

# Evolución de los glaciares en los Andes venezolanos: picos Humboldt y Bonpland

## GLACIAL EVOLUTION OF THE VENEZUELAN ANDES: HUMBOLDT AND BONPLAND PEAKS

EDUARDO Carrillo<sup>1</sup>  
SANTIAGO Yépez<sup>2</sup>

### RESUMEN

En la actualidad los glaciares venezolanos se restringen a la existencia de casquetes de hielo en las laderas noroeste de los picos Humboldt-Bonpland y Bolívar en la Sierra Nevada de Mérida. Pocos estudios se han realizado sobre ellos; por tanto, numerosos parámetros glaciológicos permanecen desconocidos. Para 1952 se calculó un total de 3 km<sup>2</sup> de cobertura glaciar en la Sierra Nevada pero la evolución de su extensión para 2008, su tasa de retroceso, así como la respuesta ante variaciones climáticas ha sido muy poco comprendida. El presente trabajo presenta los primeros resultados parciales sobre las observaciones satelitales hechas en el glaciar Sinigüis, el más grande de la región, ubicado en los picos Humboldt-Bonpland. El área de cobertura calculada para enero de 2008, a través del método DNSI de análisis multiespectral de imágenes SPOT-5, fue 0,33 km<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos señalan que desde 1952 el glaciar ha perdido un área de 1,7 km<sup>2</sup> a una tasa de retroceso de 30,3 m/año, que corresponde a una pérdida de 83,74% de su cobertura. De mantenerse esta tendencia, los glaciares de los Andes venezolanos podrían desaparecer en su totalidad en los próximos diez años.

### Palabras clave

Andes venezolanos, cuaternario, análisis espectral, sensores remotos, glaciares tropicales.

### ABSTRACT

Currently the Venezuelan glaciers are restricted to the northwest slopes of the Humboldt-Bonpland and Bolívar peaks of the Sierra Nevada de Mérida. Only a few glaciological observations have been completed and so many parameters of their dynamics are still unknown. In 1952 the total glacial cover was calculated at 3 km<sup>2</sup>. However, their evolution until 2008, their rate of retreat and response to the climatic variability are not well understood. This work presents the first results using satellite observations made on the Sinigüis glacier which is the largest in the region located on the Humboldt-Bonpland peaks. The covered area calculated from the multi-spectral analysis of the SPOT-5 images is 0.33 km<sup>2</sup>. This indicates that since 1952 the glacier has lost an area of approximately 1.7 km<sup>2</sup> with an average retreat rate of 30.3 m/year which corresponds to 83.74% of its coverage area. If this trend continues, the glaciers of the Venezuelan Andes could disappear in ten years.

### Key words

Venezuelan Andes, quaternary, spectral analysis, remote sensing, tropical glaciers.

Artículo recibido el 4 de noviembre de 2008. Aprobado el 16 de diciembre de 2008.

Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. eduardo.carrillo@ciens.ucv.ve / eduardocarrillop@yahoo.fr; y Departamento de Oceanología y Ciencias Costeras. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.

Fundación Instituto de Ingeniería, Centro de Procesamiento Digital de Imágenes. syeppez@correo.fii.org

## Introducción

Los Andes venezolanos son una cordillera ubicada al oeste de Venezuela, con una orientación promedio de N45E y una extensión de más de 400 km, que alcanzan actualmente una altitud máxima de 5002 msnm en el pico Bolívar, ubicado en la Sierra Nevada de Mérida. El origen de esta cordillera se halla estrechamente relacionado a la tectónica del Caribe cuyo levantamiento se estima que comienza a principios del Mioceno Temprano con una tasa de exhumación calculada entre 0,2 y 0,6 km/m.a. (Bermúdez-Cella et ál., 2008). Actualmente, el sistema de fallas rumbo deslizantes de Boconó, la estructura activa más importante de la cordillera con una extensión de más de 500 km, controla la geomorfología del eje central de la cordillera (Rod, 1956). Sin embargo, existen evidencias geomorfológicas claras de que, durante la glaciación Winsconsin, la línea de nieve bajó hasta 2600 m y los glaciares tuvieron un impacto importante sobre aproximadamente 600 km<sup>2</sup> en los páramos de Sierra Nevada y Batallón (Schubert, 1979), lo que se denominó localmente Glaciación Mérida (Schubert, 1974). En gran medida, la dinámica glaciar del pleistoceno ha sido responsable de la producción de sedimentos y de la erosión cuaternaria en la cordillera de Mérida. La comprensión de esta dinámica es fundamental para entender la respuesta de los glaciares tropicales ante cambios climáticos conocidos.

A pesar de que los glaciares, en la cordillera de Mérida, cubrieron gran parte de sus cumbres, es poco lo que se conoce respecto de su evolución durante el Cuaternario. Las primeras observaciones relevantes se remontan al siglo XIX (Goering, 1962 & Sievers, 1886), que hacen descripciones sobre la morfología y al alcance de los glaciares para entonces. Jahn (1912, 1925 y 1931) presenta las primeras mediciones planimétricas de cada uno de los glaciares existentes, que más tarde Schubert (1980) resumiría en los glaciares del pico Bolívar, glaciares del Macizo la Concha y Glaciares del Macizo Humboldt-Bompland. El trabajo de Jahn, en particular Jahn (1925), lleva a la primera cartografía y al primer inventario glaciológico de Venezue-

la. El área de cobertura fue estimada para entonces en 10 km<sup>2</sup> y se presentan por primera vez registros fotográficos que permitirán una comparación gráfica de su evolución durante el siglo XX (Schubert, 1992). Para 1952, la cobertura glacial en la Sierra Nevada de Mérida apenas llegaba a 3 km<sup>2</sup>, evidenciando un importante retroceso durante el último siglo (Schubert, 1980).

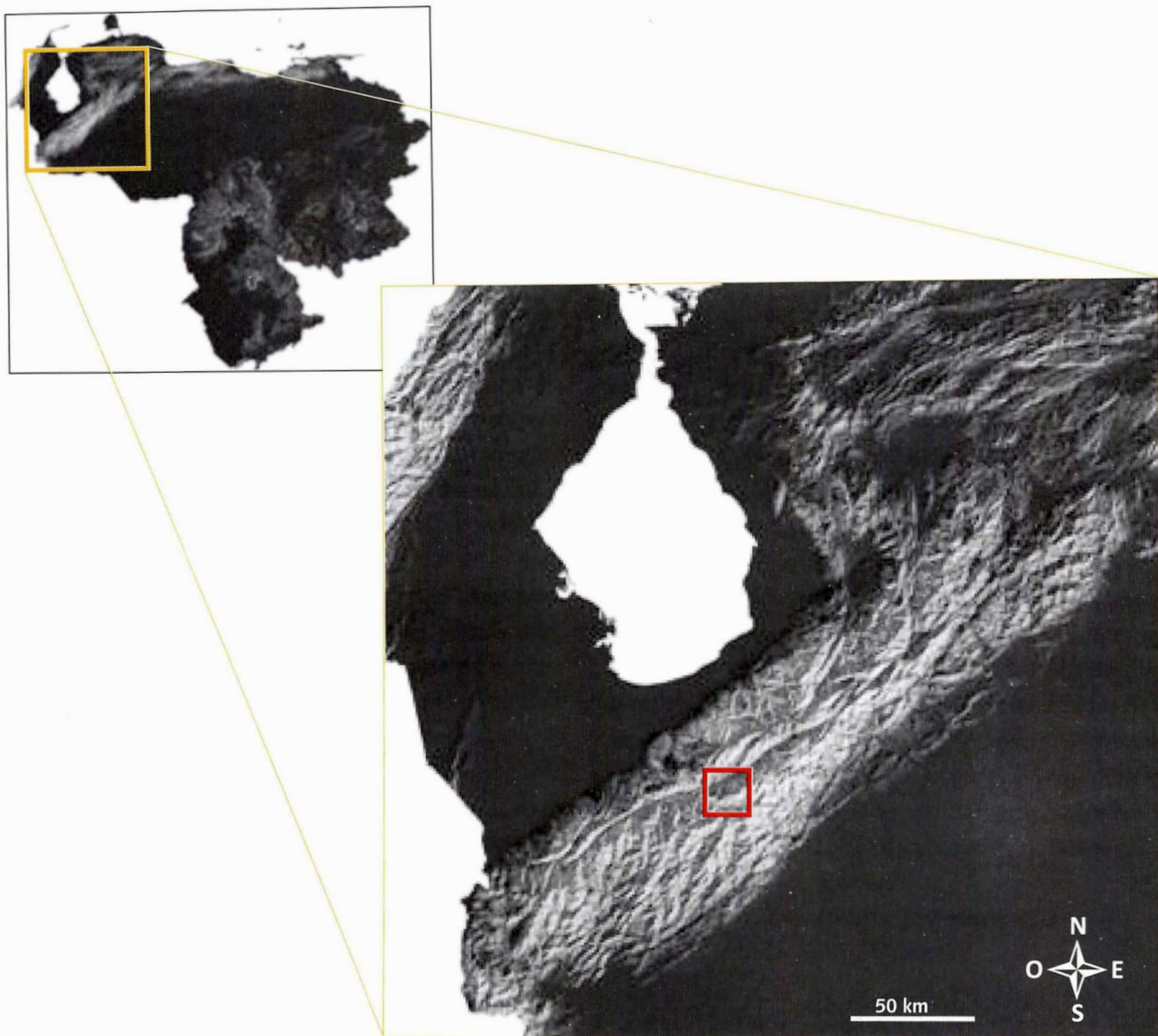
Una extensa y detallada recopilación bibliográfica de las observaciones glaciológicas en Venezuela en los últimos siglos es presentada por Schubert (1972, 1980, 1984, 1992, 1998). Se puede destacar el énfasis en observaciones fotográficas e históricas en que siempre se alerta sobre el importante retroceso del área de cobertura de los glaciares merideños. Más recientemente el glaciar Sinigüis, que cubre la ladera norte de los picos Bonpland y Humboldt, fue observado por Morris et ál. (2006) mediante imágenes ASTER, quienes calcularon una extensión de 0,29 km<sup>2</sup> para 2004.

Debido a que en Venezuela los glaciares no representan una fuente considerable de recursos hídricos y el riesgo potencial asociado a regiones pobladas parece mínimo, su estudio y observación jamás han sido sistemáticos.

En el presente trabajo se recopila la información existente acerca de las observaciones y mediciones recientes de los glaciares de los Andes venezolanos y se calcula la extensión actual de la cobertura del glaciar Sinigüis en los picos Humboldt y Bonpland. Este trabajo representa solo el inicio de las observaciones sistemáticas de glaciares actuales en Venezuela, que pretenden conocer el comportamiento de parámetros que permitan comprender mejor la evolución de glaciares en la Sierra Nevada de Mérida. Posteriormente, con la llegada de nuevas imágenes con menor cobertura de nubes, los glaciares correspondientes al pico Bolívar serán analizados con la misma metodología.

## Área de estudio

Los glaciares de Sierra Nevada forman parte del Parque Nacional Sierra Nevada en los Andes centrooccidentales de Venezuela (figura 1), el área está



► **Figura 1.** Ubicación del área de estudio. El cuadro rojo indica la localización de los picos Humboldt y Bonpland en la Sierra Nevada de Mérida. Modelo numérico de terreno tomado de Garrity et ál. (2004).

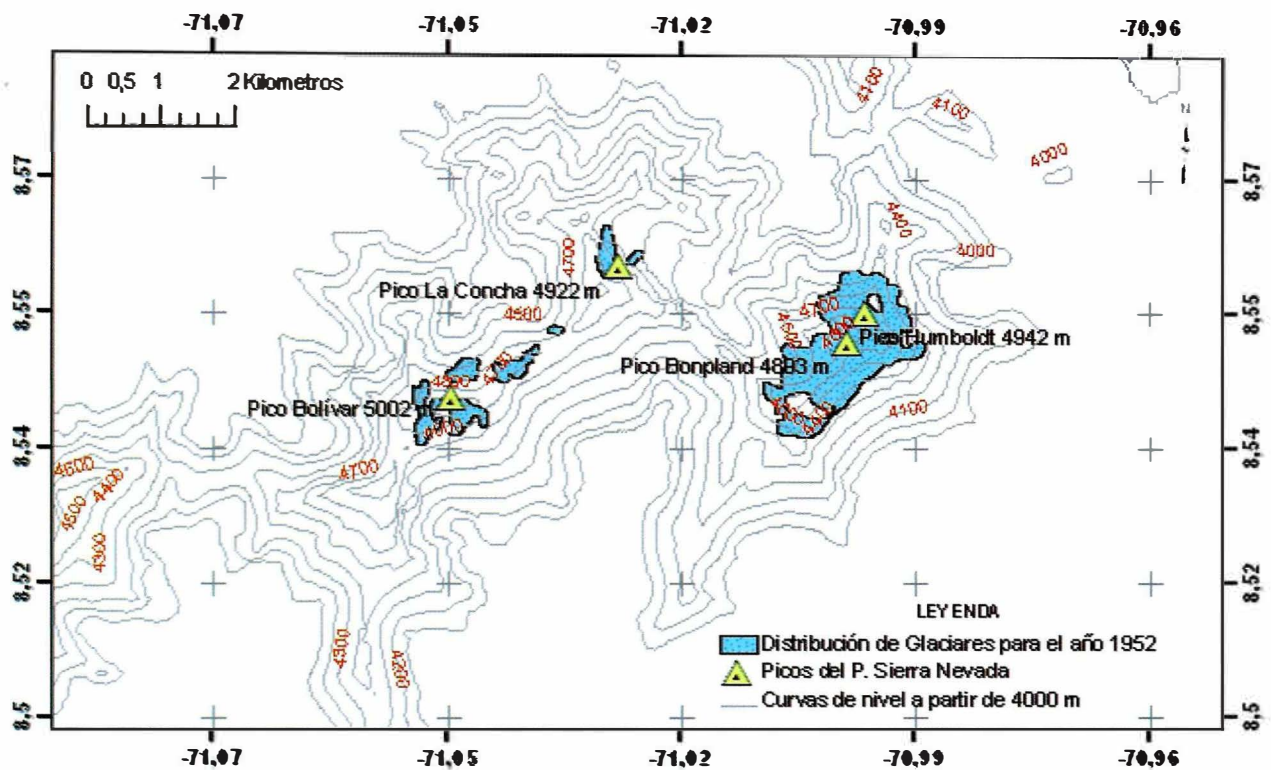
constituida por un relieve abrupto fuertemente controlado por rasgos típicos de la geomorfología glaciar. Los glaciares existentes en Venezuela para 1952 constan de cinco circos glaciares en cuatro de los picos más importantes (figura 2): el pico Bolívar (5002 msnm), los picos Humboldt (4942 msnm) y Bonpland (4883 msnm), y el pico La Concha (4922 msnm). Actualmente sólo restan pequeños casquetes glaciares en los picos de mayor altura (Picos Bolívar y Humboldt-Bonpland).

### Breve reseña sobre el rol de los sensores remotos en el monitoreo de glaciares

En los últimos años los sensores remotos han representado un papel importante en el monitoreo de los glaciares, ya que es posible obtener información con alto grado de confiabilidad de zonas donde a veces es difícil el acceso o es muy costoso realizarlo por métodos planimétricos tradicionales.

A través de las imágenes satelitales se puede cartografiar, identificar, caracterizar, calcular volú-





► **Figura 2.** Distribución de los glaciares en el Parque Nacional Sierra Nevada (áreas en azul) en Mérida para 1952. Estos datos fueron derivados de fotografías aéreas de Cartografía Nacional, Misión A-34, 1952, a una escala de 1:100.000. Modificado de Schubert (1998).

menes, interpretar formas del relieve, clasificar y cuantificar las capas de hielo-nieve de los glaciares, generando así un modelo que permite establecer tendencias, proponiendo escenarios relacionados con cambios en la superficie.

Es necesario conocer los problemas que se presentan en el momento de trabajar con sensores remotos para corregirlos antes de realizar el procesamiento en la imagen, como la deriva instrumental por errores del equipo, la corrección atmosférica que permite eliminar las contribuciones de la atmósfera durante la toma de la escena o la aplicación de una ortorrectificación que elimina distorsiones por efectos de la topografía, entre otros.

El análisis numérico de los datos de imagen es de mayor sensibilidad que el realizado mediante análisis visual, permite manejar grandes volúmenes de datos y aplicar algoritmos matemáticos y otros de tipo estadístico que llevan a un resultado más ajustado a la realidad.

## Materiales y metodología

Se utilizaron datos SPOT-5 en modo multiespectral a 10 m de resolución espacial, única escena hasta ahora tomada sobre el Parque Nacional Sierra Nevada dentro del catálogo del Laboratorio de Imágenes LPAIS (de octubre de 2007 a junio de 2008) que presenta una baja cobertura de nubes (tabla 1). Las principales características del sensor SPOT-5, tanto en su modo multiespectral como en el modo pancromático, se especifican en la tabla 2.

En la elaboración del Modelo de Elevación Digital del Terreno, utilizado para ortocorregir y generar las vistas de la imagen en 3D, se utilizó la base de datos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 3 arco segundos, con aproximadamente 90 m de resolución espacial.

Los fundamentos básicos en la extracción automática de las superficies cubiertas por nieve-hielo están relacionados a la respuesta espectral de estos

Tabla 1. Características de la imagen utilizada en el presente trabajo.

Número	Código de Imagen	Sensor	Fecha adquisición	resolución
1	Scene ID : S080520163127195	Spot5	03-01-2008	10 m Xs

Tabla 2. Resumen de las características de sensor SPOT 5.

Banda	Resolución espacial (m)	Resolución espectral
Panromática	2.5 * 2.5 m ó 5 * 5 m	0,48-0,73 $\mu\text{m}$
Banda 1	10 * 10	0,50-0,59 $\mu\text{m}$ (verde)
Banda 2		0,61-0,68 $\mu\text{m}$ (rojo)
Banda 3		0,78-0,89 $\mu\text{m}$ (IR cercano)
Banda 4		1,58-1,75 $\mu\text{m}$ (IR Medio)

Tomado de SPOT IMAGE

materiales. En el caso particular del hielo y la nieve, la reflectancia aumenta a medida que disminuye la longitud de onda, en especial por debajo del rango entre 0,8 y 1,2  $\mu\text{m}$ . Al aumentar la longitud de onda,

sobre todo después de 1,5  $\mu\text{m}$ , la reflectancia es baja. Esta característica espectral permite distinguir las superficies cubiertas por nieve-hielo de aquellas que no lo están (figura 3).

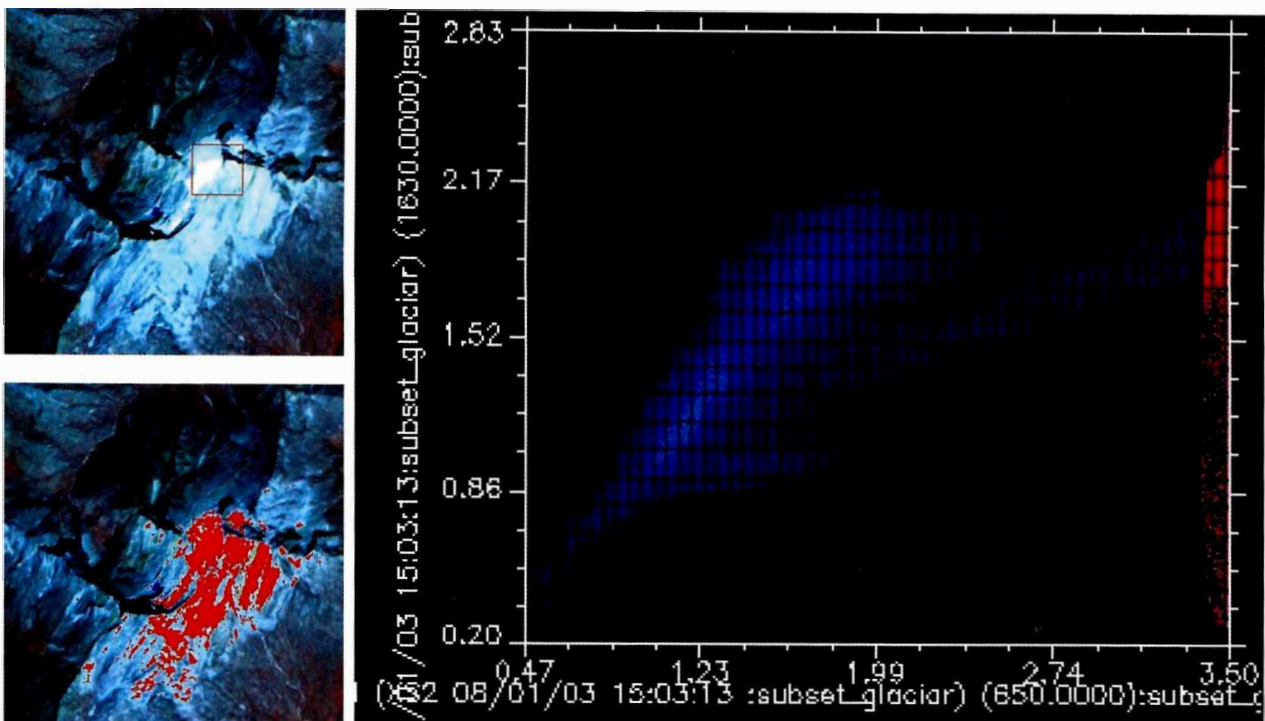


Figura 3. Diagrama de dispersión espectral asociado a la escena del glaciar ubicado en los picos Humboldt y Bonpland. El eje X corresponde a la banda 1 (con 540 nm), mientras que el eje Y está asociado a la banda 4 (con 1630 nm). Valores altos de la banda X y valores bajos a medianos de la banda Y están asociados a la respuesta espectral de la nieve y el hielo.

En el caso particular del análisis de las capas de hielo-nieve se utilizó el método de Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve NDSI (The normalized-difference snow index, Hall et ál., 1995), un método robusto y fácil de aplicar, y menos sensible a las variaciones del albedo que las técnicas distintas a las de cocientes de bandas, lo que puede expresarse:

$$(VIS - IR Medio) / (VIS + IR medio) \text{ o lo que es igual para las bandas de SPOT-5:}$$

$$(Banda 2 - Banda 4) / (Banda 2 + banda 4)$$

Este método aprovecha los altos valores de brillo de la nieve y el hielo en las longitudes de onda del rango visible (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ) versus el bajo brillo en los valores del infrarrojo cercano y medio (0,75-1,75 $\mu\text{m}$ ). Esto posibilita discriminar en la imagen las capas de nieve de otros elementos como las rocas, el suelo o la vegetación.

Hall et ál. (1995) usaron un umbral para los valores del NDSI en el cálculo de las coberturas de nieve. Si un píxel tiene un índice NDSI  $\geq 0,40$  y en la banda del infrarrojo cercano (NIR) tiene una reflectancia  $> 0,11$ , los píxeles serán clasificados como cobertura de hielo y nieve.

Finalmente se genera el vector asociado a la cobertura del glaciar Sinigüis en los picos Humboldt y Bonpland (figura 4) y se calcula el área en  $\text{km}^2$ . Este valor fue comparado con los datos y observaciones obtenidos por Schubert (1974, 1998).

## Resultados y discusión

Dadas las descripciones hechas durante los últimos 100 años, los glaciares existentes pudieron experimentar una aceleración de su retroceso. Para 1952 los glaciares solo cubrían una extensión aproximada de  $3 \text{ km}^2$ , quedando restringidos a aisladas acumulaciones de hielo en los picos Bolívar (5002 m), Humboldt (4942 m) y Bonpland (4893 m) (Schubert, 1980), y en menor medida en el pico La Concha (4922 m) (figura 5). La velocidad de elevación de la línea de nieve desde el Pleistoceno, calculada para entonces, utilizando datos geomorfológicos, históricos y planimétricos, fue aproximadamente  $6 \text{ m/año}$ . Se observó un aumento en la velocidad de retroceso en la primera mitad del siglo XX (Schubert & Vivas, 1993) (figura 6).

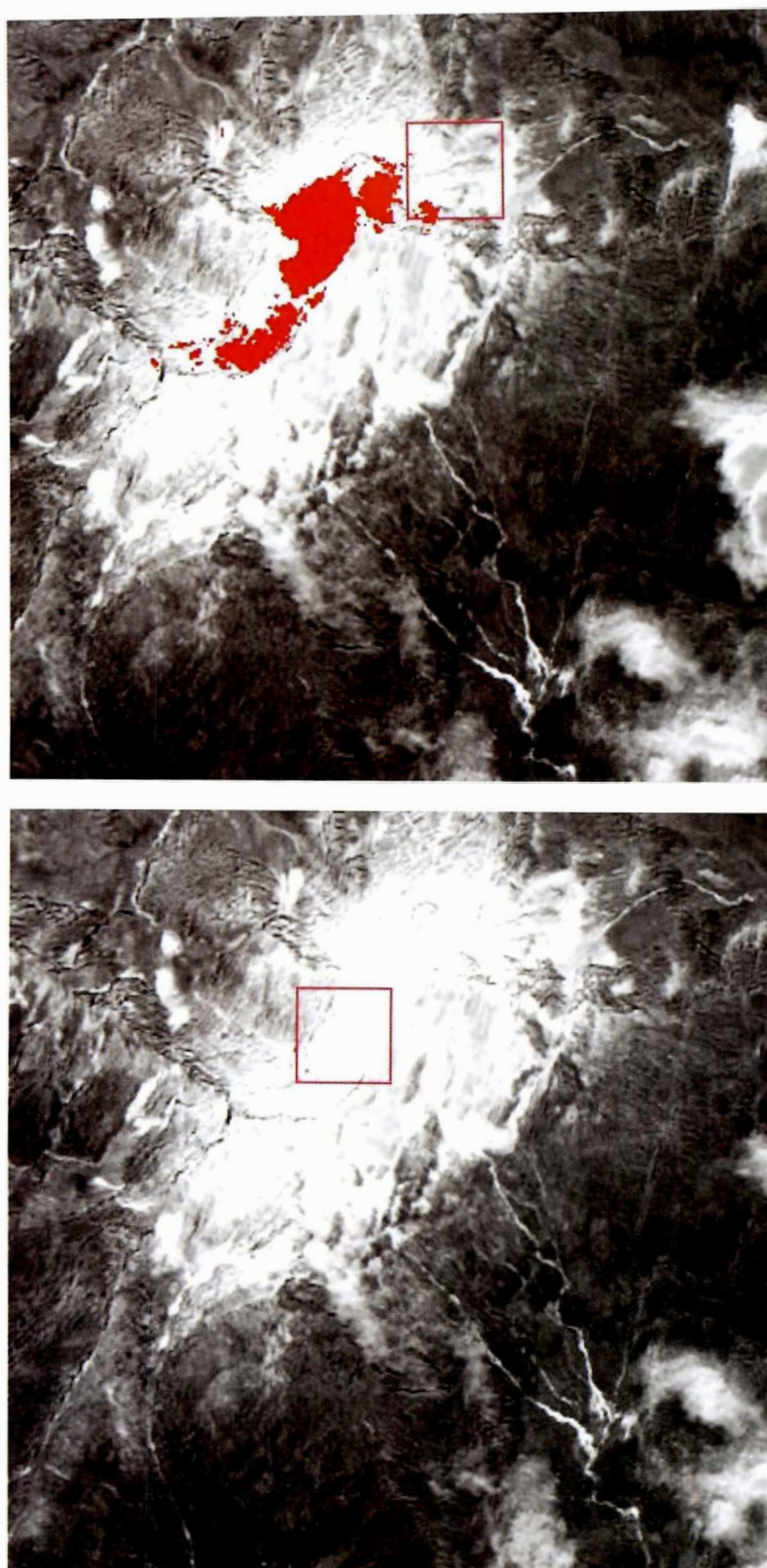
Comparando los datos calculados para 2008 (la cobertura actual de pico Humboldt-Bonpland, el más extenso, alcanza  $0,33 \text{ km}^2$ ) con los observados en 1952 por Schubert (1980) (tabla 3), se estima que el glaciar ha perdido  $83,74 \%$  de su cobertura y que la tasa de retroceso del glaciar entre 1952 y 2008 puede calcularse en  $303 \text{ m}^2/\text{año}$ . Esto indica una tasa de retroceso más acelerada en comparación a la presentada por Schubert y Vivas (1993) de  $6 \text{ m/año}$  para altitud en la línea de nieves para la primera mitad del siglo XX. En la actualidad la altura de este límite alcanza  $4800 \text{ m}$  en comparación con los  $4600$  observados en la cartografía de 1952, lo que indica un incremento de  $200 \text{ m}$  de des-

Tabla 3. Comparación de los datos de cobertura de nieve/hielo para 1952 y los de 2008. Los números asignados a los glaciares los ubica en la figura 4.

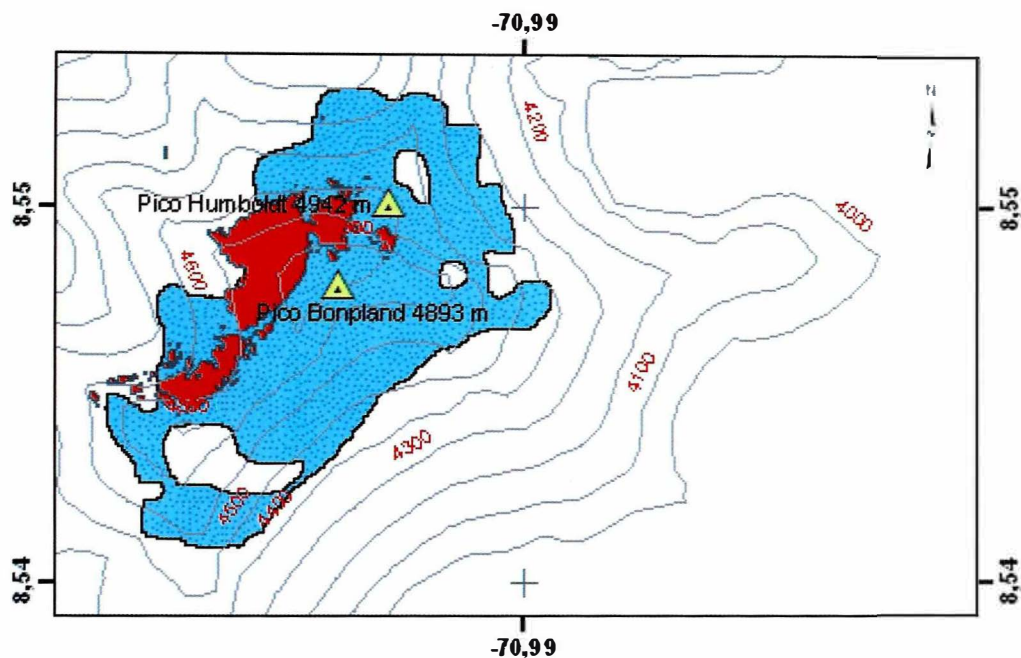
Pico	Glaciar	$\text{km}^2$ año 1952 (*)	Observación (*)	$\text{km}^2$ año 2008	Observación
Pico Humboldt y Bonpland	Remanente del Coromoto este (7,8)	0	En retroceso	0	No se aprecia
	Sinigüis (9)	2,03	En retroceso	0,33	En retroceso
	Nuestra Señora (10)	0	Completamente desaparecido	0	No se aprecia

(\*) Tomado de Schubert (1998)





► **Figura 4.** Cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Nieve usando los datos del sensor SPOT-5 para el glaciar Sinigüis. En la figura B, el área en rojo está asociada a la cobertura de nieve y hielo del glaciar Sinigüis, según el umbral del índice NDSI  $\geq 0,40$ ; en la banda del infrarrojo cercano (NIR) una reflectancia  $>0,11$ .



► **Figura 5.** Comparación de la extensión del glaciar Sinigüis para los años 1952 y 2008. El área en azul está asociada a la cobertura de nieve-hielo del glaciar Sinigüis para 1952 según Schubert (1980), mientras que el área en rojo es la cobertura de nieve-hielo para 2008, calculada para el presente trabajo.



► **Figura 6.** Comparación entre la extensión de los glaciares en 1952 y 2004 sobre un modelo numérico de terreno. En negro, el glaciar Sinigüis sobre los picos Humboldt y Bonpland. En rojo, la extensión de los glaciares en 1952.

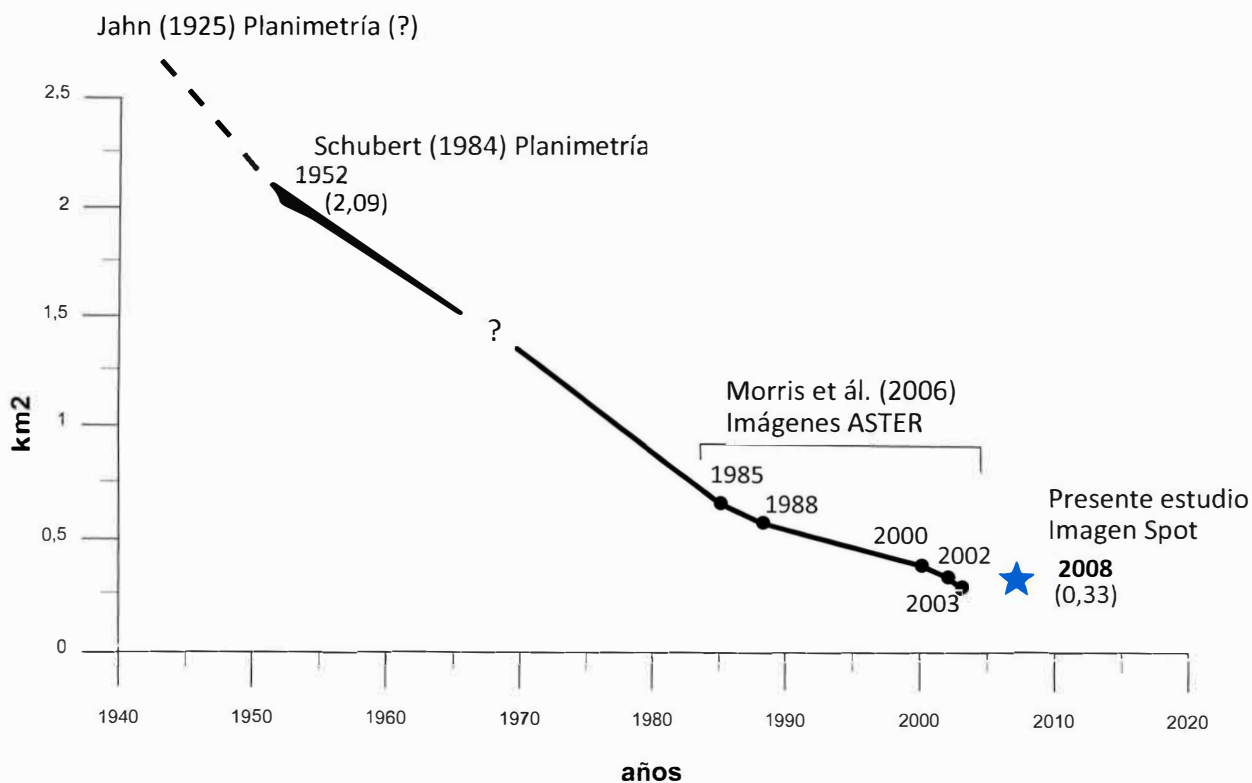


nivel en los últimos 50 años al aumentar su altura en aproximadamente 7 m/año.

La comparación de los resultados cartográficos de diferentes autores desde principios de siglo XX y comienzos del XXI, para el glaciar Sinigüis, muestra una franca disminución en área (figura 7). Si se incluyen los datos de Morris et ál. (2006), tomando en cuenta que actualmente el glaciar Sinigüis es el más extenso de la región y asumiendo una regresión lineal en el tiempo, la desaparición de los glaciares en la Sierra Nevada de Mérida ya debería haber ocurrido. Esto se debe a que la resolución de las imágenes ASTER (30 m) induce una subestimación del área medida y, por tanto, no son comparables con los datos de este trabajo, obtenidos a partir de una Imagen SPOT con 5 m de resolución. En consecuencia, el área calculada para 2008 en este trabajo es similar a la calculada por Morris

et ál. (2006) para 2003. De ahí que, comparando los datos planimétricos de Schubert con los de este trabajo, la desaparición de los glaciares en la Sierra Nevada de Mérida podría ocurrir en las próximas décadas y no en 2008-2010 como predecirían los datos de Morris et ál. (2006).

Es evidente que la falta de datos en el balance de masas de los glaciares venezolanos no permite una estimación correcta de su evolución en el tiempo, ya que no se toma en cuenta el adelgazamiento o el eventual engrosamiento de la cobertura glaciar. Además, la evolución de la cobertura en el área de un glaciar no solo depende de las condiciones climáticas, sino también de las condiciones topográficas de donde se instala el glaciar (Jordan et ál., 2008). Laderas con pendientes de bajo ángulo presentarán una rápida disminución de área de cobertura en condiciones de aumento de temperatu-



■ **Figura 7.** Evolución de la cobertura glaciar del glaciar Sinigüis para los siglos XX y XXI. Los datos de área de años pasados son tomados de Jahn (1925), Schubert (1984) & Morris et ál. (2006). La curva sólida indica la evolución tomando en cuenta los cálculos hechos con imágenes ASTER. La línea punteada interpola (y extrapola) los datos planimétricos de 1952 y los obtenidos en este trabajo a través de la imagen SPOT.

ras, mientras que, en las mismas condiciones, pendientes abruptas presentarán una disminución más lenta. Sin embargo, con los datos de distribución en área disponibles hasta el momento y tomando en cuenta que el glaciar Sinigüis representa la cobertura glaciar más importante de los Andes de Mérida, se puede aseverar que, de no cambiar las condiciones climáticas en los próximos años y de continuar esta tasa de retroceso, estos glaciares podrían desaparecer en la próxima década, es decir, en 2018. La desaparición de los glaciares de la cordillera de Mérida representaría una alerta temprana a la evolución de glaciares tropicales de la región.

La ligera discrepancia con los datos de Morris et ál. (2006) pueden tener origen tanto en la metodología como en el tipo de imágenes utilizadas. Las imágenes del presente trabajo tienen mayor resolución y la metodología empleada es más apropiada para el estudio dinámico de glaciares. Sin embargo, ambos resultados coinciden en un franco retroceso de la cobertura glaciar en los últimos 56 años.

Este estudio representa uno de los primeros intentos por cuantificar y observar el comportamiento de los glaciares venezolanos en el siglo XXI a través de imágenes SPOT. Pero aun restan muchas incógnitas importantes por resolver en relación con el estudio de glaciares en Venezuela: extensión máxima y características de los glaciares durante el Pleistoceno; relación existente entre la alta tasa de exhumación y denudación y el desarrollo de glaciares; relación de los glaciares con la actividad sismotectónica local; el comportamiento que tienen los glaciares existentes ante los efectos climáticos como El Niño-La Niña; y el impacto de la emisión de gases contaminantes sobre su dinámica. Futuros estudios u observaciones sistemáticas de estos glaciares podrían servir de alertas tempranas a otros sistemas glaciares de mayor altitud en Sudamérica.

## Conclusiones

El glaciar Sinigüis presenta un área de 0,33 km<sup>2</sup> y ha experimentado un retroceso acelerado en la segunda mitad del siglo XX y principios del XXI a 30,3 m/año. Desde 1952 ha perdido 83,74% de su cobertura. Además, comparando con la extensión de las evidencias glaciares pleistocenas, los glaciares actuales representan menos de 1% de su máxima extensión. Sin embargo, para ofrecer mayor precisión, se requieren datos volumétricos y de balance de masas para conocer el real comportamiento de los glaciares de la cordillera de Mérida ante las variaciones climáticas.

Si bien se desconoce la extensión precisa de la cobertura glaciar en la Sierra Nevada con la metodología empleada en este trabajo (ausencia de datos en el Pico Bolívar), se estima que sea considerablemente reducida en comparación con los datos obtenidos en 1952. Las estimaciones hechas para el glaciar Sinigüis representarían un límite máximo en extensión y tiempo de permanencia, teniendo en cuenta que se trata de la máxima cobertura glaciar sobre esa cordillera.

Las evidencias expuestas indican que, de continuar el sostenido retroceso de estos glaciares, para 2018 podría ocurrir por primera vez en el periodo Cuaternario, la extinción total de los glaciares en los Andes venezolanos.

## Agradecimientos

La Fundación Instituto de Ingeniería, a través del Laboratorio de Procesamiento y Adquisición de Imágenes Satelitales (LPAIS), provee gentilmente las imágenes SPOT utilizadas en este trabajo. Los autores igualmente agradecen a los colegas miembros del Grupo de Nieves y Hielos de América Latina del PHI-UNESCO, cuyas observaciones enriquecieron el contenido de este manuscrito. ▀



## Referencias Bibliográficas

- Bermúdez-Cella, M., P. Van der Beek & Bernet, M. (2008). Fission-track thermochronological evidence for km-scale vertical offsets across the Boconó strike slip fault, central Venezuelan Andes. *Geophysical Research Abstracts*, 10, EGU2008-A-07173.
- Garrity, C. P., Hackly, P. C. & Urbani, F. (2004). Digital shaded-relief map of Venezuela, Open-File Report-U. S. Geological Survey. 2004. U. S. Geological Survey. Reston, VA, United States.
- Goering, A. (1962). *Venezuela, el más bello país tropical*. Mérida: Ediciones de la Universidad de los Andes.
- Jahn, A. (1912). La cordillera venezolana de los Andes. *Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas*, 2(21), 451-488.
- Jahn, A. (1925). Observaciones glaciológicas en los Andes venezolanos. *Cultura Venezolana*, 64, 265-280.
- Jahn, A. (1931). Los páramos venezolanos. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 1(3), 93-132.
- Jordan, E., Blanco, D., Castillo, K., González, J., Ponce de León, F., Torres, J., Vélez, F. & Vélez, L. M. (2008). ¿Representa la fuerte desaparición de los glaciares en el Parque Nacional de los Nevados en Colombia una clara expresión de un cambio climático en esta zona del trópico central? *Derivaciones del caso Santa Isabel y su investigación glaciocfotogramétrica*. En VII Encuentro Internacional de Investigadores del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos de América Latina del PHI-UNESCO. Manizales, Colombia.
- Morris, J., Poole, A. and Klein, A. (2006). *Retreat of Tropical Glaciers in Colombia and Venezuela from 1984 to 2004 as Measured from ASTER and Landsat Images*.
- Rod, E. (1956). Strike-slip faults of northern Venezuela. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 40, 457-476.
- Schubert C. (1998). Glaciers of Venezuela. En Williams, R. S., Jr. & Ferrigno, J. G., (eds.). *Satellite Image Atlas of glaciers of the World-South America*. USGS Professional Paper 1386-I. Washington: United States Government Printing office.
- Schubert, C. (1992). The glaciers of the Sierra Nevada de Mérida (Venezuela): A photographic comparison of recent deglaciation. *Erkunde*, 46, 58-64.
- Schubert, C. (1980). Contribución al inventario mundial de glaciares. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 34 (137), 267-279.
- Schubert, C. (1979). La zona del páramo: morfología glacial y periglacial de los Andes de Venezuela. En Salgado-Laborouriau, M. L. (ed.). *El medio ambiente páramo*. Caracas: Ediciones del Centro de Estudios Avanzados IVIC.
- Schubert, C. (1974). Late Pleistocene Mérida Glaciation, Venezuelan Andes. *Boreas*, 3,147-151.
- Schubert, C. (1972). Geomorphology and glacier retreat in the Pico Bolívar area, Sierra Nevada de Mérida, Venezuela: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 8 (1-2), 189-202.
- Schubert, C. & Vivas, L. (1993). *El Cuaternario de la Cordillera de Merida; Andes Venezolanos*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes-Fundación Polar.
- Sievers, W. (1885). Über Schneeverhältnisse in der Cordillere Venezuelas [On snow conditions in the Venezuelan Cordillera]: *Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft in München*, 10, 54-57.
- Yépez, S., Espinola, E. Torres, W. & Arismendi, J. (2008). Análisis multi-temporal de imágenes SPOT en el glaciar Buenos Aires, Bahía Esperanza-Península Antártica. Primera Expedición Científica Venezolana al Continente Antártico. PLANET ACTION. Informe técnico, pp. 1-4.

