruir la variabilidad del clima de los siglos / milenios pasados a partir de un conjunto de indicadores isotópicos y químicos (B.Francou, 2000).

- Analizamos el funcionamiento hidrológico de algunas cuencas de alta montaña, como la de “Los Crespos - Humboldt” del Antisana (5760m - 4000m).

* Estación meteorológica instalada al borde del glaciar 15a del Antisana a 4880 m. Este tipo de estación mide las variables del balance energético: radiaciones netas, cortas y largas, temperatura (ventilada), humedad, vientos a distintas alturas a partir de la superficie, espesor de la nieve y precipitaciones de todos tipos (©B.Francou, 2010).



*Glaciar 15 (arriba) y Glaciar 12 “Los Crespos” y sus cuencas hidrográficas respectivas en la vertiente oeste del Antisana (© Marcos Villacís & Rubén Basantes, 2011)

¿CUÁLES SON LOS RESULTADOS SOBRESALIENTES?

Se ha acumulado a lo largo de los años una base de datos sobre la evolución de glaciares bajo la línea ecuatorial, la cual no tiene equivalente a nivel mundial.

- Los casquetes glaciares del Ecuador han perdido entre 30 y 50% de su superficie durante los últimos 30 años (1976-2006), al igual a los glaciares de Perú, Bolivia y Colombia.

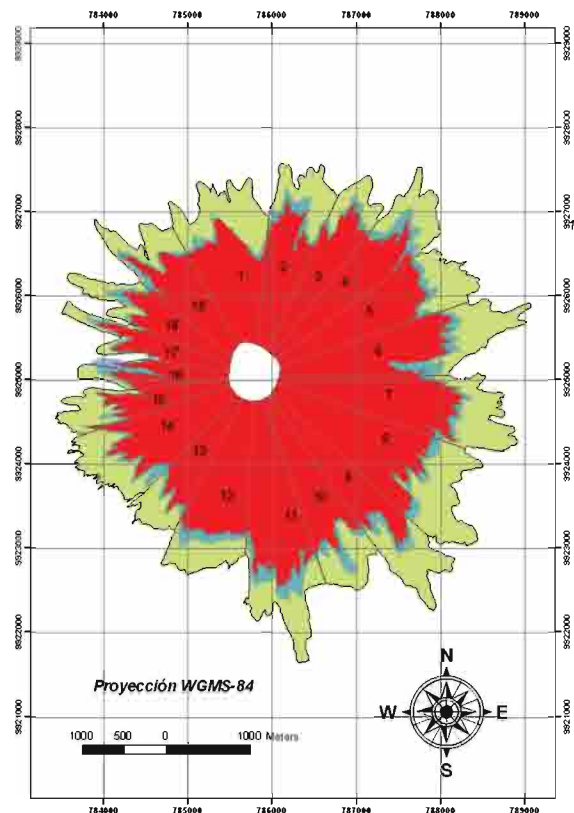
- Las figuras siguientes presentan el ejemplo del Cotopaxi, que se ha podido estudiar de una manera detallada por aerofotogrametría desde 1956. Mientras que no hubo cambios notables entre 1956 y 1976, la reducción de las áreas glaciares se ha concentrado entre 1976 y 2006 y alcanza un 45%.



* Volcán Cotopaxi visto del sector del Antisana (©B.Francou, 2000)



- El retroceso se deja apreciar también sobre esta serie de fotos tomadas desde un mismo punto al pie del glaciar 15a del Antisana. La lengua terminal de este glaciar ha retrocedido de unos 320 metros en 15 años (1994-2011). Se han producido algunos avances de la lengua en 1999, 2000, 2008 y 2011, que alcanzan un valor acumulado de ~50 metros.



* Mapa del retroceso de los glaciares del Cotopaxi. En amarillo, azul y rojo, las extensiones de esos glaciares en 1976, 1997 y 2006 respectivamente. La superficie de glaciares alcanzaba 21,8 km² en 1976, 15,4 km² en 1997 (-30%), y 11,8km² en 2006 (-45%). [Jordan et al., 2005, actualizado por Cáceres, 2010]



1994



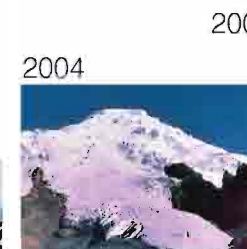
1995



1996



2000



2004



2008



2011

GLACIAR 15a del ANTISANA
Evolución de la lengua
terminal 1994-2011
[©B.Francou]

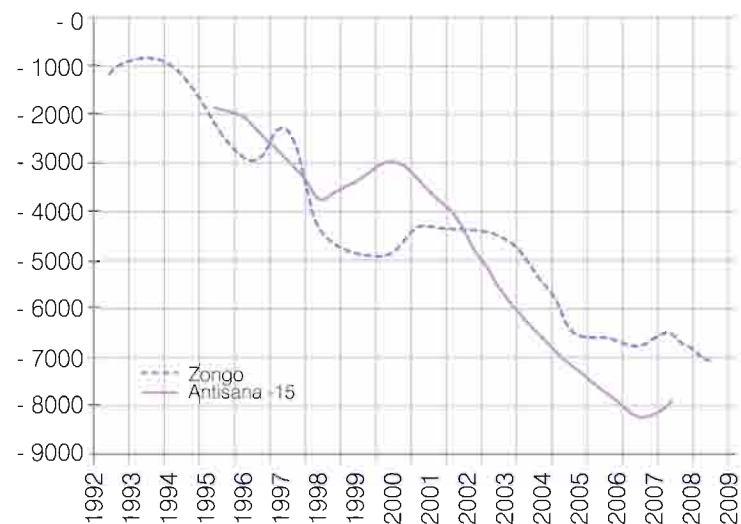


- En el Antisana 15a, las pérdidas netas de hielo alcanzan 6-8m/año en equivalente agua al pie del glaciar (4900m), luego disminuyen rápidamente hasta llegar a un 0m en el rango de 5000 a 5300m, donde se ubica línea de equilibrio³.

- En este mismo glaciar, el balance de masa en 15 años (1995-2009) ha sido negativo, con pérdidas acumuladas repartidas sobre toda la superficie alcanzando los 8 metros de agua. El balance ha sido positivo solo cuatro veces (en 1999, 2000, 2008 y 2011).

3. "La" Línea de Equilibrio del Glaciar (LEG) es el lugar donde se equilibran las ganancias y las pérdidas. La LEG varía cada año con el balance de masa. Con un balance de masa equilibrado (Bm=0), la LEG se sitúa sobre este glaciar del Antisana a los 5100m.





* Balance de masa acumulado de 2 glaciares monitoreados en los Andes tropicales, el Zongo (16°S) desde 1991, y el Antisana 15 (0°28S), desde 1995. Los 2 glaciares, separados por una distancia de ~1800km, han sufrido pérdidas comparables (©LMI GreatIce)



- La ablación a menos de 5000 m varía mucho de un año al otro, en un factor 4 (de 0,6 a 2,4m/año)
 - La fusión (agua sólida cambiando al líquido) predomina mucho sobre la sublimación (cambio del sólido al vapor), en una proporción de 5 a 1. La sublimación es notable únicamente entre junio y agosto cuando los vientos del este son fuertes. Como consume mucha energía, disminuye la ablación.
 - La fusión depende del balance radiativo de ondas cortas y del albedo, y - de manera mucho menor -, de la temperatura atmosférica (calor sensible)
 - Pero, el balance radiativo de onda corta (radiación proveniente del sol y parcialmente

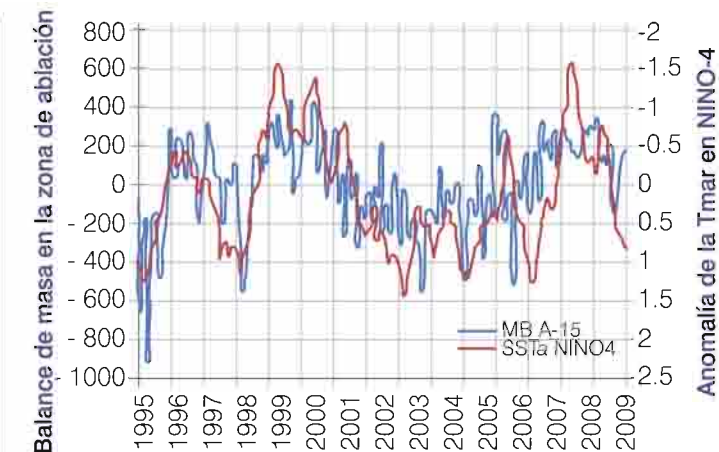
reflejada por la nieve o el hielo) depende también indirectamente de la temperatura atmosférica: cuando hace frío, la precipitación es sólida (nieve), y la cobertura de nieve se acumula, dando a la superficie un valor de albedo elevado. Lo contrario ocurre cuando la atmosfera tiene una temperatura apenas positiva y llueve, el albedo del hielo es muy bajo y el glaciar absorbe mucha energía.

- Esto explica que el balance de masa en la parte baja del glaciar (zona de ablación) aparece bien correlacionado a la temperatura atmosférica a paso de tiempo mensual y anual.

- La variación de la temperatura atmosférica en los Andes ecuatorianos está muy relacionada

con la temperatura superficial del Pacífico central, sector de "Niño4" (5S-5N, 160E-150W). El tiempo de transmisión de la anomalía registrada desde este sector a la atmósfera andina está en el orden de tres meses. En otras palabras, existe una fuerte probabilidad de que un calentamiento anormal del agua superficial de este sector central del Pacífico (ocurrencia de El Niño) aumente la tasa de fusión del glaciar del Antisana 3 meses después.

- El comportamiento hidrológico de los glaciares en su cuenca ha sido analizado y aporta la información siguiente.
 - El aporte de los glaciares (Cotopaxi y Antisana) a los 5,6 m³/s potencialmente consumidos por la ciudad de Quito se estima en un ~4%.
 - En una cuenca de alta montaña con 15% de cobertura glaciar, como la cuenca Humboldt del Antisana a 4000 m, la contribución del glaciar al volumen escurrido alcanza un 37%, si se considera que toda el agua infiltrada en la parte cubierta de hielo termina en el río. Lo demás proviene de las aguas pluviales recibidas por el páramo.
 - Durante los periodos secos, los glaciares aumentan sensiblemente el porcentaje de sus aportes, contribuyendo a la regularización del régimen hidrológico de los ríos del páramo.



* Anomalía del balance de masa en la parte baja del glaciar 15 del Antisana durante el periodo 1995-2009 (eje Y en mm agua eq.) y anomalía de la temperatura superficial del mar en el sector NINO4 (eje Y en °C), con valores invertidos. Los valores del índice del Pacífico preceden los valores del balance de masa de 3 meses (mejor ajuste). El 0 corresponde al valor promedio del balance de masa. [Francou et al., 2004, actualizado]

- Sin embargo, la alimentación de los acuíferos por la fusión de los glaciares y por las precipitaciones recibidas por el páramo constituye un mecanismo hidrológico muy poco conocido que estamos investigando.
- Solo este tipo de estudio permitirá una cuantificación confiable del impacto real que tendría en el futuro la posible desaparición de las masas de hielo sobre los ecosistemas del páramo y los ríos que alimentan los valles andinos (riego, agua potable, generación hidro-eléctrica).



* Estación hidrométrica "Humboldt" instalada en 1999 por la EPMAPS y el IRD sobre el río Antisana a 4000 m y a 10 km del glaciar 12 "Los Crespos". El aporte del glaciar es todavía muy perceptible y se manifiesta por una crecida del caudal durante la tarde que corresponde al pico de fusión del hielo. El color lechoso de los ríos conectados a los glaciares traduce una carga sedimentaria elevada (©B.Francou, 2007).



LAS PRIORIDADES PARA EL FUTURO...

1. Consolidar el observatorio permanente de los glaciares en la zona tropical andina (desde Colombia a Bolivia), utilizando el LMI GreatIce como herramienta para garantizar su perennidad.
2. Seguir capacitando profesionales y estudiantes a nivel de maestría y doctorado para un manejo óptimo de este programa en los países andinos.
3. Utilizar herramientas de modelación glaciológica y climatológica para determinar la evolución de los glaciares monitoreados del Antisana durante las próximas décadas y hasta el fin del siglo XXI.
4. Simular los aportes hídricos de esos glaciares en función de su evolución futura utilizando modelos hidrológicos y modelos isotópicos del agua (^{18}O y D).
5. Extender el estudio a todos las otras lenguas glaciares del macizo del Antisana, en particular en la parte oriental todavía poco explorada.
6. Completar el inventario de todos los glaciares del Ecuador, comparando su evolución durante las últimas décadas.
7. Prever la evolución de los glaciares del Ecuador en general en función de los escenarios climáticos del futuro.
8. Utilizar las imágenes satelitales como herramientas de diagnóstico y de modelación de los glaciares, a medida que su resolución aumenta.
9. Consolidar la institucionalización del programa en el país con las universidades, las entidades estatales, y las organizaciones locales.
10. Profundizar las investigaciones en el área de Antisana sobre la relación glaciar - páramo y el comportamiento hidrológico de este ecosistema en escenarios de cambio climático, así como su rol en la provisión de servicios ecosistémicos hidrológicos.
11. Participar y brindar asistencia técnica a programas nacionales e internacionales que aspiran a fomentar políticas de mitigación y de adaptación al cambio climático.



* Glaciar 4 y cumbre Norte, en la cara oriental del Antisana. En este sector particularmente salvaje y solitario, los glaciares llegan a baja altura debido a intensas precipitaciones provenientes del oriente (©B.Francou, 2009)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cáceres, B., Francou, B., Favier, V., Bontron, G., Maisincho, L., Tachker, P., Bucher, R., Taupin, J.D., Delachaux, F. & Chazarin, J.P., 2007. El glaciar 15 del Antisana. Diez años de investigaciones glaciológicas. Proceedings of the First International Conference on the Impact of Climate Change on High-Mountain System, IDEAM, Bogota, Noviembre 2005, 63-74.
- Cáceres, B., Francou, B., Favier, V., Bontron, G., Tachker, P., Bucher, R., Delachaux, F., Chazarin, J.-P., Cadier, E., Villacís, M., Vuille, M., 2006. Glacier 15, Antisana, Ecuador: its glaciology and relations to water resources. In: S. Demuth, A. Gustard, E. Planos, F. Scatena and E. Servat (Editors), Climate Variability and Change (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. No. 308, Red Book, pp. 479-482.

- **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 Iguaçu, Brazil, 2005). IAHS Publ. 318: 66-74.
- **Favier, V., Coudrain A., Cadier, E., Francou B., Ayabaca, E., Maisincho, L., Praderio, E., Villacis M., & Wagnon, P.,** 2008. Evidences of underground flow on Antizana ice covered volcano, Ecuador. Hydrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques, 53(1), 278-294.
- **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. Glaciers of the outer and inner tropics: a different behavior but a common response to climatic forcing. Geophysical Research Letters 31, L16403, doi:10.1029/2004GL020654.
- **Francou, B.,** 2004. Andes del Ecuador: los glaciares en la época de los viajeros (siglos XVIII a XX), In Los Andes el reto del espacio mundo andino: homenaje a Olivier Dollfus, J.P. Deler & E. Mesclier editores, Inst. Fr. Et. And., Lima: 137-152.
- **Francou, B.,** 2007. Recesión de los glaciares en el Ecuador: una respuesta al cambio climático. Montaña, Quito, 25: 42-49.
- **Francou, B., Cáceres, B., Gomez, J. & Soruco, A.,** 2007. Coherence of the glacier signal throughout the tropical Andes over the last decades. Proceedings of the First International Conference on the Impact of Climate Change on High-Mountain System, IDEAM, Bogota, Noviembre 2005, 87-97.
- **Francou, B., & Vincent, C.,** 2007. Les Glaciers à l'Épreuve du Climat. IRD Editions & Editions Belin, Paris (ré-édition 2011).
- **Francou, B., Vuille, M., Favier, V., Cáceres, B.,** 2004. New evidence for an ENSO impact on low latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28'S. Journal of Geophysical Research 109, D18106, doi: 10.1029 / 2003JD004484.
- **Francou, B., et 13 otros,** 2004. Método de observación de glaciares en los Andes tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento de datos. Documento GREAT ICE en CD: 240 p.
- **Jomelli, V., Favier, V., Rabatel, A., Brunstein, D., Hoffmann, G., & Francou, B.,** 2009. Fluctuations of glaciers in the tropical Andes over the last millennium and palaeoclimatic implications: A review. In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Vol. 281, Issues 3-4, Long-term multi-proxy climate reconstructions and dynamics in South America (LOTRED-SA): State of the art and perspectives: 269-282.
- **Jordan, E., Ungerechts, L., Cáceres, B., Penafiel, A., Francou, B.,** 2005. Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi volcano (Ecuador) between 1956 and 1997. Hydrological Science Journal 50(6): 949-961.

- **Marengo, J., Pabón, J., Díaz, A., Rosas, G., Ávalos, G., Montealegre, E., Villacís, M., Solman, S., Rojas, M.,** 2010. Climate change: evidence and future scenarios for the Andean region, Herzog, S.K., R. Martínez, P. M. Joergensen and H. Tiessen (Eds.). In: Climate change effects on the biodiversity of the tropical Andes: an assessment of the status of scientific knowledge. IAI-SCOPE, Paris, France. In press.
- **Martínez, R., Ruiz, D., Andrade, M., Blacutt, L., Pabón, D., Jaimes, E., León, G., Villacís, M., Quintana, J., Montealegre, E., Euscátegui, C.,** 2010. Synthesis of the climate of the tropical Andes, Herzog, S.K., R. Martínez, P. M. Joergensen and H. Tiessen (Eds.). In: Climate change effects on the biodiversity of the tropical Andes: an assessment of the status of scientific knowledge. IAI-SCOPE, Paris, France. In press.
- **Pouget J.C., Villacis M., Condom T., Purkey D., Escobar M., Calispa M., Calvez R., Cáceres B., Maisincho L., Francou B., Paredes D.,** 2010. Tropical Ice KISS Modelling and Water Resources Planning in Quito (Ecuador) - Comparisons between different glaciohydrological models on Antizana stratovolcano Abstract. Proposal to the special journal issue "Water Resources Management" on "Assessment and management of water resources in developing, Mediterranean, and dryland countries"
- **Villacís, M., Cadier, E., Pouyaud, B., Bolívar Cáceres, Jorge Núñez, Remigio Galárraga, Bernard Francou,** 2010. Relaciones hidrológicas entre el glaciar y los páramos en los Andes tropicales del Ecuador: su papel en la disponibilidad de recursos hídricos, Actas del IV SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIOS GLOBALES, LA PAZ, BOLIVIA, 30 de septiembre al 1 de octubre de 2010.
- **Villacís, M., Cadier, E., Pouyaud, Cáceres, B., Núñez, J., Galárraga, R., & Francou, B.,** in prensa. ¿Por qué estudiar la interacción entre los aportes de agua de origen glaciar y del páramo en cuencas hidrográficas del Ecuador? Actas de PARAMUNDI, 2do Congreso Mundial de Páramos, Loja, Ecuador, del 22 al 27 de junio de 2009
- **Villacís, M., Taupin, J.-D., Heredia, E., Palacios, E. and Palacios, J.,** 2003. Variabilité climatique dans la sierra équatorienne en relation avec le phénomène ENSO. Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003). IAHS Publ. No. 278, Red Book, pp. 202 – 208.
- **Villacís, M., Vimeux, F. and Taupin, J.-D.,** 2008. Analysis of the climate controls on the isotopic composition of precipitation (d18O) at Nuevo Rocafuerte, 74.5°W, 0.9°S, 250 m, Ecuador. Comptes rendus GEOSCIENCES, 340: 1-9.
- **Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G. & Bradley, R.S.,** 2008. Climate change and tropical Andean glaciers – Past, present, future. Earth Science Reviews, 89: 79-96.
- **Williams, M.W., Hood, E.W., Ostberg, G., Francou, B. & Galárraga, 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





INFORMES Y SITIOS WEB

Cada año, el equipo publica un informe sintético de todas las mediciones efectuadas en los glaciares del Antisana y del Carihuayrazo.

Por ejemplo:

Cáceres, B., Maisincho, L., Manciatì, C., Loyo, C., Cuenca, E., Villacís, M., Freire, D., Francou, B., Cadier, E., Guamanzara, C., 2008. Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayrazo. Balance de masa, topografía, pluviometría, meteorología & hidrología. Informe del año 2006. IRD, INAMHI, EMAAP-Q: 112 pp.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología:
<http://www.INAMHI.gob.ec/Glaciares>

IRD:
<http://www.ird.fr/>

GLACIOCLIM:
<http://www.lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/index.htm>

World Glacier Monitoring Service:
<http://www.geo.unizh.ch/wgms>

EPMAPS:
www.emaapq.gob.ec



SIGLAS

EPMAPS: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito

EPN – DICA: Escuela Politécnica Nacional – Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

GreatIce: Glaciares y recursos agua en los Andes tropicales: Indicadores de cambios ambientales

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

PRAA: Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático / Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales.

IRD: Institut de Recherche pour le Développement (France)

WGMS: World Glacier Monitoring Service

DSF: (Departamento de Apoyo a la Formación) del IRD

CONTACTOS

IRD, Ecuador: Bernard Francou [bernard.francou@ird.fr]

INAMHI: Bolívar Cáceres [bcaceres@inamhi.gob.ec] – Luis Maisincho [lmaisincho@inamhi.gob.ec]

EPMAPS: Juan Carlos Romero [Juan.Romero@emaapq.gob.ec]

EPN: Marcos Villacís [marcos.villacis@epn.edu.ec] – Remigio Galarraga [remigio.galarraga@epn.edu.ec]

Ministerio del Ambiente (PRAA): Jorge Nuñez [jnuñez@ambiente.gob.ec]