

# INVENTARIO DE GLACIARES DE LA CUENCA DEL ARROYO AGUA NEGRA Y FLUCTUACION DEL HIELO DESCUBIERTO

**Zulma E. Menna**

Instituto de investigaciones Hidráulicas – F.I. – UNSJ  
zemenna@unsj.edu.ar

**Roberto O. del Castillo**

Instituto de investigaciones Hidráulicas – F.I. – UNSJ  
omardelcast@unsj.edu.ar

[ FECHA ENTREGA 23/02/2016 - FECHA APROBADO 03/03/2016 ]

## 1. RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados del inventario de glaciares de la cuenca "Arroyo Agua Negra", ubicada al noroeste de la provincia de San Juan, en una porción de la Cordillera de los Andes.

El inventario de glaciares se elaboró mediante técnicas de teledetección satelital, información de campo y software de procesamiento, todas ellas integradas por un Sistema de Información Geográfica (SIG) que facilitó la extracción, análisis y edición de la información cartográfica y temática.

Para la delimitación de glaciares descubiertos se utilizó el método del Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve (NDSI) sobre imágenes satelitales ópticas Landsat TM, y para la delimitación de glaciares de escombros y cubiertos se utilizó el método de interpre-

tación visual en imágenes ópticas SPOT 5 HRG2 de alta resolución. Por medio de un modelo digital de elevación (MDE) de 25 m se extrajo automáticamente los parámetros de cada glaciar como son la orientación, altitud, pendiente, entre otros.

Adicionalmente se determinó la reducción superficial sufrida por los glaciares descubiertos y campos de nieve entre los años 1976 y 2012, contrastando 2 imágenes satelitales Landsat MSS y TM respectivamente.

Como resultado del inventario de la cuenca en estudio, se obtuvo un total de 84 geoformas que cubren una superficie de 27,74 km<sup>2</sup>, todos superiores a 0,01 km<sup>2</sup>. Además se comprobó que los glaciares descubiertos y campos de nieve en la cuenca redujeron 8.39 km<sup>2</sup> de su superficie en un periodo de 37 años.

## 2. ABSTRAC

This article presents the results of Glacier Inventory in "Arroyo Agua Negra" basin, located northwest of San Juan province, in a portion of Andes Mountain.

Glacier inventory was made by satellite remote sensing, Field Information and processing software, all integrated in a Geographic Information System (GIS) which facilitated the extraction, analysis and editing of cartographic and thematic information.

Index Normalized Difference Ice and Snow (NDSI) was used for delimitation of glaciers discovered on optical satellite images of Landsat TM. For rock glacier and covered glacier delimitation visual interpretation was

used in optical imaging SPOT 5 HRG2. Some parameters like orientation, altitude, slope were automatically extracted from digital elevation model (DEM) of 25 m.

Additionally discovered glacier and snowfields surface reduction between 1976 and 2012, comparing 2 satellite images Landsat MSS and TM respectively was determined.

Inventory's results has showed that there are 84 forms covering an area of 27.74 km<sup>2</sup>, all greater than 0.01 km<sup>2</sup>. In addition it was found that surface of discovered glaciers and snowfields in the basin fell 8.39 km<sup>2</sup> of its surface over a period of 37 years.

## 3. INTRODUCCIÓN

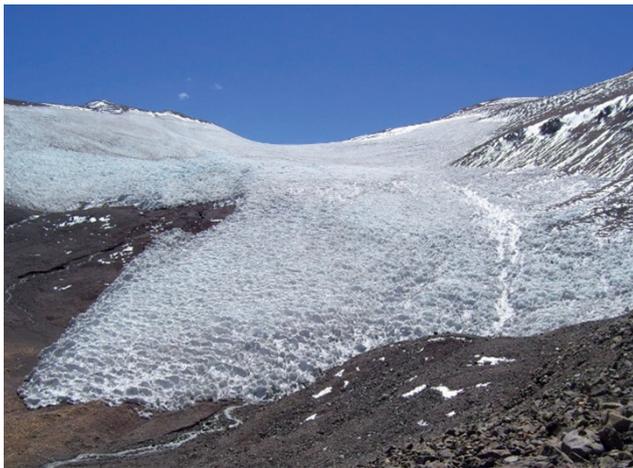
En la región montañosa de los Andes áridos de la provincia de San Juan, la escorrentía superficial por fusión de nieve y deshielo de glaciares es la fuente de agua dulce de mayor importancia para el desarrollo económico de la población, que utiliza el recurso tanto para la

agricultura, el consumo humano y la industria.

Un glaciar se define como una masa de hielo en la superficie terrestre, que fluye pendiente abajo por deformación interna y deslizamiento en la base, y restringida por la topografía del entorno, por ejemplo las laderas de

un valle o las cumbres que lo rodean. La topografía del lecho es la mayor influencia en la dinámica y la pendiente de la superficie del glaciar (GTOS (2007) de Naciones Unidas). El glaciar se mantiene por la acumulación de nieve en las cotas altas, balanceada por la fusión a cotas bajas o por la descarga al mar (IPCC, 2001). UNESCO (1970) agrega que para ser reconocido como glaciar, el mismo debe poseer una superficie superior a 0,01 km<sup>2</sup>, o sea una hectárea.

Los glaciares pueden clasificarse según su conteni-



**Foto 1:** Glaciar Descubierta Agua Negra

Otro aspecto importante de los glaciares de montaña es su papel como indicadores sensibles del cambio climático a escala decenal. Los avances y retrocesos de los glaciares de montaña son uno de los signos más visibles de los efectos del cambio climático (Lemke et al., 2007), por esta causa se les suele denominar "centinelas del clima".

Estas razones justifican en demasía la necesidad de un estudio actualizado que identifique, liste y caracterice (inventario), las masas de hielo con el fin de obtener una visión general de la extensión presente de los glaciares y sus fluctuaciones en la cuenca Arroyo Agua Negra.

Un inventario de glaciares es una recopilación detallada de información topográfica y morfométrica de estas unidades en una zona, que incluye datos como tamaño, longitud, altitud y orientación de los glaciares individuales en una región determinada (Paul, 2011).

Esta necesidad de inventariar los cuerpos de hielo se acrecienta aún más considerando que la zona de estudio forma parte del proyecto "Corredor Bioceánico Central" donde se emplazará el Túnel de Agua Negra, una obra estratégica de integración del Mercosur. Dicho proyecto requiere del conocimiento de la posición y estados de las geoformas en la cuenca para situar sus obras de ingeniería.

El primer antecedente de inventario de glaciares en la provincia de San Juan fue realizado por Aguado a fines de la década del 70, pero el sector mapeado no cu-

do de detrito, cuando tienen cantidades imperceptibles de dicho material (impurezas) y que, por lo tanto, se aprecian esencialmente blancos, se denominan "glaciares descubiertos" (Foto 1), mientras que se denominan "cubiertos" si subyace sobre el mismo una capa de espesor variable de detritos rocoso. Los glaciares denominados de "roca o escombros" (Foto 2), están compuestos por una masa de fragmentos o bloques de roca y material fino que yace en una pendiente y contiene hielo intersticial o partes con hielo macizo (Trombotto et al., 2014).



**Foto 2:** Glaciar de Escombros El Paso

bró la zona norte de la cuenca del río Jáchal. Posteriormente se elaboró un inventario aplicando técnicas de fotointerpretación, en el sector norte de la Cordillera de Mendoza, y parte de la Cordillera de San Juan (Bottero, 2002). En 2002 se elaboraron los primeros estudios en glaciares de escombros y cubiertos en la zona del Paso de Agua Negra de los Andes semiáridos (Karl-Heinz Scholl, 2002). A finales del 2010 se presentó el relevamiento inicial de glaciares descubiertos de toda la provincia de San Juan aplicando técnicas de mapeo con sensores remotos (Milana et al., 2010).

A tal fin, el uso de técnicas de sensores remotos con imágenes satelitales ópticas permite la cartografía semiautomática de contornos glaciares, por lo que en este inventario los glaciares se han mapeado con el uso de diferentes metodologías aplicadas a dos tipos de imágenes satelitales.

Este inventario contribuye al Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial llevado cabo por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) que está abocado desde 2010 a la individualización y relevamiento de todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, en cumplimiento con lo establecido por la Ley 26.639 de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial.

## 4. DATOS Y MÉTODOS

### 4.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es la cuenca del Arroyo de Agua Negra, la cual se localiza en el corazón de la cordillera frontal de los andes desérticos, al oeste de la provincia de San Juan, en la jurisdicción del Departamento Iglesia.

La cuenca posee una superficie de 1360 km<sup>2</sup> y se extiende aproximadamente 80 kilómetros desde el límite internacional con la República de Chile al oeste, hasta llegar al valle de Iglesia-Rodeo, una depresión tectónica entre la Cordillera de los Andes y la Pre cordillera al este. Al sur la cuenca limita con la gran cuenca del río San Juan y la cuenca del arroyo de Iglesia, compartiendo el cordón de Olivares, y al norte limita con la cuenca quebrada de

Romo separándolo el cordón de Las Minitas (Figura 1).

La cuenca posee un desnivel de 4735 metros que va desde una altitud mínima de 1523 msnm en el dique Cuesta del Viento (Rodeo) hasta una cota máxima de 6258 msnm en el cordón de Olivares.

El arroyo Agua Negra es el cauce principal y es el más importante de los cursos permanentes que posee la cuenca. Su origen es el glaciar homónimo ubicado a 4730 m.s.n.m., y sus tributarios principales son los arroyos San Lorenzo, San Javier, Arrequeintín y Agua Blanca; muchos de éstos se congelan total o parcialmente durante los meses de invierno.

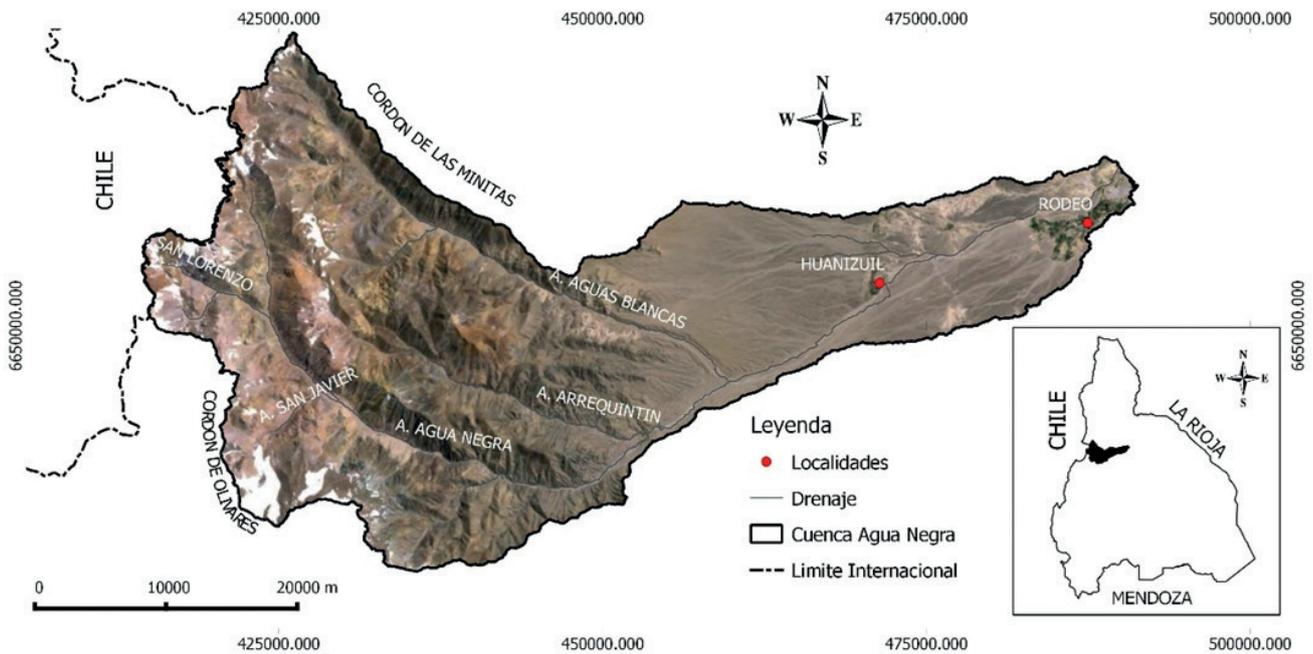


Figura 1: Detalle de la Zona de Estudio

La cuenca posee una forma alargada y sus laderas son abruptas con pendientes que llegan a superarlos

40° (Tabla 1), su vegetación es escasa, tendiendo a nula, encontrando pequeñas vegas ubicadas en la periferia de los cauces

	Parámetro	Unidad	Valor
Parámetros Básicos	Área (A)	[Km <sup>2</sup> ]	1360,61
	Perímetro (P)	[Km]	261,92
	Altura Máxima (H.max)	[msnm]	6258
	Altura Mínima (H.min)	[msnm]	1523
	Desnivel (H)	[m]	4735
	Long cauce ppal. (Lcp)	[Km]	101,65
Parámetros Derivados	Índice de Compacidad (Gravelius, 1914)	---	2,002
	Factor de Forma (Horton, 1932)	---	0,214
	Ancho Medio de Cuenca (Wm)	---	17,063
	Densidad de Drenaje (Horton, 1932)	---	3,476
	Sinuosidad del Cauce (Schumm, 1977)	---	1,275

Tabla 1: Parámetros Morfológicos de la Cuenca Arroyo Agua Negra

Desde el punto de vista morfológico, en la cuenca puede apreciarse un relieve árido, modelado por un típico sistema morfoclimático glaciar, que es propio de estas zonas montañosas donde se aprecian valles con la típica forma de "U" y cavidades de los circos que solo el hielo puede modelar.

La zona posee una gran amplitud térmica que da origen a la fragmentación de la roca en ciclos continuos de congelamiento y descongelamiento. La intensidad de radiación solar es extrema durante todo el año y las precipitaciones ocurren por sobre los 4000 m durante los meses de invierno en forma de nieve o graupel (Schrott, 2002).

## 4.2. DELIMITACIÓN DE GLACIARES DESCUBIERTO Y MANCHONES DE NIEVE

El mapeo de glaciares descubiertos para el inventario se llevó a cabo por medio del procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5 Thematic Mapper (TM) utilizando el paquete de análisis automatizado geoespacial TNT lite.

Se cuenta con diferentes métodos semi-automatizados para la delimitación de glaciares descubiertos con imágenes satelitales, tales como la clasificación supervisada (Sidjak et al. 1999), umbrales en relación de bandas espectrales (Paul et al., 2002) y el método del Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve (NDSI) (Racoviteanu et al., 2008).

Se seleccionó para este estudio el método NDSI que es un enfoque sólido y eficaz en cuanto al tiempo de procesamiento para áreas extensas y también permite la identificación de nieve y hielo en sombra (Paul et al., 2005), sin embargo tiene la desventaja al igual que el resto de los métodos semi-automatizados que la reflexión de los cuerpos de agua es similar a la del hielo, debiendo extraerse posteriormente por otra metodología.

Para aplicar el método, las imágenes satelitales fueron convertidas a valores de reflectividad mediante un algoritmo simplificado de correcciones atmosféricas que incluye un ajuste por la refracción en las longitudes de onda menores, especialmente en la Bandas 1 y 2 (Chavez, 1996).

El NDSI está definido como la diferencia de reflexión observada en una de las bandas del espectro visible y la banda infrarroja de onda corta, dividido por la suma de las dos reflexiones, que para imágenes LANDSAT queda expresada en la ecuación (1).

Se evaluaron diferentes valores de umbral de corte, aceptando como el más apropiado un índice NDSI  $\geq 0.53$ . Esto se definió mediante la visualización de la imagen satelital con la combinación de bandas en falso

$$NDSI = \frac{Banda\ 2 - Banda\ 5}{Banda\ 2 + Banda\ 5} > 0.53$$

Los límites topográficos de la cuenca y su red hidrológica se elaboraron a partir del uso de un modelo digital de terreno ASTER GDEM 2, procesado con software de sistemas de información geográficos (SIG) tipo open source. A tal fin, se utilizó el módulo Grass que trabaja en conjunto con en el modelo QGIS y que permite visualizar información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales y delinear cuencas y ríos (Menna et al., 2010).

El sistema de proyección cartográfica adoptado para este estudio fue el Universal Transversal Mercator (UTM), zona 19 - Sur con datum WGS 84, de acuerdo a lineamientos de inventarios internacionales.

color (Menna et al., 2013).

Para enmascarar y extraer los cuerpos de agua se utilizó el método del umbral de corte en la banda 4, aplicando un valor límite de 0.11 (Racoviteanu et al., 2008).

Se realizó un análisis multi-temporal de las imágenes satelitales con el fin de descartar nieve estacional. La nieve estacional es la nieve que se acumula sobre y en los márgenes de un glaciar durante el período de acumulación, pero desaparece paulatinamente durante el período de ablación. A medida que transcurre la estación estival, lo normal es que la cantidad de nieve estacional se reduzca hasta un mínimo o desaparezca. Por lo tanto las imágenes satelitales fueron obtenidas sobre el final del período de ablación y muestran el mayor potencial con fines de un inventario de glaciares, evitando la inclusión de nieve estacional como parte del área permanentemente englazada que sobreestime la superficie de un determinado glaciar.

Se seleccionaron 3 imágenes satelitales Landsat 5 TM (Tabla 2) que cubren un periodo de 8 años, sobre las cuales se procesaron y extrajeron con el método NDSI los polígonos de cada geoforma, posteriormente se compararon elemento a elemento descartando el polígono de mayor dimensión (Figura 2).

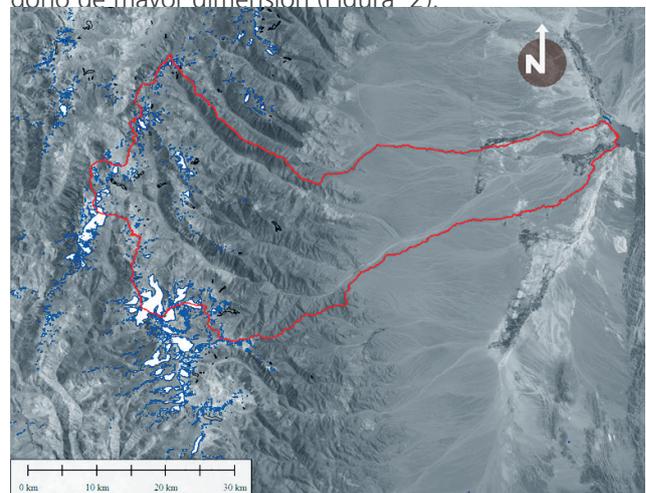


Figura 2: Delimitación de Glaciares Descubiertos, método NDSI.

### 4.3. DELIMITACIÓN DE GLACIARES CUBIERTO Y DE ESCOMBRO

El mapeo de los glaciares cubiertos y de escombros se realizó manualmente por medio de la interpretación visual en imágenes satelitales de alta resolución. Si bien existen en la actualidad diferentes metodologías automatizadas o predictores que utilizan parámetros de modelos de elevación, pendiente, curvatura e insolación (Brenning et al., 2006), estos tienen la dificultad de ser aplicados a zonas muy específicas o en otros casos requieren necesariamente de la validación de cada resultado en campo (Pitte et al., 2013).

Las imágenes satelitales de alta resolución revelan claramente los quiebres de pendiente, las líneas

de curvatura, las pequeñas vías de drenaje y el resto de los elementos del relieve que pueden ser cartografiados sin inconvenientes (Scholl, 2002)

La delimitación de cada glaciar rocoso se realizó con la aplicación QGIS tomando como base de mapeo las imágenes satelitales pancromáticas SPOT 5 HRG2 (Tabla 2) de 2.5 metros de resolución espacial aportadas por la comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), requiriendo una mejora en su calidad visual por medio de filtros especiales de realce tipo lineal (Figura 3). Se utilizó también como apoyo visual en zonas críticas de difícil comprensión las imágenes de alta resolución del software *Google earth*.

	Landsat 5 TM - ETM			SPOT 5 - HRG2
<b>Fecha</b>	2005	2009	2013	2010
<b>Resolución</b>	30	30	30	2,5
<b>Proyección</b>	UTM 19 Sur	UTM 19 Sur	UTM 19 Sur	UTM 19 Sur
<b>Formato</b>	Geotiff	Geotiff	Geotiff	Geotiff

Tabla 2: Características de las imágenes utilizadas

Posteriormente a cada polígono de glaciar obtenido, de las diferentes tipologías, se le asoció información geoespacial, llegando a obtener una base de datos con atributos elaborados a partir de los criterios que establecen los proyectos internacionales,

entre los que se destacan las características geométricas de cada glaciar, los detalles de su ubicación, identificadores por códigos locales e internacionales y las fuentes de origen de mapeo entre otras características.

### 4.4. DELIMITACIÓN DE GLACIARES PARA ANÁLISIS DE FLUCTUACIÓN

A fin de establecer la dinámica de los glaciares descubiertos de la cuenca en las últimas décadas, se estudió la fluctuación de estas geoformas tomando como base los resultados obtenidos en el inventario y comparándolos con polígonos resultantes de una imagen Landsat MMS del 04 de Marzo del año 1975.

Las imágenes satelitales Landsat MMS solo contienen 4 bandas de reflectancia, todas en el espectro visible, por lo tanto para el procesamiento se aplicó el

método de clasificación supervisada de polígonos.

Se utilizó la clasificación por regiones u objetos, la cual utiliza además de la información espectral de cada píxel, la información espacial que envuelve la relación entre esos píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificadores intentan imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes

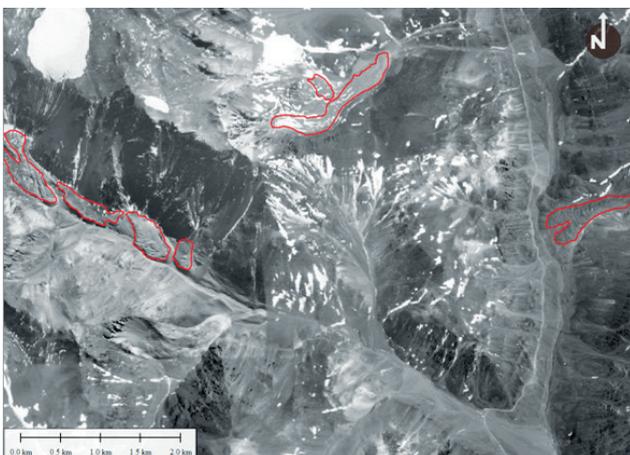


Figura 3: Delimitación de Glaciares de Escombros

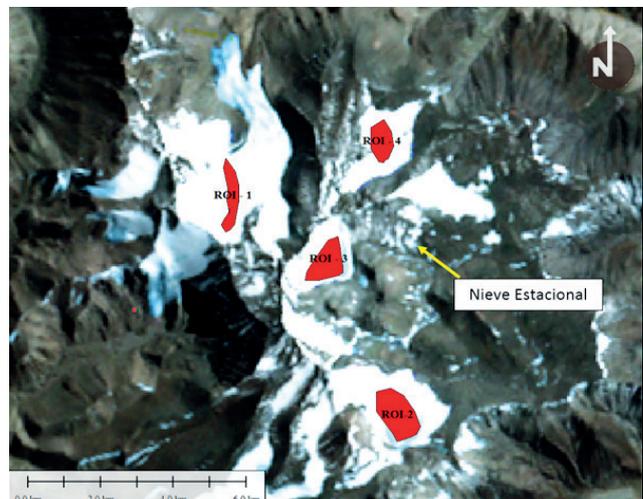


Figura 4: Muestras patrones, método de Clasificación Supervisada

basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas (IANIGLA-CONICET, 2010).

Sobre la imagen satelital, en un cuadro de 14 x 18 km ubicado en el cordón de Olivares, se seleccionaron los 4 glaciares descubiertos de mayor dimensión y sobre cada uno de ellos se trazó un polígono denominado región de interés (ROI), cubriendo un total de 1377 pixel que funcionan como el patrones de decisión para la clasificación (Figura 4).

## 5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

### 5.1. INVENTARIO DE GLACIARES

A partir de la aplicación del método del Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve (NDSI) para la delimitación de glaciares descubiertos y manchones de nieve y el método de interpretación visual en imágenes de alta resolución para el mapeo de glaciares cubiertos y de escombros, se obtuvo un total de 85 geoformas en la cuenca del Arroyo Agua Negra (Figura 5), de las cuales 29 corresponden a glaciares descubiertos, 26 a manchones de nieve y los restante 30 a glaciares cubiertos y de escombros (Tabla 3).

Se aplicó el método automático de clasificación Parallelepiped para la extracción de polígonos, aplicando una desviación estándar media igual a 2, respecto a los valores espectrales medios determinados en cada ROI, obteniendo así la cobertura glaciar de toda la imagen, de la cual finalmente se extrajeron los polígonos de la cuenca de estudio, descartando aquellos pequeños bancos de nieve estacional.

	Unidades	Área [km <sup>2</sup> ]	%
<b>Glaciar Descubierto</b>	29	21.57	1.59%
<b>Mancho de Nieve</b>	26	1.94	0.14%
<b>Glaciar Cubierto</b>	2		
<b>Glaciar de Escombros</b>	28		
<b>TOTAL</b>	85	27.74	2.05%

Tabla 3: Resultado del Inventario de Glaciares

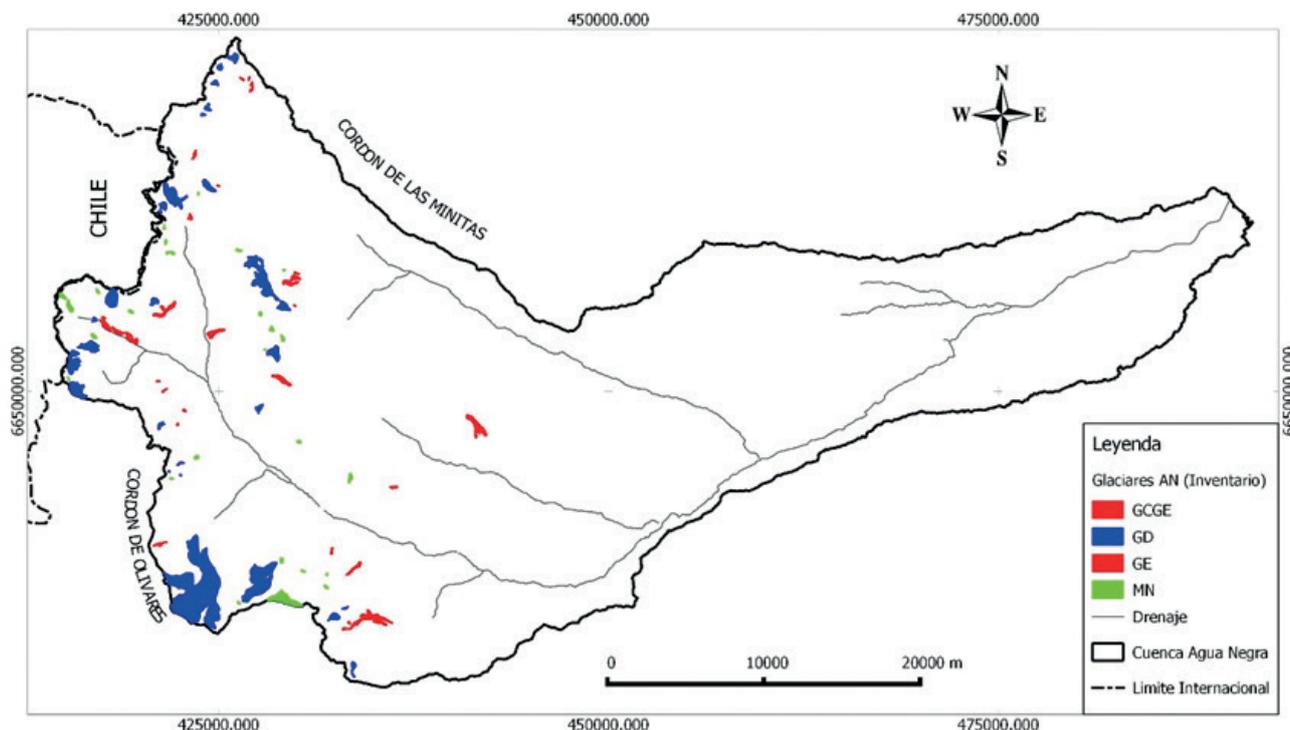


Figura 5: Inventario de Glaciares de la Cuenca Arroyo Agua Negra

Los 29 glaciares descubiertos cubren una superficie de 21.57 km<sup>2</sup> que representa el 1,59% del área cubierta por hielo superficial en la cuenca del Arroyo Agua Negra.

El conjunto de datos está dominado por los glaciares pequeños, en el rango de tamaño de 0.01 a 0.7 km<sup>2</sup> (85%, 24 unidades), contribuyendo en un 0.36% de la superficie total de la cuenca (Figura 6).

El glaciar descubierto más grande identificado en el inventario corresponde al glaciar Pircas Negras con 10.05 km<sup>2</sup>.

Se mapearon 26 polígonos clasificados como manchones de nieve o glaciaretas, que cubren 1.94 km<sup>2</sup> de la superficie de la cuenca (0.14% del total). Su tamaño promedio es de 0.07 km<sup>2</sup>, siendo el más grande de 0.85 km<sup>2</sup>, sin embargo el 92% son menores de 0.1 km<sup>2</sup>.

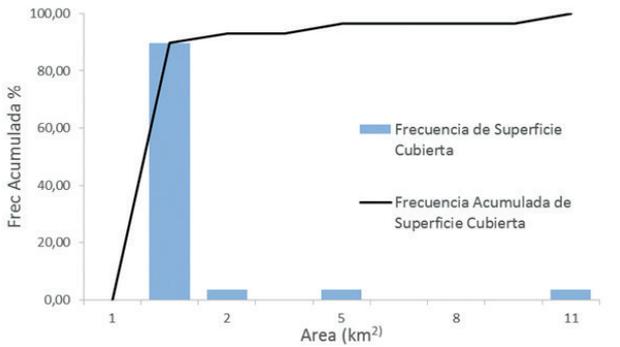


Figura 6: Variación de la cobertura de área glacial en la cuenca

La distribución altitudinal media del total de glaciares identificados va desde aproximadamente los 4160 msnm a los 5970 msnm, observando una mayor concentración entre los 4400 y los 5600 msnm (Figura 7).

Los glaciares pequeños se encuentran en todas las elevaciones, pero para glaciares superiores a 1 km<sup>2</sup>, como era de esperar, poseen una tendencia a una mayor elevación donde es menor el régimen térmico.

En los glaciares descubiertos predomina la orientación hacia el Este y el Sureste, mientras que en el caso de los glaciares de escombros y cubiertos predomina la orientación Noreste (Figura 7 y 8).

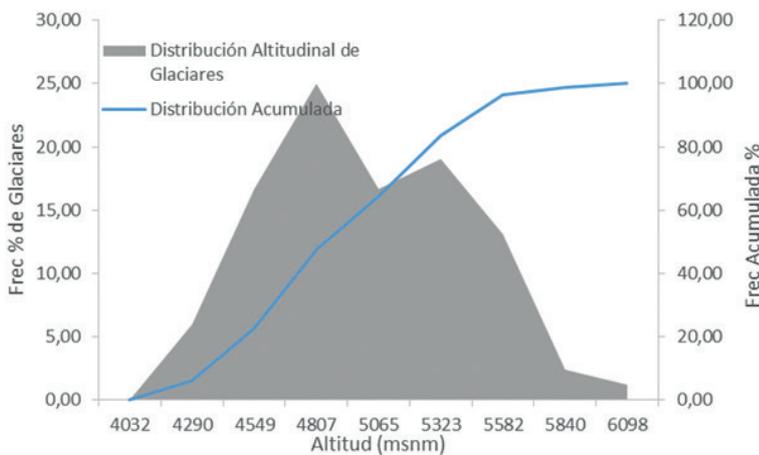


Figura 7: Distribución de los glaciares en altura



Figura 8: Orientación de los glaciares

El elevado número de glaciares descubiertos que tienen orientación este y sur-este tiene su justificación por la dirección de las tormentas frontales y a la dirección del viento predominante que favorecen la acumulación de nieve en estas laderas, y por la proyección de los rayos solares en estas latitudes.

Los glaciares se encuentran confinados a laderas de montaña con una clara tendencia a ubicarse en pendientes bastante pronunciadas (en general superiores al 20% de inclinación), especialmente los glaciares pequeños que vienen remontando laderas cada vez más elevadas (Figura 9).

## 5.2. FLUCTUACIÓN DE GLACIARES

Se estudió la reducción de la superficie que cubren los glaciares y manchones de nieve de la cuenca comparando 45 elementos entre los años 1975 a 2013.

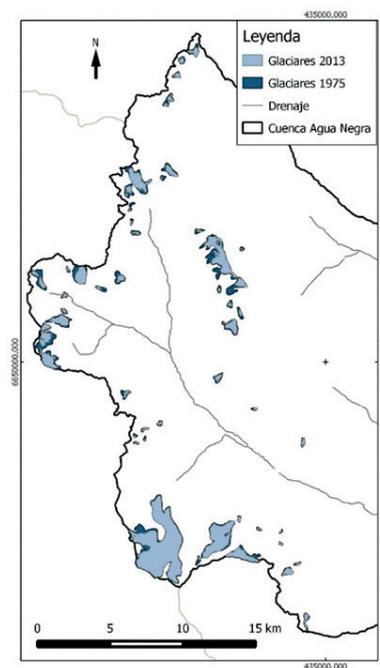
La reducción de los glaciares observados está en línea con los resultados de muchas otras cordilleras del mundo (Barry, 2006; WGMS / PNUMA, 2008).

Algunos de los glaciares más pequeños fueron excluidos de la comparación para evitar incertidumbres relacionadas con la identificación, ya que algunos glaciares al reducirse su superficie, se han separado en partes más pequeñas.

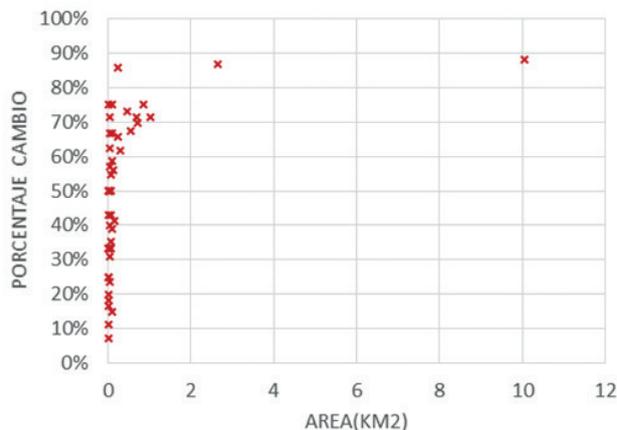
La comparación mostró que el área total de los 45 glaciares y manchones de nieve se redujo de 31.9 km<sup>2</sup> en 1976 a 23.51 km<sup>2</sup> en 2013. La reducción total fue de 8.39 km<sup>2</sup> que representan un 26.3% para un período de 37 años (Figura 10).

Al excluir los manchones de nieve, se determinó una pérdida de 21% de la superficie cubierta de los glaciares descubiertos, que se condice con estudios aplicados a glaciares en particular (del Castillo et. al., 2013).

Además de la ubicación, la reducción de los glaciares depende también de la topografía y las diferencias en el clima regional. No se encontró una recesión notable de los glaciares más pequeños (inferior a 0.3 km<sup>2</sup>), siendo más acentuada en aquellos glaciares de gran extensión considerando que los mismos poseen mayor superficie de insolación (Andreassen et. al., 2012), (Figura 11).



**Figura 10:** Reducción de superficie



**Figura 11:** Cambio porcentual en cada glaciar respecto de su superficie

## 6. CONCLUSIONES

Las diferentes técnicas de percepción remota en áreas donde las mediciones de terreno son complejas, como es en la Cordillera de los Andes, son herramientas valiosas e imprescindibles para estudios de delimitación de glaciares de diferentes tipologías, aunque se requieren tareas de campo para validar los métodos utilizados.

Las tres metodologías aplicadas, tal es el caso del NDSI para delimitar glaciares descubiertos y manchones de nieve, interpretación visual en imágenes de alta resolución para glaciares de escombros y cubiertos, y clasificación supervisada para análisis de la fluctuación temporal fueron exitosas, permitiendo obtener buenos resultados en forma rápida y precisa.

La aplicación del método del índice NDSI sobre las imágenes satelitales LANDSAT 5 TM aplicado en la cuenca Agua Negra de los Andes Desérticos con un umbral 0.53 permitió identificar 55 glaciares descubiertos y manchones de nieve que cubren una superficie total de 23.51 km<sup>2</sup>, que representa el 1.73% del área total

de la cuenca.

A partir de la interpretación visual en imágenes SPOT 5 HRG2 se identificaron 30 glaciares cubiertos y de escombros que cubren una superficie total de 4.23 km<sup>2</sup>, que representa el 0.32% del área total de la cuenca.

Los glaciares se distribuyen en altitudes que varían de los 4160 a 5970 msnm, en pendientes bastante abruptas (> 20% de declive) y laderas con orientación al sur-este y este. En el 85% de los casos, son glaciares predominantemente pequeños (menor o igual a 1Km<sup>2</sup>), sin embargo, el aporte más relevante en la superficie glaciar total, es de aquellos que superan el 1Km<sup>2</sup>.

En las últimas décadas la cuenca Arroyo Agua Negra ha experimentado una intensa dinámica e importantes procesos físicos que han contribuido a la pérdida progresiva de su superficie glaciar en el orden del 26% (8.39 km<sup>2</sup>).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AndreassenLiss M. and Solveig H. Winsvold(2012). *Inventory of Norwegian Glaciers*. Norwegian Water Resources and Energy Directorate.  
 Barry, R. G. (2006). *The status of research on glaciers and global glacier recession: A review*. *Progress in PhysicalGeography*, 30(3), 285–306  
 Bottero, R. (2002). *Inventario de Glaciares de la provincia de Mendoza y San Juan*. Libro 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales. IANIGLA. Pp 165 – 169.  
 Brenning, A. y D. Trombotto. 2006. *Logistic regression modeling of rock glacier and glacier distribution: Topographic and climatic controls in the semi-arid Andes*. *Geomorphology* 81: 141-154  
 Chavez, P.S. 1996. *Image-based atmospheric corrections - revisited and*

*improved*. *Photogrametic Engineering & Remote Sensing* 62: 1025-1036  
 del Castillo R., Menna Z, Paz Meissl (2013). *Estudio multitemporal glaciar agua negra utilizando imágenes satelitales y fotos aéreas* - Instituto de Investigaciones Hidráulicas.  
 IANIGLA. *Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución*, (2010) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza.  
 Lemke, P.: *Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2007.

- vernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Pr., 2007.
- Menna Z., María E. Paz y Miriam Oropel (2010). *Delimitación de cuencas a partir de un modelo digital de terreno*, XXIV Congreso latinoamericano de hidráulica - Punta del Este, Uruguay.
- Menna Z., Paz, del Castillo, Oropel, Salmuni. (2013). *Identificación de glaciares descubiertos en la provincia de san juan utilizando imágenes satelitales*, Congreso Nacional del Agua 2013.
- Milana, J.P. 1998. *Predicción de caudales de ríos alimentados por deshielo mediante balances de energía: Aplicación en los Andes Centrales*. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 5(2): 53-69
- Paul Frank, Department of Geography, University of Zurich, Zurich, Switzerland (2011) - *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*, Springer-Verlag, Dordrecht, The Netherlands. 650 - 652
- Paul, F., &Andreassen, A. (2009). *A new glacier inventory for the Svartisen region, ay, from Landsat ETM+data: challenges and change assessment*. Journal of Glaciology, 55(192), 607–618.
- Paul, F., &Kääb, A. (2005). *Perspectives on the production of a glacier inventory from multispectral satellite data in Arctic Canada: Cumberland Peninsula, Baffin Island*. Annals of Glaciology, 42, 59–66.
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T., & Haeberli, W. (2002). *The new remote sensing derived Swiss Glacier Inventory: I. Methods*. Annals of Glaciology, 34, 355–361.
- Racoviteanu, A. E., Arnaud, Y., Williams, M. W., & Ordonez, J. (2008). *Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing*. Journal of Glaciology, 54(186), 499–510.
- Schrott L., 2002 *hidrología del permafrost de montaña y su relación con la radiación solar: estudio de una cuenca colectora en agua negra, altos andes de San Juan (Argentina)*, in Trombotto D et
- Villalba R., IANIGLA, *30 years of basic and applied research on environmental sciences*, Mendoza, IANIGLA, p. 83-87.
- Sidjak, R. W., & Wheate, R. D. (1999). *Glacier mapping of the Illecillewaet Icefield, British Columbia, Canada, using Landsat TM and digital elevation data*. International Journal of Remote Sensing, 20, 273–284.
- Trombotto Liaudat, D., P. Wainstein y L. U. Arenson. 2014. *Guía Terminológica de la Geociología Sudamericana / Terminological Guide of the South American Geocryology*. Vázquez Mazzini Editores, 128 páginas, Buenos Aires.

