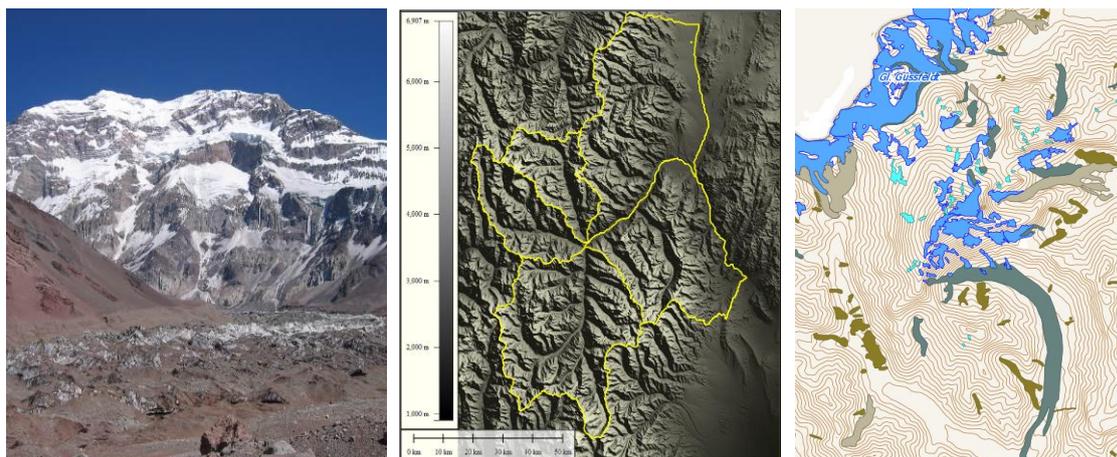


Manual para la realización del Inventario Nacional de Glaciares



Manual elaborado por:

Téc. Mariano Castro
Ing. Silvia Delgado
Lic. Lidia Ferri Hidalgo
Lic. Laura Zalazar

Colaboradores:

Lic. Daniel Falaschi
Dr. Mariano Masiokas
Lic. Ivanna Pecker
Lic. Pierre Pitte
Lic. Lucas Ruiz



Diciembre 2014

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: Programas utilizados	2
CAPITULO 2: Sistema de referencia	4
CAPITULO 3: Imágenes Satelitales	6
3.1. Imágenes de base, ¿dónde y cómo obtenerlas?	6
3.2. Criterios de Selección	14
3.2.1. Fecha de toma de la imagen y nieve estacional.....	14
3.2.2. Cobertura nubosa.....	16
3.2.3. Gains.....	17
3.3. Georreferenciación	19
CAPITULO 4: Modelos Digitales de Elevación	24
4.1. Modelos propuestos, ¿dónde y cómo obtenerlos?	24
4.2. Criterios de selección	27
4.3. Delimitación de cuencas	31
4.3.1. SAGA.....	31
4.3.2. Quantum GIS (QGIS)-GRASS	38
CAPITULO 5: Clasificación para delimitación de hielo descubierto	53
CAPITULO 6: Crear un proyecto SIG	67
CAPITULO 7: Edición vectorial.....	76
7.1. Cuencas hidrológicas.....	76
7.2. Hielo descubierto	79
7.3. Digitalización manual de hielo cubierto y glaciares de escombros.....	84
CAPITULO 8: Base de datos	87
8.1. Parámetros generales	87
Información básica	87
8.2. Clasificación de glaciares.....	91

8.3. Parámetros físicos de los glaciares.....	100
8.3.1. Parámetros que se calculan por polígono.....	100
8.3.2. Parámetros que se calculan por unidad.....	107
CAPITULO 9: Diseño de mapas.....	125
CAPITULO 10: Elaboración de resultados mínimos por cuenca.....	136
CAPITULO 10: Metodología de trabajo de campo	143

INTRODUCCIÓN

Este manual tiene por objetivo proporcionar una guía metodológica detallada para aquellos técnicos y profesionales encargados de la realización del Inventario Nacional de Glaciares de Argentina. El manual está basado en experiencias previas utilizadas para la realización del inventario de la cuenca del río Mendoza, provincia de Mendoza, y en pautas y metodologías utilizadas previamente por el IANIGLA y por grupos internacionales especializados en temas de inventario de glaciares (World Glacier Monitoring Service ,WGMS y el programa del Programa Global Land Ice Measurements from Space, GLIMS).

El manual está compuesto por diversos capítulos, a través de los cuales se va guiando al operador desde el primer paso, que consiste principalmente en la obtención de los materiales de trabajo, en este caso las imágenes satelitales, Modelos Digitales de Elevación y programas empleados para su procesamiento. Posteriormente se describen, entre otros aspectos, las pautas metodológicas necesarias para delimitar cuencas hidrológicas, clasificar hielo descubierto, digitalizar hielo cubierto y glaciares de escombros y armado de la base de datos. Es importante destacar que se ha tratado de utilizar mayoritariamente programas de distribución libre y gratuita, para los cuales existen en internet diversos manuales de consulta y que describen con mayor detalle todas las funcionalidades y herramientas particulares de cada uno de los programas utilizados. En este trabajo se ha tratado de simplificar y reunir aquellas herramientas específicas que se emplearán en las tareas de inventario, por ejemplo para crear un proyecto SIG de inventario de glaciares, de manera de facilitar las tareas a los diferentes operadores.

También conviene aclarar que existe un amplio abanico de programas libres que se pueden emplear para los fines del inventario. Los programas recomendados que se desarrollan a continuación han sido elegidos en base a experiencias y prácticas previas y constituyen hasta el momento opciones relativamente sencillas y accesibles que han permitido obtener excelentes resultados.

En resumen, la idea principal de este manual es poder guiar y facilitar las tareas del inventario nacional de glaciares y ambiente periglacial a distintos operadores. Los conocimientos específicos que debería alcanzar un operador utilizando este manual son:

1. Conocer y manejar de forma óptima las herramientas para la obtención y procesamiento de los materiales de trabajo (programas, imágenes satelitales, Modelos Digitales de Elevación)
2. Poder identificar y caracterizar aquellos glaciares y crioformas que actúan como reservas hídricas estratégicas y que a los fines del inventario se han clasificado de la siguiente manera:
 - ✓ Glaciares descubiertos
 - ✓ Manchones de nieve
 - ✓ Glaciares cubiertos
 - ✓ Glaciares cubiertos con glaciar de escombros
 - ✓ Glaciares de escombros (activos e inactivos)
3. Presentar y procesar los resultados dentro del marco de un Sistema de Información Geográfica, y preparar mapas e informes para cada una de las cuencas y subcuencas inventariadas.

CAPITULO 1: Programas utilizados

La utilización de programas libres y/o gratuitos ha sido la base de la mayoría de los procesamientos realizados para el inventario de glaciares. Para ello hemos evaluado varios programas que se pueden descargar sin costo y son de fácil instalación. Todos estos programas presentan funcionalidades básicas similares y otras específicas que los hacen más adecuados según el proceso a realizar. De acuerdo a las evaluaciones que hemos realizado sugerimos algunos programas, según el procedimiento, con los que hemos obtenido buenos resultados. Sin embargo, recomendamos explorar las herramientas que presentan estos programas hasta encontrar las que resulten más apropiadas según criterios propios.

Si bien la utilización de software libre y gratuito ha sido nuestro principal objetivo, en algunos procedimientos hemos utilizado el software con licencia ENVI debido a su capacidad para leer diferentes formatos de imágenes y para procesar rápidamente grandes volúmenes de información.

En la siguiente tabla detallamos los principales procesos realizados y el programa empleado para cada uno de ellos:

PROCESOS	Programa
Pre-procesamiento de imágenes satelitales	ENVI-GvSIG
Delimitación de cuencas hidrológicas	SAGA-QGIS (GRASS)
Detección automática de hielo descubierto	SPRING
Delimitación manual del resto de geoformas	KOSMO
Obtención de estadísticas (orientación, alturas, pendientes, etc.)	GvSIG-KOSMO (Sextante)
Cartografía	QUANTUM GIS

- **ENVI** (Environment for Visualizing Images) software con licencia de ITT desarrollado por Visual Information Solution.

<http://www.itvis.com>

- **SAGA** (System for Automated Geoscientific Analyses).

<http://www.saga-gis.org>

- **SPRING** (Sistema para Procesamiento de Informaciones Georeferenciadas) desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) de Brasil.

<http://www.dpi.inpe.br>

- **KOSMO** (mundo en esperanto) desarrollado por SAIG S.L (Sistemas Abiertos de Información Geográfica)

<http://www.opengis.es/>

- **GvSIG** (SIG de la Generalitat Valenciana) desarrollado por la Asociación para la promoción de la geomática libre y el desarrollo de gvSIG.

<http://www.gvsig.org>

- **QUANTUM GIS** es un producto desarrollado por Open Source Geoespatial Foundation (OSGeo).

<http://www.qgis.org/>

CAPITULO 2: Sistema de referencia

Los sistemas de referencia en Geodesia sirven de base para la descripción de los procesos físicos de la Tierra, a través de la definición de parámetros constantes y modelos. Estos no pueden ser determinados mediante mediciones, sino que son definidos por convención. Los sistemas de referencia terrestres o fijos a la Tierra se utilizan para determinar coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre o en sus proximidades. Son definidos mediante un sistema de tres ejes coordenados, ortogonales entre sí. En el caso de los sistemas modernos el origen O coincide con el centro de masas de la Tierra (geocentro); el eje Z coincide con el eje de rotación terrestre; el eje X está contenido en el meridiano de Greenwich y el eje Y completa el triedro directo. La figura 1 muestra las coordenadas geocéntricas (X, Y, Z) de un punto en un sistema de referencia dado respecto de un origen.

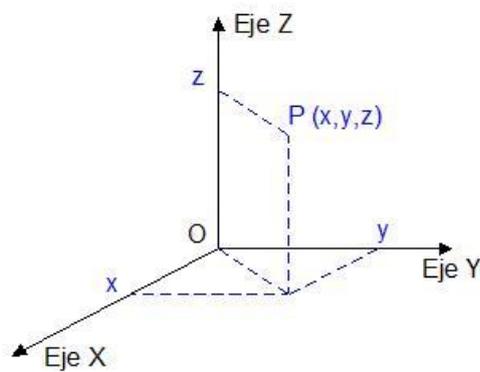


Figura 1. Sistema de referencia.

El geoide es definido como una superficie matemática equipotencial, compleja e irregular, que dificulta la acción para ser utilizada como superficie de referencia y por ello es necesario reemplazarla por una superficie matemática sencilla, regular, que mejor se adapte al geoide. Esta superficie, llamada elipsoide de revolución, se la define a través de parámetros que permiten equipararla a la superficie geoidal. Se ha tomado por convención internacional al elipsoide de revolución WGS84, como superficie global de referencia.

La materialización física de los sistemas de referencia se establece dando coordenadas a una serie de puntos convenientemente monumentados, que constituyen el marco de referencia. En nuestro país el objetivo era el establecimiento del marco de referencia argentino, tan cercano como fuera posible al sistema global WGS84, mediante observaciones GPS. El proyecto POSGAR (Posicionamiento Geodésico Argentino), se concretó entre 1993 y 1997 coadyuvado por numerosos proyectos. Se han realizado diversas actualizaciones de este marco de referencia, siendo la última POSGAR07.

Para la realización del inventario de glaciares donde se analizarán los desplazamientos y deformaciones que han experimentado los glaciares, resulta necesario establecer el sistema de referencia al cual se van a referir todos los trabajos involucrados. Es indispensable que toda la información relevada se encuentre en el mismo sistema de referencia y proyección, para que los datos puedan ser correlacionados en el espacio y el tiempo. Por ello, las coordenadas serán referidas al sistema de referencia global WGS84.

Las superficies serán expresadas como superficies proyectadas en km^2 . El sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator), el cual es utilizado a nivel global y permitirá correlacionar datos e información obtenida del inventario con información de otros países. Cabe mencionar, que la Argentina ha adoptado otro sistema de proyección que es el Gauss-Krüger, con 7 fajas meridianas de 3° cada una.

CAPITULO 3: Imágenes Satelitales

3.1. Imágenes de base, ¿dónde y cómo obtenerlas?

Para el inventario, hasta el momento, hemos usado imágenes satelitales provenientes de cuatro satélites diferentes: LANDSAT, TERRA, ALOS y CBERS 2B. Tan importante como la obtención de las imágenes son los criterios de selección de las mismas, lo que se explica en el punto 3.2 de este capítulo. Las imágenes y los MDE se seleccionan y/o obtienen de sitios web de los centros distribuidores de datos; cabe destacar que estos sitios cambian su interface con asiduidad, por lo que la forma de obtener los datos está descrita en base a lo actualizado al mes de febrero de 2012.

Descripción de los productos utilizados:

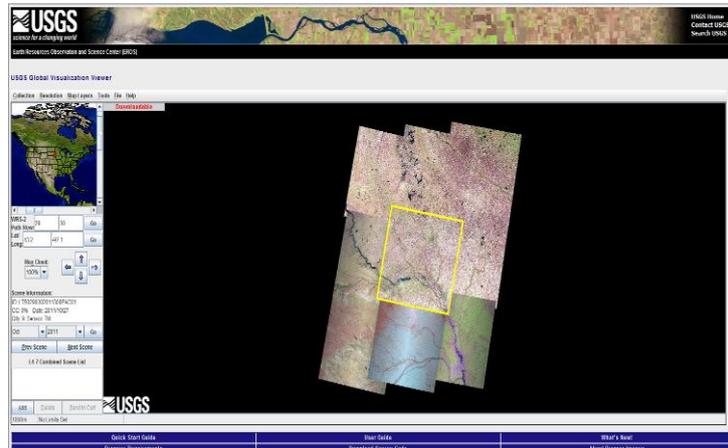
Imágenes del sensor TM del satélite LANDSAT 5. Presentan una resolución espacial de 30 m, las utilizamos como base para la georreferenciación. Pueden ser provistas a partir de diferentes centros distribuidores:

- Global Land Cover Facility (GLCF) almacenadas en el servidor de la Universidad de Maryland, Estados Unidos (<http://www.glcg.umd.edu>).
- Reverb/Echo de la NASA http://www.echo.nasa.gov/reverb/about_reverb.htm que funciona oficialmente desde febrero de 2012. En éste sitio, dado un lugar geográfico se presentan varios productos, como por ejemplo imágenes satelitales, MDE, Índices y estadísticas de la NASA entre otros; el uso de esta página está descrito en el apartado de Modelos digitales de Terreno.
- GLOVIS del USGS (Servicio Geológico de EEUU <http://glovis.usgs.gov/>)

Imágenes del sensor ASTER del satélite TERRA. Se empleó el producto del centro distribuidor de datos LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) que corresponde a imágenes ASTER Level-1A orto-rectificadas, en formato GeoTIFF. La resolución espacial de estas imágenes es de 15 m en la parte del visible y el infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Estas fueron empleadas para ajustar los límites de las cuencas hídricas obtenidas a partir del MDE y para la delimitación de glaciares y geoformas periglaciales. Se dispone de estas imágenes desde 1999 hasta la actualidad, pero a partir del mes de mayo del año 2008 el sensor ASTER presentó algunas anomalías debido a las cuales las bandas del infrarrojo medio (4, 5,6 y 7) están dañadas, por lo que tan solo se puede trabajar con las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano (bandas 1,2 y 3).

Describimos el sitio de *GLOVIS* (USGS Global Visualization Viewer) utilizado para buscar imágenes LANDSAT y ASTER:

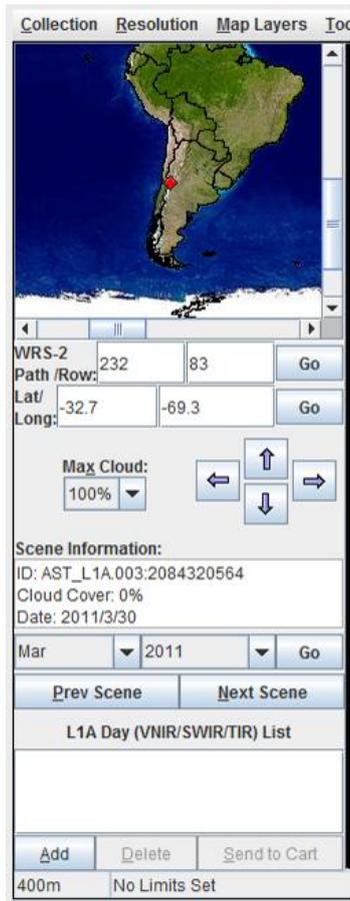
El sitio <http://glovis.usgs.gov/> se presenta así:



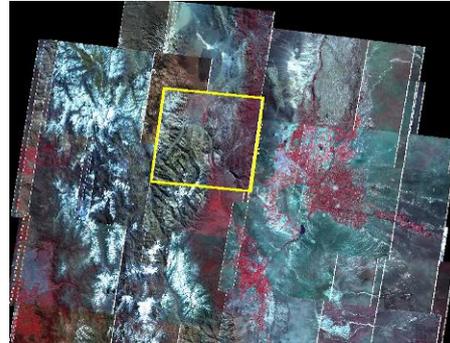
En el menú superior en “Collection” figuran todos los productos que se pueden obtener en este sitio, algunos de libre disponibilidad y otros pagos.



Si en la pantalla principal dice “Downloadable” en letras rojas es que el producto se puede bajar directamente, no hay que pedirlo. Para los productos sin costo conviene tener una cuenta con nombre de usuario, contraseña y correo electrónico asociado que permita recibirlos. Las imágenes Aster no son gratuitas. Se detalla a continuación la forma de seleccionarlas y solicitarlas sin costo para este proyecto:



Si seleccionamos Aster, por ejemplo, aparecen en la ventana principal un grupo de escenas que son las correspondientes al lugar señalado en rojo en el mapa de la izquierda.



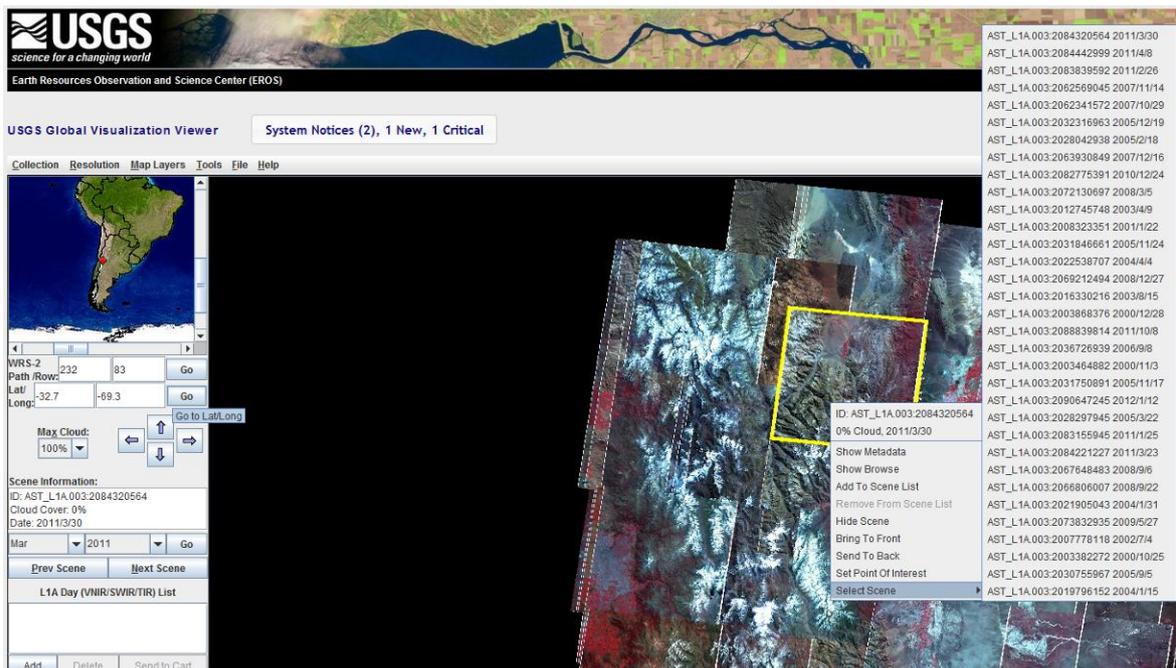
Buscar el sitio en el mapa o por path y row del WRS-2 (World Reference System) o por Lat y Long. El ítem Tools permite también buscar por escena o por límites geográficos.

El ítem "Resolution" permite observar las imágenes con más detalle para ver si finalmente serán seleccionadas. Se pueden seleccionar las imágenes con un máximo de cobertura nubosa que nosotros establezcamos.

En el sitio <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/wrs.html> se encuentran todas las explicaciones sobre el WRS en sus versiones 1 y 2 que fue realizado para la ubicación espacial de las imágenes Landsat y usados como referencia por otros satélites, entre ellos ASTER.

Vale la pena tener en cuenta que las imágenes Aster no cubren siempre el mismo espacio geográfico, a diferencia de las imágenes Landsat. Cuando se detecta exactamente el sitio buscado, con el botón derecho del mouse ubicado en la imagen seleccionada (remarcada en amarillo) se obtienen más posibilidades de selección, particularmente la última opción "Select scene" permite ver todas las imágenes que hay para el sitio remarcado total o parcial, que cumple

n con las especificaciones de cobertura nival que se han hecho con las fechas de toma.



En el panel de la izquierda se da la información de la escena seleccionada, por ejemplo en este caso sería la siguiente:

Scene Information

ID: AST_L1A.003:2084320564

Cloud Cover: 0%

Date: 2011/03/30

El primer dato es el ID (número de identificación de la escena) la primera parte corresponde al producto elegido, los 10 últimos números son los números de identificación de la escena.

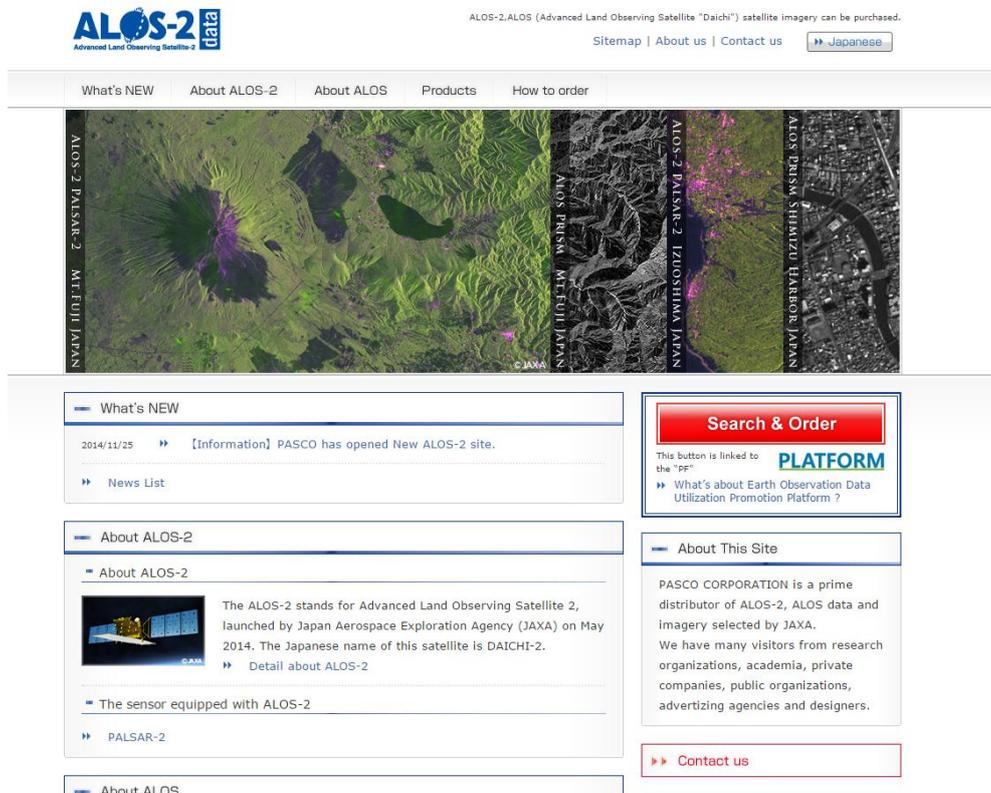
Por convenio IANIGLA obtiene los productos Aster sin costo, por lo que se deberá enviar vía mail el ID de la escena seleccionada a sdelgado@mendoza-conicet.gob.ar y el tipo de producto requerido.

Para elegir el producto, en la página https://lpdaac.usgs.gov/products/aster_products_table se pueden obtener todas las características de los productos disponibles. Normalmente solicitamos el L1A ASTER Orthorectified product (el L1B está disponible sólo para EEUU).

La imagen se recibe en un tiempo no mayor de 72 horas.

Imágenes de los sensores AVNIR-2 y PRISM del satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite). Las imágenes AVNIR-2 tienen una resolución espacial de 10 m, con 3 bandas en la parte visible del espectro y una en el infrarrojo cercano. Las imágenes PRISM tienen una banda pancromática de 2,7 m de resolución espacial. Estas imágenes serán provistas por la CONAE para el Inventario de Glaciares.

Para acceder al catálogo de imágenes ALOS, uno de los sitios disponibles es <http://en.alospasco.com/> . Allí se describen los tipos de imágenes y productos que se ofrecen. A la derecha de la ventana, en “Search and Order” nos permitirá buscar para cada zona las imágenes disponibles.

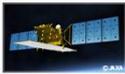


ALOS-2.ALOS (Advanced Land Observing Satellite "Daichi") satellite imagery can be purchased.
 Sitemap | About us | Contact us | [Japanese](#)

What's NEW | About ALOS-2 | About ALOS | Products | How to order

ALOS-2 PALSAR-2 MT.FUJI JAPAN | ALOS PRISM MT.FUJI JAPAN | ALOS-2 PALSAR-2 IZUSHIMA JAPAN | ALOS PRISM SHIMIZU HARBOR JAPAN

What's NEW
 2014/11/25 ▶▶ [Information] PASCO has opened New ALOS-2 site.
 ▶▶ News List

About ALOS-2
 About ALOS-2
 The ALOS-2 stands for Advanced Land Observing Satellite 2, launched by Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) on May 2014. The Japanese name of this satellite is DAICHI-2.
 ▶▶ Detail about ALOS-2
 The sensor equipped with ALOS-2
 ▶▶ PALSAR-2

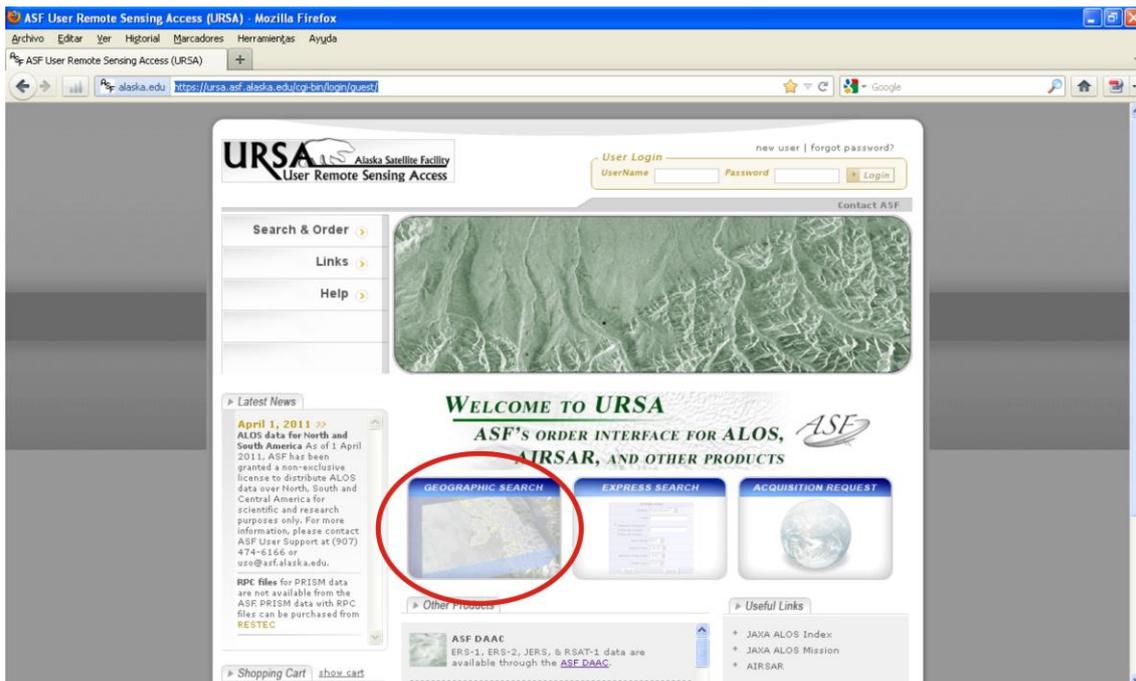
About This Site
 PASCO CORPORATION is a prime distributor of ALOS-2, ALOS data and imagery selected by JAXA. We have many visitors from research organizations, academia, private companies, public organizations, advertizing agencies and designers.
 ▶▶ Contact us

Search & Order
 This button is linked to the "PF" **PLATFORM**
 ▶▶ What's about Earth Observation Data Utilization Promotion Platform ?

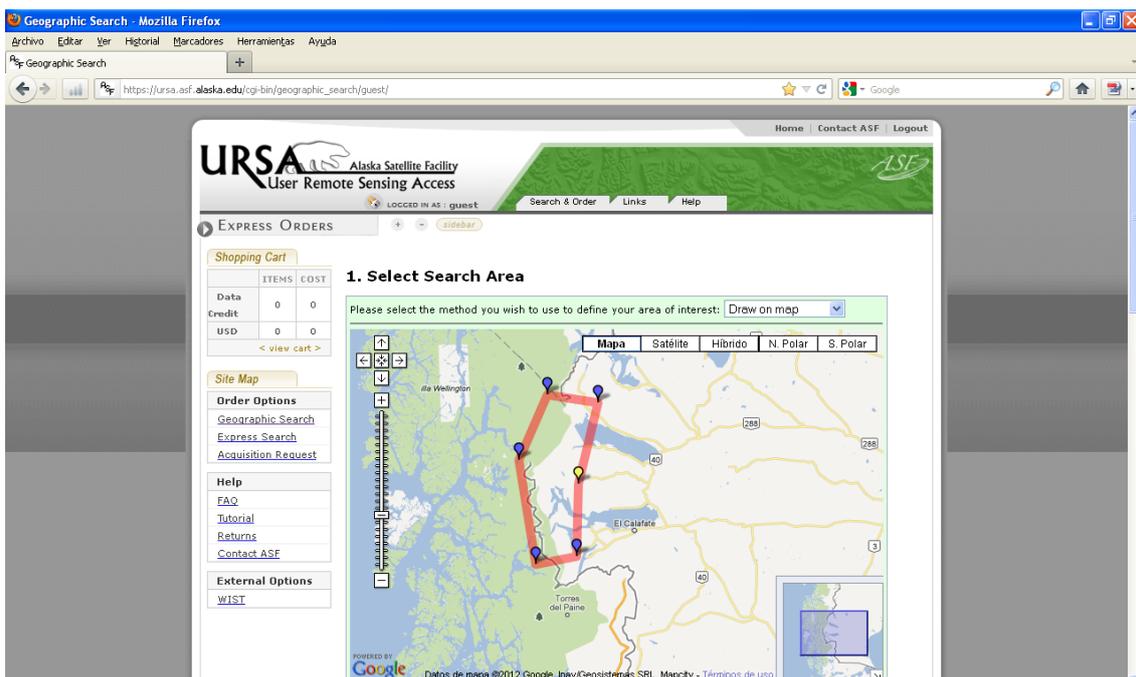
Otro sitio web disponible para seleccionar imágenes Alos es en el catálogo de la Universidad de Alaska (URSA).

Para ello deberemos ingresar al sitio <https://ursa.asf.alaska.edu/cgi-bin/login/guest/>

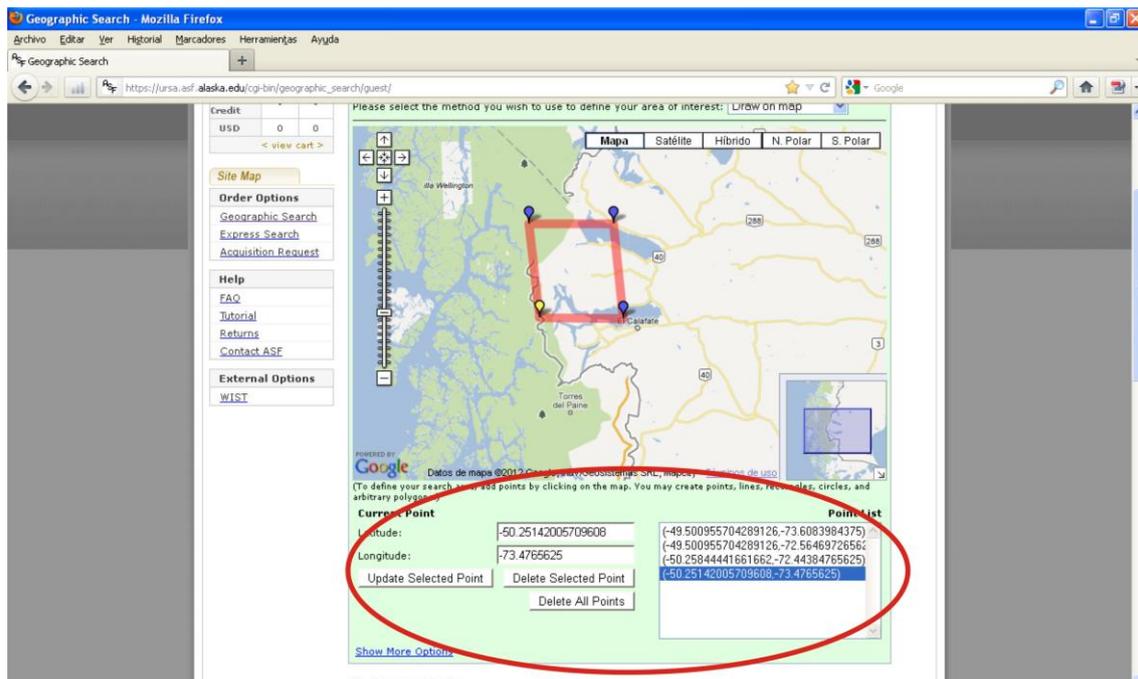
Seleccionar la opción: Geographic search



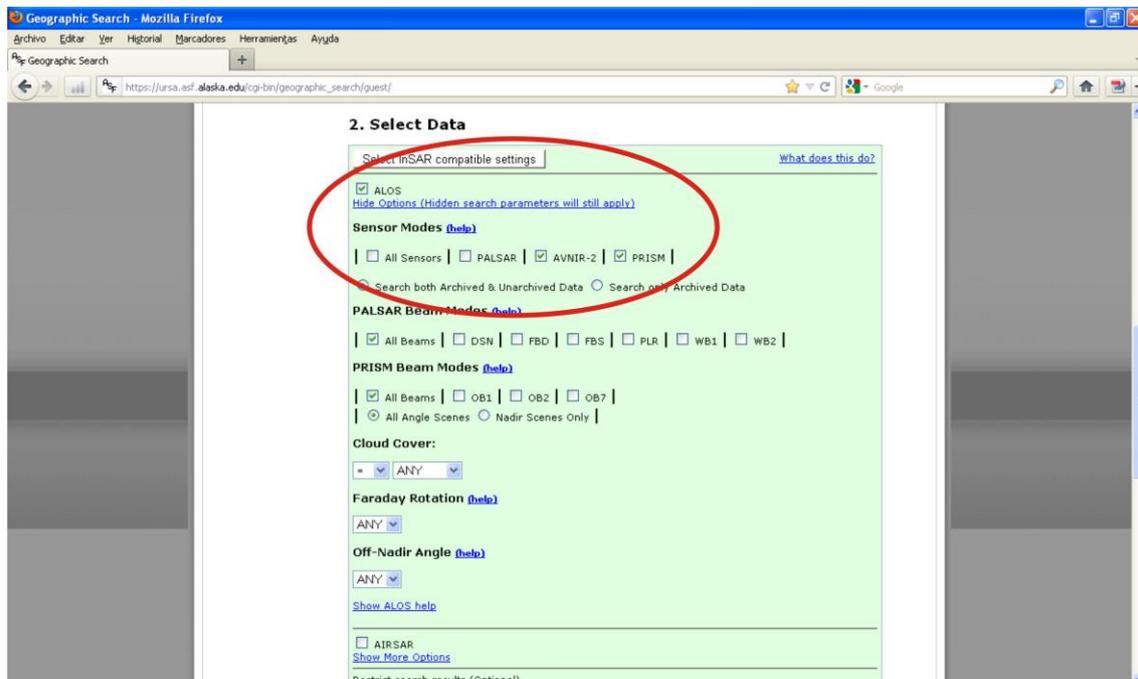
Seleccionar el área de interés. Con clic y arrastre se navega por el mapa. Con clics individuales se define un área de interés (polígono).



El menú en la base del mapa permite editar los puntos manualmente y borrarlos



Más abajo, se elige el sensor. Para ello hay que activar la opción Alos. Clickear la opción “Show more options” y seleccionar AVNIR-2 y/o PRISM, según corresponda. Hay otras opciones como ángulo de toma o cobertura de nubes que se recomienda dejar en la opción por defecto. Finalmente se puede elegir el rango de fechas, la opción por defecto revisa todo el catálogo. Lamentablemente no se pueden hacer búsquedas estacionales por lo que el resultado incluye todas las escenas de invierno. El botón “Submit search” inicia la búsqueda.



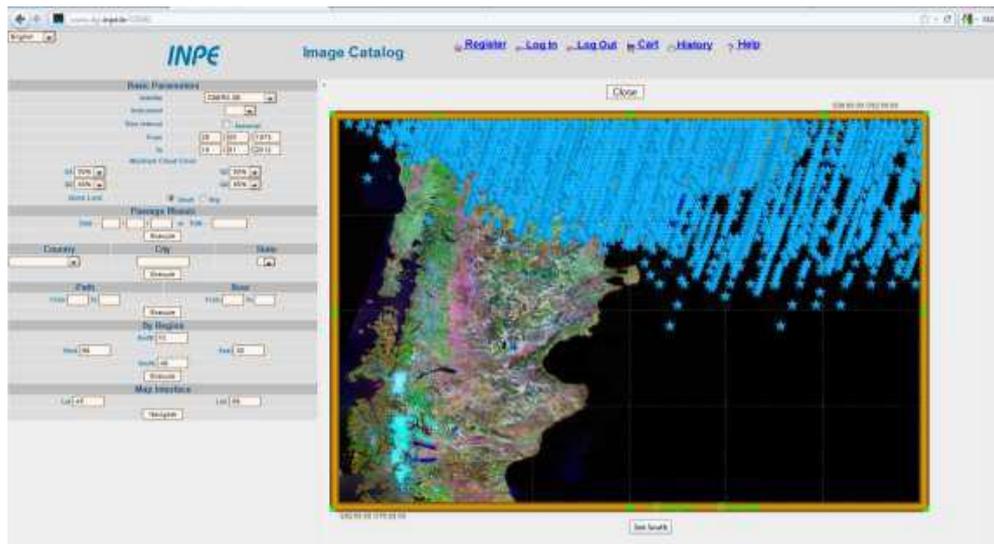
La página de resultados devuelve hasta 100 vistas previas de las escenas por página, con una miniatura y los metadatos asociados a cada escena disponible. Al igual que en otros catálogos el parámetro clave para identificar una escena es el ID "Name". También vale la pena registrar la fecha "Date" aunque no es imprescindible ya que los ID no se repiten.

The screenshot shows the URSA Alaska Satellite Facility User Remote Sensing Access search results page. The page displays a search for granules with ID ALAV2A266144620. A table lists granule information and order options. A red circle highlights a thumbnail image showing 91-100% cloud cover.

Select	Granule Info	Order Options
<input type="checkbox"/>	Name ALAV2A266144620 Date JAN-22-2011 Sensor AVNIR-2 Sensor Mode OBS Off Nadir Angle 0.00 Path Number 425	Processing Type L1B2 Processing Option GEOCODED_MAP_PROJECTION_UTM Scene Shift 0 Media Type DVD

Un clic en una escena de interés devuelve toda la metadata (abajo) y una vista previa de buen tamaño para evaluar la calidad de la imagen, en particular nubosidad y cobertura de nieve. Es importante mencionar que, por ahora, muchas escenas PRISM y algunas AVNIR-2 no tienen vista previa.

Imágenes del sensor HRC del satélite CBERS 2B (China Brasil Earth Resources Satellite). Las imágenes del sensor HRC (High-Resolution Panchromatic Camera), tienen 2,7 m de resolución espacial y se pueden obtener desde la página del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil (<http://www.inpe.br>). Las imágenes CBERS disponibles vienen representadas por las estrellas azules y cubren toda América latina hasta la latitud que se ve en la figura (aproximadamente hasta el sur de la provincia de Mendoza) y se pueden obtener sin cargo para cualquier usuario.



3.2. Criterios de Selección

Al momento de preseleccionar imágenes satelitales para la identificación y mapeo de superficies cubiertas de hielo debemos tener en cuenta que no todas las imágenes disponibles para un área determinada, sino más bien con suerte unas pocas, tienen potencial suficiente para que las consideremos aptas para su utilización.

Existe una serie de criterios intrínsecos a cada imagen individual que resultan importantes y fundamentales para seleccionar correctamente las imágenes idóneas para un inventario de glaciares, a saber: fecha de toma de la imagen, cobertura de nieve estacional o temporal, cobertura nubosa y “gains” de la imagen.

3.2.1. Fecha de toma de la imagen y 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 por diversos procesos, fusión y sublimación entre otros. 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 correspondientes al final del año de balance de masa (Cogley et al, 2011) muestran el mayor potencial con fines de inventario de glaciares, evitando la inclusión de nieve estacional como parte del área permanentemente englazada que sobreestime la superficie de un determinado glaciar. En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, principios de otoño (Marzo/Abril), mientras que para los glaciares tropicales se aproxima con el final de la temporada seca (fines de agosto y principios de septiembre).

Aun así, debe realizarse necesariamente una inspección visual cuidadosa de la imagen seleccionada, dado que la fecha de toma de la misma no es garantía de ausencia de nieve estacional, puesto que en zonas cordilleranas y con especial mención a la Cordillera Patagónica, las tormentas de nieve durante los veranos no son inusuales. Es conveniente hacer una inspección de la imagen completa en búsqueda de nieve estacional evitando focalizar la atención en unos pocos glaciares. Teniendo en cuenta que a fines del Inventario Nacional de Glaciares debemos inventariar aquellos cuerpos que sean visibles por un período de al menos

2 años, deberemos hacer un análisis multitemporal con imágenes de años previos y sucesivos para compararlas.

Por ejemplo, si bien Febrero es el mes ideal para seleccionar imágenes para glaciares extratropicales, es factible que dependiendo de la historia de precipitaciones y temperaturas de un año en particular, imágenes del mes de Enero o bien Marzo pueden resultar útiles para el mapeo de glaciares. El período de ablación se extiende hasta Marzo por lo que ocasionalmente las imágenes obtenidas durante este mes pueden ser aún más propicias que las de Febrero. Lo importante, como se mencionó anteriormente, es verificar la cantidad de nieve remanente del pasado invierno, nieve recientemente caída en las tormentas de verano o las primeras precipitaciones otoñales.



Figura 1: Imagen Aster del 20 de febrero de 2005 y 28 de febrero de 2002. a) muestra la zona de ablación de un glaciar libre de nieve estacional en un tono más grisáceo (puede verse inclusive una ELA local) mientras que en la imagen de 2002 el mismo glaciar se encuentra completamente cubierto de nieve recientemente caída. b) El glaciar cubierto del cerro Penitentes puede confundirse con un glaciar libre de detritos en la imagen nevada. c) Nieve estacional.

3.2.2. Cobertura nubosa

La presencia de nubes sobre el área a inventariar es un obstáculo importante teniendo en cuenta que las mismas no son transparentes a las imágenes satelitales ópticas y por ende ofuscan las superficies englazadas. Puede ocurrir que imágenes con escasa o nula nieve estacional presenten sin embargo sectores con cobertura de nubes que impidan el correcto mapeo de glaciares.

Podemos optar entonces por dos alternativas: la más simple es descartar por completo cualquier imagen con nubes sobre los glaciares o bien podemos mejorar nuestra imagen eliminando las áreas cubiertas por nubes y rellenando con otra imagen, en lo posible con una fecha de captura no muy anterior o posterior (puede tratarse inclusive de una imagen de menor resolución si es necesario).

Para cumplir con dicho objetivo se propone utilizar una modificación del ACCA (Automated Cloud Cover Assessment) Algorithm. Este método crea una máscara de las zonas nubosas mediante una serie de pasos con las bandas 2 a 5 de LANDSAT, una banda térmica y el NDSI (Normalized Difference Snow Index) como input. Además de impedir “ver” los glaciares, la

cobertura nubosa tiene implicancias directas en la generación de MDE (Modelos digitales de Elevación) a partir de estereopares satelitales. Artefactos en forma de valores anormalmente altos y de baja frecuencia son usualmente asociados a la presencia de nubes en las imágenes a partir de las cuales se genera el MDE.

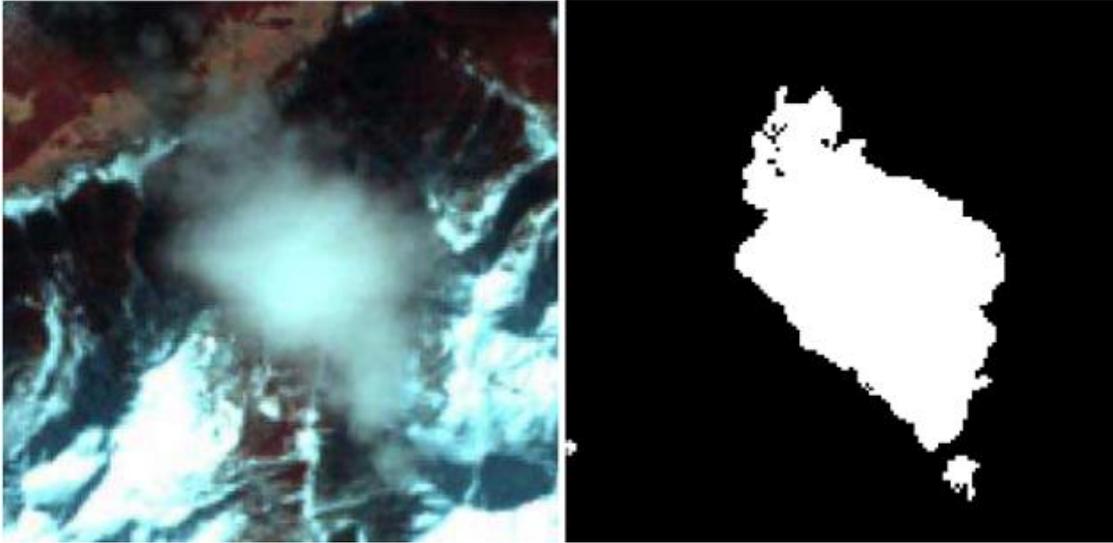


Figura 2: Eliminación de la cobertura nubosa mediante la generación de máscaras a través del ACCA. Imagen cortesía Philipp Rastner.

3.2.3. Gains

Los “gains” representan una medida del contraste óptico de una imagen determinada. Un buen contraste (HIGH) es útil para separar las zonas de acumulación y ablación, por ejemplo. Dado que la nieve muestra alta reflectividad en el sector visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético (bandas 1-3 de ASTER y bandas 1-4 en LANDSAT), dichas bandas están muy saturadas. Por consiguiente, es conveniente trabajar con gains normales (NOR) o bajos (LOW) en las imágenes obtenidas durante la estación estival. Si por alguna razón debiéramos trabajar con imágenes obtenidas durante el otoño o invierno, debemos tener en cuenta que en esa época del año el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre es bajo, la reflectancia es menor y en consecuencia podemos utilizar imágenes con gains altos (HIGH). High gains son también útiles para el mapeo de glaciares cubiertos.

Para visualizar los gains de las imágenes debemos recurrir al archivo de extensión .txt o .met que contiene la metadata de las imágenes LANDSAT ETM+, ASTER y ALOS. Los gains de las imágenes ASTER pueden obtenerse también a través del sitio web de GLIMS (www.glims.org).

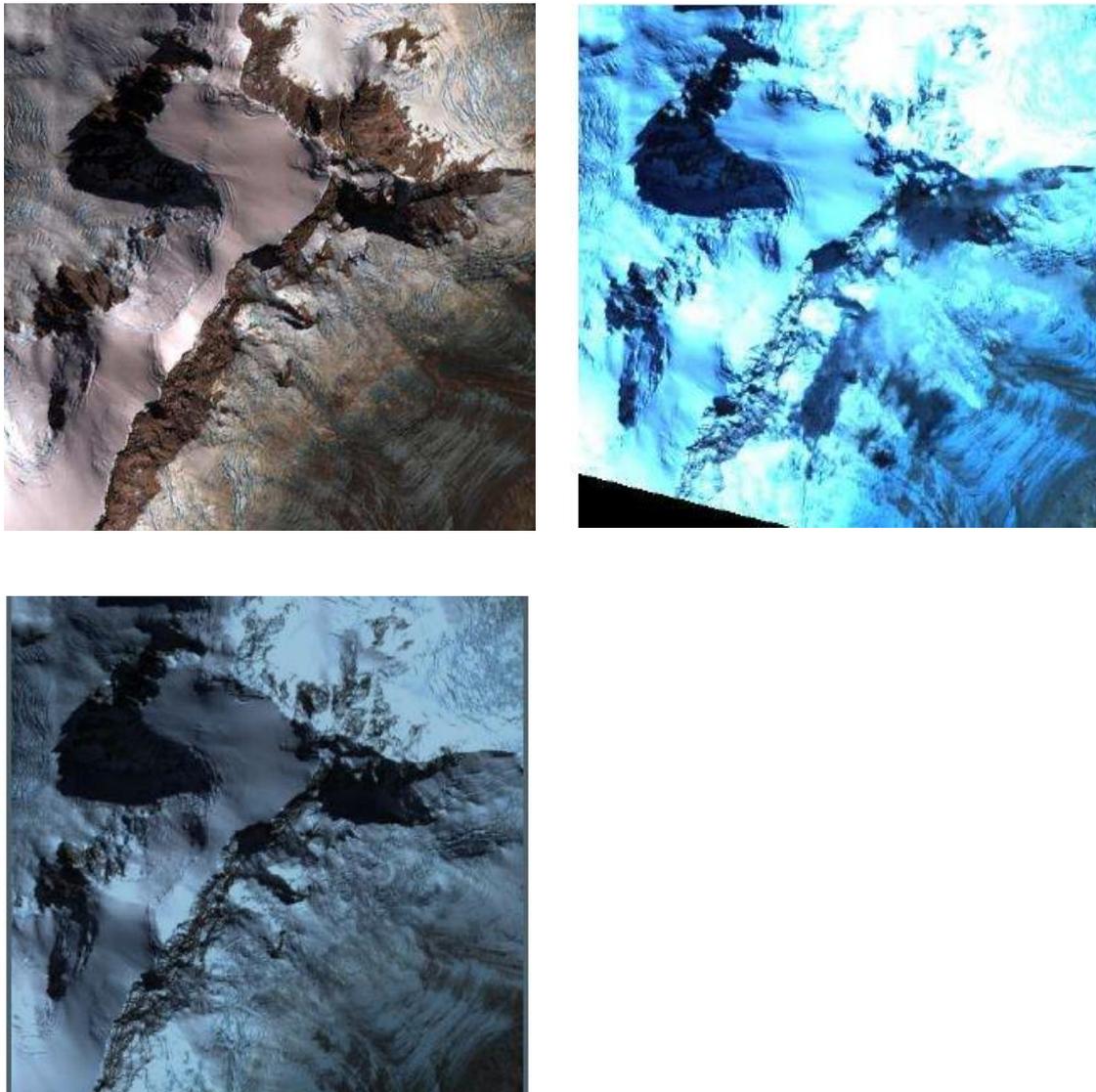


Figura 3: Detalle de imagen Aster del Monte San Lorenzo. Arriba a la izquierda: 20-2-2005 con gains LOW. Abajo a la izquierda: 14-3-2007 con gains NORMAL Arriba: 10-3-2003 con gains HIGH que evidencian mucha reflectividad.

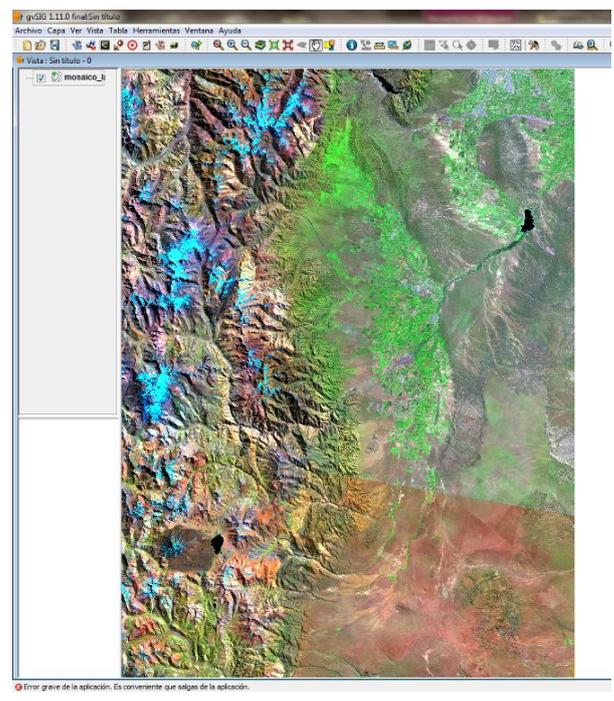
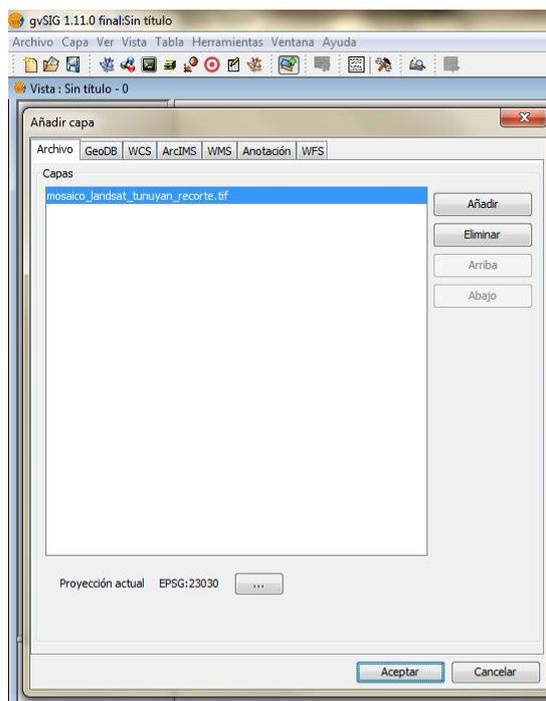
3.3. Georreferenciación

La georreferenciación es el conocimiento de la posición de los objetos en la superficie terrestre con respecto a un sistema único de referencia, en lo posible mundial, que permite comparar la información proveniente de distintas épocas, fuentes y temas.

Las imágenes ASTER utilizadas (el producto L1A ASTER Orthorectified) como base para la delimitación de los cuerpos de hielo han resultado tener una muy buena georreferenciación, por lo que la mayoría de las escenas se emplearon sin tener que realizar ningún tipo de corrección. No obstante, en algunas imágenes se corrigieron pequeñas variaciones en la georreferenciación utilizando como base un mosaico compuesto de imágenes LANDSAT 5 TM. Estas imágenes, generadas por el USGS (United States Geological Survey) son internacionalmente aceptadas como base de referencia.

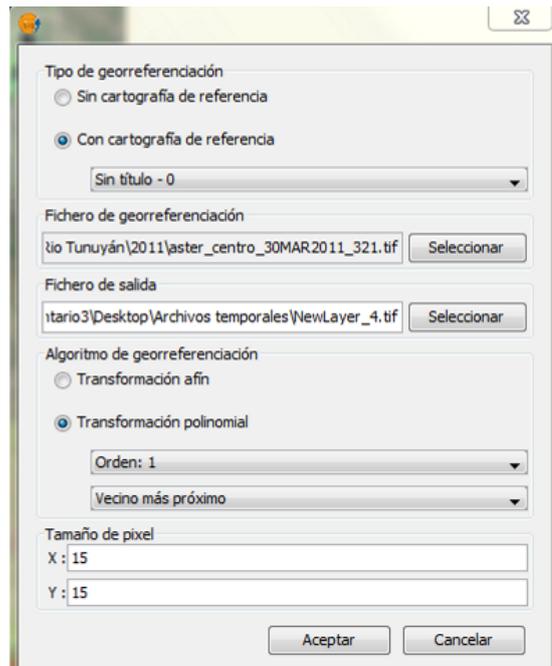
Este procedimiento se puede realizar con muchos software: ENVI, SAGA, GvSIG, etc. Proponemos aquí la utilización del software libre **gvSIG 1.11**. Para ello los pasos a seguir son:

1. En primer lugar deberemos cargar la cartografía base georreferenciada sobre una vista de gvSIG. En nuestro caso será una imagen Landsat TM 5.

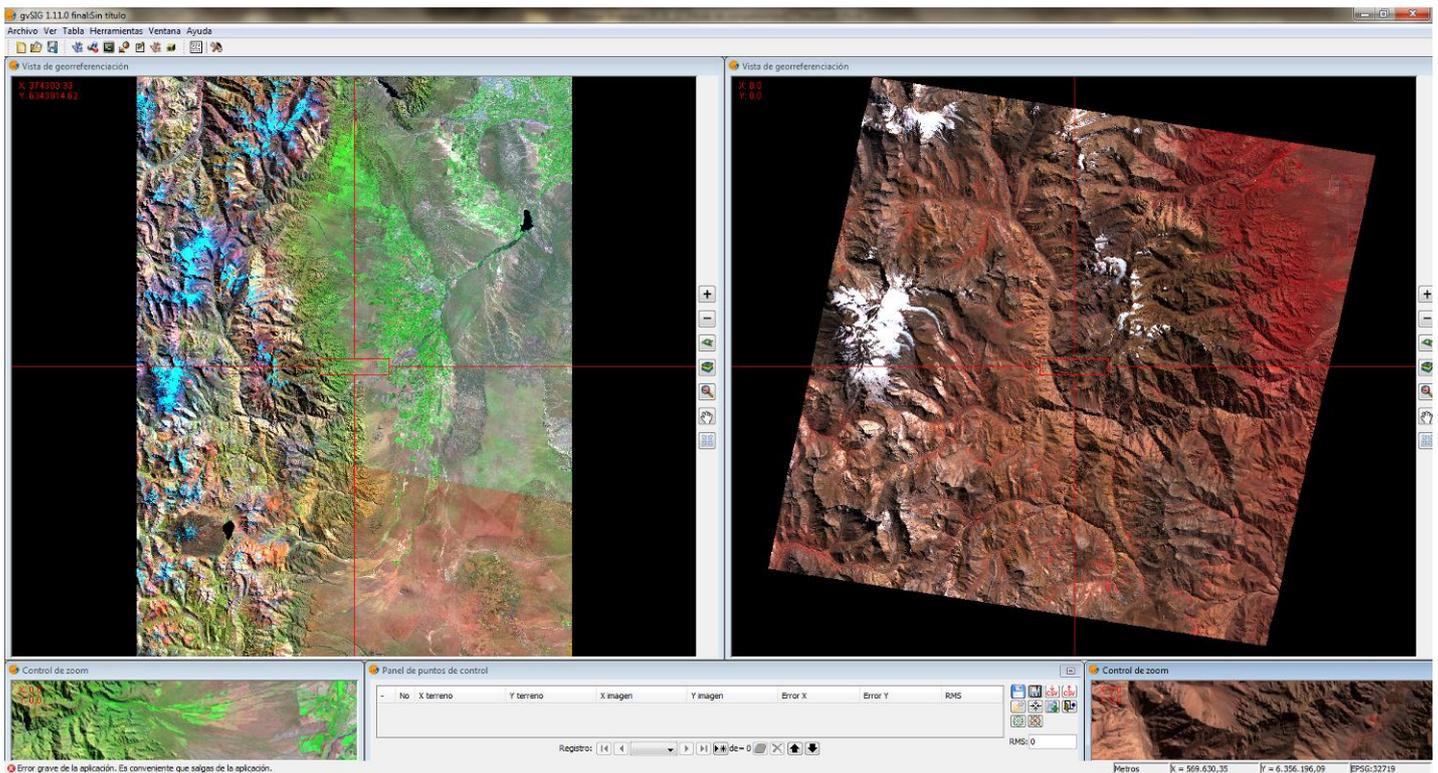


2. En segundo lugar cargaremos la imagen a georreferenciar, para ello, acudimos a la herramienta "Capa Raster"  y seleccionamos en este caso Transformaciones geográficas . Después seleccionamos la herramienta Georreferenciación .

Se abre la ventana de ajustes generales:



- Cartografía de referencia (es la opción más común e indica la vista donde tienes la cartografía de referencia).
- Fichero a georreferenciar (soporta varios formatos).
- Fichero de salida (formato TIF)
- Tipo de transformación (afín o polinómica). Una transformación afín (o polinomial de primer orden) implica cualquier combinación de traslación, rotación, escalado e inclinación. Para una transformación afín son necesarios un mínimo de tres puntos de control. Este tipo de transformación es la más comúnmente utilizada para georreferenciar imágenes. Por otro lado para transformaciones polinomiales de mayor grado son necesarios más puntos de control (6 para segundo grado y 10 para grado tres) y son aplicables en imágenes con distorsiones.
- Tipo de interpolación o de remuestreo (vecino más próximo, bilinear o bicúbica). Influye en el nivel de detalle de la imagen final. El efecto de pixelado es mayor en la interpolación por vecino más próximo. Si con la imagen se va a realizar una clasificación se sugerimos utilizar el método del vecino más próximo porque es el que menos modifica los niveles digitales de la imagen.



3. Al aceptar los ajustes generales aparece el menú de georreferenciación que consta de diversas partes:

- Área de visualización de la imagen de referencia en el lado izquierdo (cartografía, otra imagen, etc.).
- Área de visualización de la imagen a georreferenciar a la derecha.
- Ventanas de zoom de la imagen de referencia y de la imagen a georreferenciar.
- Panel de puntos de control (tabla mostrando las coordenadas y los errores medios cuadráticos) y herramientas adicionales (test de georreferenciación, aplicar la georreferenciación, centrar sobre punto de control, salvar puntos a fichero csv, etc.).

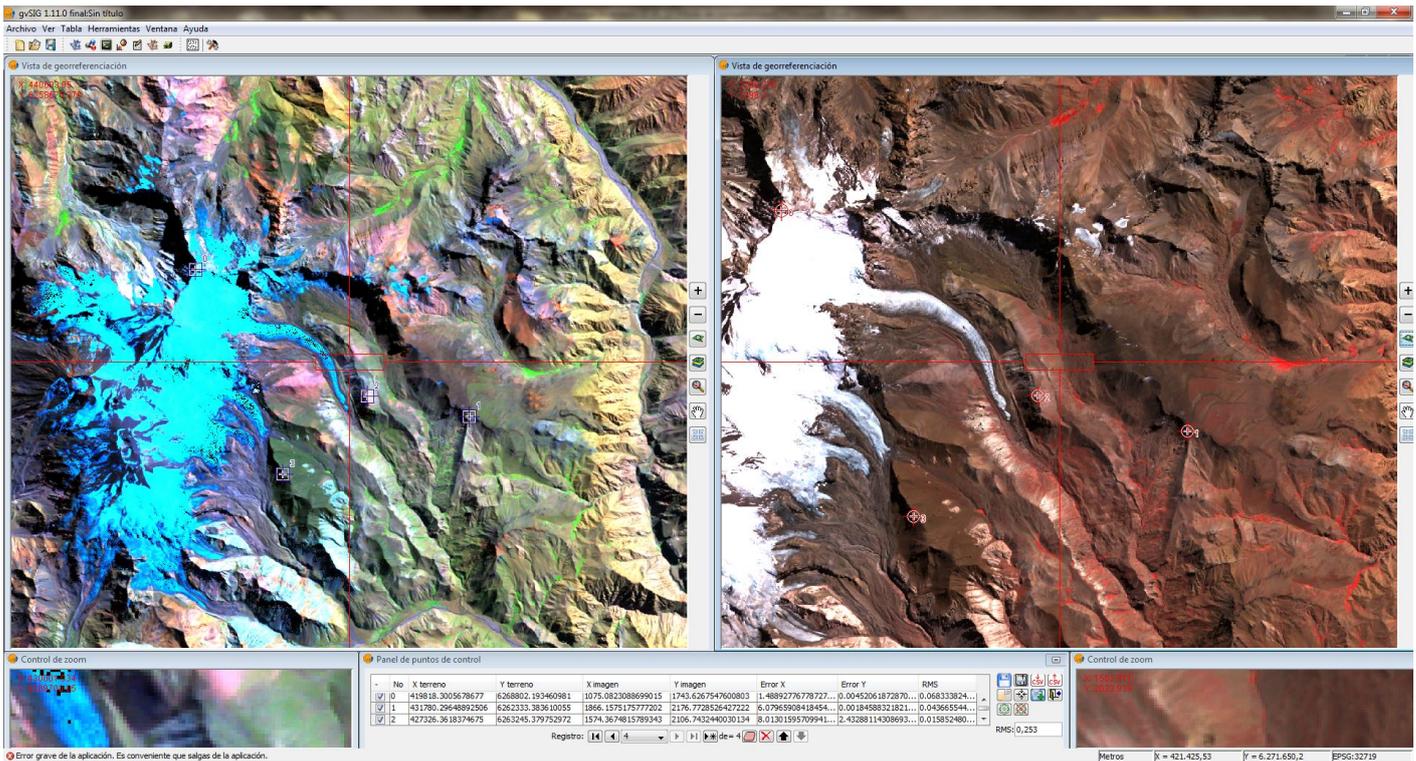
Deberemos ir seleccionando Puntos de Control, los cuales estarán distribuidos de manera homogénea por toda la imagen y ubicaremos no menos de 15 puntos.

Este proceso implica ir añadiendo puntos de control mediante  pulsando primero en la imagen de referencia (coordenadas terreno X' e Y') y seguidamente en la imagen a georreferenciar (coordenadas píxel X e Y).

En todo momento y a partir del tercer punto de control se nos informa del error medio cuadrático cometido, expresado en píxel, así como de los residuales por punto. El error medio cuadrático se recomienda que sea inferior a 1.

Con el botón "Borrar punto seleccionado"  podremos eliminar aquellos puntos que no estén bien ubicados o que tengan un elevado RMS.

Asimismo, para eliminar todos los puntos, pulsaremos el botón "Borrar todos los puntos" .



A medida que vamos añadiendo los puntos de control, estos se pueden guardar en el fichero de metadatos adjunto al raster .

Además se pueden exportar los puntos como un fichero de texto o cargarlos desde un fichero existente  . Los ficheros de puntos asociados sirven exclusivamente para el par de imágenes (base y a georreferenciar) en los que fueron tomados, no podrán ser utilizados para un par diferente de imágenes aunque fuesen de la misma zona.

Podemos probar la transformación antes de aplicarla mediante las herramientas de "Testear" la transformación y "Eliminar el test"  .

Si el test resulta ser adecuado, podremos finalizar la georreferenciación .

En la vista principal del gvSIG se abrirá una nueva capa con la imagen georreferenciada. Esta imagen estará guardada en el fichero de salida que seleccionamos en el paso 2.

Además de esta sección, podrán consultar un video tutorial online para realizar la georreferenciación en gvSIG en este enlace: <http://politube.upv.es/play.php?vid=46847>.

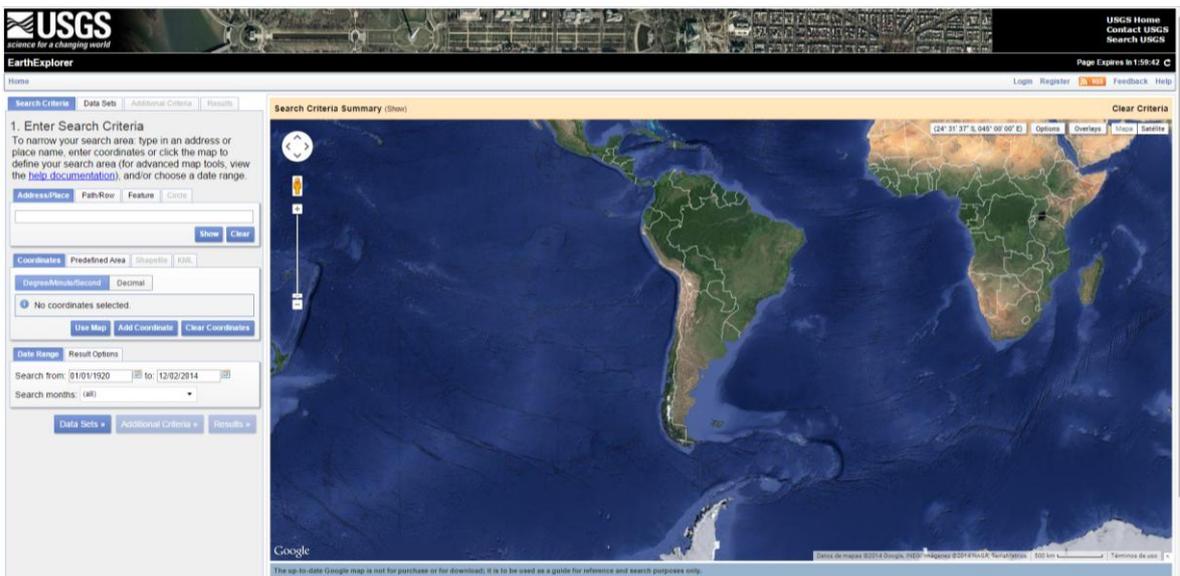
CAPITULO 4: Modelos Digitales de Elevación

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son una representación de la superficie de la tierra en donde el atributo fundamental es el dato numérico de elevación o coordenada Z del terreno. Las principales aplicaciones de los MDE para un inventario de glaciares son: obtención de subcuencas, curvas de nivel, altitud, pendiente, orientaciones, hipsometría, etc. En los apartados siguientes, desarrollaremos cuales son los MDE propuestos para los fines del inventario de glaciares, donde obtenerlos y cómo se delimitan las cuencas hidrológicas a partir de ellos.

4.1. Modelos propuestos, ¿dónde y cómo obtenerlos?

Los modelos de distribución gratuita se encuentran disponibles varios sitios web. Para realizar el inventario sugerimos dos modelos: SRTM y GDEM2, ambos globales. Existen otros modelos ya realizados y algunos sensores, como ASTER que traen imágenes estereoscópicas que permiten elaborar un MDE de dicha imagen. La propuesta de utilizar los modelos globales se basa en la experiencia internacional de diversos grupos de trabajo, entre ellos GLIMS, el cual es un importante referente en materia de Inventario de Glaciares. Estos modelos están en permanente revisión y ajuste por lo que proponemos permanecer actualizados en el tema. GDEM2, por ejemplo es un producto que ha superado unas cuantas evaluaciones y ha salido al mercado en octubre de 2011, el anterior GDEM1, de julio de 2009, resultó ser de una menor calidad que SRTM, disponible desde 2002. En el apartado 4.2 se analiza y justifica la elección del MDE.

Sugerimos obtener SRTM del sitio <http://earthexplorer.usgs.gov/>



Arriba a la derecha en “Login” es conveniente registrarse si se es nuevo usuario o introducir los datos de su cuenta personal antes de iniciar los criterios de búsqueda. Entre los criterios de búsqueda está poner Path y Row que obedece al WRS2 (http://landsat.usgs.gov/worldwide_reference_system_WRS.php), abajo en “Data set” hay un listado de los datos disponibles para esa ubicación geográfica. Si se hace clic en el signo más (+) a la izquierda de Digital Elevation, se despliegan los dos modelos disponibles el GMTED2010

que es el Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 que es un modelo global para regiones o continentes y el SRTM.

The screenshot shows the USGS EarthExplorer web interface. At the top, there is a navigation menu with options: Archivo, Edición, Ver, Favoritos, Herramientas, Ayuda. Below this is the USGS logo and the text "science for a changing world". The main header reads "EarthExplorer" and "Home 2 New System Messages".

The interface is divided into several sections:

- Search Criteria Summary (Show)**: A summary section at the top right of the main content area.
- 2. Select Your Data Set(s)**: A section on the left with instructions: "Check the boxes for the data set(s) you want to search. When done selecting data set(s), click the *Additional Criteria* or *Results* buttons below. Click the plus sign next to the category name to show a list of data sets." Below the instructions is a checkbox for "Use Data Set Prefilter (What's This?)".
- Data Sets List**: A list of data categories on the left, each with a plus sign to expand it:
 - Aerial Photography
 - AVHRR
 - CalVal Reference Sites
 - Commercial
 - Declassified Data
 - Digital Elevation
 - GMTED2010
 - SRTM
 - Digital Line Graphs
 - Digital Maps
 - EO-1
 - Forest Carbon Sites
 - Global Fiducials
 - Global Land Survey
 - HCMM
 - Land Cover
 - Landsat Archive
 - Landsat Legacy
 - Landsat MRLC
 - NASA LPDAAC Collections
 - Orbview-3
 - Radar
- Map**: A Google Earth-style map on the right showing the South Pacific Ocean and Southern Ocean. A red pin is placed on the coast of Argentina. The map includes navigation controls like a compass and a vertical scale bar.
- Buttons**: At the bottom left of the data sets list, there are buttons for "Clear All Selected", "Additional Criteria >", and "Results >".

At the bottom of the map area, there is a small disclaimer: "The up-to-date Google map is not for purchase or for download; it is to be used as a guide for reference and search purposes only."

Tildado el SRTM abajo a la derecha en "Results", aparecen los resultados en forma de archivo con la opción de descargarlos apretando el botón de "download" , entre otras opciones. Si previamente se está registrado se accede a la información, que es un modelo de terreno de un sector del continente de un grado de latitud por un grado de longitud, que contiene el sitio referenciado.



Sugerimos obtener el modelo GDEM2 del sitio <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>

En el sitio de referencia existe un tutorial el cual nos guiará paso a paso para pedir el modelo GDEM <http://www.echo.nasa.gov/reverb/tutorial/AccountManagement.html#CreateAccount> (ésta es la dirección del tutorial)

1. Debe estar registrado (tener una cuenta) para crear y pedir productos GDEM V2
2. Entrar en la cuenta
3. En “Search terms” escribir Aster
4. Debe elegir en base a criterios espaciales: dibujando un rectángulo, poniendo las coordenadas de un punto, dibujando un polígono, etc. Opcionalmente puede poner fecha a los productos a buscar, pero no hace falta ésta opción para buscar GDEM V2
5. En “Step2: Select Datasets” aparecen los productos ASTER disponibles para el lugar geográfico seleccionado. Busque “ASTER Global Digital Elevation Model V002 Archive Center: LPDAAC Short ame: ASTGTM Version: 2” y selecciónelo
6. En “Step3:Discover Granules” aparece su selección anterior
7. Seleccionar el botón “Search for granules”
8. Seleccionar el botón del “Shopping cart” para los productos que desea solicitar
9. Haga clic en “Step2 : Go to cart View items in cart”
10. Si su pedido es lo que esperaba haga clic en “order” aparecen todos los datos suyos que cargó al hacer la cuenta, en esa página, abajo puede elegir entre volver a la pagina anterior, cancelar la orden o continuar con el pedido. Seleccione el botón “Proceed” para continuar.
11. Aparecen algunas opciones sobre el envío de su pedido en el botón “set”, ahí debe acordar con las políticas de distribución del sitio.
12. Seleccione el botón “Proceed” para continuar.
13. Seleccione el botón “Submit Order” para enviar la información al centro de distribución de datos.
14. Espere un correo electrónico de confirmación para recibir los datos vía FTP.
15. Siga la dirección que se le envía en el correo electrónico.

Otro sitio donde se pueden obtener modelos digitales de elevación SRTM es desde

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

4.2. Criterios de selección

Contar con información topográfica del área englazada es de vital importancia para la caracterización y parametrización de los glaciares inventariados, así como para poder comparar su distribución en altura, pendiente y orientación con otras zonas englazadas.

En éste ítem presentamos una comparación de los dos MDE planteados, SRTM y GDEM. Trabajamos con la versión v4.1 de SRTM de 90 m de resolución espacial, generado en el año 2008 y la segunda versión de GDEM: GDEM2, de octubre de 2011.

Desde la primera versión del MDE SRTM presentado en el año 2003, se generaron sucesivas versiones con diferentes mejoras, sobretodo asociadas a las zonas sin datos. Cada versión fue superadora de la anterior y la última disponible, la V4.1 es la que hemos usado por la calidad y exactitud del producto.

Existen otras dos fuentes de información topográfica disponibles en forma gratuita, GDEM y GLA06. Cada una de ellas, es un producto terminado en sí mismo y por lo tanto no es necesario aplicar corrección de ningún tipo. También se contempló la posibilidad de elaborar MDE a partir de pares de imágenes estereoscópicas del sensor ASTER, pero debido al tiempo requerido tanto en la toma de puntos de control en el terreno como en la elaboración del mismo, se decidió utilizar los MDE globales disponibles.

Modelo Digital de Elevación SRTM V4.1

Entre el 11 y el 20 de Febrero del año 2000 se llevó a cabo un proyecto conjunto entre la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y agencias espaciales de Italia y Alemania, denominado Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Se generaron modelos digitales de la mayor parte de la superficie terrestre (área comprendida entre 58º de latitud sur y 60 º de latitud norte, que corresponde con el 80% de la superficie del planeta). Esta misión empleó la técnica conocida como radar interferométrico o InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar).

El MDE disponible públicamente tiene una resolución espacial de aproximadamente 90m (3 segundos de arco). Varios autores han realizado un análisis global para cuantificar el error en el dato a partir de puntos de control en el terreno distribuidos en todo el planeta. Según estos autores los datos SRTM tienen un error absoluto en la locación de 9m y en altura es menor a 16m. Los datos son expresados en coordenadas geográficas y la elevación esta reportada en metros con respecto al elipsoide WGS84.

Hay que tener en cuenta que los datos de SRTM constituyen un modelo digital de superficie, y no representa la tierra desnuda, sino que incluye todo lo que está en ella: cobertura arbórea, obras de infraestructura, etc. Desde la publicación de los primeros datos SRTM3 en el 2003, se han realizado varios post-procesamientos con el objetivo de completar las zonas sin datos. Las zonas sin datos se encuentran en los lugares donde el contraste en los datos es insuficiente para extraer la elevación. Estos vacíos o zonas sin dato ocurren principalmente en los cuerpos de agua (lagos y ríos), áreas cubiertas por nieve, zonas con excesiva interferencia atmosférica y en zonas montañosas, particularmente en las áreas donde la sombra coincide con la orientación de la ladera. Las áreas del globo donde se concentra la mayor cantidad de áreas sin dato son los Himalayas y los Andes.

Para este trabajo se utilizó la versión 4.1 de SRTM (disponible también en: <http://srtm.csi.cgiar.org/>), la cual presenta importantes mejoras en el relleno de las zonas sin datos y en los contornos de las superficies cubiertas por agua, además de tener una mejor relación señal/ruido (Jarvis et al., 2008).

Modelo Digital de Elevación GDEM 2

Este modelo digital de elevación fue desarrollado en conjunto por el METI (Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration of United States). El ASTER GDEM 2 (ASTER Global Digital Elevation Model versión 2) es una contribución de estos dos organismos al Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) y está disponible desde octubre de 2011 en forma gratuita vía Internet en el sitio Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC) de Japón (http://www.echo.nasa.gov/reverb/about_reverb.htm).

El modelo de elevación está realizado a partir de imágenes estéreas, obtenidas por los dos telescopios del sensor, uno en la dirección del nadir (VNIR 3N) y otro hacia atrás (VNIR 3B).

Debido a que la diferencia en el tiempo de toma de cada imagen es de sólo 55 segundos no es necesario hacer correcciones atmosféricas.

Este modelo fue creado a partir de casi 1,5 millones de imágenes estereoscópicas. Si bien se distribuye con una resolución espacial de 30m la real es de 72m, con un error en la locación horizontal de 0.13 arc-sec al oeste y de 0.19 arc-sec al norte. El error en altura expresado en RMSE es de 6.1m en superficies planas y de 15.1m en superficies montañosas con cobertura boscosa. Esta es la segunda versión de este producto, la cual ha sido corregida sustancialmente con respecto a la primera, eliminando anomalías/artefactos, enmascarando las superficie de cuerpos de agua, eliminación de bias y pequeños ajustes de correlación en el tamaño del kernel. Estas correcciones han permitido una mejora en la precisión horizontal y vertical, en comparación tanto con GCP como con otros DEM.

Perfiles Lidar de ICESat

ICESat (Ice, Cloud and land Elevation Satellite), lanzado en 2003, es un satélite de la Nasa diseñado para medir, entre otras cosas, masas de hielo, nubes, aerosoles, topografía y características de la vegetación. El instrumento GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) es el primer lidar satelital y fue diseñado para medir la topografía de las capas de hielo y las propiedades atmosféricas de las nubes. GLAS utiliza el láser de 1064 nm para medir el tiempo de ida y vuelta entre el satélite y la superficie terrestre. Por otro lado un receptor GPS montado sobre el satélite es utilizado para determinar la posición del mismo y proveer el marco de referencia temporal para el altímetro. La resolución absoluta del altímetro se ha comprobado que es de ± 15 cm sobre zonas planas en desierto, y la diferencia entre valores para un mismo punto tomados durante diferentes vuelos sobre la superficie de glaciares de baja pendiente es del orden de ± 1 m. Los productos ICESat están disponibles en forma gratuita a través del NSIDC (www.nsidc.org). Para este estudio debido a errores en la salida del conversor de archivos provisto por NSIDC se utiliza el producto GLA06 distribución (release) 633.

Metodología

Con el objetivo de estimar la exactitud y precisión de los MDE gratuitos (SRTM y GDEM2), los mismos fueron comparados con los datos del producto GLA06. Para ello se calculó el RMSE (error cuadrático medio), BIAS (desvío) entre los valores de elevación de los MDE y del

producto GLA06, para determinar la exactitud. Además se realizó un análisis estadístico de las diferencias o residuales (mediana, asimetría, kurtosis, máximos y mínimos, percentil de 1% y 99%) para determinar la precisión, siguiendo la metodología propuesta por Ruiz (Tesis doctoral, en preparación).

Resultados

En la Tabla I se presentan los resultados del análisis de exactitud y precisión, en base al análisis estadístico de los residuales (GLA06-MDE).

MDE	N	RMSE (m)	BIAS (m)	M (m)	A	K	dH(max) (m)	dH(min) (m)	P 1% (m)	P 99% (m)
SRTM	4872	30.1	-8.1	-9.1	0.24	3.6	98.8	-112.2	-75.1	71.5
GDEM 2	4865	15.5	1.4	1.1	0.60	7.4	89.7	-78.5	-36.1	49.5

Tabla I. Resumen del análisis de exactitud (RMSE, BIAS), expresados en metros y de precisión, en base al tratamiento de los residuales entre el GLA06 y los 2 MDE. M=mediana; A=asimetría; K) kurtosis, dH(máx.)=máximo valor residual; dH (min)=mínimo valor residual; p 1%= percentil 1%; P 99%= percentil 99%.

Las figuras muestran la distribución de los residuos para la comparación GLA06 vs GDEM 2 y vs SRTM.

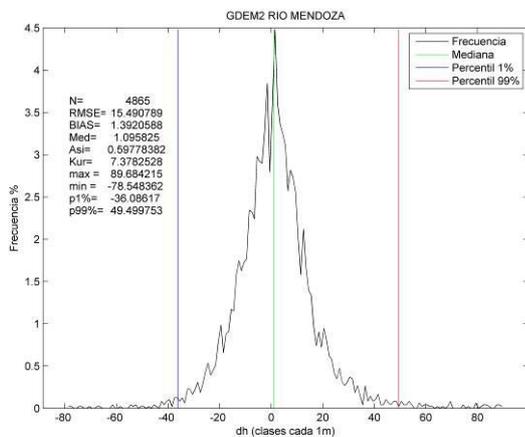


Figura 1. Histograma de diferencia entre GDEM 2 y los datos de GLA06.

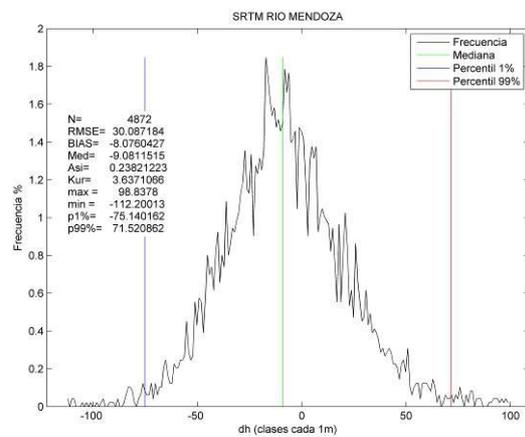


Figura 2. Histograma de diferencia entre SRTM y los datos de GLA06.

Discusión y conclusiones

En base al análisis realizado el MDE más exacto es el que tiene un valor de RMSE menor, y la mediana más cercana a 0 (cero). Por otra parte el MDE más preciso es el que tiene la

distribución más leptocúrtica (Kurtosis más elevada), el menor rango total (dhmax-dhmin) y los valores de percentil 1 y 99% más cercanos a la media.

En base a todo esto el MDE más exacto es el GDEM 2.

Si bien la exactitud (~30m) del SRTM es cercana al valor global indicado por los fabricantes/distribuidores (~20m) (Jarvis et al., 2008) y que la precisión al 99% de los puntos comparados es de $\pm 70\text{m}$, el MDE GDEM 2 se presenta como una fuente de información significativamente más exacta y precisa que el SRTM y por lo tanto mejor para extraer datos de elevación. Por otra parte SRTM contiene zonas con vacío de información en vastas áreas de la Cordillera de los Andes, en la versión 4 (la utilizada en este estudio) los mismos fueron rellenados matemáticamente, por lo cual en estas zonas no se cuenta con información real de la topografía. En base a esto estas zonas deben ser relevadas con otra fuente de información, lo que además de hacer el trabajo más laborioso, introduce más incertezas, asociadas principalmente a la diferencia de resolución espacial entre MDE y a la posible falta de co-registración de los mismos.

4.3. Delimitación de cuencas

El objetivo será extraer una red de drenaje y sus respectivas cuencas lo más limpias posibles para poder separar las áreas clasificadas como hielo/nieve en cuerpos independientes. Este es uno de los pasos fundamentales en la construcción de un inventario de glaciares en zonas de montañas como los Andes.

Se propone la delimitación de las cuencas en base a dos programas de distribución libre y gratuita, para que el operador disponga de dos alternativas posibles.

4.3.1. SAGA

En este apartado seguiremos el paso a paso para delimitar cuencas con SAGA. Igualmente hay que tener en cuenta que siempre es necesario un postproceso en donde se requiere una corrección manual, sin embargo si seleccionamos bien los parámetros y algoritmos, la corrección manual puede reducirse sensiblemente.

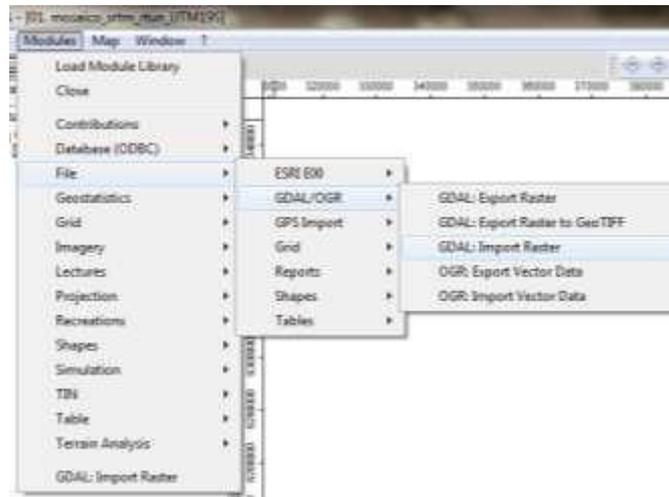
Consejos para seguir este procedimiento:

- ✓ En este capítulo es indistinto el termino módulo o module o herramienta.
- ✓ La mayoría de las herramientas están dentro de los que se conoce como *Terrain Analysis*.
- ✓ Es necesario un conocimiento mínimo de cómo funciona SAGA.
- ✓ Fundamental, tener un buen DEM de la zona, tiene que tener la resolución espacial adecuada y una buena representatividad del terreno, sin ruido ni agujeros.
- ✓ Este tutorial está armando usando el SRTM V4.1.

Hay que tener en cuenta que existen por lo menos tres formas de hacer una divisoria de cuencas en SAGA, pero explicaremos la más simple y directa.

1.- Primer paso Pre-procesamiento

Primero cargaremos nuestro MDE



Identificar y borrar los sumideros.

HERRAMIENTA >> *Terrain Analysis* >> *Preprocessing* >> *Fill Sinks*

2.- Segundo paso crear el parámetro para la iniciación de los canales

Tendremos que generar una grilla de iniciación para los canales calculando una jerarquía de los futuros canales de la red de drenaje (Strahler Order).

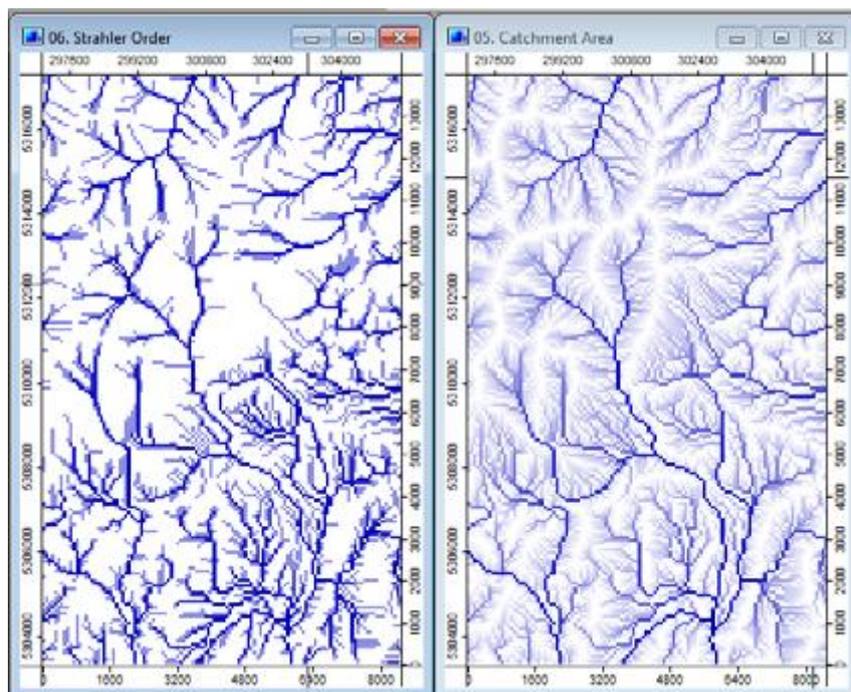
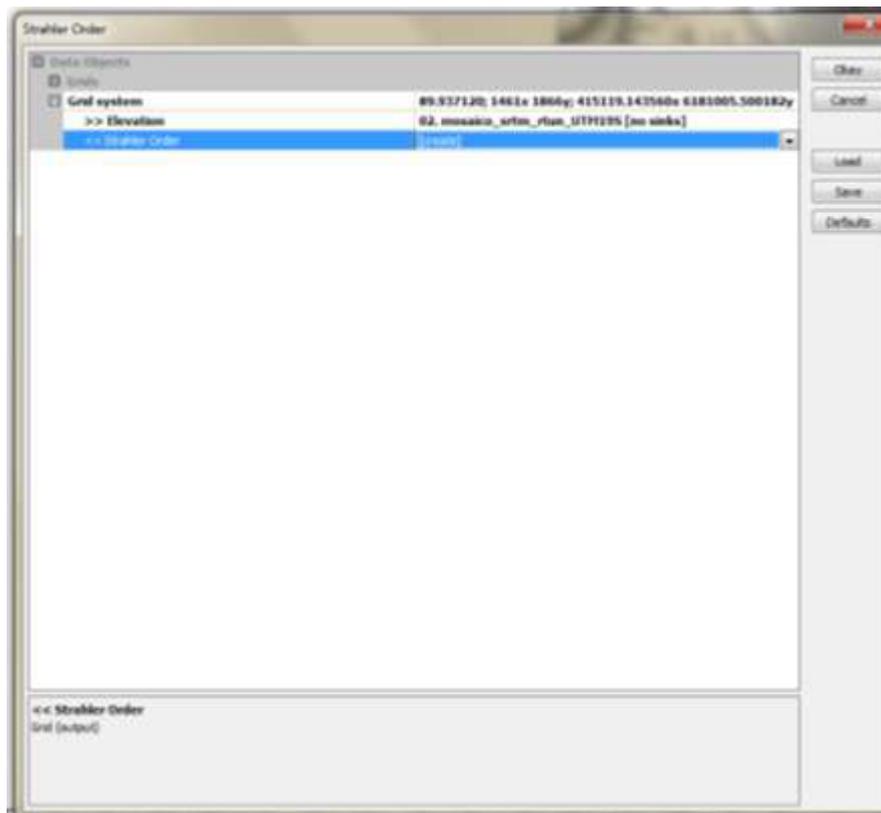
HERRAMIENTA >> *Terrain Analysis* >> *Channels* >> *Strahler Order*

Parámetros de entrada

Elevation, tan solo es necesario ingresar la grilla de Elevación, tienen que estar corregidos los sumideros.

Parámetros de salida

Strahler Order Grid. El orden de jerarquía de canales de Strahler ordena los diferentes tributarios desde el más bajo hacia el más alto.



Ejemplo de una grilla de Strahler Order y de Catchment Area. Estas se usan como grilla de iniciación en el paso siguiente para extraer la red de drenaje.

3.- Tercer paso.

Extraer la red de drenaje

HERRAMIENTA>> *Terrain Analysis* >> *Channels*>> *Channel Network*

Parámetros de Entrada

Son necesarias básicamente dos grillas. El DEM que va a ser usado para encaminar el flujo y trazar los canales y una grilla de iniciación que tiene información suplementaria hacia donde tiene que ser encaminado el flujo.

Initiation grid. Indica las celdas don el flujo va ser encaminado para generar los canales. Se puede utilizar el catchment area grid o Strahler order grid, generados en el paso anterior.

Initiation Type, básicamente es la condición que tiene que ser cumplida para generar un canal (menor que, mayor que o igual a que).

Initiation Threshold, es el valor que se va a tener en cuenta para cumplir la condición. Cuanto mayor sea el área o mayor el orden menor, número de canales vamos a tener.

Divergence, se usa para ajustar el flujo, más o menos como usar otro algoritmo, no es muy significativo.

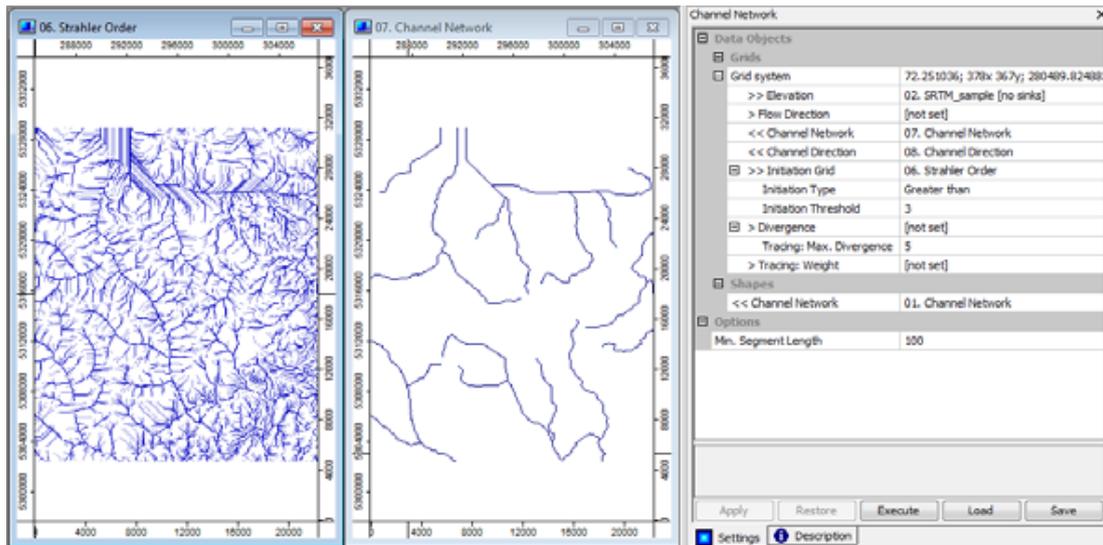
Minimun Segment Length. Para evitar que se generen canales muy cortos, permite indicar el largo mínimo de los canales. Se expresa en unidad de celda, por lo tanto hay que multiplicar por el tamaño de la celda para saber su valor en unidades de distancia.

Parámetros de salida

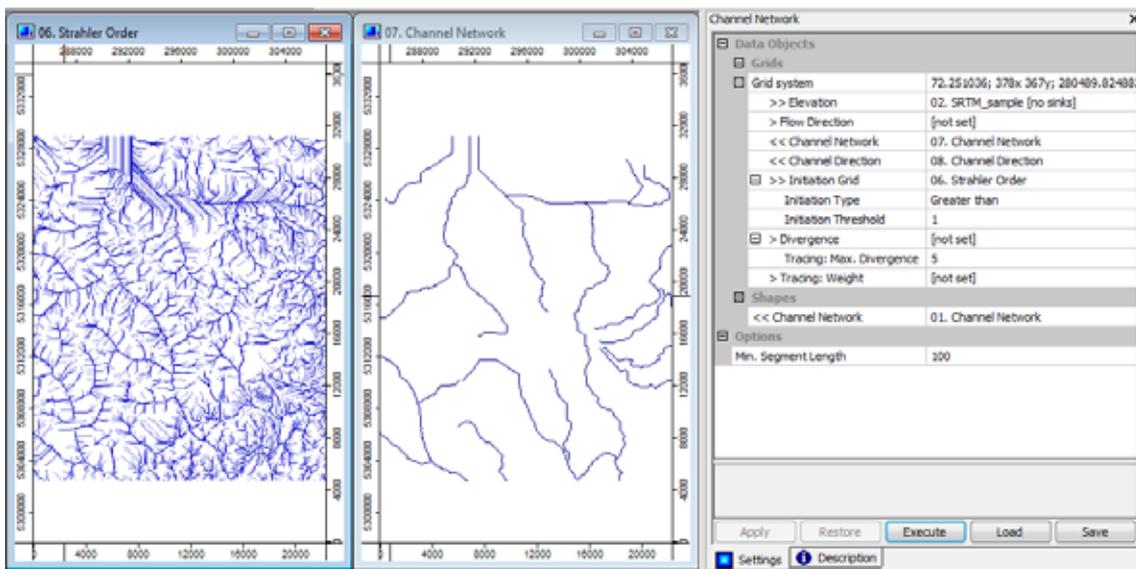
Channel Network, grilla con los canales y shape con la traza de los canales.

Channel Direction, la dirección de los canales, no lo usamos.

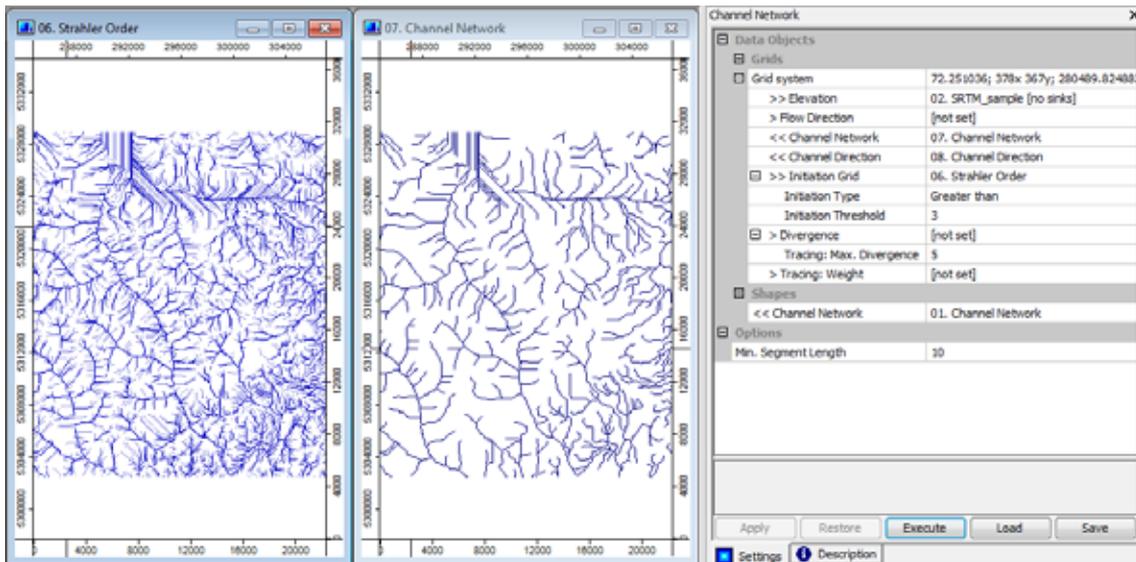
Ejemplos



Ejemplo de una red de drenaje generada usando la jerarquía de Strahler como para parámetro de iniciación. Se observa la Grilla de iniciación y el resultado (Channel Network). También la ventana donde se indican los parámetros. Si se usa un umbral muy grande y segmento mínimo de (100x720m=7200m). Sólo se “dibujan” los ríos principales.



Ejemplo de una red de drenaje generada usando la jerarquía de Strahler como para parámetro de iniciación. Se observa la Grilla de iniciación y el resultado (Channel Network). También la ventana donde se indican los parámetros. Similar al anterior, como el segmento mínimo es muy grande (100x720m=7200m), controla al umbral de iniciación (1 o 3 es indistinto). Sólo se “dibujan” los ríos principales.



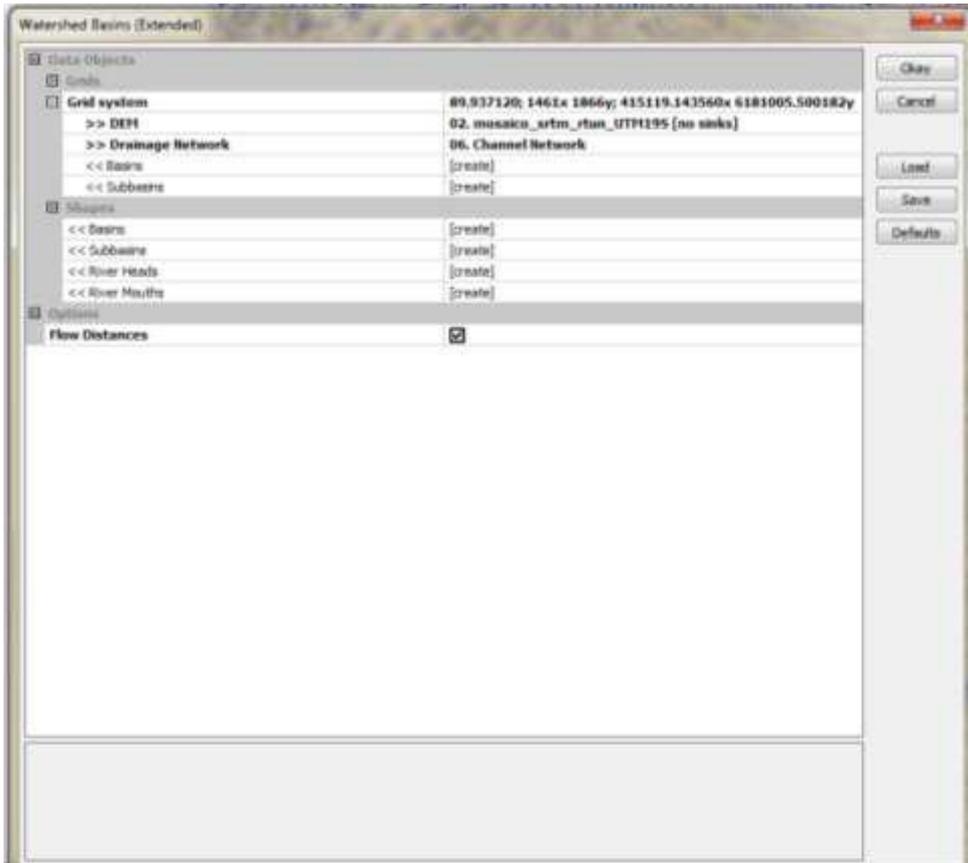
Ejemplo de una red de drenaje generada usando la jerarquía de Strahler como para parámetro de iniciación. Se observa la Grilla de iniciación y el resultado (Channel Network). También la ventana donde se indican los parámetros. Si se usa un umbral grande (3) y segmento mínimo de ($10 \times 72\text{m} = 720\text{m}$) se dibujan los ríos de tercer orden pero con un largo mayor a 720 metros. Este es un resultado más acertado para dividir en cuencas menores.

4.- Cuarto paso.

Extraer las Cuencas de drenaje. Hay dos módulos que permiten hacerlo, emplearemos la versión "Extended" ya que es más completo que el otro.

HERRAMIENTA>> *Terrain Analysis >> Channels>> Water Basins (Extended)*

Cada segmento de la red de canales creado en el paso anterior tiene asociada una cuenca. Esta cuenca corresponde al área de aporte (catchment area) del punto más bajo del segmento menos la cuenca asociada a otro segmento localizado más arriba. Este módulo calcula cuenca, subcuenca y además genera automáticamente en este paso los shapes de las cuencas, subcuencas, cabecera y desembocadura de los ríos.



Estos son algunos de los atributos generados automáticamente en el shape de las cuencas y subcuencas.

ID	Main Basin ID	Outlet X	Outlet Y	Perimeter	Area	Centroid X	Centroid Y	Mean Elevation	Inversion Rang	an Flow Distar	sum Flow Dis	entration tim	lydlope Basin
1	1	430318.516789	223815.566158	26801.263670	384679.819824	425792.911195	222568.311251	3841.280728	1801.000000	5856.385524	11026.115831	0.845941	0.000000
2	1	430408.453809	223801.506278	54501.894538	253830.648902	425167.059183	225563.484322	3780.380042	1813.000000	8175.077913	14804.579966	1.351615	0.000000
3	1	432836.756141	214462.08720	33498.608528	232790.438965	426682.620526	212728.495740	3412.255267	480.334228	6328.079808	10784.515490	1.371530	0.000000
4	1	432836.756141	214453.049828	34881.602443	530061.809082	428466.438309	216758.753372	3687.118200	1920.399170	6342.400412	12832.345323	0.983338	0.000000
5	1	434635.488333	218868.827375	29489.376281	265444.217285	431851.012400	220052.413981	3453.383687	1418.954590	4882.368744	12282.893370	1.030287	0.000000
6	1	434725.435654	218868.827375	36200.436932	281363.747588	430942.831887	223963.406308	3581.264172	1671.018531	9350.379951	17024.926623	1.438014	0.000000
7	1	437513.486363	218028.593488	27790.632867	150720.228356	438635.152377	221810.563647	3820.796250	1772.190486	5361.577362	10223.070177	0.780017	0.000000
8	1	437603.423485	218078.593488	47666.673440	017434.127930	442002.836638	216358.440618	3886.939335	1684.133548	8398.448108	14350.513537	1.153258	0.000000
9	1	436883.828527	217518.870779	24283.022319	464954.395030	438311.352471	223648.240889	3888.067488	1230.594871	8871.303882	10176.422718	0.883184	0.000000
10	1	433063.800766	217518.870779	22484.278925	518578.182871	438481.224124	222358.984196	3346.028565	687.465088	3388.962481	8389.715885	0.893926	0.000000
11	1	438374.032288	217540.096540	25722.616234	562000.941406	437456.734616	224297.574646	3617.878225	1282.038818	7490.741533	10734.476427	0.934813	0.000000
12	1	436883.826527	217540.096540	3057.862070	234571.878683	437380.131084	217318.384138	3323.089751	3.968936	548.827294	1153.751817	0.661473	0.000000
13	1	436254.366689	216890.410942	23741.399601	764235.798277	436101.214007	222187.461453	3296.966859	546.148438	6554.587548	10160.245713	1.218488	0.000000
14	1	436434.240828	216890.410942	23383.631132	165673.033203	437938.583499	217928.280481	3423.618388	628.018333	2638.272603	6638.918753	0.707772	0.000000
15	1	435175.121252	215721.128388	41371.079682	948793.128418	432898.118216	218862.483771	3381.438216	613.968506	5838.468836	11224.203966	1.208142	0.000000
16	1	435265.083772	213721.228388	32017.614613	747788.347856	435725.788994	221271.183138	3416.919131	871.902584	3882.148880	9406.176623	0.967341	0.000000
17	1	434725.435654	214731.920069	13670.442184	838188.838867	433426.795327	214657.495464	3330.207852	88.890137	2018.612328	4468.736681	0.945381	0.000000
18	1	434895.308894	214731.920069	17987.423940	748058.391133	434883.575147	215247.180427	3384.912744	758.890137	2288.222903	4627.788662	0.432861	0.000000
19	1	437587.018643	216890.410942	64300.476623	118111.778588	437788.037188	216130.084838	3578.048758	1176.778678	8247.088113	13736.181781	1.548184	0.000000

El shape generado, lo podremos exportar para después editarlo en nuestro proyecto SIG.

4.3.2. Quantum GIS (QGIS)-GRASS

El software Qgis posee un complemento denominado GRASS que permite el acceso a las bases de datos y funcionalidades del software GRASS GIS. De este modo es posible la utilización de los módulos de GRASS desde el ambiente amigable de trabajo de QGIS.

En los siguientes pasos utilizaremos este complemento para la delimitación de cuencas hidrográficas.

La ventaja de su empleo consiste en la sencillez de la herramienta y la rapidez de procesamiento. La desventaja es que se tiene poco control sobre los parámetros empleados. Por el momento, quienes deseen tener un control más detallado del proceso deberían utilizar la delimitación con SAGA descrita previamente o utilizar el software GRASS mediante líneas de comando.

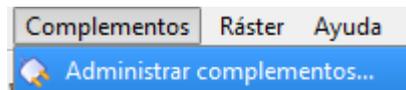
1- Cargar el DEM en QGIS

Como primer paso debemos abrir el software QGIS y cargar el DEM que vamos a utilizar en la delimitación de las cuencas. Para ello hacemos un clic en el ícono Añadir capa ráster.

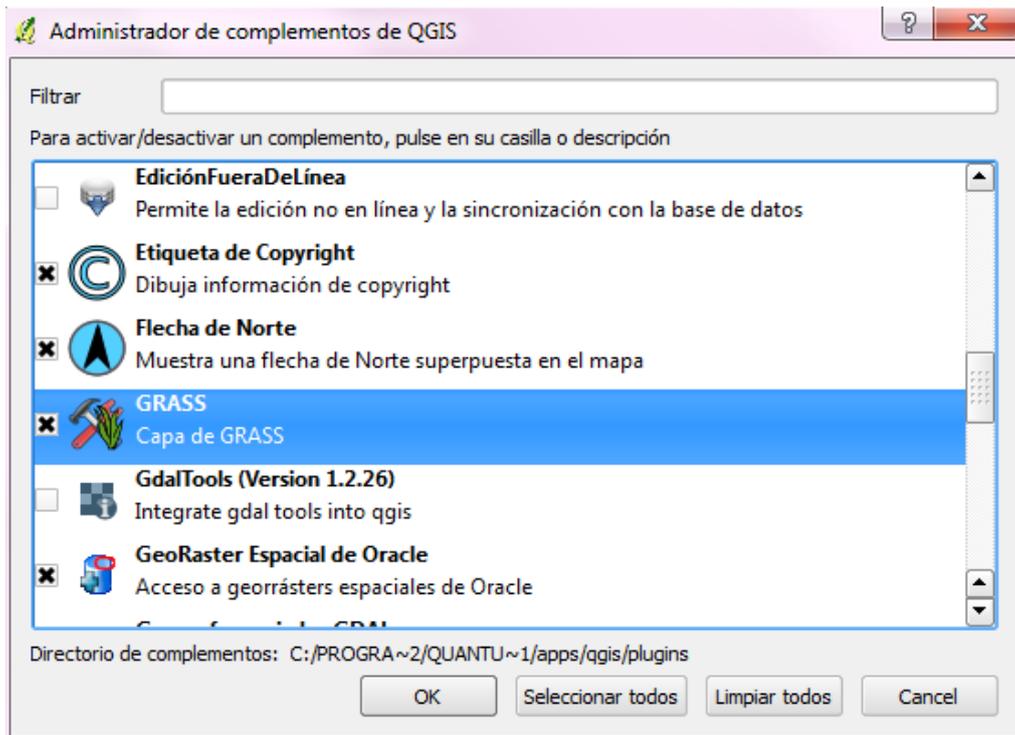


2- Agregar el complemento GRASS a QGIS

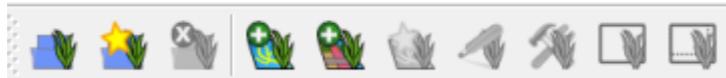
En el menú principal ir a Complementos y luego a Administrar complementos.



Seleccionar GRASS en caso de que el complemento no esté activado.

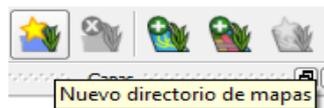


Se desplegará un menú de herramientas como el que presenta a continuación.



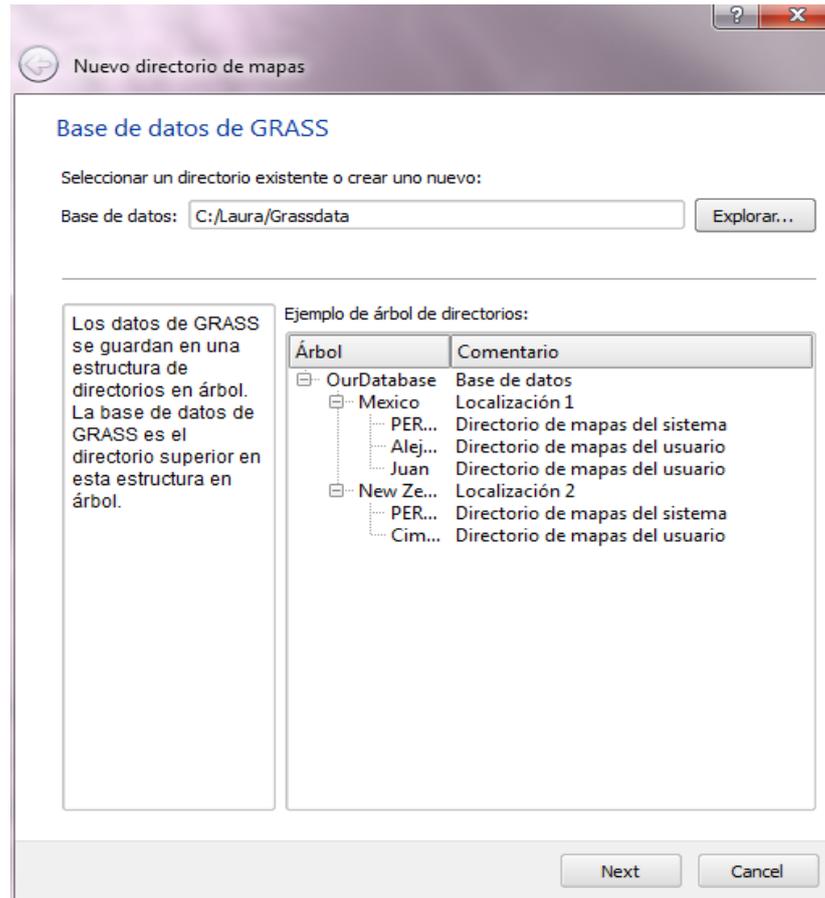
3- Crear una localización y conjunto de mapas

Como primer paso para trabajar con GRASS es necesario crear un directorio en donde se almacenarán las capas con las que vamos a trabajar y donde se guardarán los procesos intermedios. Hacer un clic en el ícono Nuevo directorio de mapas y se abrirá una ventana que

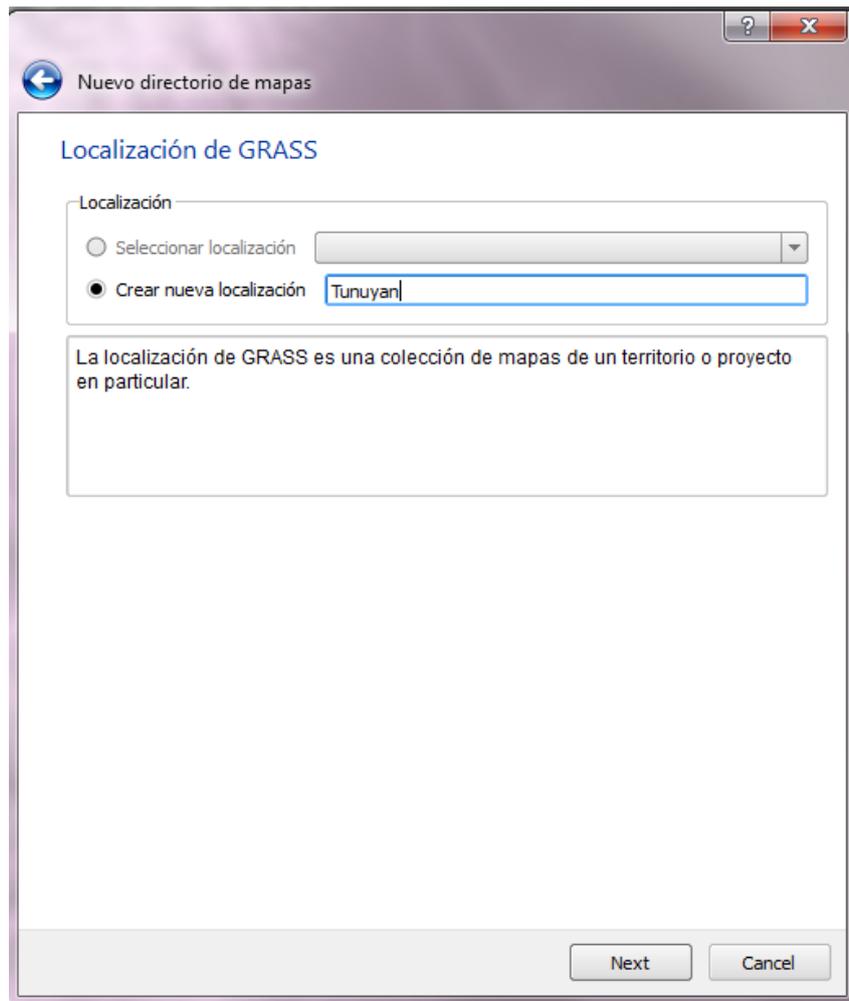


nos guiará a través de una serie de pasos en la creación del directorio de capas.

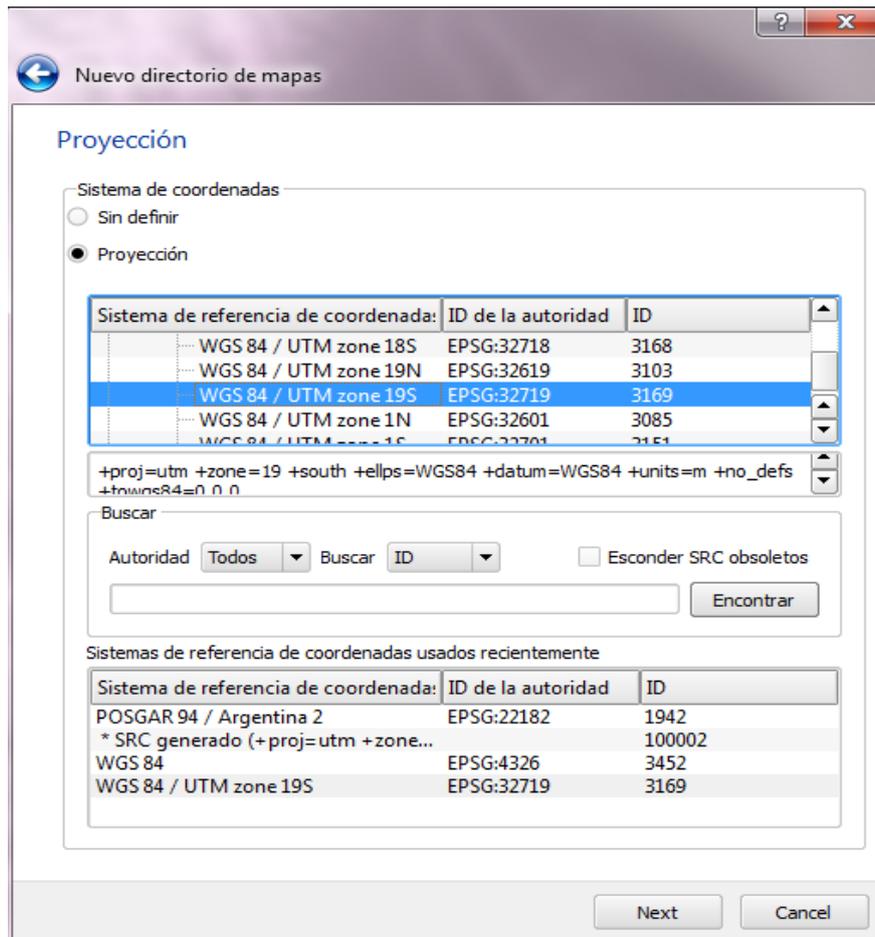
En el primer paso tendremos que seleccionar un directorio ya existente o crear un nuevo directorio.



En el siguiente paso nos pide crear una localización que consiste simplemente en dar un nombre que puede ser por ejemplo el de la cuenca en la que vamos a trabajar.



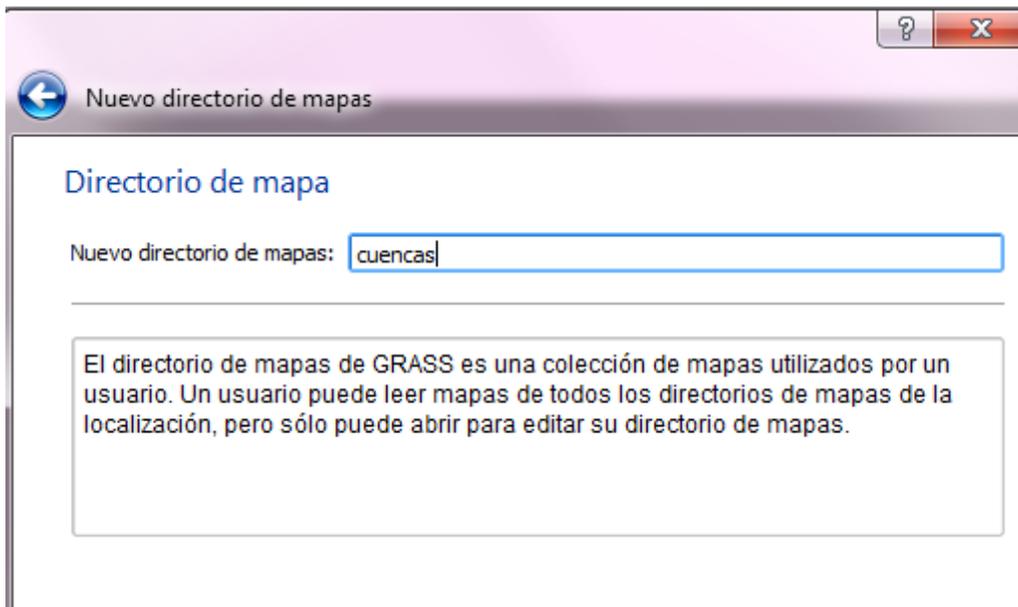
Luego nos pide elegir el sistema de proyección con el que vamos a trabajar, en nuestro caso el EPSG: 32719 que corresponde a UTM 19S/WGS84.



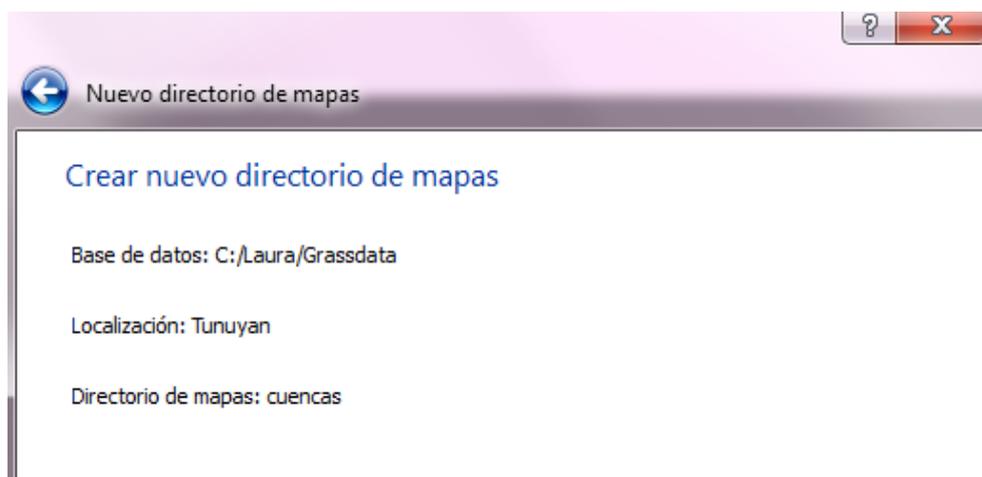
Luego tenemos que seleccionar una región que define el ámbito de trabajo para los archivos en formato ráster, esta puede cambiarse con posterioridad. Para definirla podemos ingresar las coordenadas, establecer la extensión actual de QGIS o seleccionar un país. En este caso seleccionaremos la segunda opción.



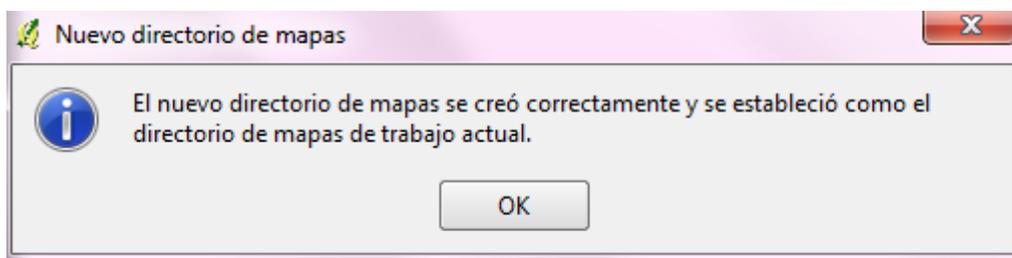
A continuación daremos un nombre a un Nuevo directorio de mapas, que es el nombre que tendrá la colección de mapas que utilizaremos en la delimitación de las cuencas. Evitar nombres largos y con espacios entre las palabras.

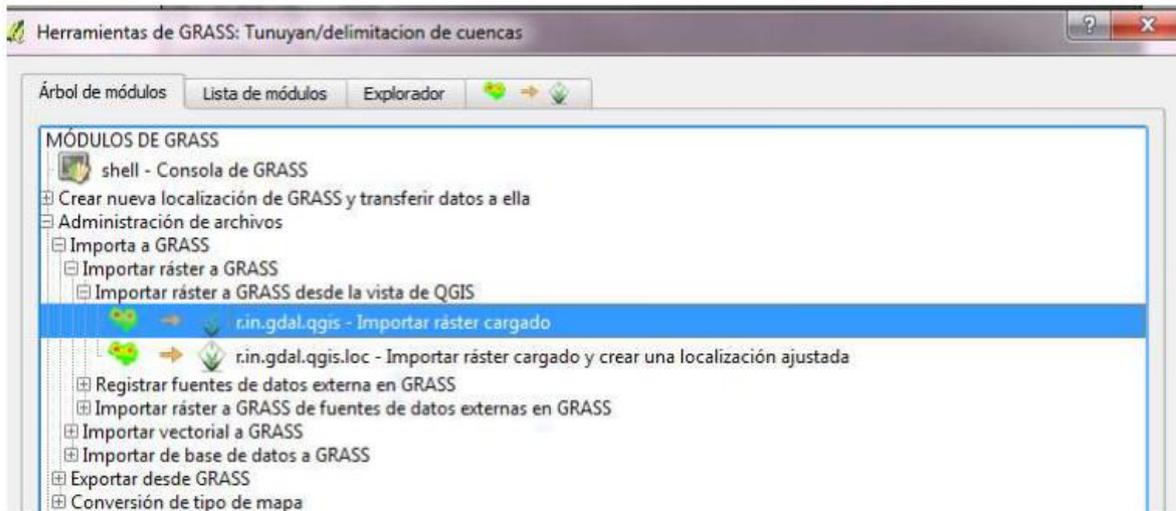


Finalmente, nos muestra una ventana con el nuevo directorio de mapas que acabamos de crear.



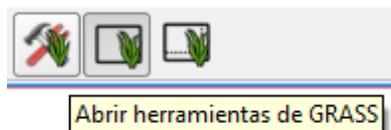
Ahora ya estamos en condiciones de comenzar a trabajar en la delimitación de cuencas.



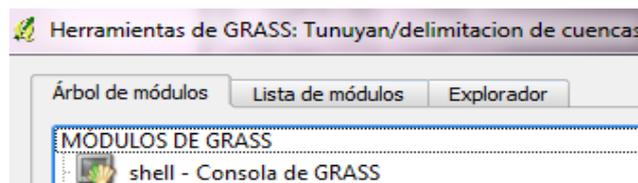


4- Importar el DEM a la base de datos de GRASS

El trabajo en GRASS requiere importar las capas que vamos a utilizar, en este caso el DEM. Para importar esta capa tenemos que recurrir al menú de GRASS y hacer un clic sobre el ícono Abrir herramientas de GRASS.

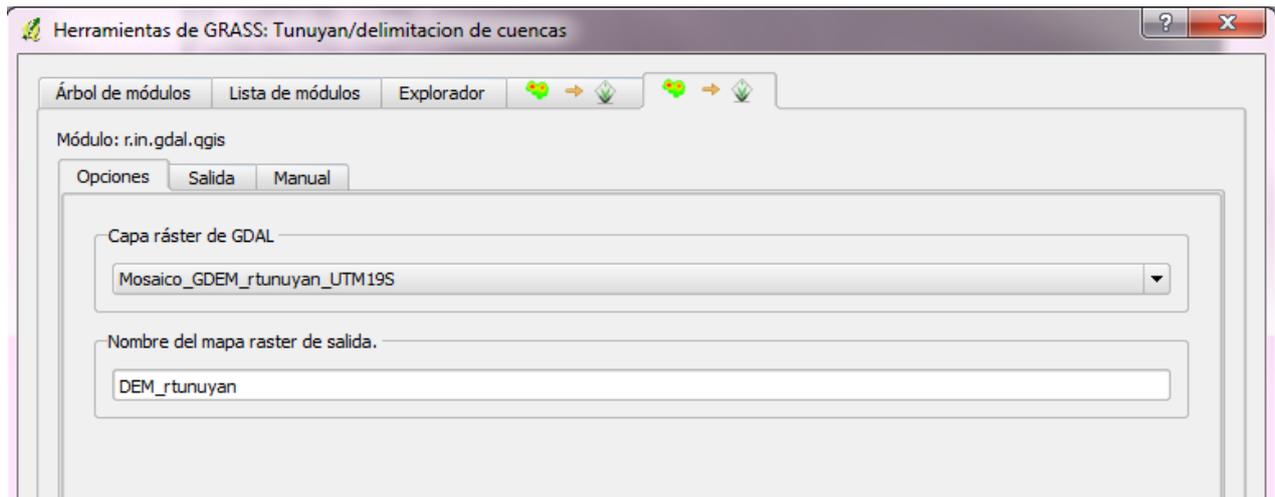


Se despliega una ventana de herramientas en la que se puede realizar la búsqueda de la que necesitamos. Podemos utilizar para ello dos opciones, la pestaña “Árbol de módulos” o “Lista de módulos”.

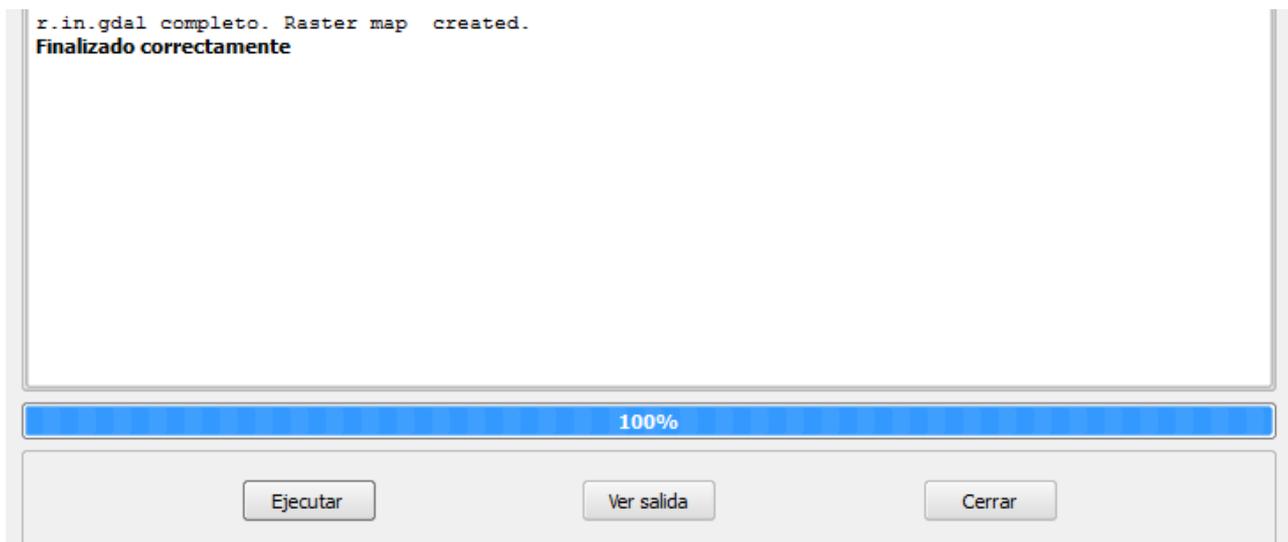


Por ejemplo en el Árbol de módulos, podemos hacer un clic en el signo “+” a la izquierda de la opción Administración de archivos, luego en Importar ráster a GRASS a continuación en Importar ráster a GRASS desde la vista de QGIS y finalmente Importar ráster cargado, como se muestra en la figura siguiente. Elegimos esta opción porque ya tenemos el DEM cargado en la vista de QGIS.

Una vez seleccionada esta opción se despliega una nueva ventana en donde elegimos el DEM a importar y el nombre de salida. En la pestaña Manual se puede obtener una descripción completa de la herramienta.



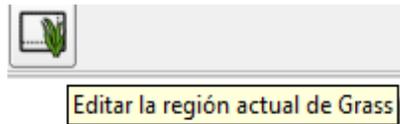
Cuando se haya importado el DEM nos mostrará en la pestaña de Salida un mensaje indicando que el ráster ha sido creado y si hacemos clic en el botón Ver salida nos desplegará la capa en la tabla de contenidos. Si no hacemos click acá después habrá que traer el mapa que se ha generado en Añadir capa vectorial de grass .



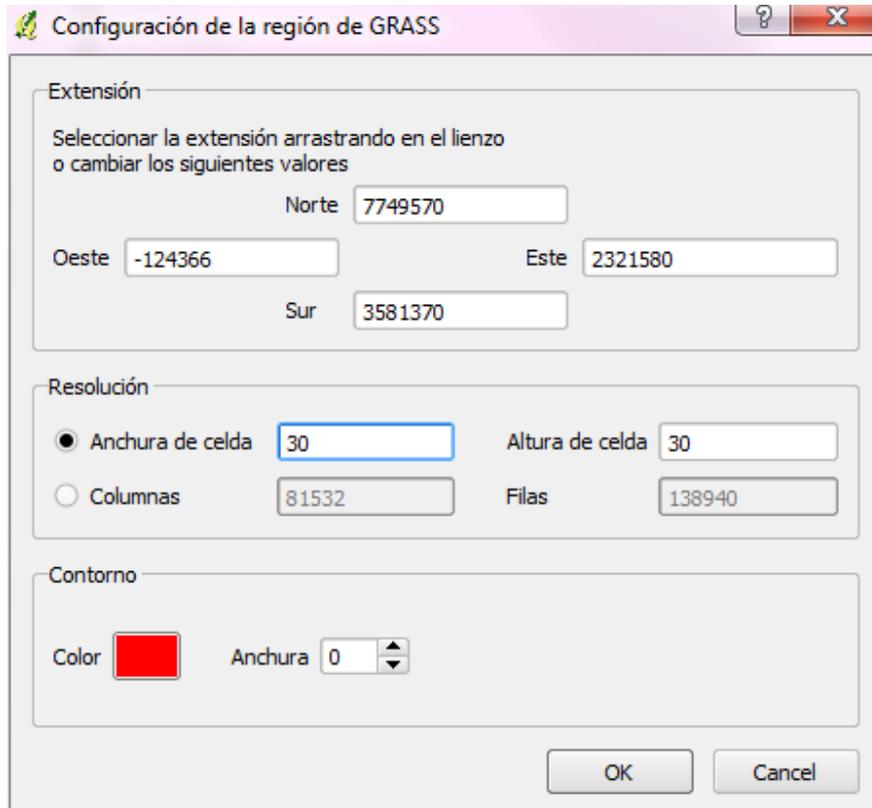
5- Delimitación de la cuenca

Antes de comenzar el proceso es necesario ajustar el área de trabajo en caso de que se haya definido un área muy grande porque puede dar lugar a error.

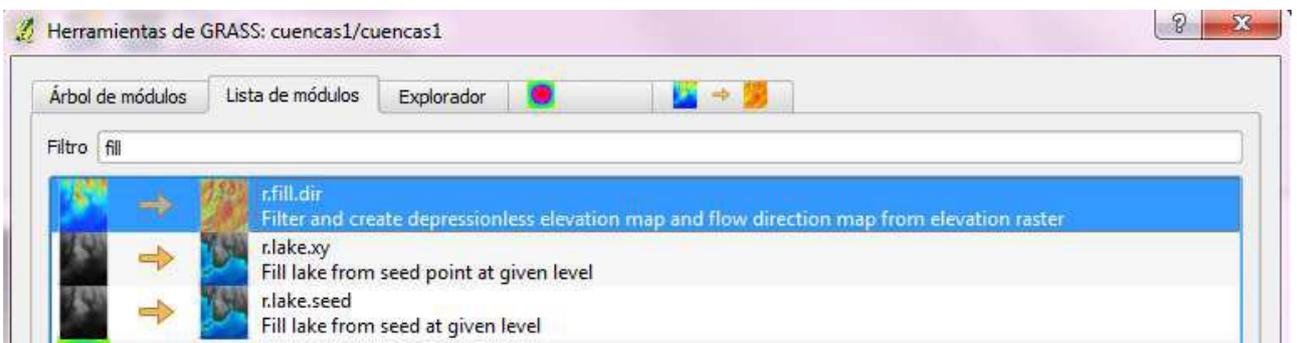
Haciendo un clic en el ícono Editar la región actual de Grass no sólo podemos cambiar el área de trabajo sino la resolución espacial de las capas que obtendremos al correr el proceso.



En este caso le daremos la misma resolución que el ráster de entrada, es decir 30m x 30m.

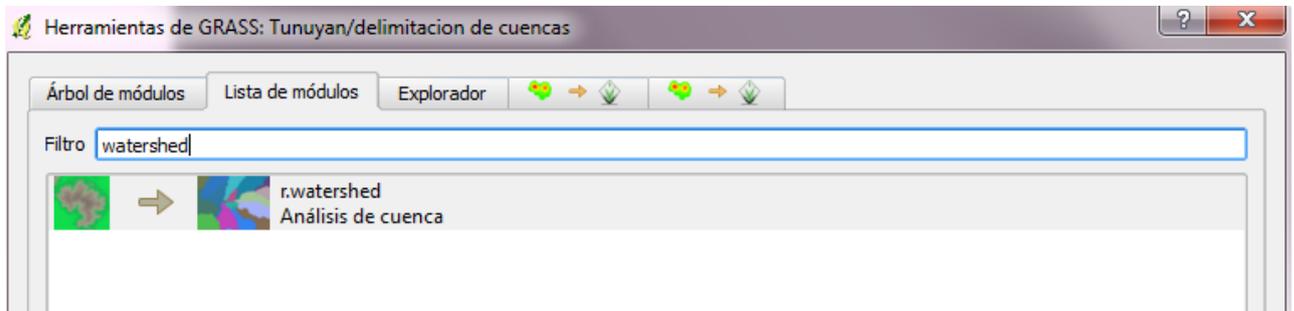


Un paso previo a la delimitación de cuencas consiste en la eliminación de sumideros. Para realizar este procedimiento vamos al menú de GRASS y hacemos un clic sobre el ícono Abrir herramientas de GRASS. Para encontrar esta herramienta utilizaremos ahora la pestaña Lista de módulos y en Filtro colocaremos la palabra fill y hacemos un clic sobre la herramienta “r.fill.dir”.



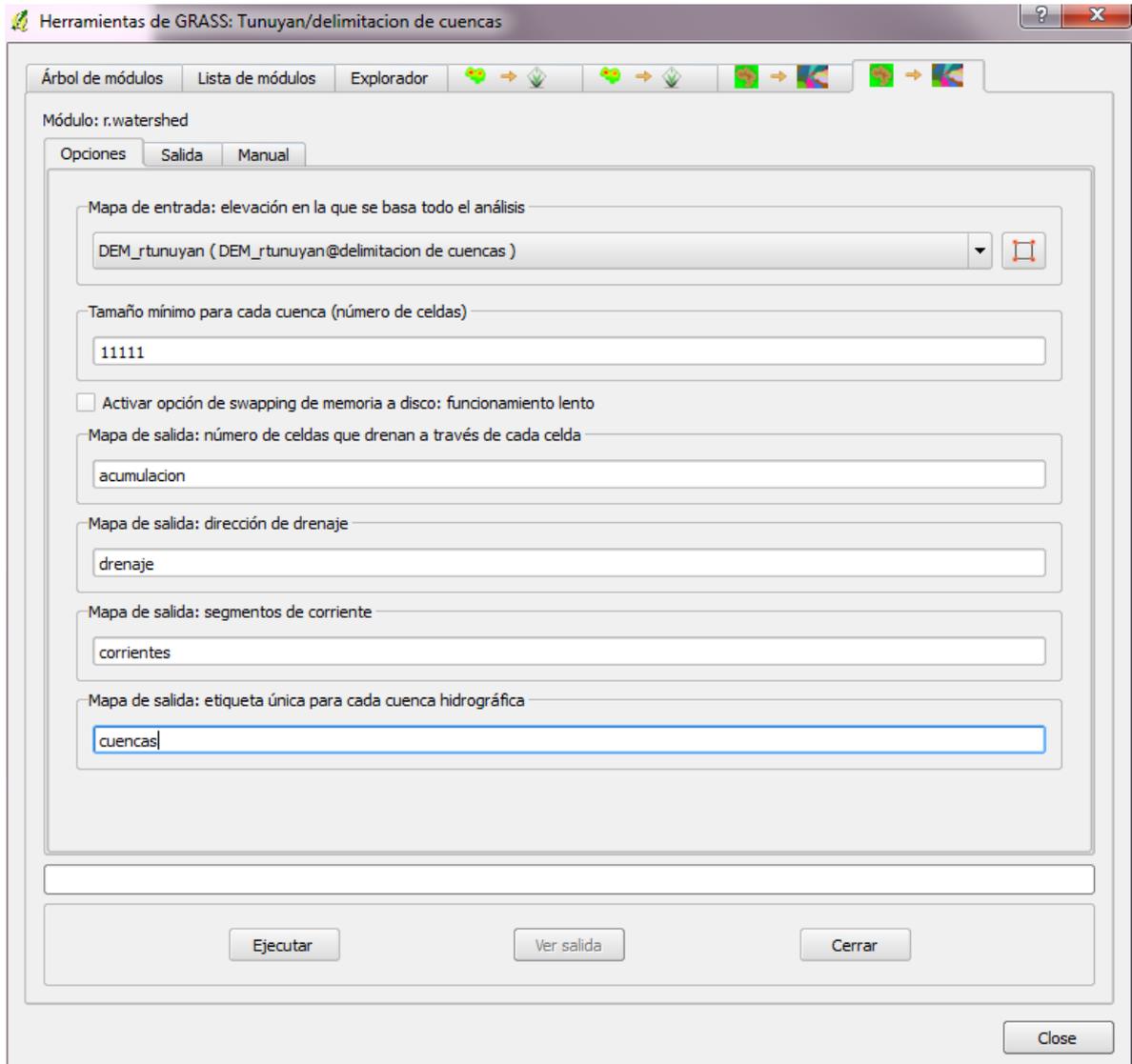
En la ventana que se desplegará seleccionamos el DEM al que corregiremos los sumideros y daremos un nombre al DEM de salida. Este procedimiento también genera un raster con la dirección de flujo, al que deberemos dar un nombre.

Para la delimitación de la cuenca se utiliza el módulo “r.watershed”. Hacemos un clic sobre el ícono de herramientas de GRASS. Para encontrar esta herramienta utilizaremos, como en el caso anterior, la pestaña Lista de módulos y en Filtro colocaremos la palabra watershed.



Hacemos un clic sobre la herramienta y aparecerá una nueva ventana. Aquí debemos seleccionar el ráster con el que vamos a trabajar, que es el que importamos en el paso anterior, el tamaño mínimo para la cuenca, donde debemos introducir el número de celdas, y un nombre para cada una de las capas que se va a generar. Con respecto al número de celdas, el DEM que estamos utilizando para el ejercicio tiene una resolución espacial de 30m x 30m lo que nos da un área de 900m² por píxel o celda. De este modo para una cuenca mínima de 10 km² por ejemplo, necesitaremos 11.111 celdas. Aumentando o disminuyendo el número de celdas obtendremos menor o mayor detalle en la identificación de las cuencas.

Una vez finalizado el proceso hacemos un clic en Ver salida y se desplegarán automáticamente en la vista, como en el caso anterior, las capas generadas durante el proceso.



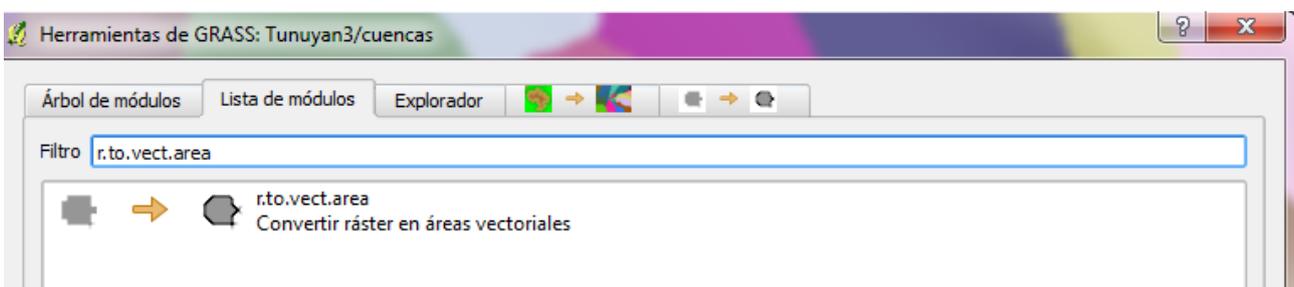


NOTA: La pestaña de Opciones proporciona un módulo simplificado. De este modo los parámetros provistos usualmente no son completos. En caso de necesitar utilizar otros parámetros es necesario trabajar en GRASS Shell y correr el proceso mediante líneas de comando. En próximas versiones de QGIS se incorporarán opciones avanzadas dentro del módulo simplificado.

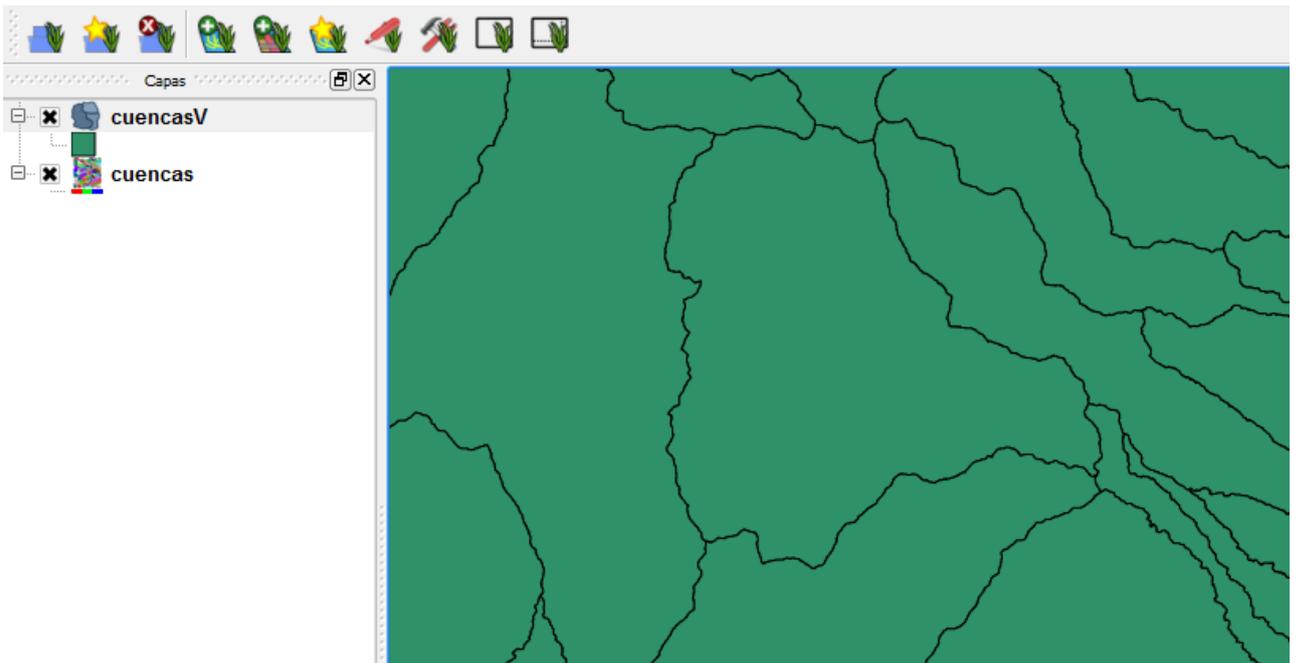
6- Convertir las cuencas a vectores y exportarlas con shape file

Las cuencas así generadas pueden ser luego vectorizadas y convertidas a formato shape.

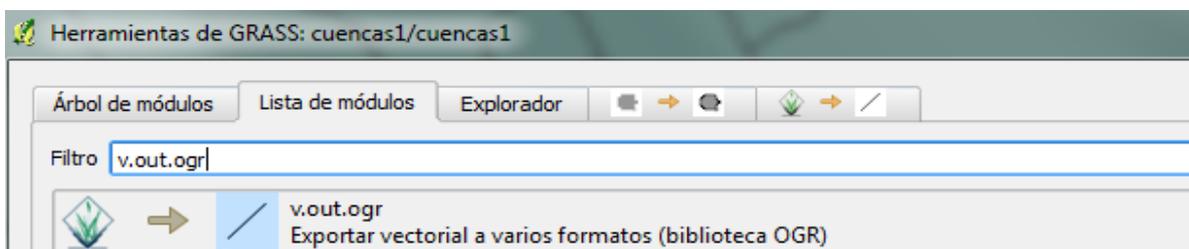
La vectorización se puede realizar con la herramienta “r.to.vect.area”.



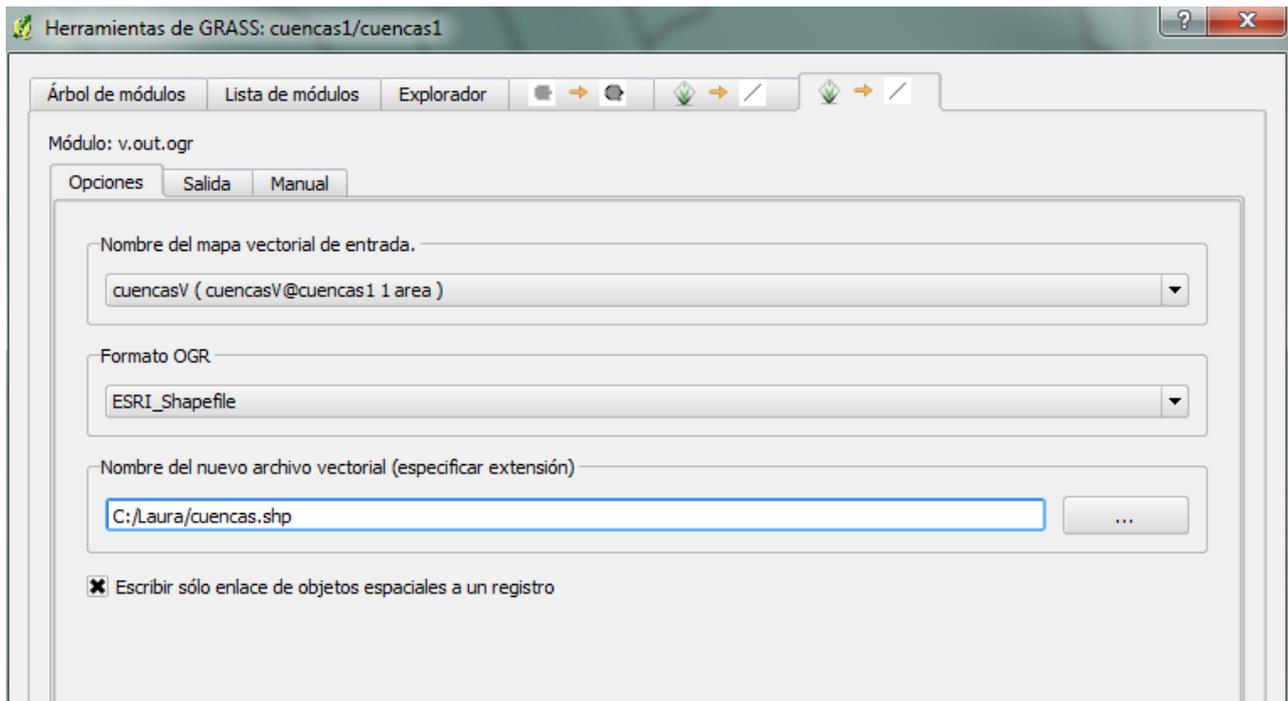
En la figura siguiente podemos observar el archivo ráster convertido a vectorial.



Una vez vectorizado el archivo ráster es posible exportarlo como shape con la herramienta “v.out.ogr”



Hacemos un clic en esta herramienta y aparecerá una ventana en donde daremos como entrada el archivo vectorial generado en el paso anterior, elegiremos el directorio donde guardaremos el archivo y daremos el nombre de salida agregando la extensión “.shp”.



CAPITULO 5: Clasificación para delimitación de hielo descubierto

En este capítulo vamos a desarrollar como realizar la identificación del hielo descubierto mediante la clasificación supervisada por objetos de imágenes satelitales Aster, con el software *Spring 5.1.8*.

La metodología propuesta por GLIMS establece que uno de los métodos que mejor capta el hielo descubierto es el cociente entre las bandas 3 y 4 del sensor ASTER. Desafortunadamente, a partir del mes de mayo del año 2008 el sensor ASTER presentó algunas anomalías debido a las cuales tan solo se puede trabajar con las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano (bandas 1,2 y 3), las bandas del infrarrojo medio (4, 5,6 y 7) están dañadas lo que lleva a descartar la realización del cociente de bandas propuesto por el GLIMS. Por este motivo, se buscaron alternativas para la delimitación automática de hielo descubierto. Con tal fin, se probaron otros índices y algunas clasificaciones supervisadas, entre ellas la clasificación por objetos que puede realizarse a partir de las de imágenes con el programa SPRING, con la que se obtuvieron muy buenos resultados.

Introducción

La identificación de coberturas de suelo a partir de la clasificación de imágenes constituye un método de extracción de información, cuyo objetivo es reconocer objetos homogéneos. El resultado final de un proceso de clasificación es una imagen digital que constituye un mapa de "píxeles" clasificados, representados por símbolos gráficos o colores.

A diferencia de muchos programas, SPRING permite la utilización de dos enfoques en clasificación.

Clasificación "píxel a píxel": utiliza sólo información espectral aislada de cada píxel para encontrar regiones homogéneas. Los algoritmos que pueden ser utilizados en este tipo de clasificador son: MAXVER, MAXVER-ICM, Distancia Euclidiana.

Clasificación por regiones u objetos: utiliza además de la información espectral de cada píxel la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificadores intentan imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas. Los algoritmos que pueden ser utilizados en este tipo de clasificador son: Iseseg (para clasificaciones no supervisadas), Battacharya y Clas Tex.

La clasificación de la imagen se realiza sobre una regionalización previa. Los píxeles son agrupados de acuerdo a un área mínima y a las características espectrales de los objetos.

Pasos a seguir en el proceso de clasificación por objetos

En el siguiente ejemplo trabajaremos con una Imagen Aster del 2010 con las bandas del VNIR. Las bandas del SWIR que aportan información importante en la detección de hielo no pueden ser utilizadas por los problemas antes mencionados.

1- Crear un banco de datos

El primer paso consiste en crear un banco de datos en Spring, que es una carpeta en donde se almacenan todos los procesos que vayan realizando.

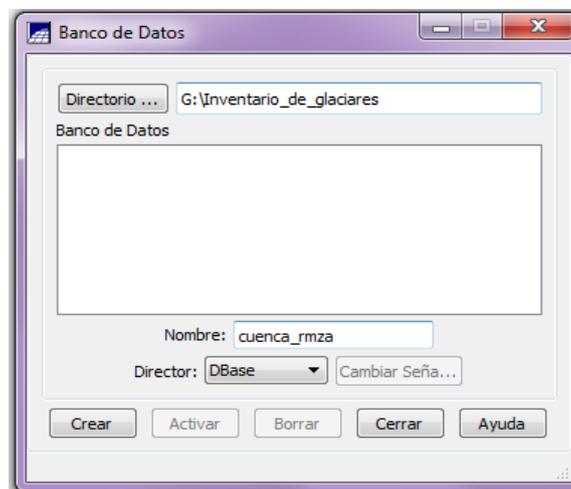
Para crear un nuevo Banco de Datos en el Menú Principal ir a Archivo y luego hacer un clic sobre Banco de Datos... o presionar el icono .

Se desplegará una ventana denominada Banco de Datos. Hacer un clic sobre Directorio...

Si ya tenemos un banco de datos creado con anterioridad nos preguntará si queremos cerrar el Banco de Datos activo a lo que responderemos que Sí.



Navegar hasta el directorio en donde guardaremos el nuevo banco. En Nombre dar un nombre al nuevo proyecto. Finalmente presionar el botón Crear y luego Activar.



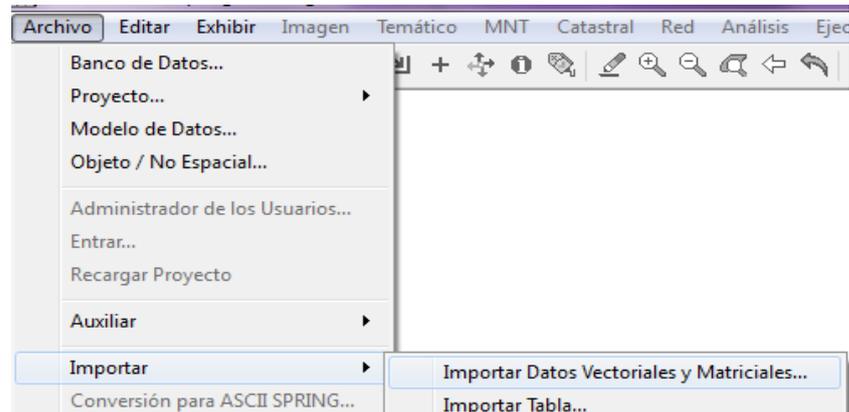
2- Crear un proyecto

A continuación necesitamos crear un proyecto, que define el área geográfica en la que vamos a trabajar. Existen dos maneras de crear un proyecto. Una de las formas consiste en ingresar manualmente los datos de la proyección y las coordenadas del área que tendrá el nuevo proyecto. La otra consiste en importar una imagen que tenga los datos de proyección y

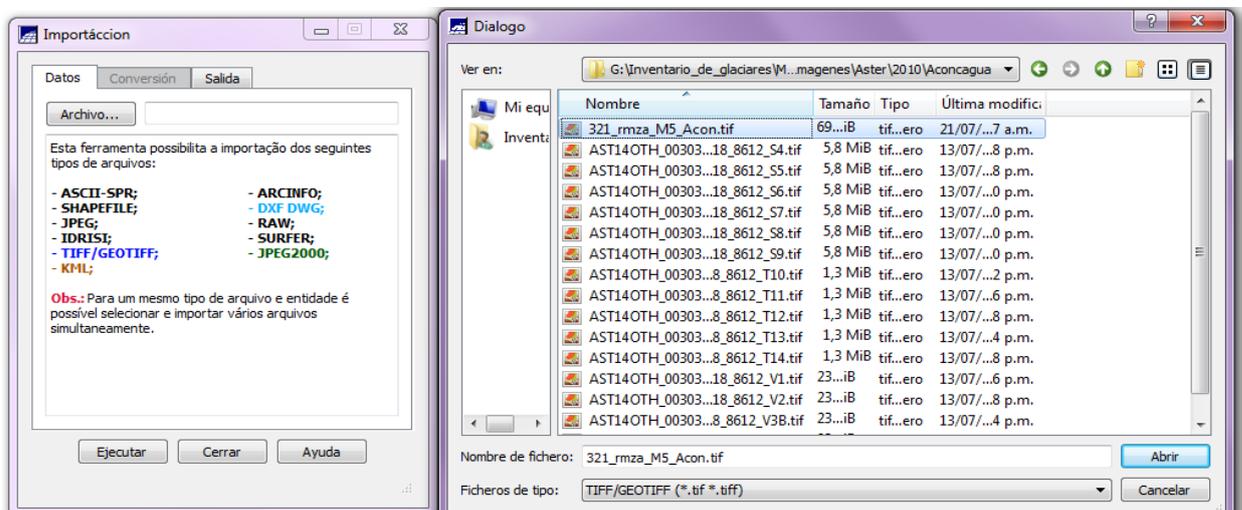
coordenadas definidos. En este caso el programa tomará automáticamente los datos de la imagen para crear el proyecto. En este caso utilizaremos la segunda opción.

- Importar una imagen satelital (formato TIF)

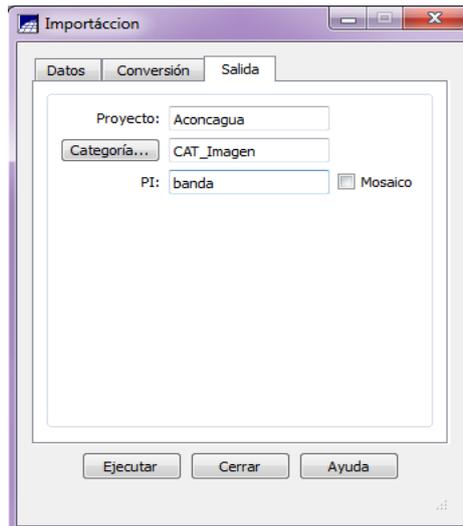
Para importar la imagen ir al Menú Principal a Archivo y luego a Importar Datos Vectoriales y Matriciales...Se desplegará una ventana que nos guiará en el proceso para importar la imagen.



En la primera pestaña hacer un clic en Archivo y navegar hasta la ubicación en la que se encuentra la imagen que vamos a importar. En Ficheros de tipo seleccionar el formato de la imagen.

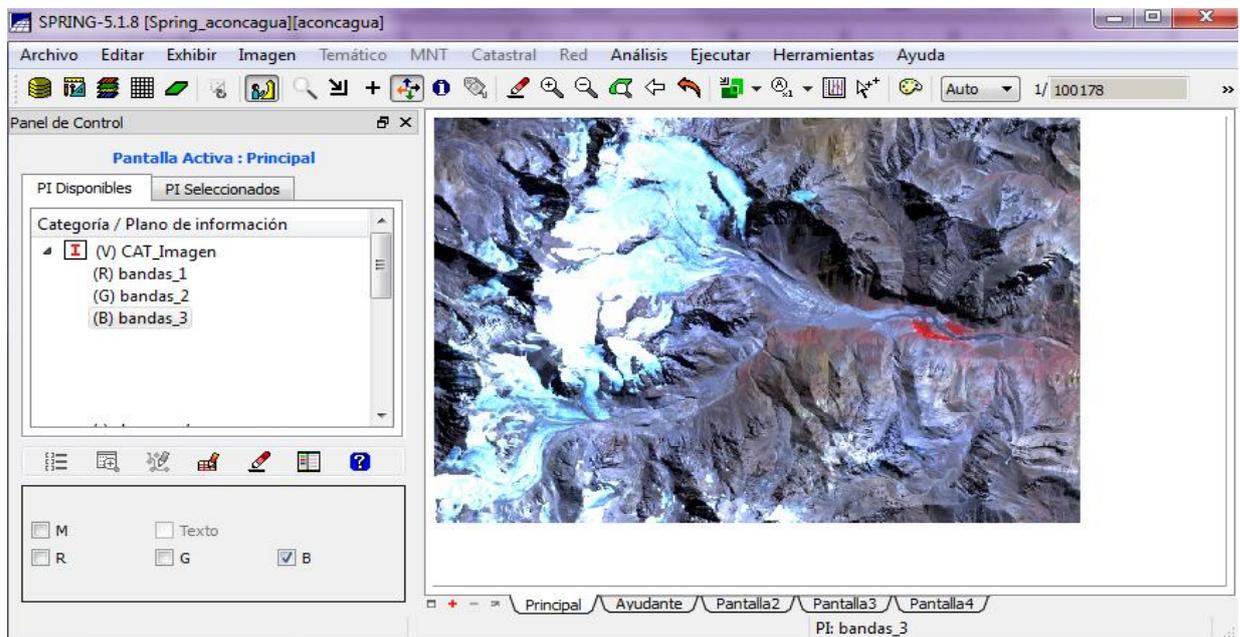


En la pestaña salida hay que darle un nombre al proyecto y seleccionar la categoría, en este caso CAT_Imagen y en PI (capas) dar un nombre como por ejemplo banda.



Para observar la imagen importada activar el Panel de Control haciendo clic en el icono , en caso de que no esté activado. El programa importa cada una de las bandas que componen la imagen en forma individual.

Realizar una composición color



4- Regionalización de la imagen

La clasificación por regiones requiere una segmentación previa de la imagen.

En este proceso se divide la imagen en regiones formadas por un conjunto de píxeles contiguos homogéneos. La división en porciones consiste básicamente en un proceso de crecimiento de regiones.

Durante la etapa de segmentación es necesario interactuar con el software a fin de definir los límites de similitud y de área. El límite de similitud determina la diferencia mínima (expresada en niveles digitales) que debe existir entre dos regiones para ser separadas. Por ejemplo un límite de similitud de 8 indica que píxeles con una diferencia entre ellos mayor de 8 serán separados y con una diferencia menor de ese valor permanecerán agrupados. Cuanto menor sea este límite mayor será el número de regiones generadas para una determinada escena. Por otra parte el límite de área indica el tamaño mínimo que podrá tener una región, un número menor generará una mayor cantidad de regiones para una misma escena.

En el Menú Principal ir a Imagen y luego hacer un clic en Segmentación...

En bandas seleccionar las bandas con las que vamos a trabajar.

En Método seleccionar Crecimiento de Regiones.

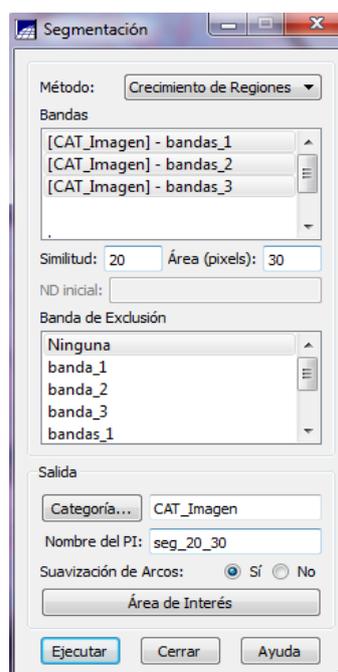
En Similitud colocar, por ejemplo 20 y en Área (pixels) colocar 30.

En banda de Exclusión dejar la opción dada por default, Ninguna.

En Imagen Segmentada colocar el nombre del archivo de salida como por ejemplo seg_20_30.

En Suavización de Arcos seleccionar la opción Si

Ejecutar.

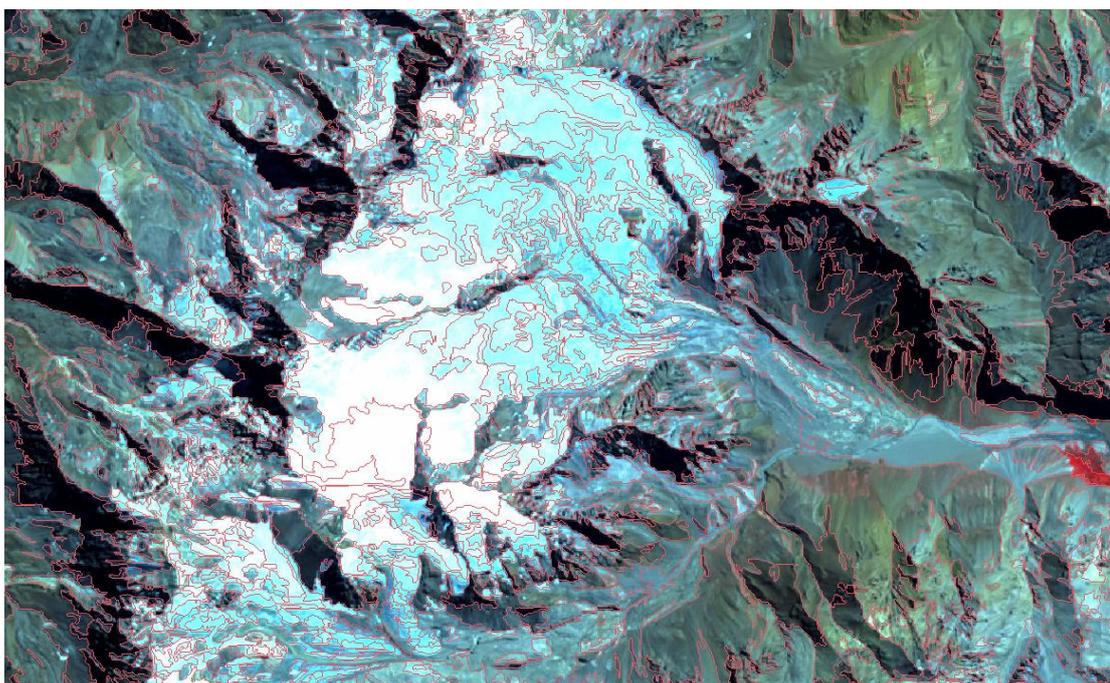


Si no se quiere trabajar sobre toda la imagen se puede seleccionar un área con la opción Área de Interés.

Cuando termine el proceso, la imagen segmentada será desplegada en la Pantalla Ayudante.

Para comparar el resultado obtenido con la imagen original es posible visualizar la imagen rotulada seg_20_30 superpuesta a la combinación RGB.

Se puede probar otros límites a fin de obtener segmentaciones más detalladas o más generales.



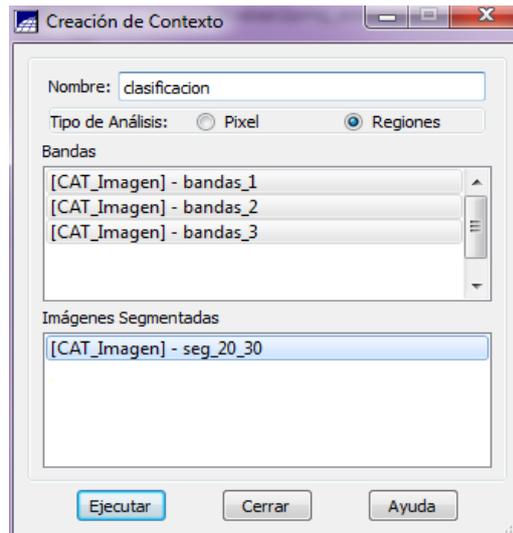
5- Clasificación de la imagen

5.1- Crear el archivo de contexto

En este archivo se almacena el nombre de las bandas que serán utilizadas en el proceso de clasificación y el método que se empleará (por píxel o por región).

En el Menú principal ir a Imagen y luego seleccionar Clasificación...

Hacer un clic sobre el botón Crear...



Se desplegará una ventana de Creación de Contexto.

En Nombre dar un nombre a la segmentación como por ejemplo clasificación.

En Tipo de Análisis seleccionar Regiones.

En Bandas seleccionar las bandas con las que se va a realizar la clasificación.

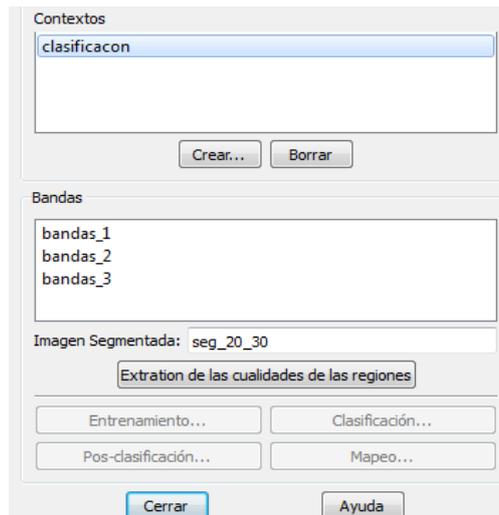
En Imágenes Segmentadas seleccionar el archivo que acabamos de crear seg_20_30.

Ejecutar.

5.2- Extracción de regiones

En este procedimiento el algoritmo extrae información estadística de cada región, considerando las bandas indicadas en el contexto.

En la ventana Clasificación elegir la opción Extracción de las cualidades de las regiones.



5.3- Selección de áreas de entrenamiento

En esta etapa se crean las clases y las áreas de entrenamiento correspondientes a los objetos que se quiere extraer de la imagen.

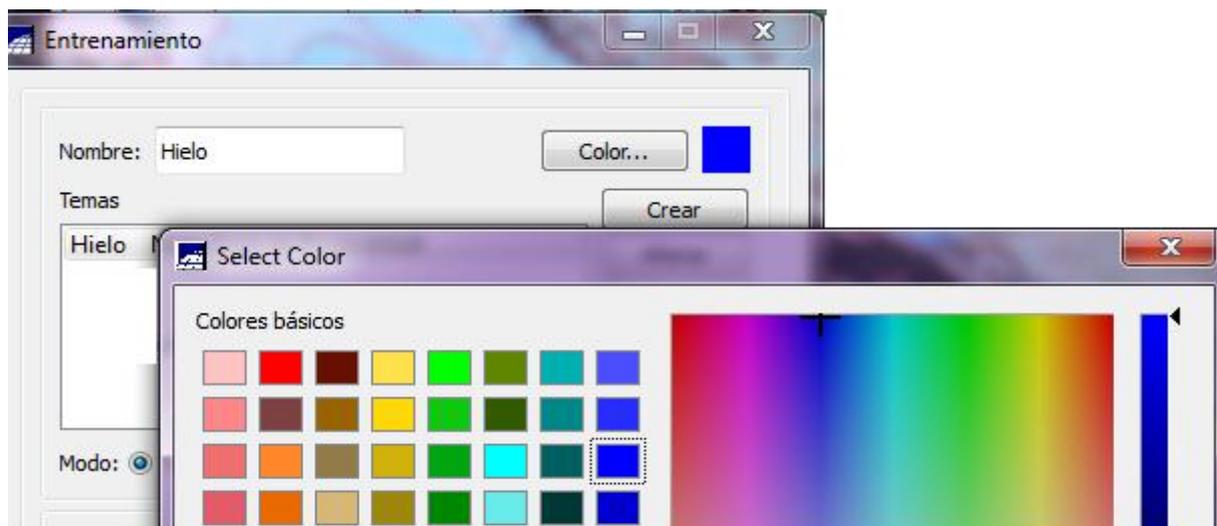
En la ventana clasificación seleccionar el archivo de contexto clasificación.

Hacer clic en Entrenamiento.

Clic en Ok al aviso que aparecerá en pantalla.

Se desplegará una ventana llamada Entrenamiento.

En Nombre colocar la clase que vamos a identificar en la imagen, como por ejemplo "Hielo".



5.3.1- Adquiriendo muestras

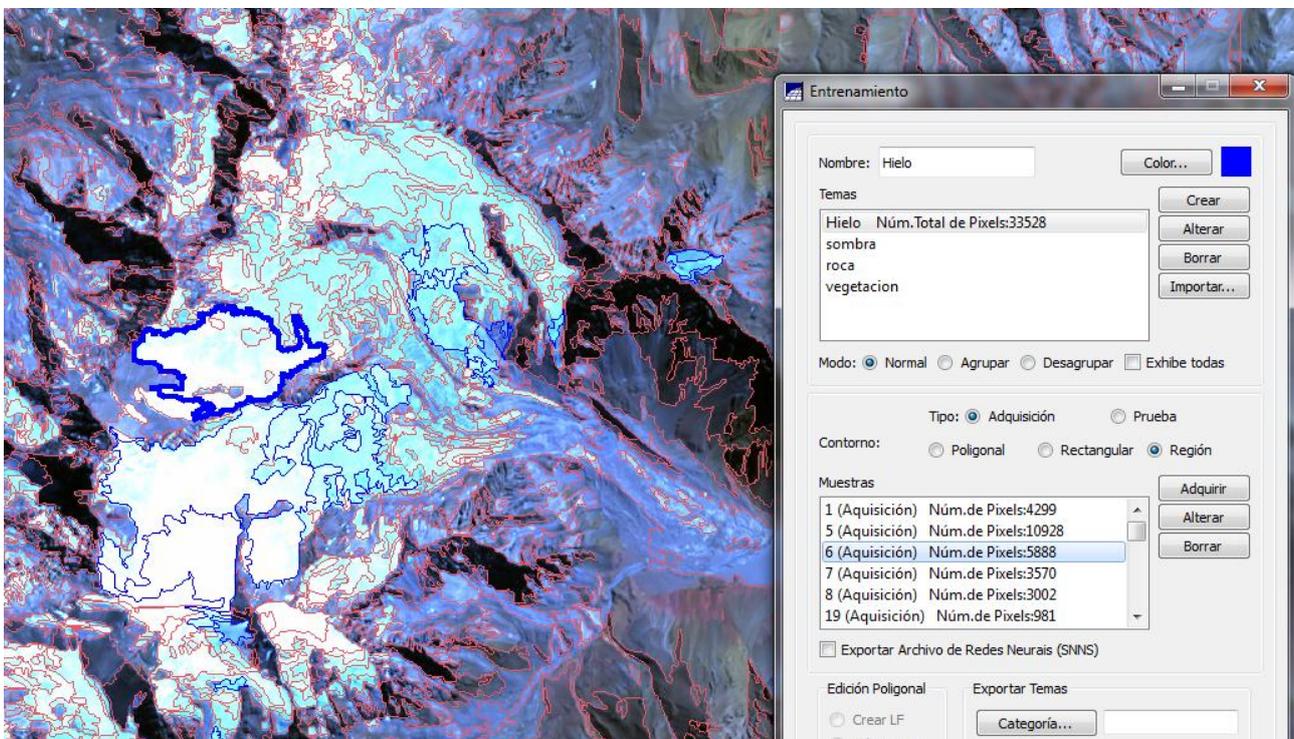
Seleccionar la clase en la que se va a tomar una muestra. En Tipo seleccionar Adquisición. En Contorno seleccionar Región.

Con la herramienta Cursor de punto seleccionar  un polígono representativo de la clase. Salvar.

Tomar muestras diferentes de un mismo tema.

Crear nuevas clases en caso de ser necesario y tomar muestras representativas.

Cuando terminamos de tomar las muestras cerrar la ventana de entrenamiento.



5.3.2- Clasificando la imagen

Ir a la ventana de clasificación y hacer un clic en Clasificación. Se abrirá una llamada clasificación de imágenes.

En contexto seleccionar clasificación

En nombre colocar un nombre a la capa que vamos a generar, como por ejemplo Clas-regiones-ns01, y luego hacer un clic en crear.

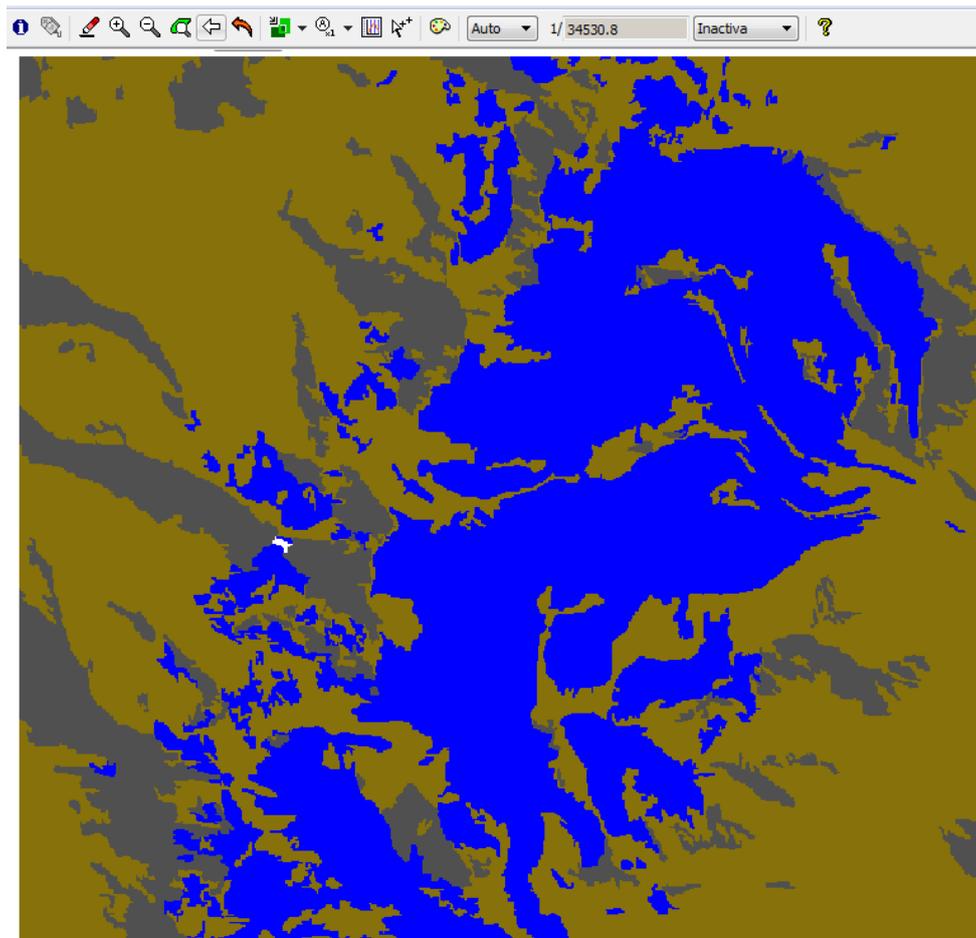
En clasificador seleccionar Batacharya.

En umbral seleccionar alguna de las opciones, por ejemplo 95%.

Hacer un clic en analizar muestra para ver si existe confusión entre clases. En caso de existir confusiones volver al entrenamiento y modificar las muestras.

Clasificar y luego Cerrar.

El resultado de la clasificación será desplegado en la Pantalla Ayudante.



Para comparar el resultado de la clasificación con la imagen original se puede establecer una conexión de modo de observar simultáneamente ambas imágenes.

Para establecer la conexión seleccionar en la parte inferior de la Ventana Principal la Pantalla Principal.

En el menú principal ir al ícono Conectar y seleccionar la opción Ayudante

Definir sobre la Pantalla Principal un rectángulo. Primero hacer un clic en la parte superior izquierda, luego mover el mouse hasta la posición deseada y hacer un clic para definir la esquina inferior derecha del rectángulo.

Finalmente, realizar un nuevo clic sobre la parte interna del rectángulo y moverse hacia cualquier lugar, en ese momento el contenido de la Pantalla Ayudante aparecerá en la parte interna. Para liberar el mouse sólo basta con hacer un clic.

En caso de que queden áreas sin clasificar o áreas mal clasificadas será necesario volver al entrenamiento y agregar o modificar clases.

Como resultado se obtiene una clasificación a la que no es necesario realizar filtrados porque no es necesario eliminar pixeles aislados.

6- Conversión a imagen temática

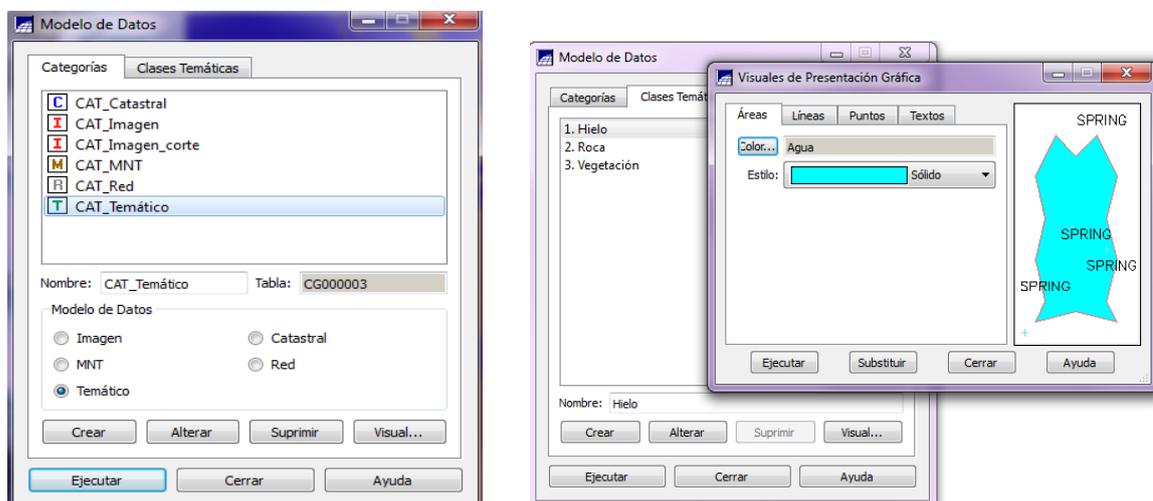
Para poder vectorizar el resultado de la clasificación es necesario convertir la imagen resultante a una categoría temática. Para ello es necesario crear previamente las clases temáticas.

6.1- Crear clases temáticas

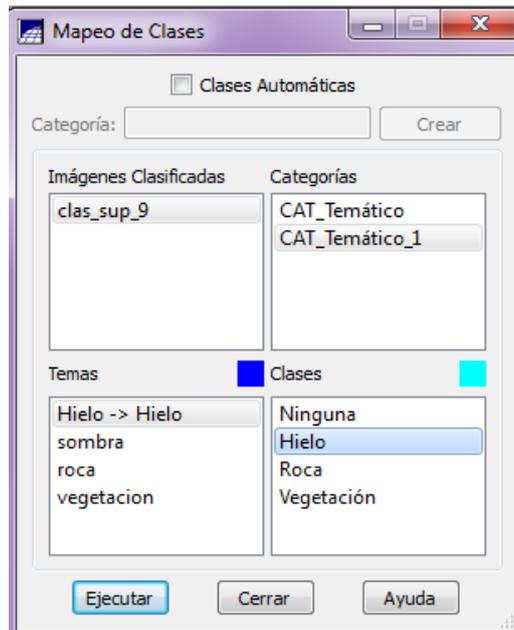
En el Menú Principal ir a Archivo y luego a Modelo de Datos... o hacer un clic sobre el ícono 

En la pestaña Categorías seleccionar CAT_Temático.

Luego ir a la pestaña Clases Temáticas y en Nombre poner el nombre de la clase y hacer clic en crear. Luego de crear todas clases necesarias Ejecutar. Para cambiar el color de cada una de las clases hay que seleccionar una por una y hacer un clic sobre el botón Visual, elegir el color y Ejecutar. Cerrar la ventana para poder pasar a la clase siguiente y seleccionar el color.



En el Panel de Control seleccionar la imagen que vamos a convertir a temática y luego en el Menú Principal ir a Imagen y seleccionar Mapeo de Clases para Imagen Temática...



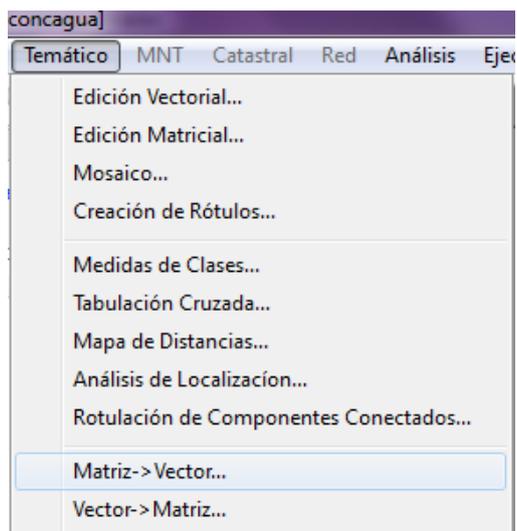
Luego, utilizando la lista de temas y clases (parte inferior de la ventana) se le asigna a cada tema una clase temática. Es importante mencionar que varios temas pueden ser agrupados en una única clase.

Repetir para todos los temas de la imagen clasificada. Para cada tema en la imagen clasificada debe existir una clase temática asociada. En caso de no ser así el mapa temático resultante presentará áreas sin información.

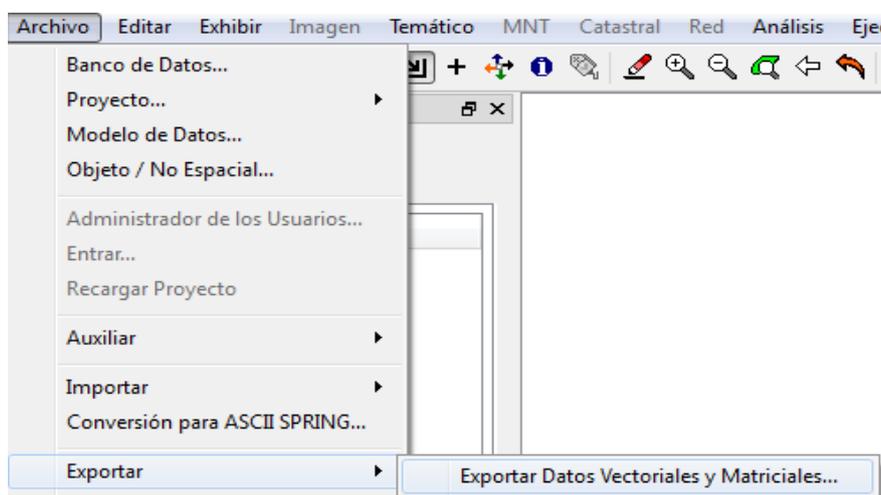
Una vez finalizado hacer clic sobre el botón Ejecutar. Generará una nueva capa que tendrá el nombre de la imagen clasificada y agregará "-T" al final.

7- Vectorización de los resultados

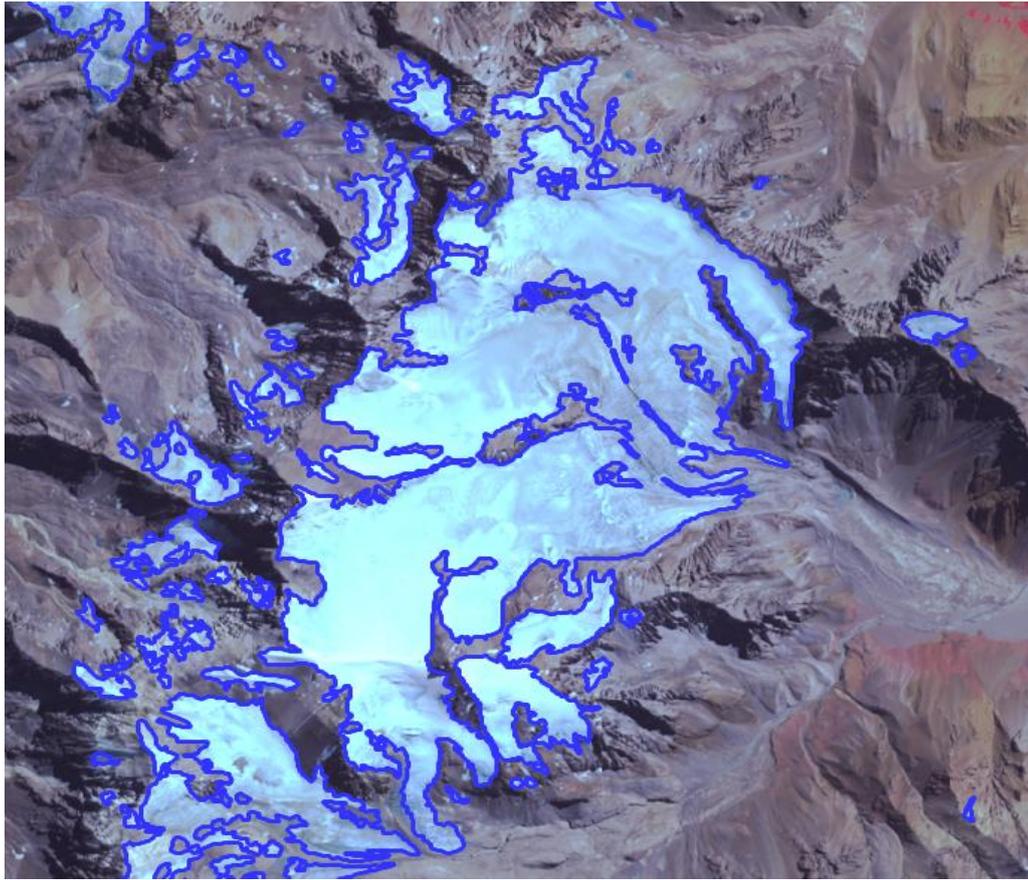
Finalmente, para vectorizar la imagen seleccionamos en el Panel de control la capa temática creada en el punto anterior y en el Menú Principal ir a Matriz -Vector...Se abrirá una nueva ventana y hacer clic en Ejecutar.



Para exportar los vectores con formato .shp



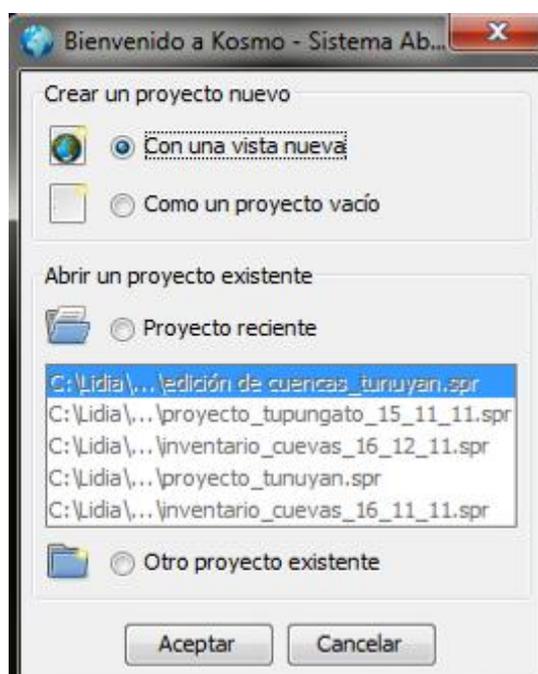
En la ventana que aparece seleccionar el formato de salida y hacer un clic sobre el botón Guardar y navegar hasta el lugar donde guardaremos el archivo.



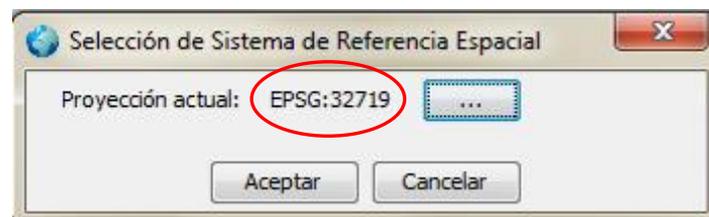
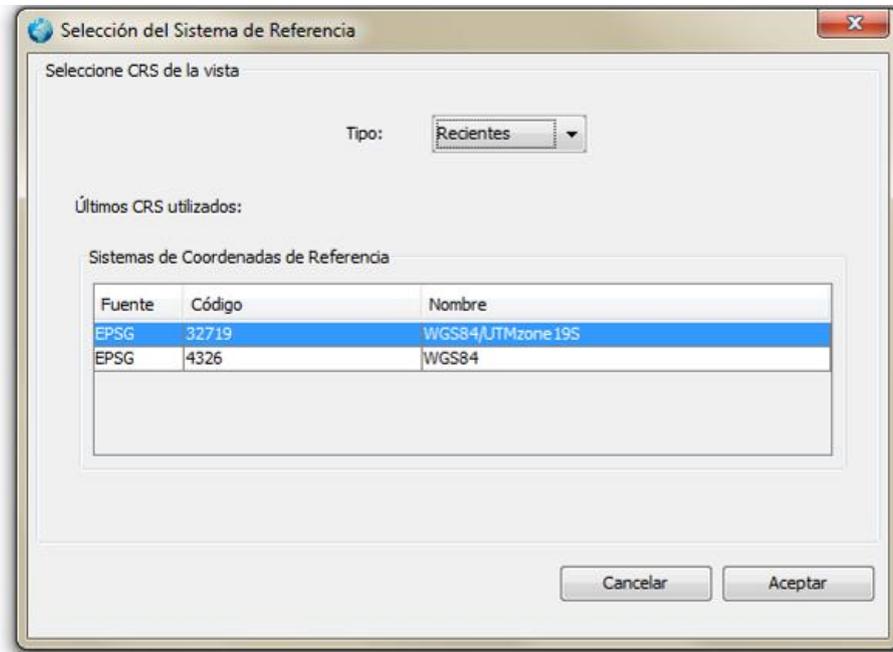
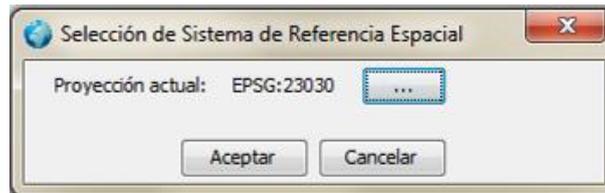
CAPITULO 6: Crear un proyecto SIG

Un proyecto de Sistema de Información Geográfica (SIG) provee funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar información referenciada geográficamente. El objetivo de este capítulo no es explicar detalles teóricos de los proyectos SIG, sino apuntar a la parte aplicada, en concreto a cómo crear un proyecto para el Inventario Nacional de Glaciares utilizando cualquier tipo de software libre. En este caso recomendamos el programa **Kosmo 2.01**.

1. Al ejecutar el programa se abre una ventana en la cual nos dan varias opciones para iniciar nuestro proyecto, en el caso de tener un proyecto ya armado elegiremos la opción “Proyecto reciente”, en el caso contrario elegiremos cualquiera de las otras dos opciones.



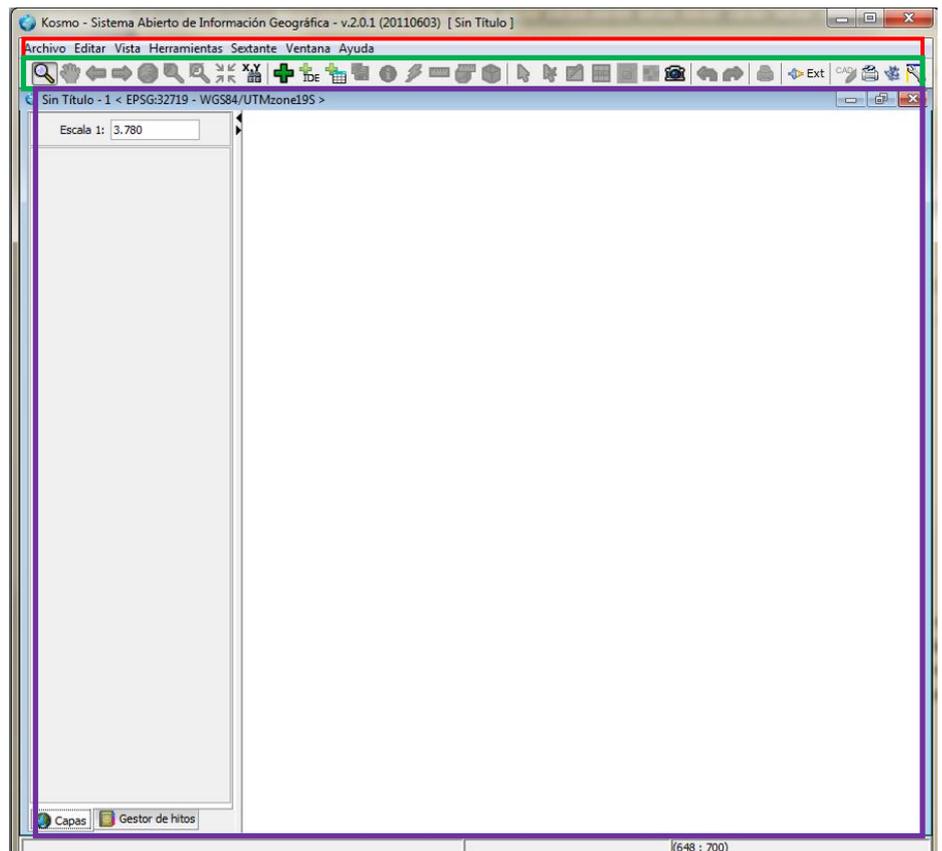
Elegimos la opción “Con una vista nueva” y aceptamos. Se abre una nueva ventana en la cual seleccionaremos el Sistema de Referencia Espacial. En el capítulo 2 de este manual se explicó el sistema de referencia a utilizar en el inventario, por lo que deberemos seleccionar como EPSG (conjunto de parámetros geodésicos) 32719, correspondiente al sistema UTM 19S, WGS84. En el caso de utilizar otro sistema de referencia diferente a este, los EPSG se podrán consultar en internet.



Ahora la proyección de la vista estará en el Sistema de referencia elegido por nosotros.

Se despliega la interfaz de Kosmo, la cual está distribuida principalmente en tres partes fundamentales:

1. **Barra de menús:** donde se encuentran de forma agrupada algunas de las funcionalidades ofrecidas por Kosmo.
2. **Barra de herramientas principal:** ofrece acceso a las herramientas más habituales del programa.
3. **Área de visualización:** zona destinada a contener las ventanas que se vayan abriendo en el programa.



Sería conveniente guardar nuestro proyecto, seleccionando desde la **barra de menús** el botón “Archivo” >> “Guardar proyecto”. Elegimos el directorio donde queremos que sea salvado el proyecto y le damos un nombre. Se guardará con una extensión .spr. A partir de ahora, cada vez que queramos guardar los cambios que vayamos realizando, tendremos que volver a repetir esta operación, pero ya se guardará automáticamente sin tener que volver a darle un nombre. En caso de querer guardar el proyecto con otro nombre diferente haremos clic en “Archivo” >> “Guardar proyecto como”, funciona de la misma manera que cuando trabajamos con un documento de Word por ejemplo. También se podrá guardar el proyecto al finalizar la sesión de trabajo, pero ante la posible falla del software o de la red eléctrica aconsejamos hacerlo al principio.

Podemos seleccionar de la **barra de herramientas principal** el botón  y activar todas las extensiones para que así estén disponibles para más adelante.

2. Nuestro proyecto estará compuesto principalmente por capas raster (imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, alguna foto aérea georreferenciada, etc.) y capas vectoriales (shapes, líneas, puntos, etc.). Para realizar un proyecto de inventario de glaciares deberemos disponer las siguientes coberturas:

➤ Raster:

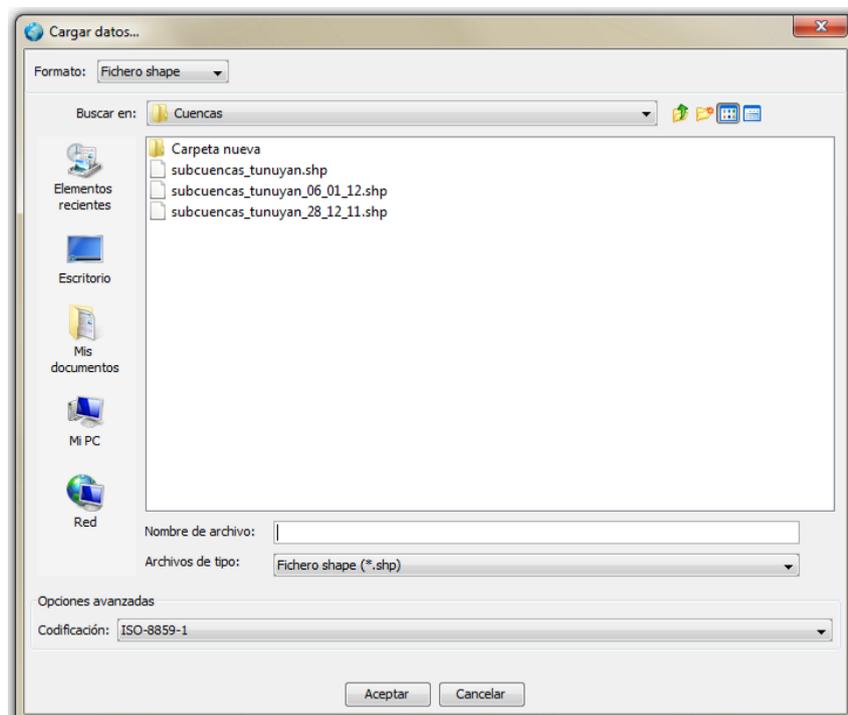
- imagen satelital de base. En nuestro caso imágenes Aster, las cuales, en caso de ser necesario fueron previamente georreferenciadas (ver apartado 3.3 del capítulo 3).
- varias imágenes de años anteriores para poder comparar con las zonas que presenten algo de nieve y delimitar los manchones de nieve perenne (pueden ser imágenes Aster o también sirven de ayuda algunas Landsat).
- Imágenes de alta resolución que servirán de apoyo para la digitalización manual de los glaciares cubiertos y de escombros.

➤ Vectores:

- cuencas (ver apartado 4.2)
- curvas de nivel (ver apartado 8.3.2)
- hielo descubierto (ver capítulo 5)

Una vez que tengamos los archivos raster y vectoriales necesarios, los cargaremos en nuestro proyecto .

Se abre una ventana para la selección del origen de los datos que se van a cargar.



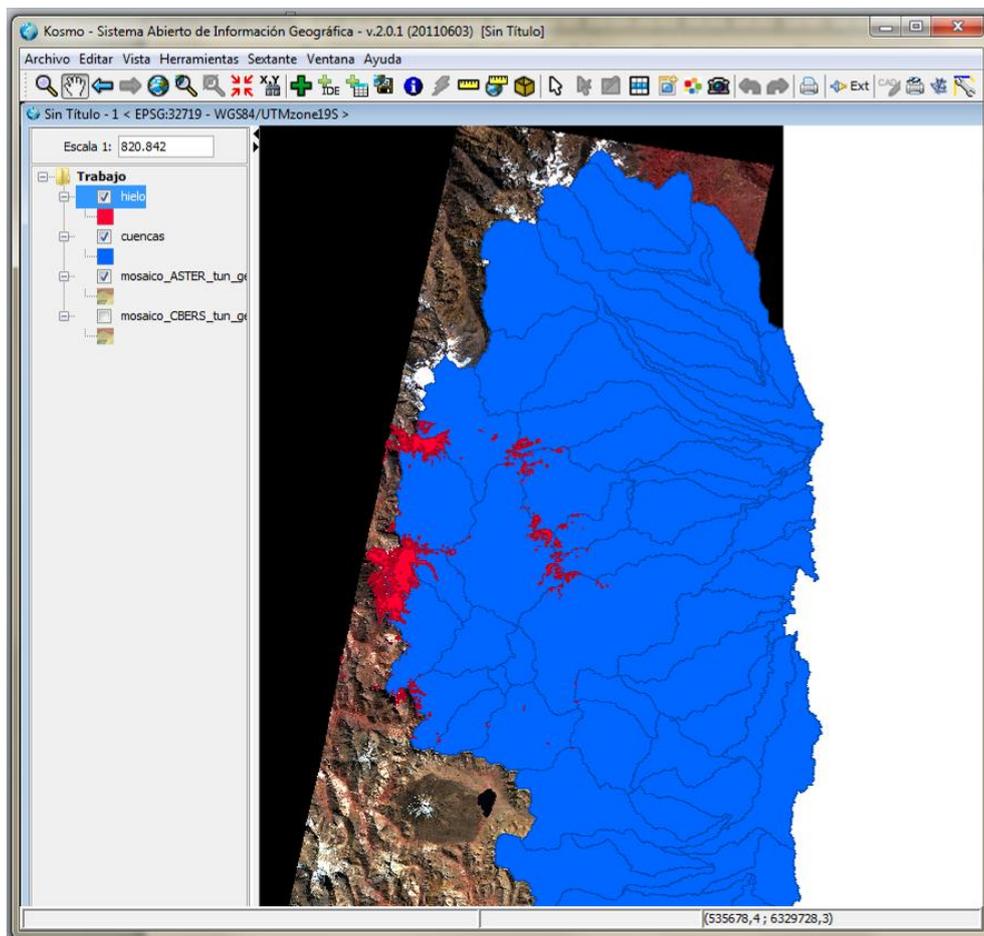
En la parte de arriba de esta ventana se encuentra el desplegable **“Formato”** donde se puede seleccionar el tipo de dato que se quiere cargar (pueden ser ficheros o bases de datos). **(¡No olvidar seleccionar en esta pestaña el tipo de archivo antes de buscarlo!)**

Los formatos de ficheros que podemos seleccionar son shape (con la extensión shp), ficheros de imagen (ecw, mrsid, y otros formatos de imagen georreferenciados como tiff, png, jpg, bmp,...), ficheros DXF (versión 12 o inferior), DNG, DWG y GML.

Como se puede apreciar en la figura, se diferencian tres o cuatro zonas fundamentales:

- Buscar en: permite seleccionar los ficheros o directorios que se deseen cargar.
- Nombre de archivo: visualiza el nombre de los ficheros o directorios seleccionados.
- Archivos de tipo: visualiza la extensión que concuerda con el formato seleccionado.
- Codificación: en caso que el fichero que se desea cargar sea de tipo shape se puede seleccionar la codificación en la que está.

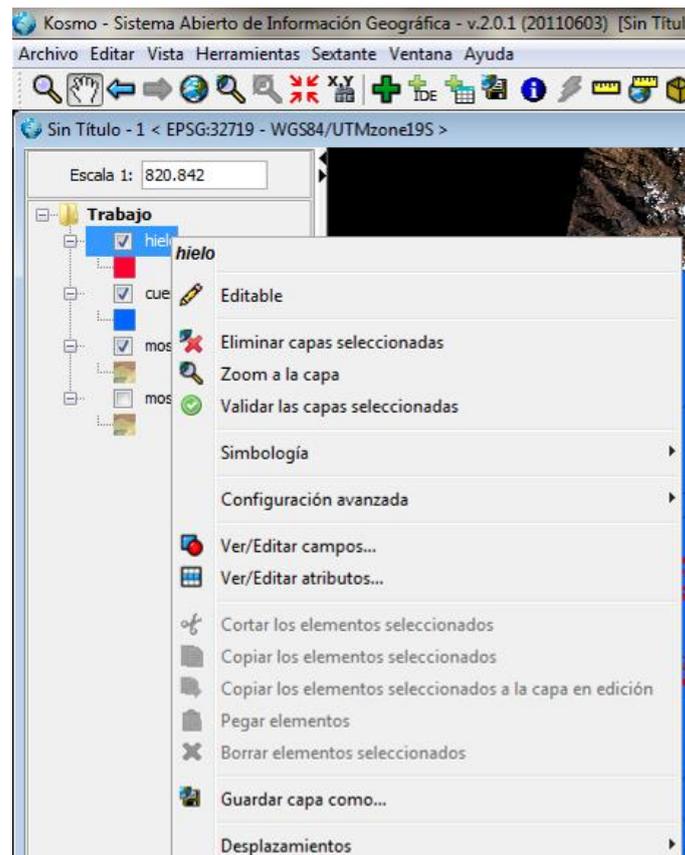
Iremos cargando todas las coberturas (**todos los archivos deberán estar en el mismo sistema de referencia que la vista de nuestro proyecto Kosmo para que puedan ser visualizados correctamente**) que obtuvimos en los pasos previos a la creación del proyecto.



En esta vista podemos observar las coberturas cargadas en nuestro proyecto. Desde la **barra de herramientas** podremos utilizar entre otras, las siguientes herramientas:  para

desplazar el mapa en la dirección de arrastre,  para hacer un zoom en un área seleccionada por nosotros y con esta herramienta  volver al zoom previo.

Es posible acceder al menú de acciones de una capa haciendo clic sobre ella con el botón derecho del ratón.

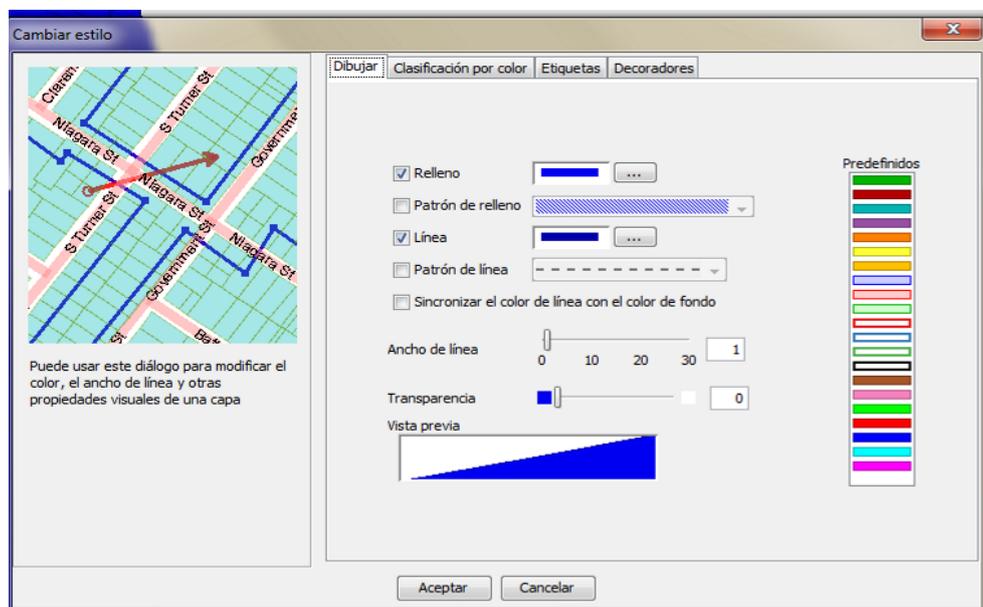


- Editable (ver capítulo siguiente)
- Eliminar capas seleccionadas
- Zoom a la capa
- Simbología :

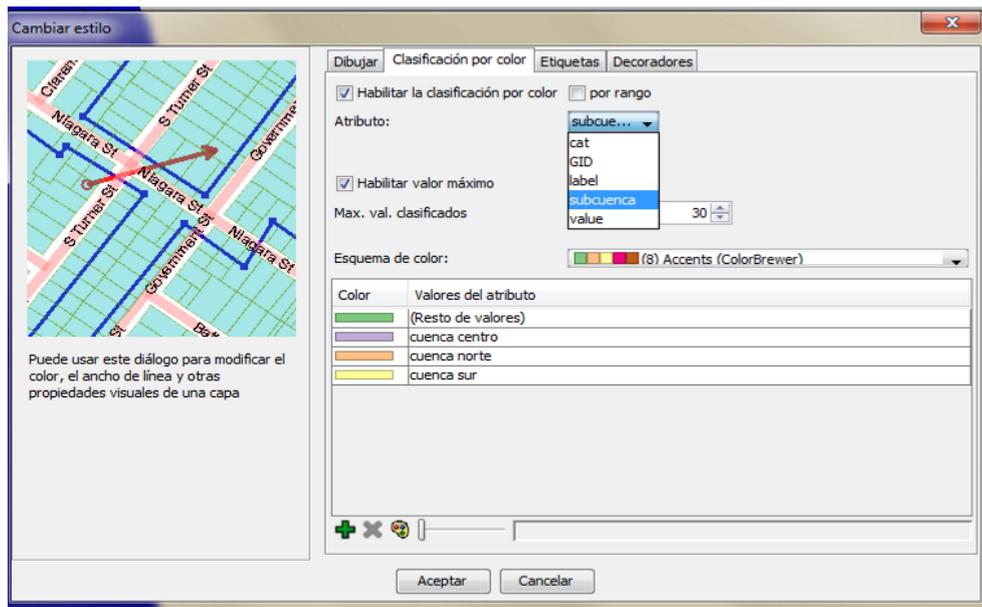


En cambiar estilo podremos configurar el color de la línea, del relleno, transparencia del relleno, etc.

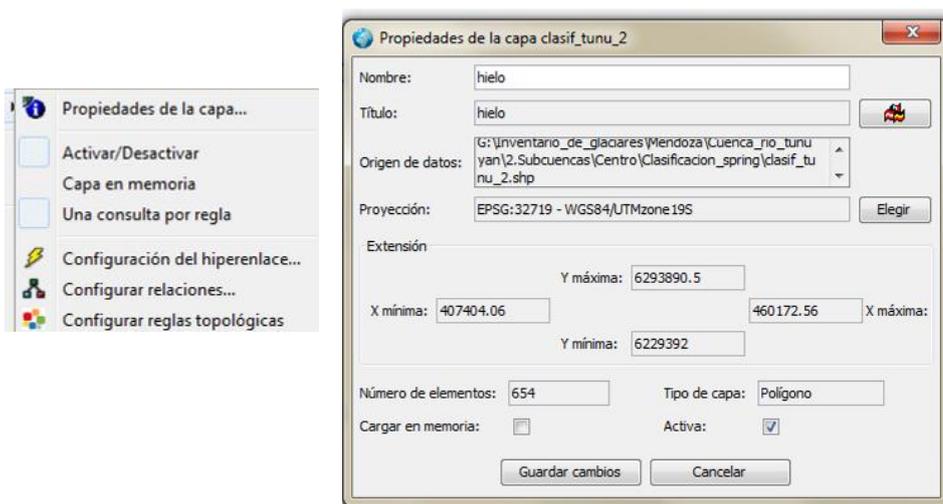
En la pestaña “Dibujar” visualizaremos toda la capa con la misma simbología (por ejemplo todas las cuencas en color azul).



En el caso de elegir la pestaña de “Clasificación por color”, cada categoría de la capa será representada en diferentes colores. Para ello tendremos que activar la opción “Habilitar la clasificación por color” y seleccionar el atributo según el cual queremos que se clasifique la capa. En este ejemplo, el atributo es subcuenca, después podremos seleccionar los tipos de glaciares para que nos clasifique en función de cada clase. También se podrán editar los colores del esquema de color para cada clase, incluso cargar una simbología que tengamos guardada previamente.

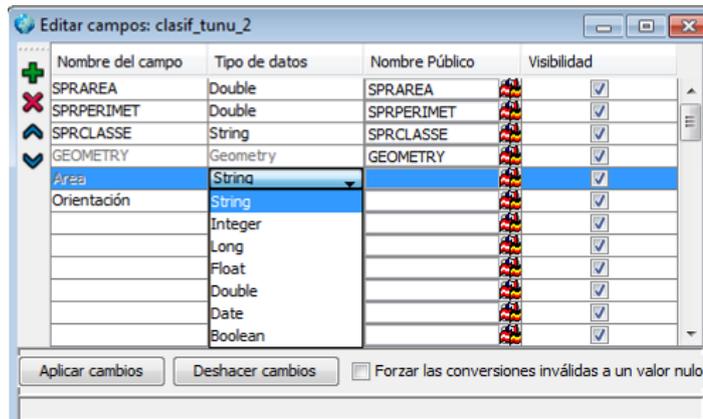


- Configuración avanzada: se despliega un nuevo menú.



En la pestaña de propiedades de la capa aparecerá el nombre de la cobertura, la ubicación del archivo y la proyección del mismo. En el caso que necesitemos realizar algún cambio lo podremos realizar y después guardarlo.

- Ver editar campos



Podemos agregar campos a nuestra capa, que serán los que conformen la base de datos de nuestros glaciares. Algunos campos básicos que añadiremos son el área, orientación, pendiente, etc. (estos atributos serán explicados en el capítulo 8). El tipo de datos más utilizado en función del atributo será:

String: combinación de texto y número (ej. ID)

Integer: Nº entero (ej. Largo de un glaciar)

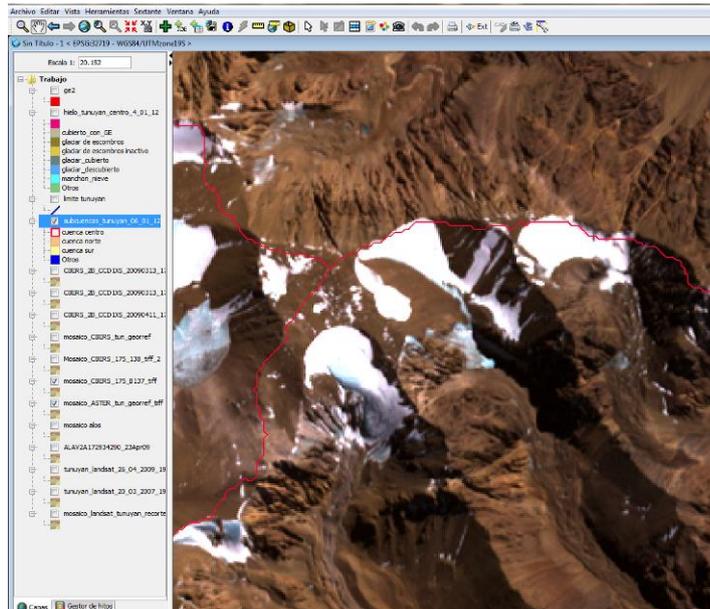
Float: Nº decimal (ej. Área)

Double: doble precisión decimal

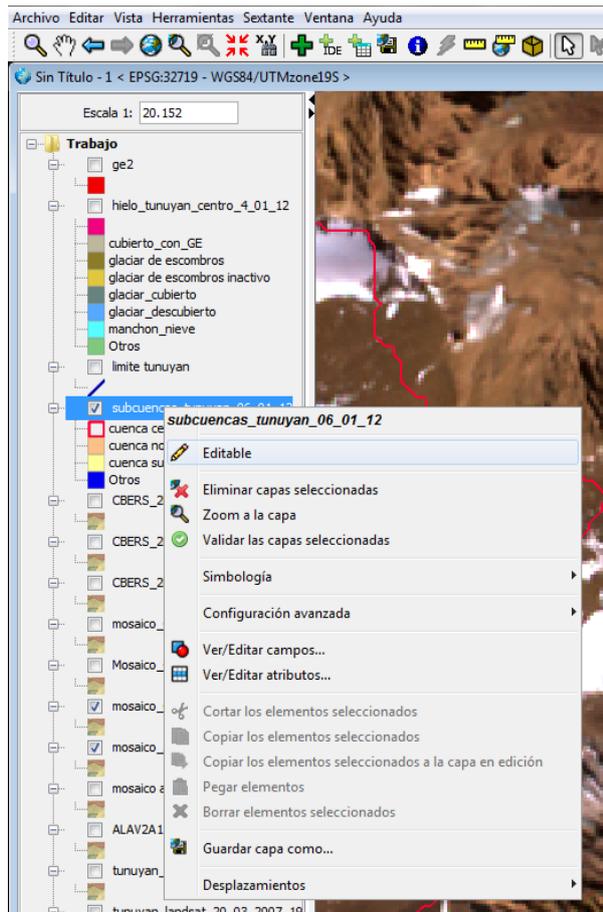
CAPITULO 7: Edición vectorial

7.1. Cuencas hidrológicas

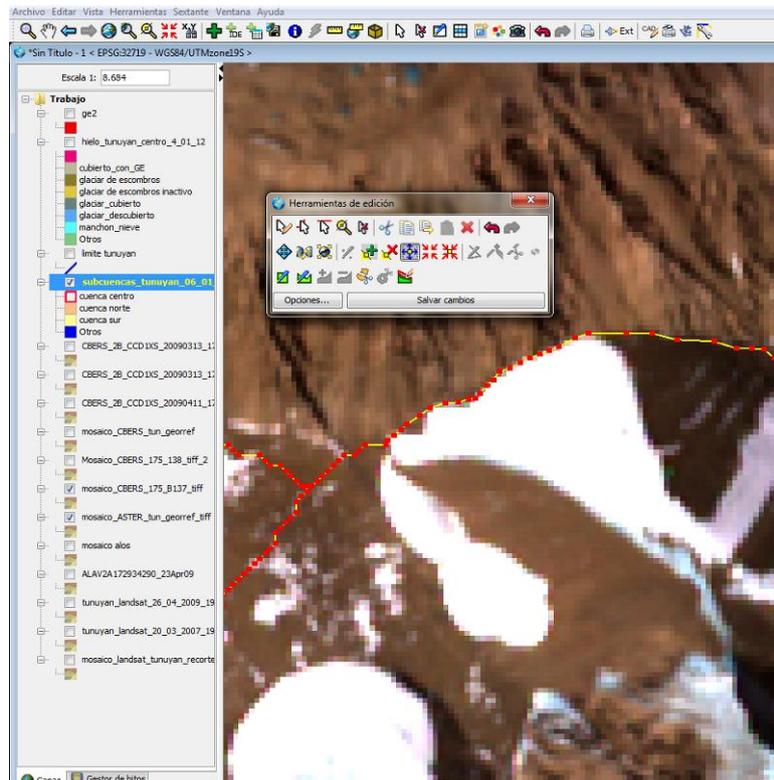
Las cuencas y subcuencas obtenidas en el capítulo 4 en base al modelo digital de elevación, en la mayoría de los casos, deben ser editadas manualmente para que estas coincidan exactamente con la imagen utilizada para realizar el inventario. En la figura siguiente podemos ver que el límite de las cuencas no coincide exactamente con el borde de la subcuenca, por tanto deberemos editarlo de la siguiente forma:



1. Primero ponemos en edición el shape de las cuencas, para ello con el botón derecho hacemos click en "Editable" y la capa se verá de color rojo. Se despliega un menú en el cual se encuentran todas las herramientas de edición de capas vectoriales de Kosmo.

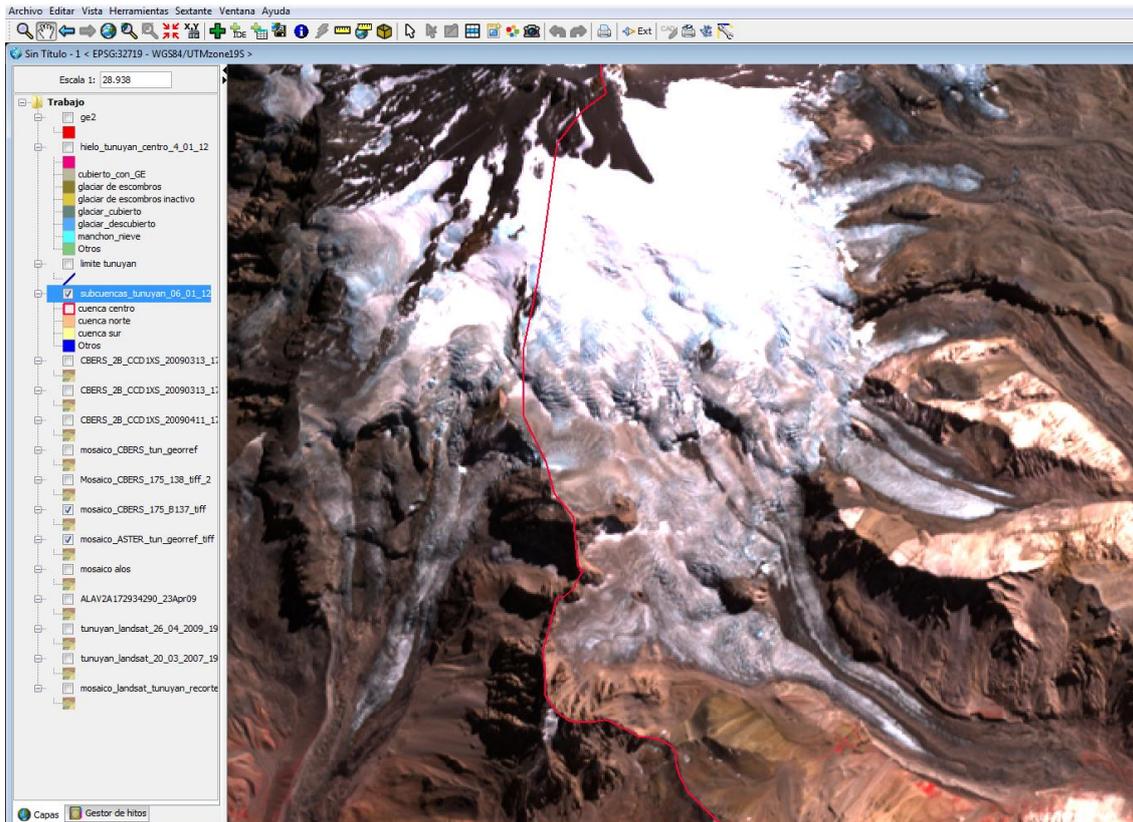


Con el botón de mover vértice  iremos corriendo aquellos vértices que estén desplazados y los iremos ajustando con la imagen hasta que quede bien delimitada la cuenca, como se puede observar en la figura de abajo.



Otras opciones para editar los vértices es eliminarlos , insertar un nuevo vértice , unir varios vértices en uno solo . Apretando el botón “salvar cambios” se guardarán los cambios realizados hasta el momento, y la capa seguirá estando en edición. Una vez terminada la edición, ponemos el ratón sobre la capa, hacemos clic con el botón derecho y apretamos “Editable” para finalizar la edición de la capa.

En algunos casos, en los que tengamos que delimitar glaciares que estén comprendidos entre dos subcuencas como se observa en la figura de abajo, los límites deberán ser revisados aplicando otras metodologías como por ejemplo la fointerpretación para mejorar el trazado obtenido a partir del MDE, siempre y cuando sea necesario.



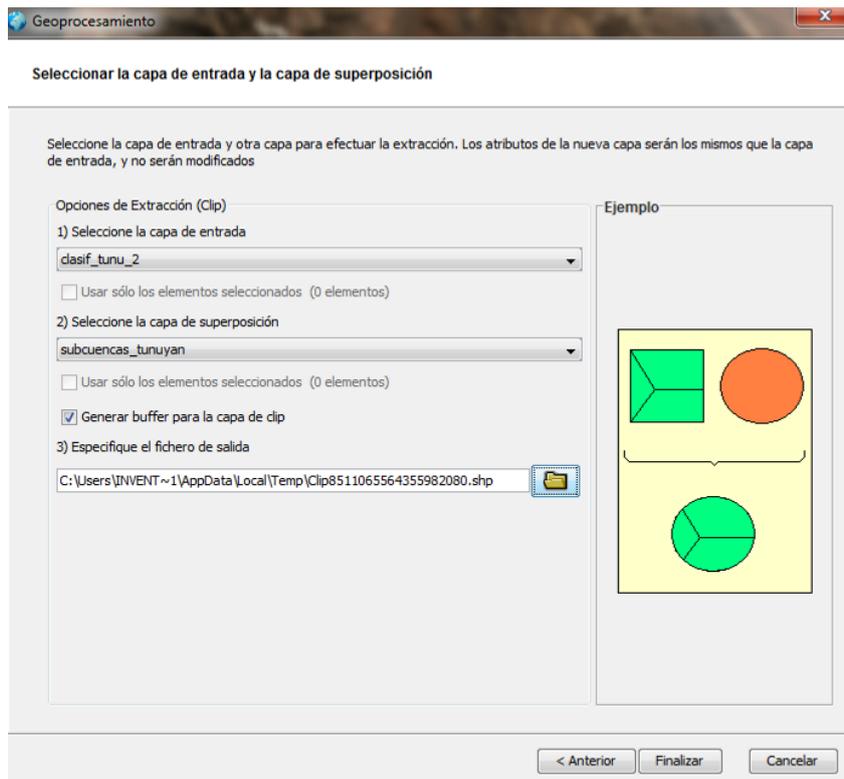
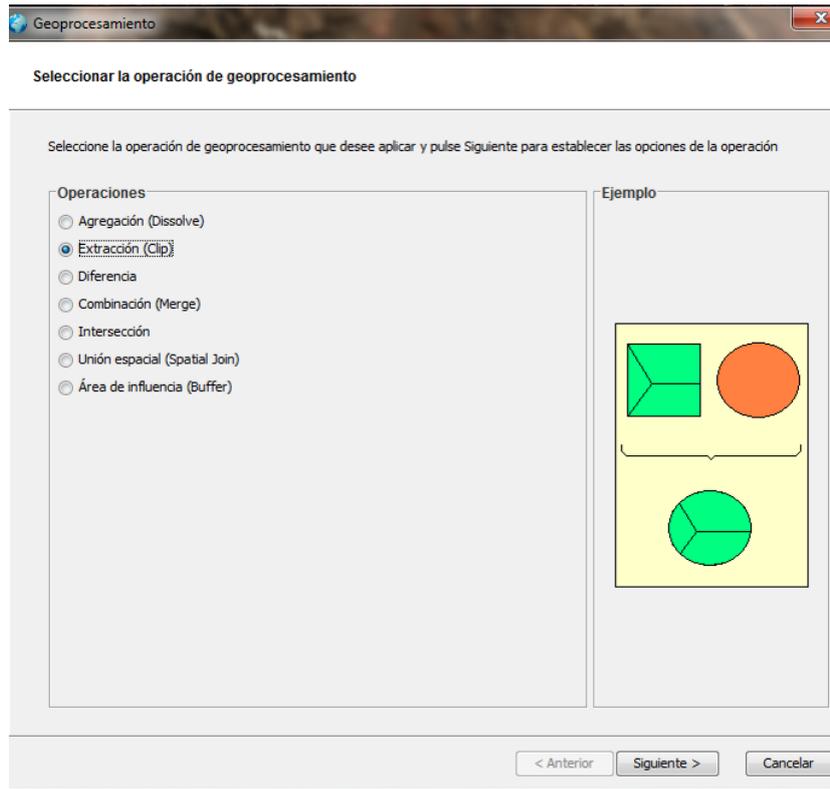
7.2. Hielo descubierto

Una vez obtenida la clasificación del hielo descubierto, según lo desarrollado en el capítulo 5, llevaremos el shape a nuestro proyecto SIG elaborado según el capítulo anterior.

1. Lo primero que tendremos que hacer, es recortar nuestro shape de hielo en base al límite de cuencas, el cual ya fue editado en el apartado anterior. Para ello deberemos ir a la **barra de menús** y seleccionar “Herramientas” >> Asistente para operaciones de geoprocésamiento .

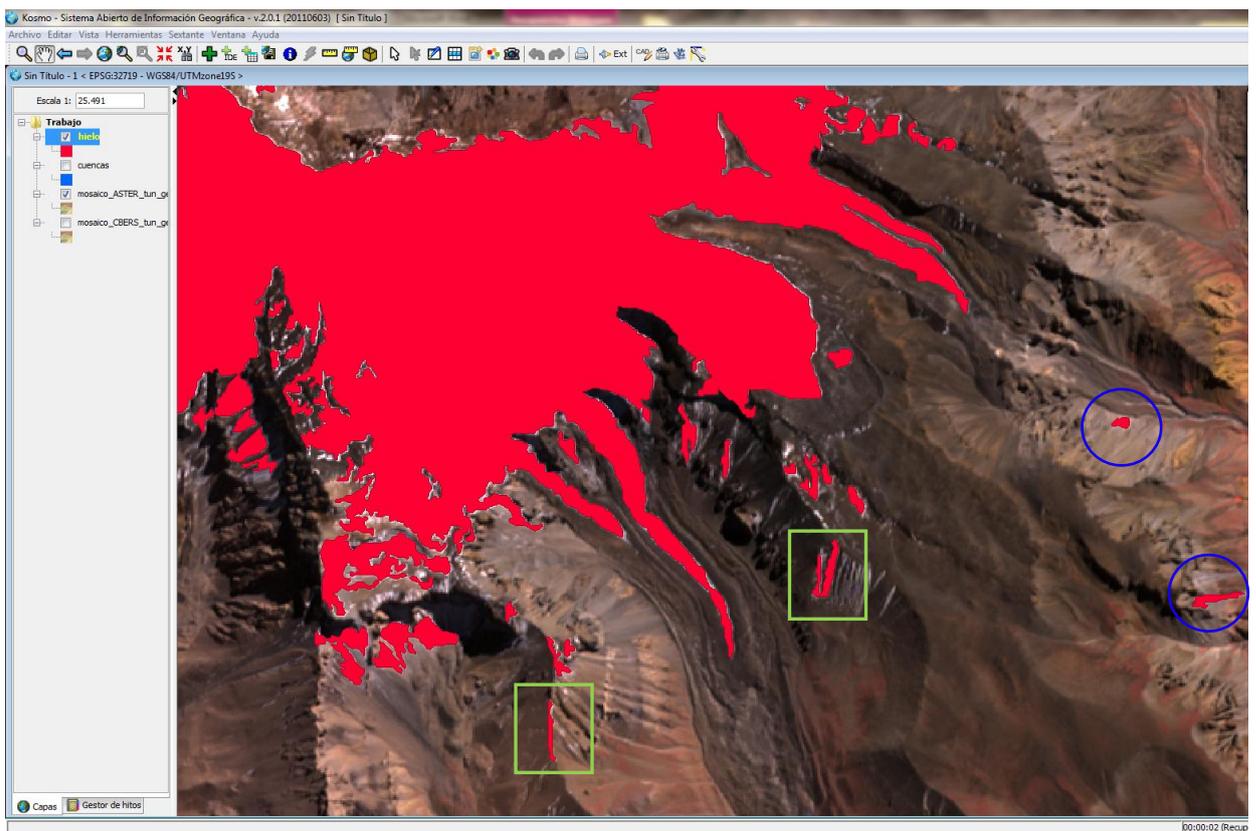
Para poder tener activa esta herramienta, debemos haberla seleccionado previamente en el gestor de extensiones .

Se despliega un menú en el que podemos elegir varias opciones, en nuestro caso deberemos seleccionar “Extracción (clip)”, esta operación funciona con dos capas y permite extraer de la capa de entrada (*capa de glaciares*) aquellos elementos que interseccionen con el molde formado por los elementos de la capa de superposición (*cuencas*), la tabla de atributos de la capa resultante es la misma de la capa de entrada, por lo que la modificación es solo a nivel de la geometría, los atributos de las capas no cambian. Por último seleccionamos el fichero shape donde se han de almacenar los resultados a través del selector de ficheros que aparece en el apartado 3.



2. En segundo lugar, tendremos que tener en cuenta que la clasificación obtenida en **Spring** delimita con muy alta precisión el límite de los glaciares descubiertos, no obstante siempre se tendrá que realizar alguna edición manual para eliminar aquellos polígonos mal clasificados (ver  en las figuras de abajo) o algunos manchones de nieve que sean estacionales o que por su tamaño no serán inventariados debido al tamaño mínimo considerado (ver .

Cabe destacar que el área mínima a inventariar tanto para hielo descubierto, cubierto y glaciares de escombros es un área mayor o igual que 0,01 km².

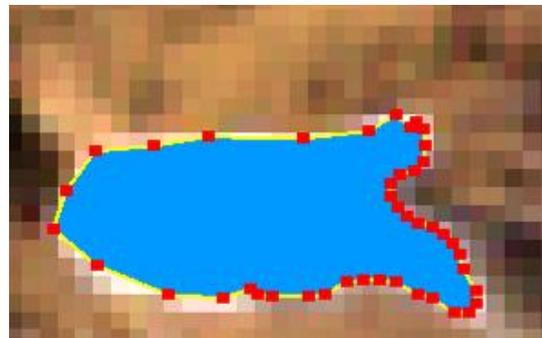
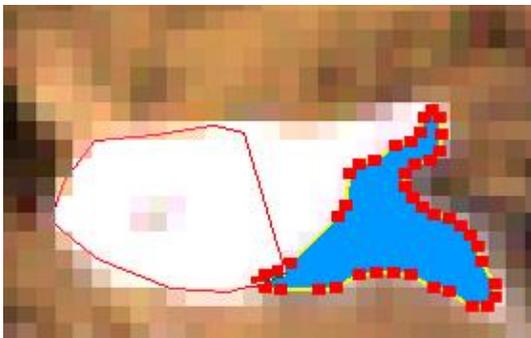


En ese caso tendremos que poner la capa de glaciares en edición, seleccionar aquellos polígonos que queramos eliminar  y con el botón “Borrar elementos seleccionados”  los eliminaremos.

3. En aquellos casos que necesitemos agrandar o disminuir un área glaciar lo realizaremos de la siguiente forma:
 - Ponemos el shape en edición: botón derecho sobre la capa y pulsar “Editable”.
 - Seleccionamos el polígono que queremos editar . Veremos los vértices de color rojo.



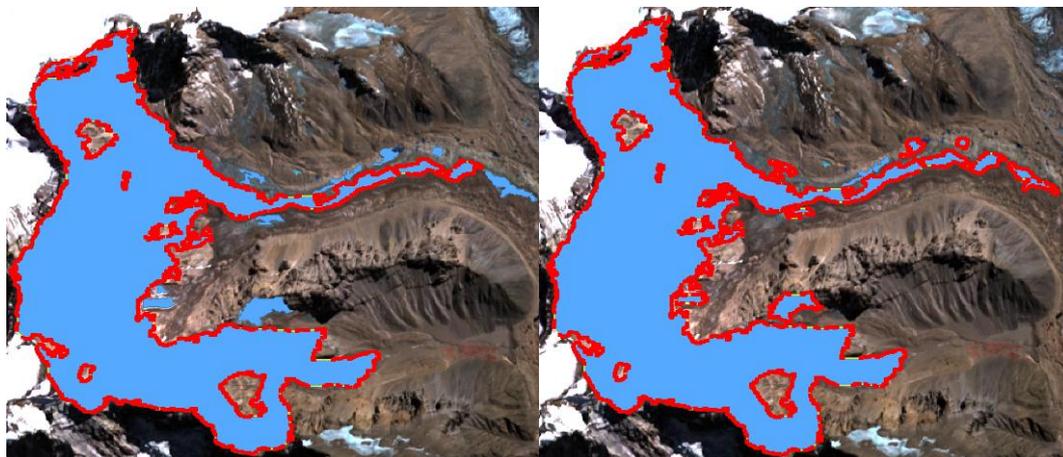
- Con la herramienta “Aumentar superficie”  podremos editar el contorno del glaciar dado que no estaba bien delimitado originalmente. Cuando terminemos la edición hacemos doble click y veremos la nueva superficie generada.



- De la misma forma podremos disminuir la superficie de un glaciar  cuando sea necesario, así como “Dividir polígono”  o crear un agujero dentro de el .

4. En algunas ocasiones, tendremos glaciares que están formados por varios polígonos de diferente tamaño, en ese caso podremos unirlos todos dado que conforman una misma unidad glaciar. Para ello deberemos seleccionar todos los elementos con la herramienta  y después oprimir “Unir elementos” , en el caso de que alguno de los polígonos tenga atributos que queramos sean copiados al resto, deberemos

activar esa opción (por ejemplo, si un polígono ya está clasificado como un glaciar descubierto, de valle, etc. queremos que todos los polígonos que compongan esa unidad adquieran esos atributos, eso lo veremos más adelante en la parte de las bases de datos).



Estas son algunas de las principales herramientas que se utilizan en la edición del hielo descubierto, en el apartado siguiente se explicaran algunas otras que complementarán a las detalladas en esta sección.

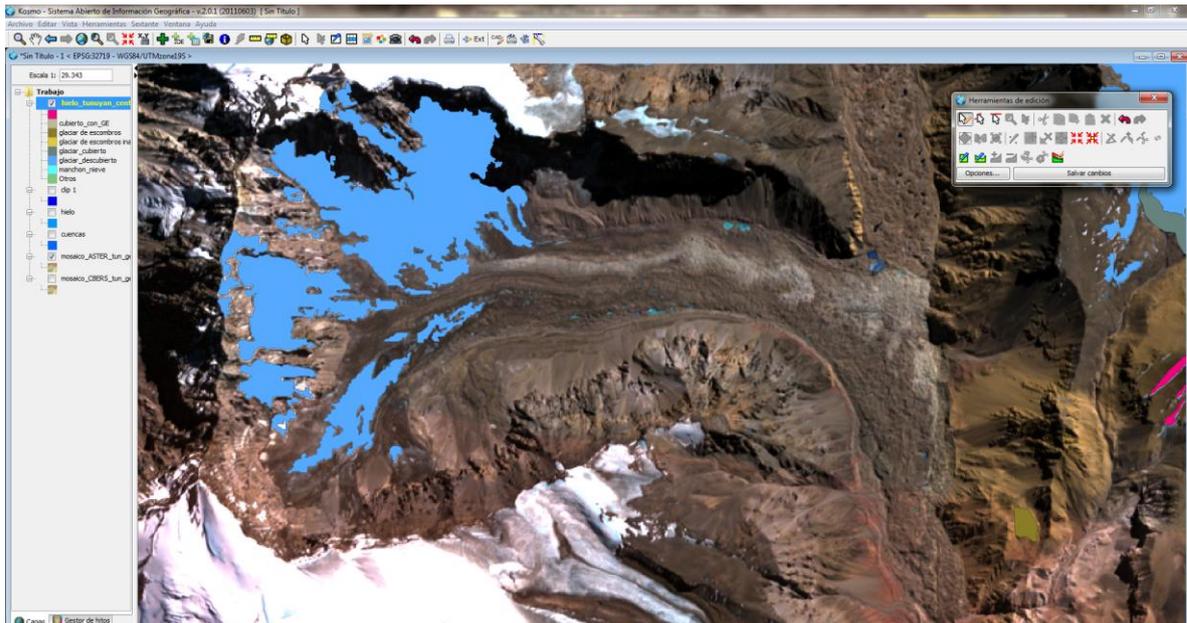
7.3. Digitalización manual de hielo cubierto y glaciares de escombros

La digitalización manual para este tipo de coberturas sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional. Las imágenes de alta resolución espacial son las mejores herramientas para delimitar estos cuerpos de hielo, además del reconocimiento y cartografía de las geoformas en el campo.

Para la digitalización y edición de capas vectoriales, proponemos la utilización del programa **Kosmo 2.01**.

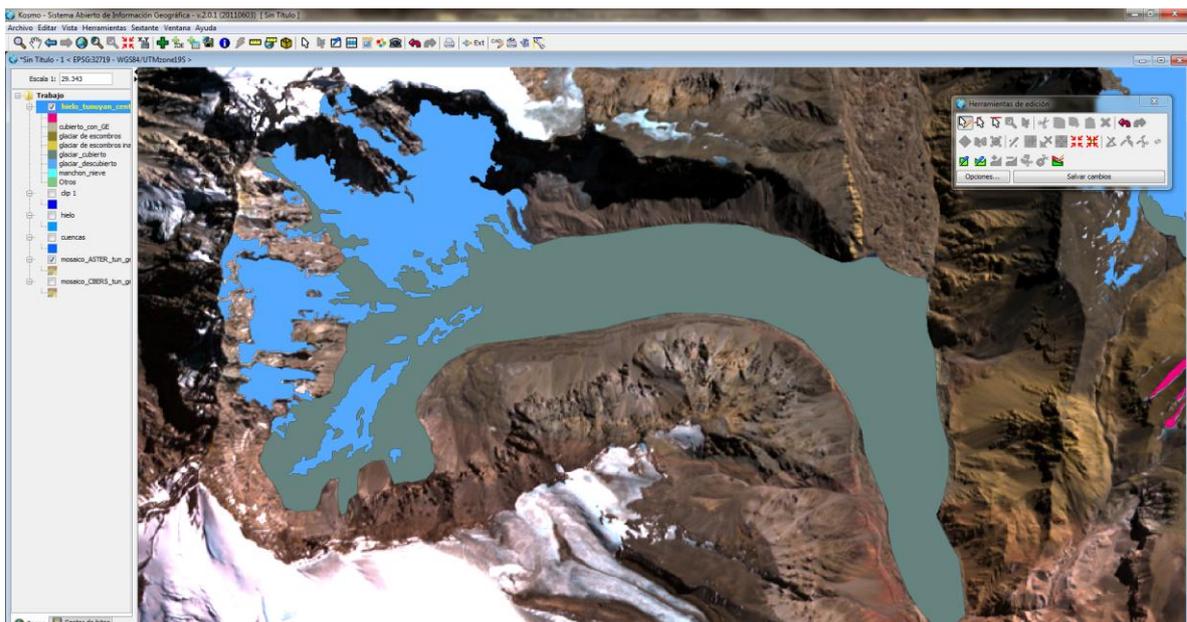
Una vez que hemos finalizado la edición del hielo descubierto, comenzaremos con la digitalización manual de los glaciares cubiertos y glaciares de escombros. Para ello tendremos que crear nuevos polígonos en algunos casos, y en otros generar polígonos adyacentes, según se explica a continuación:

En este ejemplo vemos un glaciar de valle con una importante cobertura de detritos. La parte de hielo descubierto ya fue obtenida mediante una clasificación supervisada por objetos. Para delimitar la parte cubierta utilizaremos la herramienta “Generar polígono adyacente” , y con el ratón comenzaremos y finalizaremos el trazado del polígono desde dentro del área del glaciar descubierto, dibujando de la manera más precisa posible la superficie correspondiente al hielo cubierto.



Vemos en esta imagen como delimitamos el hielo cubierto a partir de la herramienta de polígono adyacente. Esta operación no siempre sale de manera correcta al primer intento, porque suelen quedar algunos huecos pequeños, por lo que se deberá repetir la operación y después con la herramienta de “Unir elementos” , unir todos los polígonos generados y que formen parte del hielo cubierto. La ventaja que tiene es que no deja espacios entre polígonos ni superpone unas áreas con otras, lo cual sí ocurriría si generáramos un polígono nuevo. La desventaja es que a veces genera varios micropolígonos, por lo que tendremos que tener la precaución de seleccionarlos y eliminarlos posteriormente.

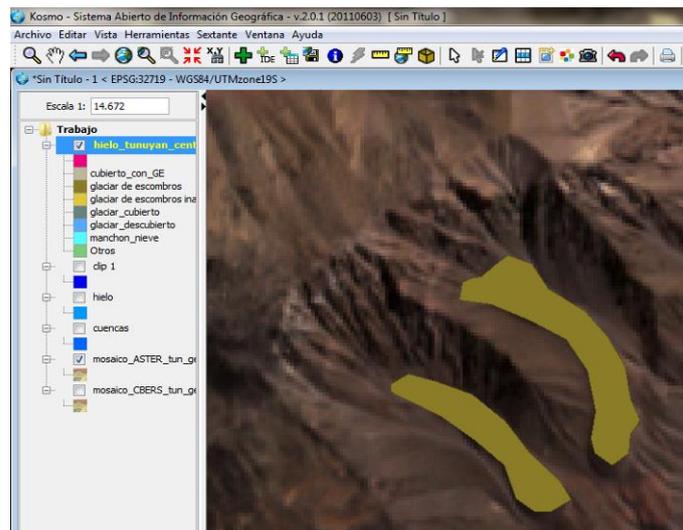
También existe la herramienta “Explotar entidades seleccionadas”  mediante la cual podremos volver a separar aquellos polígonos que hayamos unido previamente.



En el caso de tener que dibujar una unidad individual, como por ejemplo un glaciar de escombros, utilizaremos la herramienta “Dibujar polígono” .



Recordemos que el shape siempre tiene que estar editable para realizar todas estas operaciones. Trazaremos el polígono delimitando la geoforma, finalizando el dibujo con un doble clic.



También aclarar que estos nuevos polígonos se crearán dentro de la misma capa de glaciares, de esta forma todos los tipos de glaciares estarán en el mismo shape.

CAPITULO 8: Base de datos

El principal objetivo de la base de datos es compilar de manera eficiente todos los resultados existentes para cada inventario de glaciares, los cuales fueron generados en su mayoría a partir de fuentes digitales (vectores o modelos digitales de elevación).

Por tanto, todas las actividades realizadas en los capítulos anteriores, deberán estar contenidas en una base de datos. Normalmente será la base de datos que vayamos generando desde nuestro proyecto SIG, la cual incluirá la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros.

Si utilizamos el programa Kosmo, deberemos crear un campo para cada ítem que vayamos a incorporar en la base de datos. El shape tendrá que estar en edición y pulsando el botón derecho en Ver/Editar campos iremos añadiendo cada uno de ellos



8.1. Parámetros generales

Información básica

Estos campos corresponden a información básica para cada inventario, como por ejemplo en qué provincia se está trabajando, el nombre de la cuenca a inventariar así como sus subcuencas principales.

Por tanto los campos a incluir en nuestra base de datos serán:

Provincia	Cuenca	Subcuenca
Mendoza	Rio Mendoza	Tupungato
Mendoza	Rio Mendoza	Cordon del Plata
Mendoza	Rio Mendoza	Tigre

Base de datos Kosmo con la información básica de los glaciares

1. **Provincia**
2. **Cuenca**
3. **Subcuenca**
4. **Código cuenca**

Esta columna provee información sobre la provincia, cuenca y subcuencas de cada una de las geformas inventariadas. Se codifica de la siguiente manera:

M0550000

El primer dígito corresponde a la provincia, codificada según normativa ISO 3166 (Ejemplo: M = Mendoza, U = Chubut).

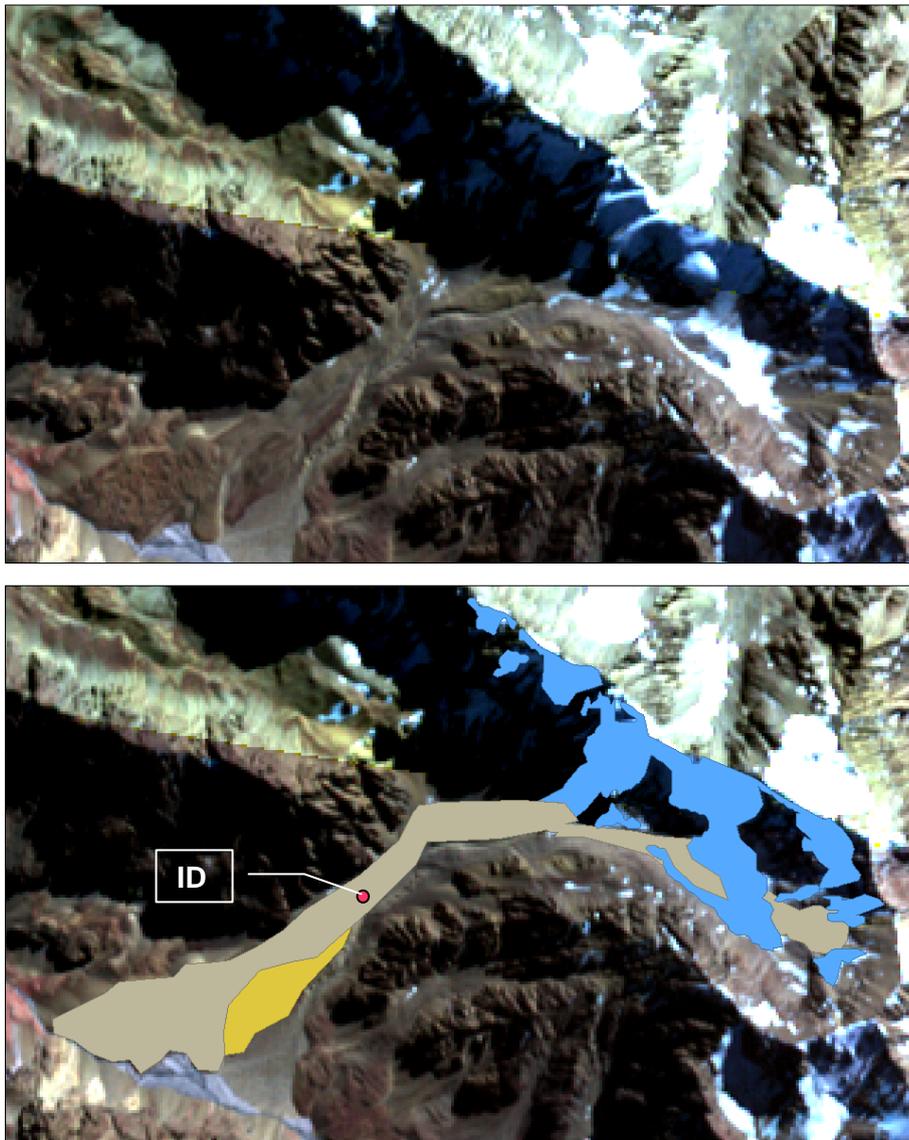
Los siguientes tres dígitos corresponden al código de la cuenca principal, el cual ha sido establecido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH). (Ejemplo 055 = Mendoza, 100 = Cuencas varias de Antártida e islas del Atlántico Sur, incluidas Malvinas Argentinas).

Los próximos dos dígitos corresponden a la subcuenca dentro de la cuenca principal. Dado que no hay una codificación oficial establecida para esta categoría, esta puede ser establecida de forma interna por cada analista hasta tanto se cuente con una codificación reconocida a nivel nacional.

Los dos últimos corresponden a la sub-subcuenca, se empleará en aquellos inventarios que trabajen a este nivel y se procederá a codificarlos según lo establecido arriba para las subcuencas.

5. **ID_local:** es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados, consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma. Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur y con cuatro decimales de precisión.

Ej. G6981530326084S



La parte superior de la figura muestra una unidad o cuerpo a inventariar sobre un mosaico de imágenes ASTER. En la parte inferior se muestra esta misma unidad con todas las subunidades que la componen.

Todas las subunidades tienen el mismo código de identificación (ID).

6. Tipo_geoforma: esta columna agrupa a cada una de las geoformas inventariadas en base a su tipo principal. Los tipos de geoforma pueden ser:

GD-Glaciario descubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) y de un área mayor o igual a 0,01 km² (una hectárea).

MN-Manchón de nieve / glaciarete: cuerpos de hielo o nieve permanente generados sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, sin una cobertura detrítica significativa, que sean visible por periodos de al menos 2 años pero que no presenten evidencias de movimiento por gravedad. Los manchones de nieve permanentes / glaciaretos son reservas significativas de agua en estado sólido y por ello han sido incluidos en este inventario.

GC-Glaciario cubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, con una cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) y de un área mayor o igual a 0,01 km² (una hectárea).

GE-Glaciario de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos, inactivos y fósiles** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciario de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

GCGE-Glaciario cubierto con glaciario de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un

glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros glaciogénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

Se codificará cada tipo de geoforma en nuestra base de datos con las iniciales que se observan al principio de la descripción de cada una de ellas.

7. **ID_GLIMS:** el código internacional ID_GLIMS de un glaciar es generado a partir de las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior del mismo. Cuando las longitudes corresponden al Oeste, las mismas son convertidas al Este mediante la adición de 360 grados ($-69.232+360 = 290.768$). De esta manera se facilita el acceso de la información del inventario a un nivel internacional de referencia.
8. **Nombre común:** si lo hubiere.

8.2. Clasificación de glaciares

Es muy importante clasificar los glaciares de manera detallada cuando se realizan labores de inventario. Para describir su morfología existe una terminología desarrollada inicialmente por el World Glacier Monitoring Service (WGMS) y modificada posteriormente por el GLIMS (<http://www.glims.org/MapsAndDocs/guides.html>) en la cual nos hemos basado para clasificar los glaciares en base a diferentes parámetros morfológicos.

No obstante, debimos realizar algunas adaptaciones dadas las particularidades que presentan muchos de los cuerpos de hielo existentes en los Andes de Argentina. En esta zona, los glaciares de escombros son muy numerosos y representan un recurso hídrico de suma importancia, por lo que las clasificaciones internacionales fueron ampliadas para incorporar este tipo de glaciares y sus características principales.

En algunos casos debido a la enorme variedad de glaciares, a menudo no es fácil clasificarlos, por lo que se propone especificar al menos los siguientes parámetros: Clasificación primaria, forma, frente, cobertura de la lengua, origen del glaciar de escombros, actividad del glaciar de escombros y forma del glaciar de escombros. El resto de parámetros se completarán en caso de contar con la información necesaria, en caso contrario, se dejarán en blanco para completarlos cuando se realicen más estudios en los niveles 2 y 3 del inventario.

forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de nieve barrida por el viento, avalanchas y/o fuertes acumulaciones en varios años. Normalmente no presentan patrones de flujo visibles, existen al menos por dos años consecutivos.

8. Barrera de hielo: es la porción flotante de un glaciar cuyo frente termina en el océano. Usualmente tiene una gran extensión horizontal y una superficie plana o suavemente ondulada. Las principales barreras se encuentran en la Antártida (Ross, Ronne-Filchner, Amery, entre otras).
9. Glaciar de escombros: el glaciar de escombros es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que, si es activa, se mueve pendiente abajo por gravedad y por reptación y deformación del permafrost. Es una manifestación de un tipo de permafrost que se llama permafrost reptante. En general tiene forma de lengua o lóbulo con morfología superficial similar a la de una colada de lava. Sin embargo, sobre todo en los Andes Centrales de Argentina y Chile, los glaciares de escombros pueden alcanzar morfologías muy complejas, con zonas de aporte o de generación de cuencas compuestas y el desarrollo de más de un lóbulo frontal o una superposición de varios lóbulos.
10. Corriente de hielo: se refiere a grandes glaciares que drenan una sábana de hielo con velocidades elevadas. Existen dos tipos principales de corrientes de hielo, confinadas y no confinadas. Las confinadas están asociadas a depresiones donde converge el hielo, el cual por el calor generado por la fricción con los laterales disminuye su viscosidad y aumenta su velocidad de deslizamiento. Por su parte las corrientes de hielo no confinadas, están asociadas a zonas donde existen sedimentos susceptibles de ser deformados por debajo de las sábanas de hielo, en estos casos, la inmensa presión que ejerce el hielo deforma estos sedimentos y permite el rápido movimiento del mismo. Las corrientes de hielo no exhiben una delimitación precisa en todos sus márgenes, sin embargo en algunas zonas son más visibles por grietas laterales que separan las zonas de máximo flujo de aquellas zonas menos activas. Las corrientes de hielo son las principales abastecedoras de hielo de las barreras de hielo flotante y en general drenan la mayor cantidad de área de las sábanas de hielo.

Los siguientes ítems están descritos en el manual de referencia, sólo hemos traducido la clasificación primaria, que es la más importante

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta
3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho
6. Cráter
7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

11. Frente:

0. Normal
1. Piedemonte
2. Expandido
3. Lóbulo
4. Con desprendimientos
5. Coalescente no contribuyente
10. Con desprendimientos y Piedemonte
11. Con desprendimientos y expandido
12. Con desprendimientos y lóbulo
13. Barrera de hielo
14. Flotante
15. Con desprendimientos terrestre
16. Confluente

12. Perfil longitudinal

0. Incierto
1. Regular
2. Colgante
3. Cascada
4. Caída de hielo
5. Interrumpido

13. Fuente de alimentación

0. Desconocida
1. Nieve-detrito nieve
2. Avalancha
3. Hielo sobreimpuesto

14. Actividad de la Lengua

0. Incierto
1. Marcado retroceso
2. Leve retroceso
3. Estacionario
4. Leve avance
5. Marcado avance
6. Posible surge
7. Surge conocido
8. Oscilante
9. Adelgazante

15. Morena_1

0. sin morena
1. Morena Terminal
2. Lateral y/o media

3. Morena impulsora
4. Combinación 1 y 2
5. Combinación 1 y 3
6. Combinación 2 y 3
7. Combinación 1, 2 y 3
8. Cubierto, incertidumbre morena
9. Morenas inciertas

16. Morena_2

0. sin morena
1. Morena Terminal
2. Lateral y/o media
3. Morena impulsora
4. Combinación 1 y 2
5. Combinación 1 y 3
6. Combinación 2 y 3
7. Combinación 1, 2 y 3
8. Detrito, incertidumbre morena
9. Morenas inciertas

Los ítems que siguen corresponden a la parte de clasificación propia de los Andes argentinos, no contemplada en GLIMS, la que ha sido acordada desde el punto de vista científico entre los especialistas de IANIGLA.

17. Cobertura de la lengua

0. Incierto
1. Sin detrito
2. Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)
3. Mayormente cubierto de detrito (50-90%)
4. Completamente cubierto por detrito (>90%)
5. Parcialmente cubierto de detrito con GE (Glaciar de escombros) (10-50%)

6. Mayormente cubierto de detrito con GE (50-90%)
7. Completamente cubierto por detrito con GE (>90%)

18. Origen GE (GE: Glaciar de escombros)

0. Incierto
1. Criogénico: aquellos glaciares de escombros sin relación actual con glaciares y generados a partir de taludes y canaletas nivo-detriticas.
2. Glacigénico: aquellos glaciares de escombros originados a partir de un glaciar descubierto o cubierto.
3. Combinado 1 y 2

19. Actividad del GE

0. Incierto
1. Activo: Un glaciar de escombros activo presenta evidencias de movimiento pendiente abajo y señales del mismo en superficie. En general este tipo de glaciares tiene una topografía superficial muy irregular y desarrollan pendientes frontales muy pronunciadas (35°-45°).
2. Inactivo: los glaciares de escombros que no presentan movimiento pendiente abajo, pero que todavía contienen hielo.

20. Forma del GE

0. Incierto
1. Lengua: largo mayor que el ancho



2. Lobado: ancho mayor que largo



3. Espatulado



4. Coalescente



5. Otras

21.Estructura _I

0. Incierto

1. Unidad: un único glaciar de escombros.



2. Multiunidad: formada por varios glaciares de escombros, pueden ser coalescentes o sobrepuestos.



22. Estructura II

0. Incierto

1. Una raíz: una única fuente de alimentación.



2. **Multiraiz:** cuando el glaciar de escombros se alimenta de varias raíces, sea cual sea su origen.



8.3. Parámetros físicos de los glaciares

Se recomienda calcular un conjunto mínimo de parámetros como por ejemplo: área, coordenadas, largos, elevación máxima, mínima y media, orientación media y pendiente.

A excepción de los largos, el resto de parámetros se pueden obtener de manera automática, asumiendo alta precisión y objetividad en el resultado.

Dentro de la base de datos, se manejan dos unidades de análisis, los polígonos y las unidades glaciarias. De acuerdo a esta diferenciación hay parámetros físicos que se calculan exclusivamente para polígonos y otros para unidades.

Se entiende que una unidad está formada en la mayoría de los casos por varios polígonos. Por ejemplo, un glaciar puede estar compuesto por diversos polígonos que pueden corresponder a varias partes de hielo descubierto que alimentan al cuerpo glacial principal, partes de hielo cubierto o incluso glaciares de escombros.

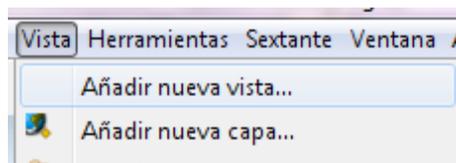
8.3.1. Parámetros que se calculan por polígono

➤ Cálculo de coordenadas en latitud y longitud

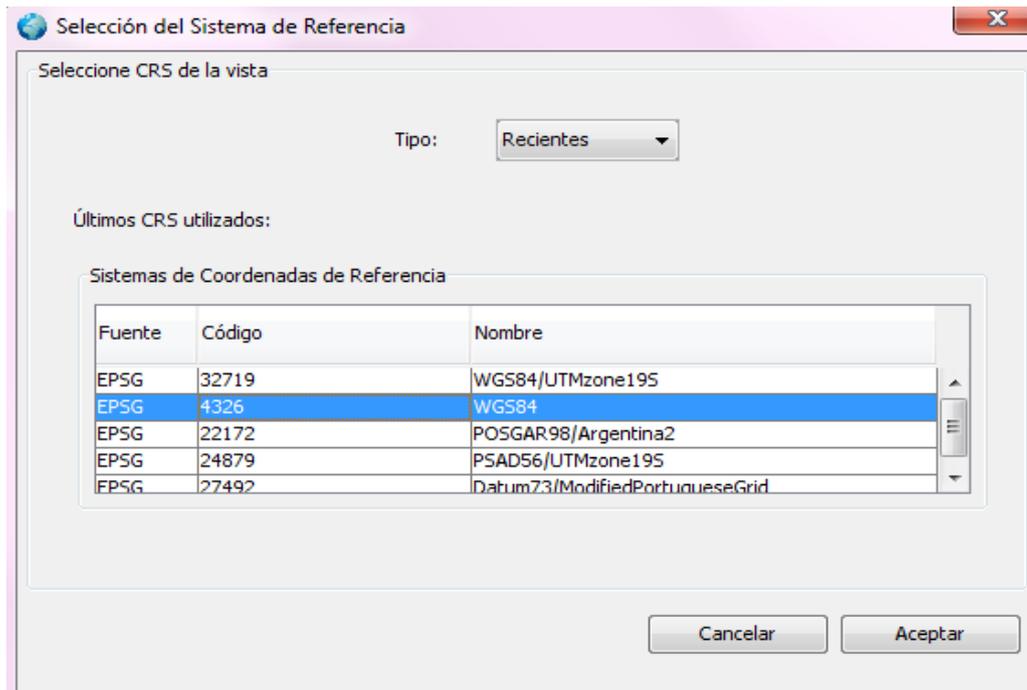
Los valores de latitud y longitud se calculan en décimas de grados para el centroide del polígono. El software los puede calcular automáticamente, sin embargo si el shape está en un sistema de coordenadas planas deberemos reprojectarlo para poder calcular los valores en décimas de grados.

Reproyección del shape

Para reprojectar el shape deberemos abrir una nueva vista en kosmo. En el menú principal vamos a Vista y luego a Añadir nueva vista.

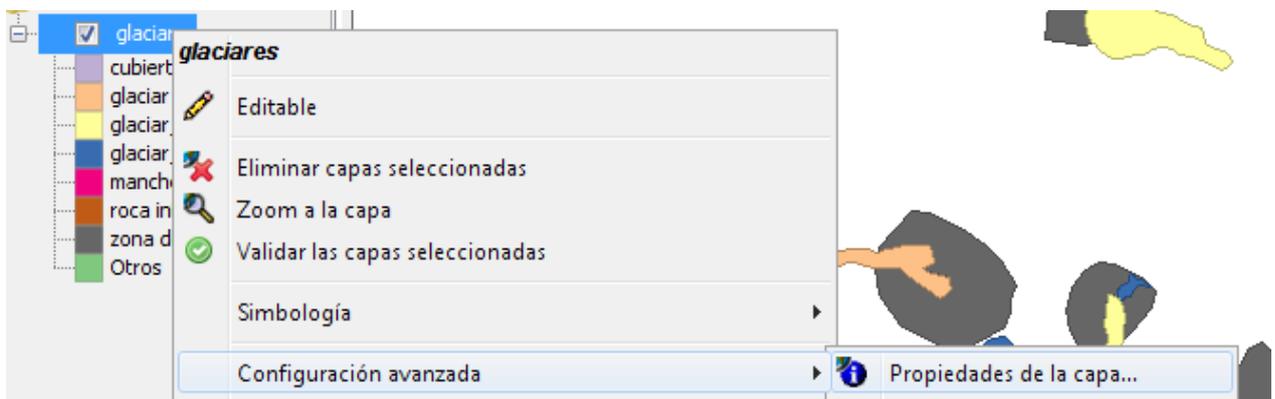


En la Selección de Sistema de Referencia Espacial elegiremos el EPSG 4326/WGS84.



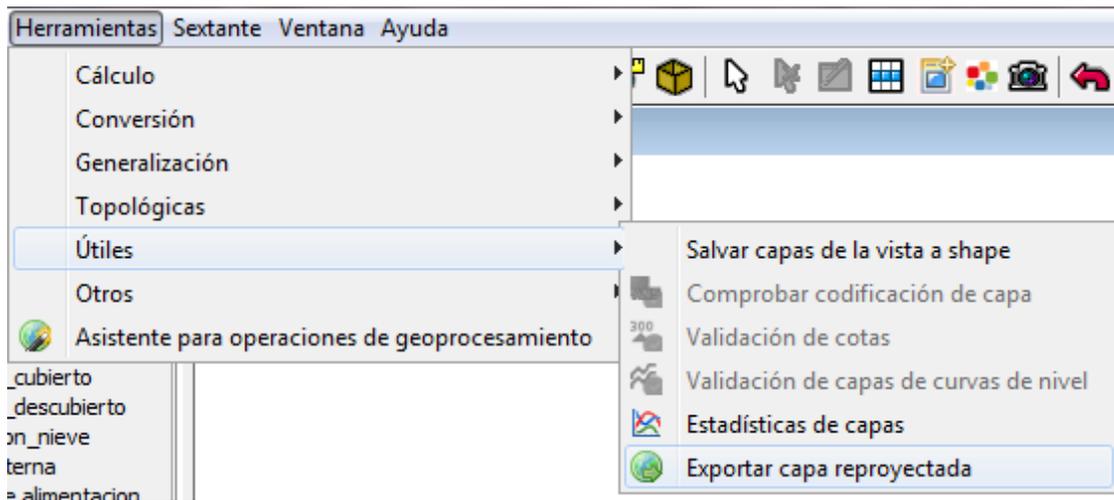
Agregamos la capa que tenemos en coordenadas planas a la vista que hemos creado.

Hacemos un clic con el botón derecho del mouse en el layer que queremos reproyectar y vamos a Configuración avanzada y luego a las Propiedades de la capa



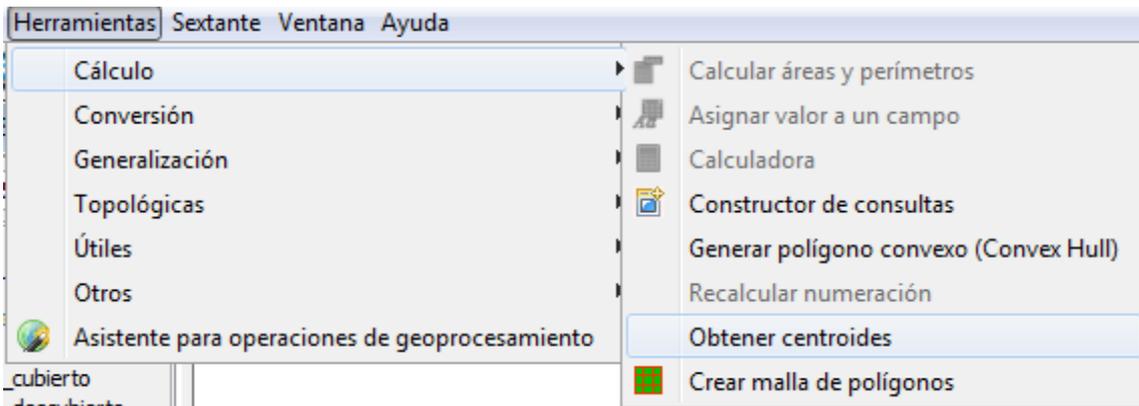
En proyección elegimos la proyección que tiene originalmente el shape en este caso el EPSG 32719.

Luego en el menú principal ir a Herramientas, luego a Útiles y finalmente Exportar a capa reproyectada.

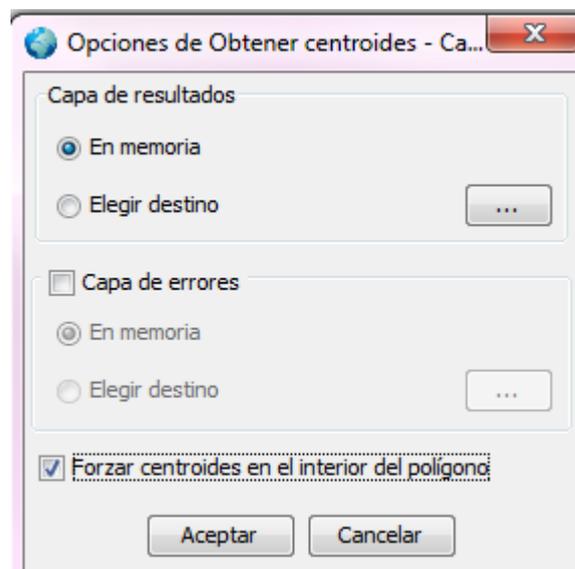


Se puede guardar en memoria o guardarla como una nueva capa.

Cálculo del centroide



Nuevamente podemos guardarlo en memoria o elegir un destino. Activaremos la opción Forzar centroides en el interior del polígono.

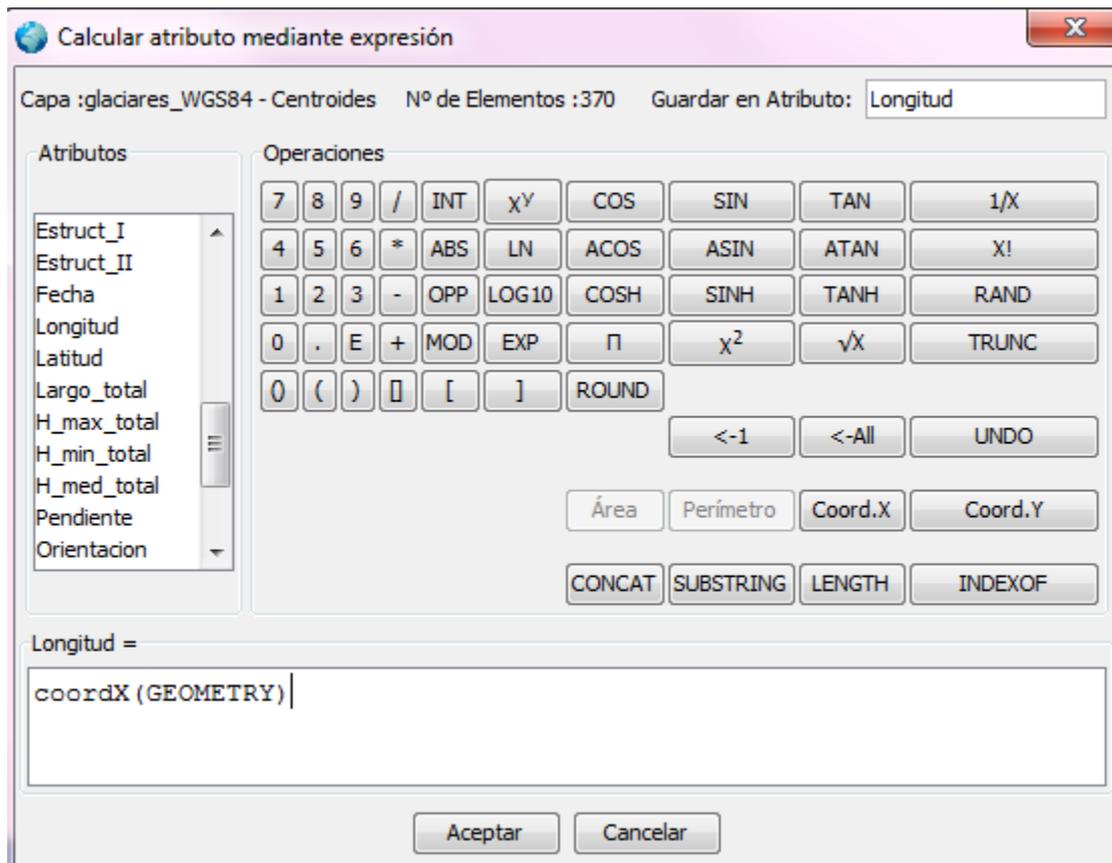


Cálculo de los campos latitud y longitud

En el shape de centroides crearemos dos nuevos campos uno para la latitud y otro para la longitud con tipo de dato float.

Una vez creados los campos abrimos la tabla de atributos y hacemos un clic sobre la calculadora.

Para calcular la longitud hacemos doble clic sobre longitud en la columna atributos y luego ubicados en el área de cálculo hacemos clic sobre Coord.X.



Procedemos de la misma manera con la latitud en Atributos seleccionamos Latitud y luego hacemos clic en Coord. Y

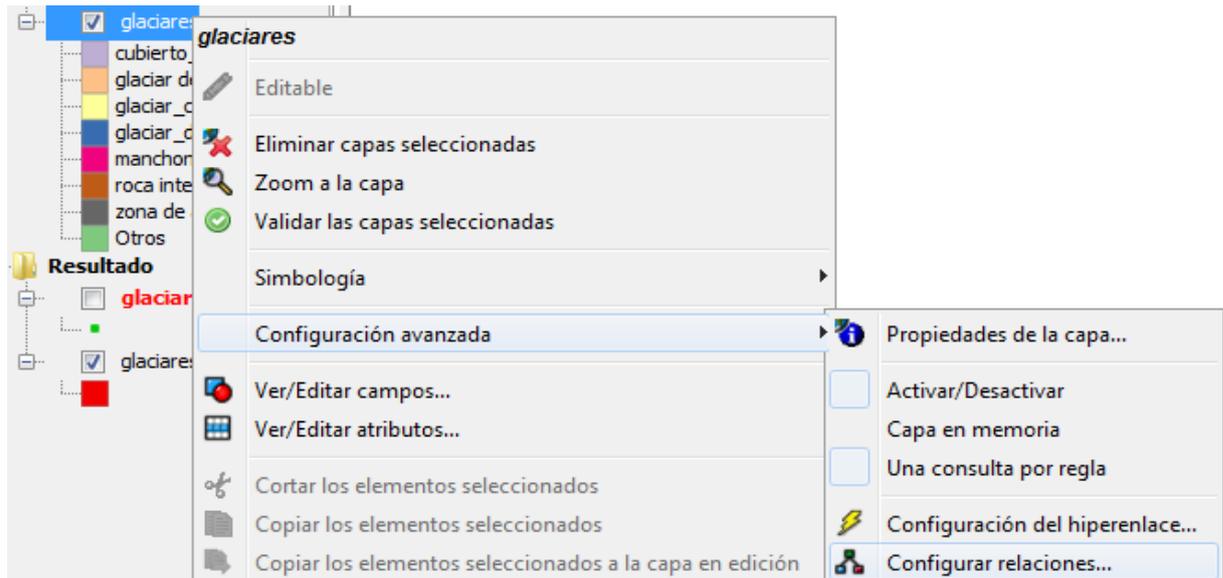
<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>
-70,104005...	-32,797491...
-70,004653...	-32,853951...
-70,037147...	-32,865597...
-70,104782...	-32,700882...
-69,959009...	-32,890127...
-69,983198...	-32,873504...
-69,854762...	-32,773174...

Así los campos de Latitud y Longitud quedaran calculados

Unión de las bases de datos

Finalmente debemos pasar los datos de latitud y longitud obtenidos para la capa de centroides a nuestra capa de polígonos. Para ello deberemos elegir un campo en común en ambas bases de datos y cuyos valores sean únicos. Kosmo genera un campo den GID que se puede utilizar en este caso. Sin embargo hay que tener cuidado porque este valor se actualiza automáticamente.

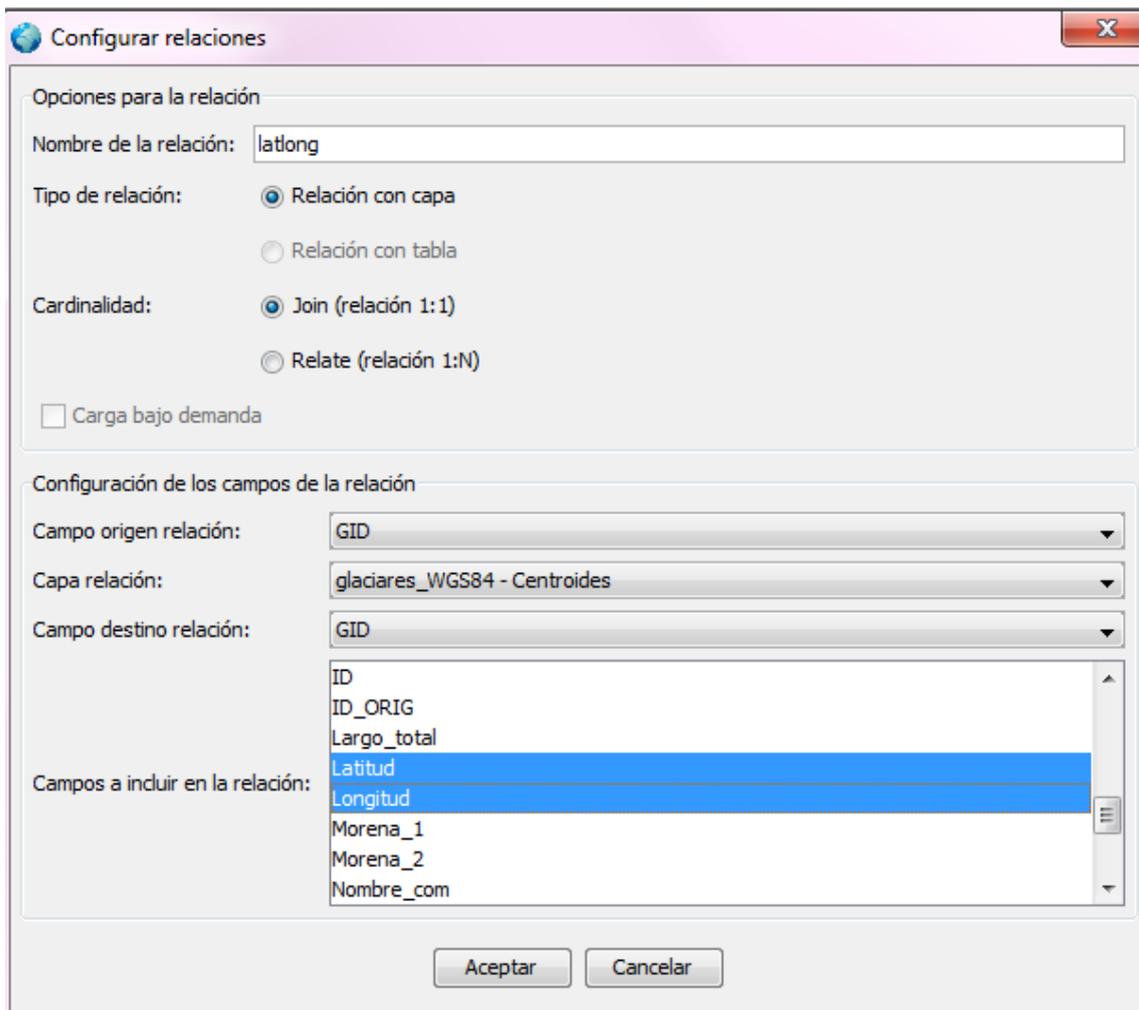
Hacemos un clic con el botón derecho del mouse sobre nuestra capa de polígonos original en coordenadas planas y vamos a Configuración avanzada y luego a Configurar relaciones.



Hacemos un clic sobre el botón Nueva y se desplegará un cuadro de diálogo.

Primero daremos un nombre a la relación. En campo origen relación seleccionamos GID que es el campo en común. En capa de relación elegimos la capa que contienen los centroides con la latitud y la longitud calculadas. En campo destino de relación elegimos nuevamente GID y luego podemos escoger los campos que queremos que formen parte de la relación, en este caso los campos Latitud y Longitud. Finalmente aceptar. Abrir la tabla de atributos para observar los resultados.

Para que esta relación quede de forma permanente deberemos exportar el shape. Para ello hacemos un clic con el botón derecho del mouse sobre la capa de polígonos que contiene los datos de la relación y luego Guardar capa como.

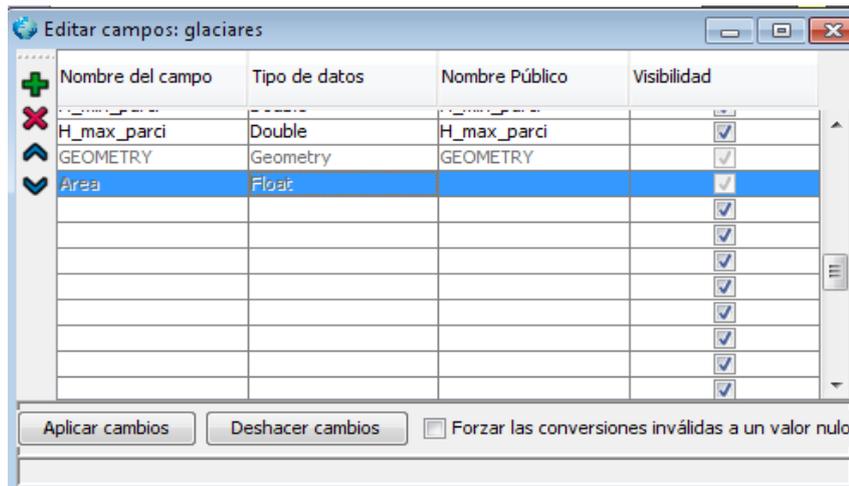


➤ Área

Se puede calcular con cualquier programa, en este caso utilizaremos Kosmo.

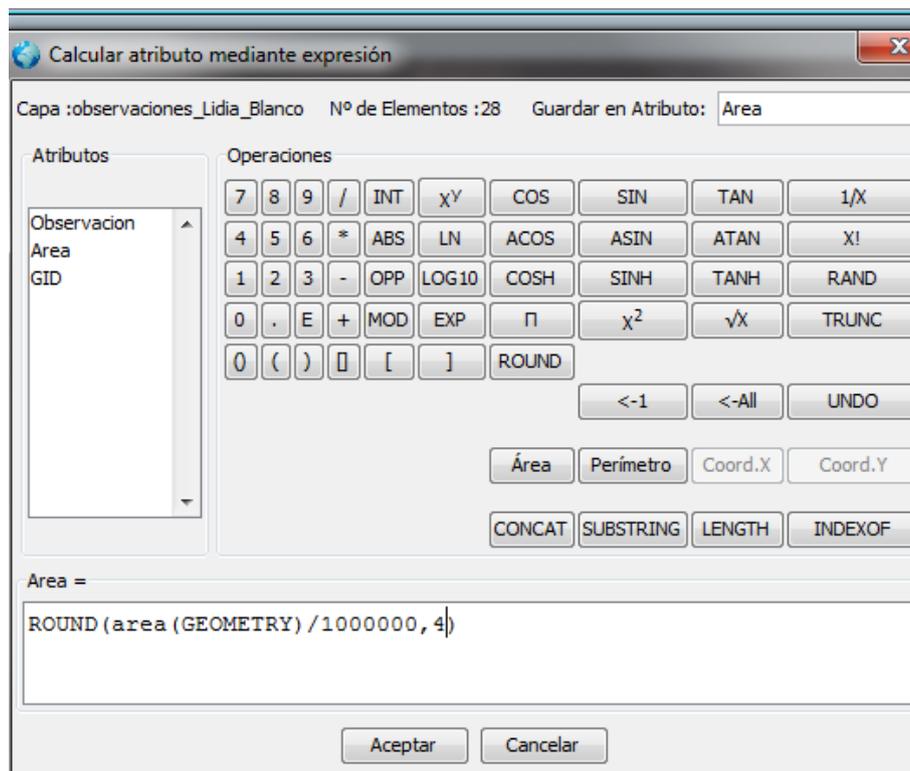
Agregamos a nuestro proyecto la capa a la que queremos calcular el área.

Ponemos en edición el shape según lo explicado en el capítulo 7 y creamos un nuevo campo denominado Área y en Tipo de datos seleccionamos Float y luego aplicamos los cambios.



Abrimos la base de datos y veremos que se ha generado un nuevo campo que por defecto tiene valores NULL.

Una vez abierta la calculadora en la parte de Atributos hacemos doble clic en Área. En la parte inferior de la calculadora aparecerá un área en blanco en donde comenzaremos a construir la fórmula para calcular el área en Km^2 y con cuatro lugares decimales. Hacer un clic en ROUND, luego clic en Área y lo dividimos por 1000000 para obtener los valores en km^2 (por defecto el software lo calcula en m^2) y agregamos un 4 para indicar los lugares decimales.



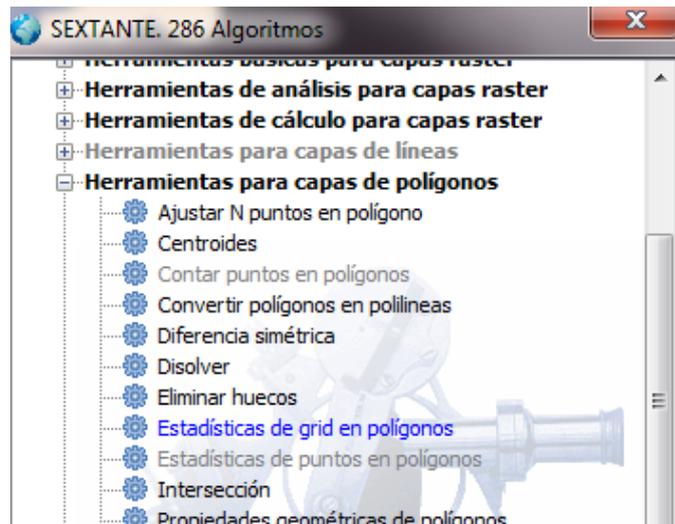
Luego Aceptar y nos agregará el valor del área en la base de datos.

➤ Cálculo de altura máxima, media y mínima parciales

Para hacer este cálculo vamos a utilizar un DEM y la extensión Sextante que la podemos encontrar tanto en Kosmo como en gvSIG.

Cargamos el DEM en Kosmo

Activamos la extensión Sextante en caso de que no esté activada y entre las herramientas seleccionamos Herramientas para capas de polígonos y luego Estadística de grid en polígonos.



En la ventana que se desplegará ingresamos el DEM en la capa ráster y en la capa vectorial el layer que contiene los polígonos y finalmente daremos un nombre a la capa resultante.

Automáticamente agrega cuatro campos la máxima, la mínima, la media y la varianza.

<i>MED_srtm...</i>	<i>VAR_srtm_UT</i>	<i>MIN_srtm_UT</i>	<i>MAX_srtm_</i>
4.106,454545...	4.067,7024793438613	4.021	4.222
4.267,696969...	3.657,6051423326135	4.123	4.392
4.033,333333...	1.041,5555555541068	3.993	4.072
4.013	747,111111111939	3.979	4.073
5.301	11.985,60000000149	5.111	5.424
4.137,435643...	74.262,35476914048	3.645	4.796
3.878	1.171,199999999255	3.831	3.929
4.588,22	8.775,2915999996388	4.414	4.780
4.469,625	1.196,734375	4.431	4.542
4.033,666666...	1.051,5555555578321	3.999	4.077

Luego se pueden borrar los campos que no necesitamos y cambiarles los nombres a las columnas.

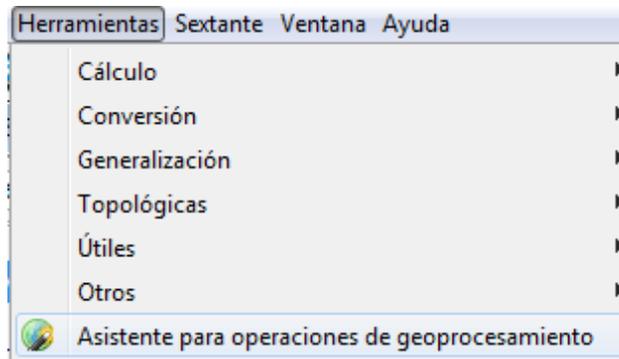
8.3.2. Parámetros que se calculan por unidad

1. Crear un campo auxiliar denominado "unidad", donde todos los polígonos que forman parte de una misma unidad tengan el mismo identificador en la base de datos. Para ello deberemos seleccionar de forma manual aquellos polígonos que conformen una misma unidad y asignarles el mismo nombre en el nuevo campo generado, por

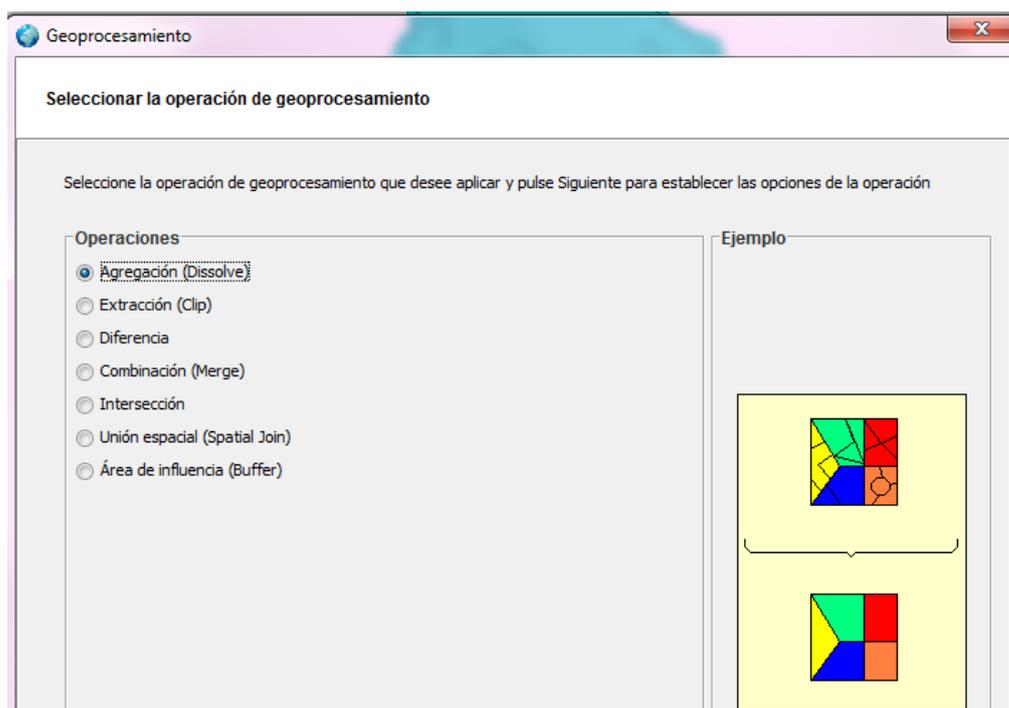
ejemplo U1. A las geoformas que sean independientes les daremos el nombre del campo GID, el cual es único para cada polígono, nunca se repite.

2. Hacer un dissolve en base al campo "unidad" creado en el paso anterior.

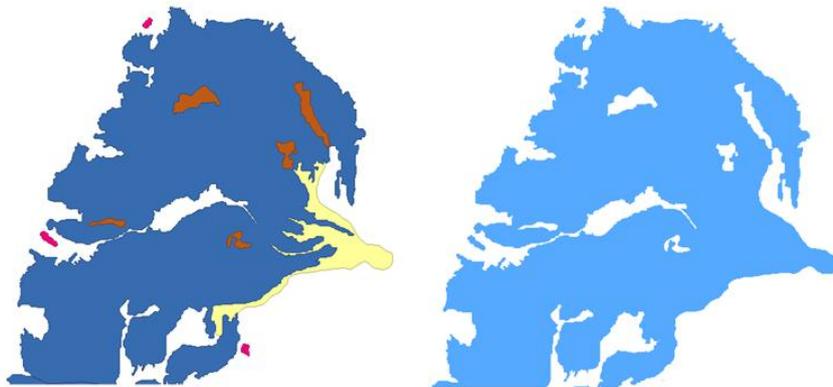
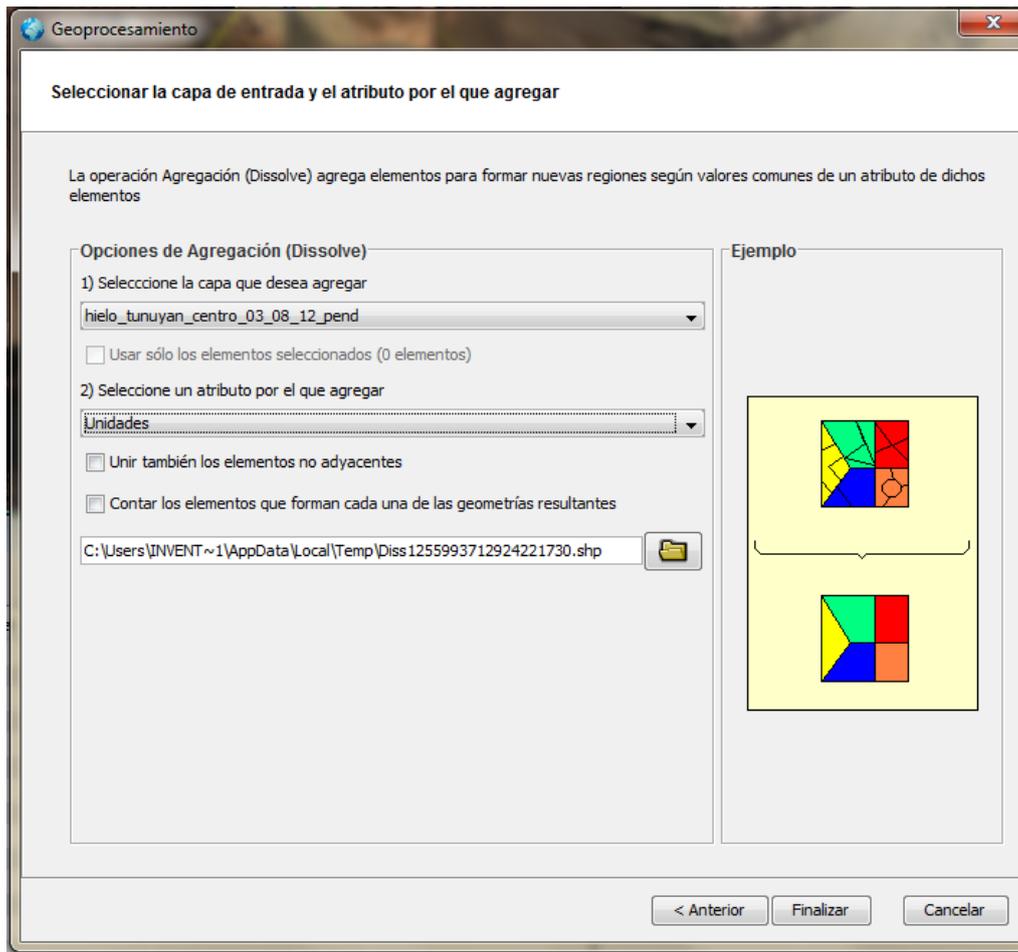
En herramientas seleccionamos Asistente para operaciones de geoprocasamiento



Se desplegará la ventana de Geoprocasamiento y entre las Operaciones seleccionaremos Agregación (Dissolve).

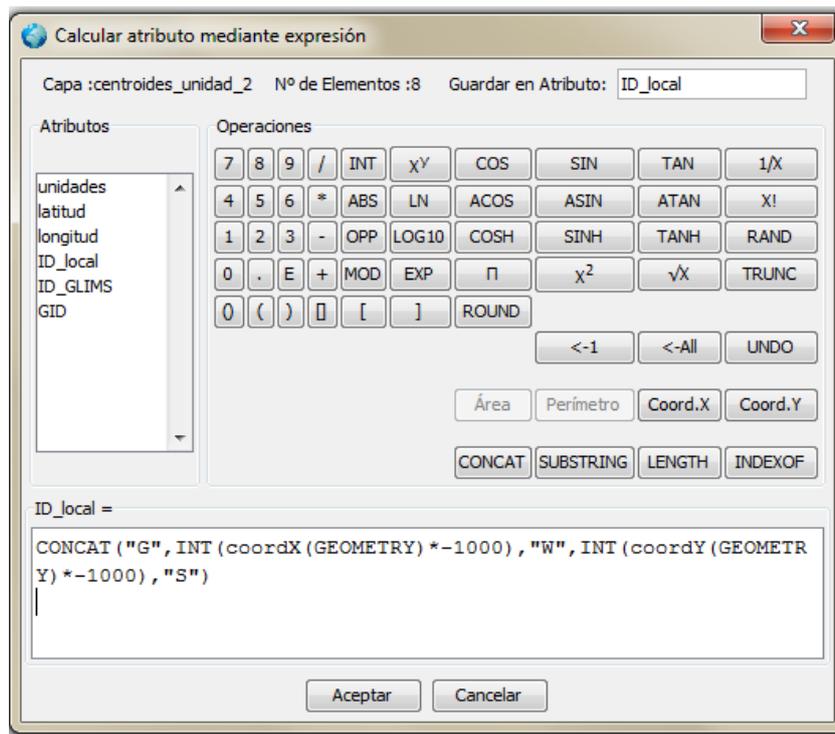


En la ventana siguiente seleccionaremos primero la capa sobre la que vamos a realizar la agregación, luego el campo que utilizaremos en la agregación, tildaremos la opción Unir también los elementos no adyacentes y finalmente daremos un nombre a la capa de salida.



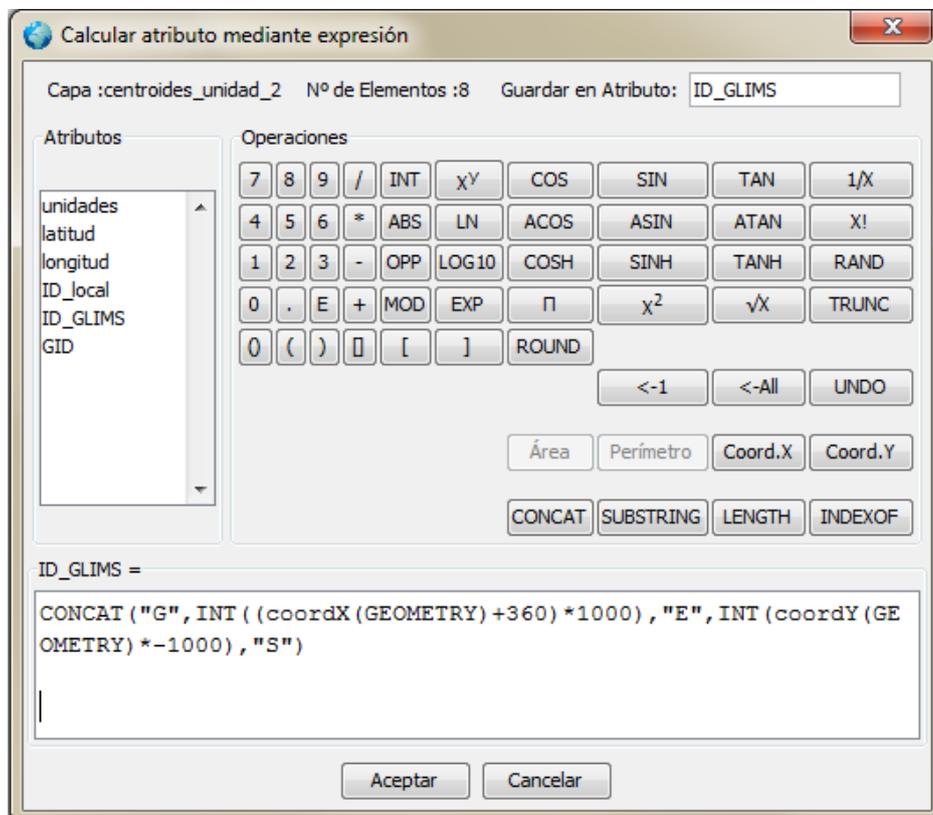
3. Calcular el centroide para cada una de las unidades y re proyectar el shape resultante, según lo explicado para el cálculo de longitud y latitud de los polígonos.
4. Agregar dos columnas a la base de datos, una para el ID_local y otra para el GLIMS_ID (string)
5. El ID_local se calcula aplicando la siguiente expresión:

CONCAT("G",INT(coordX(GEOMETRY)*-10000),"O",INT(coordY(GEOMETRY)*-10000),"S")



6. El GLIMS_ID se calcula:

CONCAT("G",INT((coordX(GEOMETRY)+360)*1000),"E",INT(coordY(GEOMETRY)*-1000),"S")



7. Hacer unión espacial de la base de datos en base al campo unidad, y según lo explicado para el cálculo de latitud y longitud de polígonos.
8. Guardar el shape para que conserve las nuevas columnas obtenidas

➤ **Cálculo de altura máxima , media y mínima (por unidades)**

En este caso procederemos de la misma manera que en el caso de los polígonos pero emplearemos el archivo vectorial al que aplicamos un “dissolve”.

Luego deberemos vincular la base de datos de polígonos con la que acabamos de calcular los parámetros para que todos los parámetros queden incluidos en la misma base de datos.

➤ **Cálculo de largos**

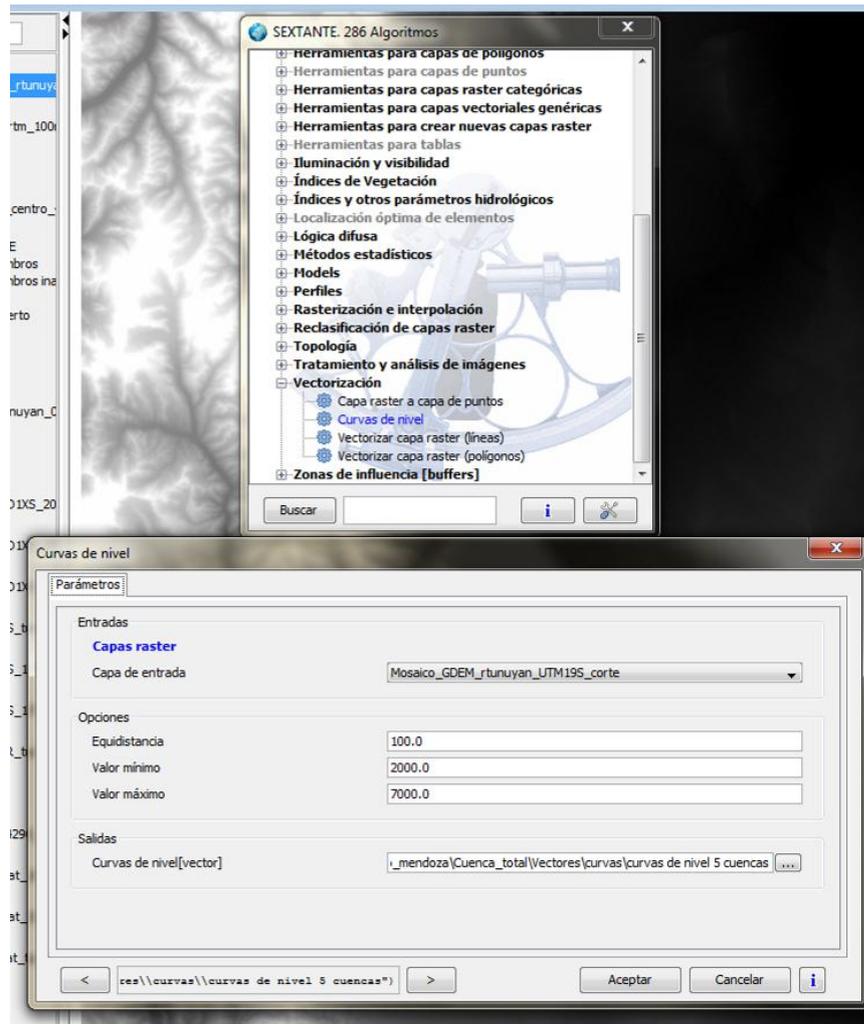
Este parámetro se calcula de forma manual a partir del trazado de la línea de flujo de cada glaciar desde la parte más alta del mismo, perpendicular a las curvas de nivel, hasta su límite inferior.

Para obtener de manera sencilla las curvas de nivel, utilizaremos la herramienta sextante. Esta herramienta está disponible desde SAGA, Kosmo y gvSIG entre otros. En Kosmo en algunas ocasiones no da buenos resultados, por lo que proponemos utilizarla desde GvSIG.

Tendremos que tener cargado nuestro modelo digital de elevación en la vista del proyecto.

Seleccionaremos Sextante >> Barra de herramientas de sextante .

Se abre un menú en el cual seleccionaremos Vectorización >> Curvas de nivel

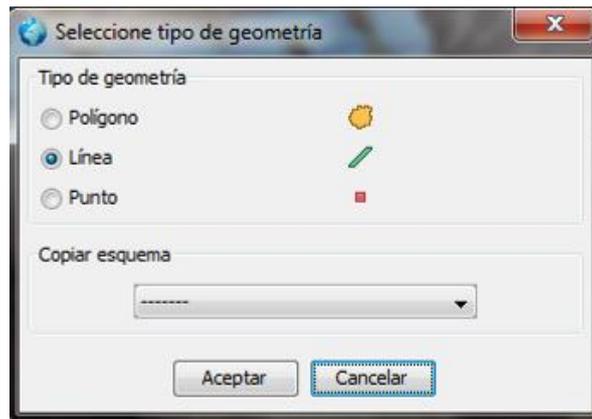


Los parámetros que tenemos que introducir será el MDE, y podremos elegir la equidistancia queremos que tengan las curvas de nivel así como el rango de distribución de alturas. Elegimos donde se guardará el fichero de salida y aceptamos.

Conviene recortar el MDE para trabajar con áreas de menor tamaño para que el proceso de generación de curvas no demore mucho tiempo.

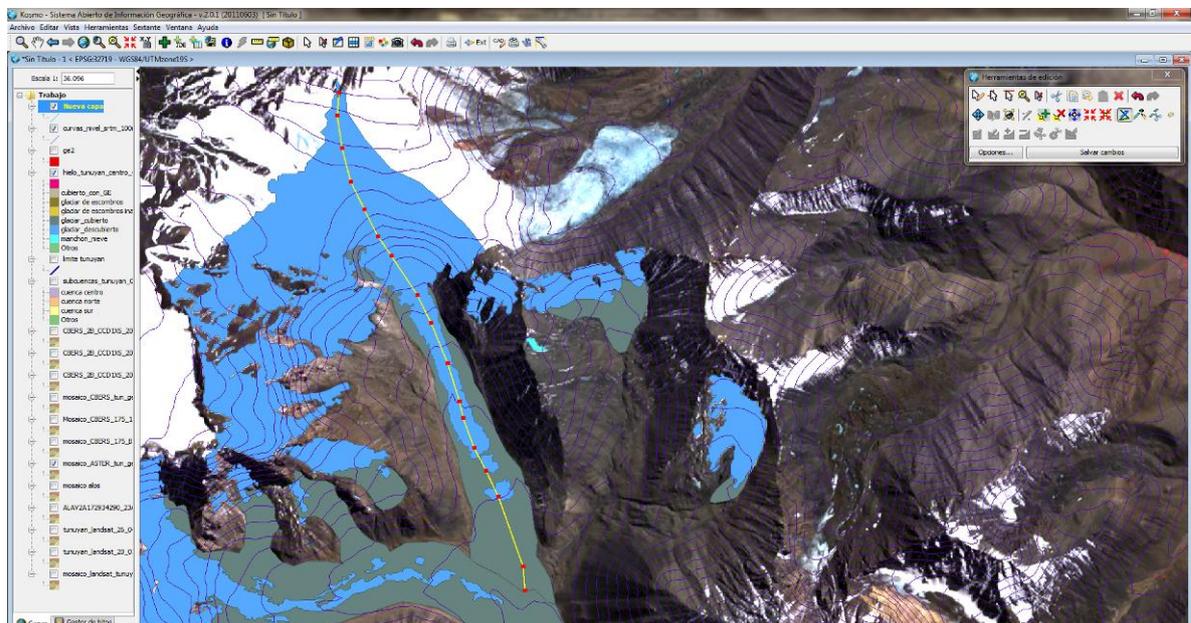
Una vez obtenidas las curvas de nivel, nos servirán de referencia para trazar los largos.

Desde nuestro proyecto SIG Kosmo, crearemos una nueva capa seleccionando desde la **Barra de menús**: Vista >> Añadir nueva capa

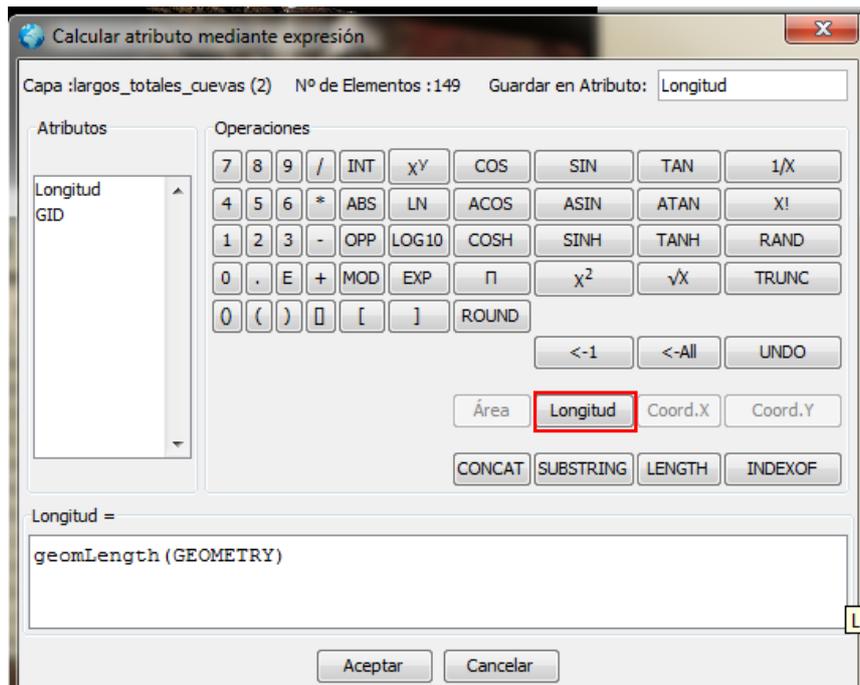


Se carga la nueva capa, la cual tendremos que poner en edición para poder trazar los largos.

Seleccionamos el botón dibujar línea .



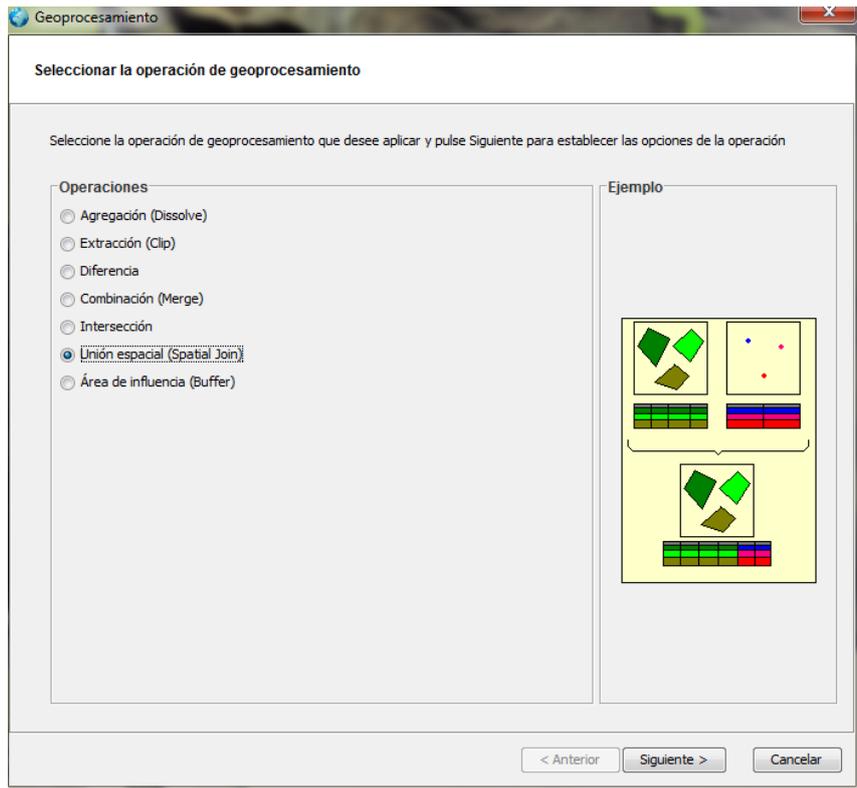
Iniciaremos la línea de flujo desde la parte más alta del glaciar, siguiendo hacia la parte más inferior, tratando de que el trazado sea perpendicular a las curvas de nivel. Finalizaremos la línea con un doble clic. Haremos este proceso para todos aquellos glaciares inventariados en nuestro proyecto. Después tendremos que calcular en nuestra tabla de atributos las longitudes (previamente deberemos crear un campo donde se calcularán las longitudes).



En atributos seleccionamos longitud, y después hacemos clic en longitud (señalado con rectángulo rojo). Aceptaremos, nos pedirá si deseamos sobrescribir el campo y aceptaremos nuevamente. De esta forma obtendremos los largos de los glaciares en base a las líneas trazadas manualmente.

Para añadir los resultados obtenidos del cálculo de longitudes de los glaciares, tendremos que vincular la capa de longitud con la de glaciares.

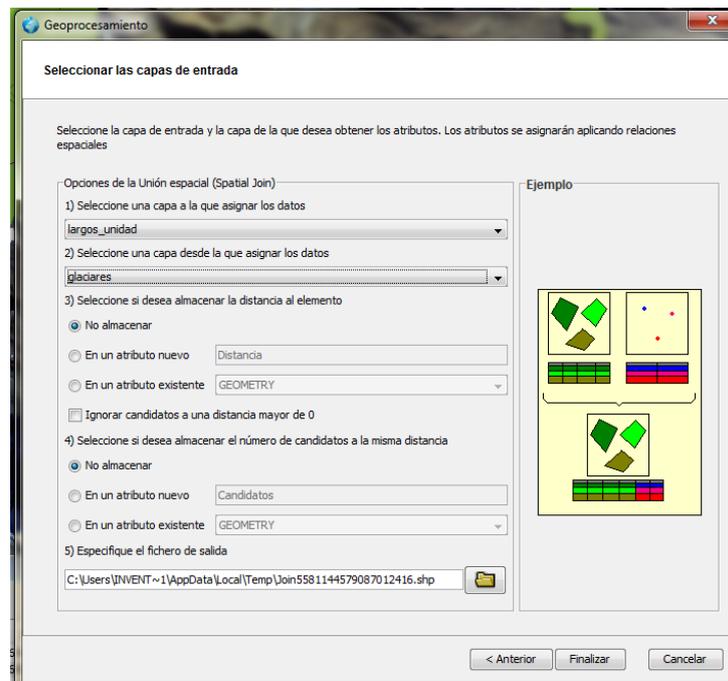
En Herramientas seleccionamos Asistente para operaciones de geoprocetamiento. Después la opción de Unión espacial.



En la capa a la que asignar los datos seleccionamos el shape que contiene los largos de los glaciares.

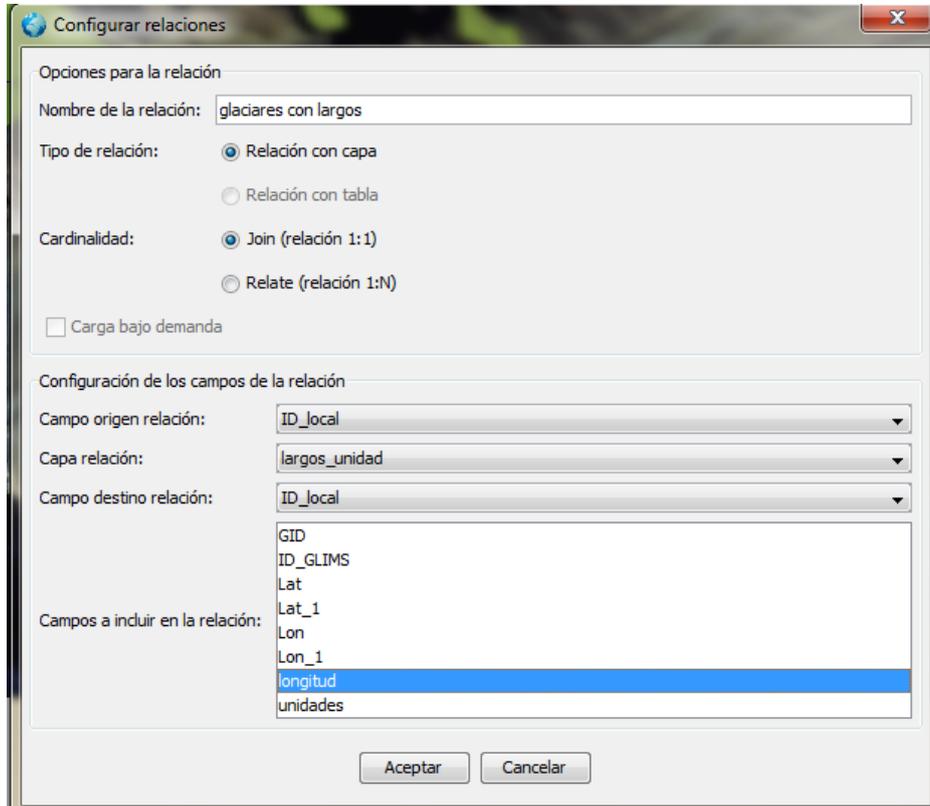
En la capa desde la que asignar los datos, seleccionaremos el shape que contiene los glaciares.

El resto de opciones se dejan como aparecen por defecto.



De este modo, si abrimos la tabla de atributos del nuevo shape generado, veremos que todos los datos de la capa de glaciares han sido asignados a la capa de longitudes.

Por último, deberemos vincular el campo longitud al shape de glaciares, para ello con el botón derecho sobre la capa de glaciares seleccionaremos la opción Configuración avanzada y configurar relaciones.

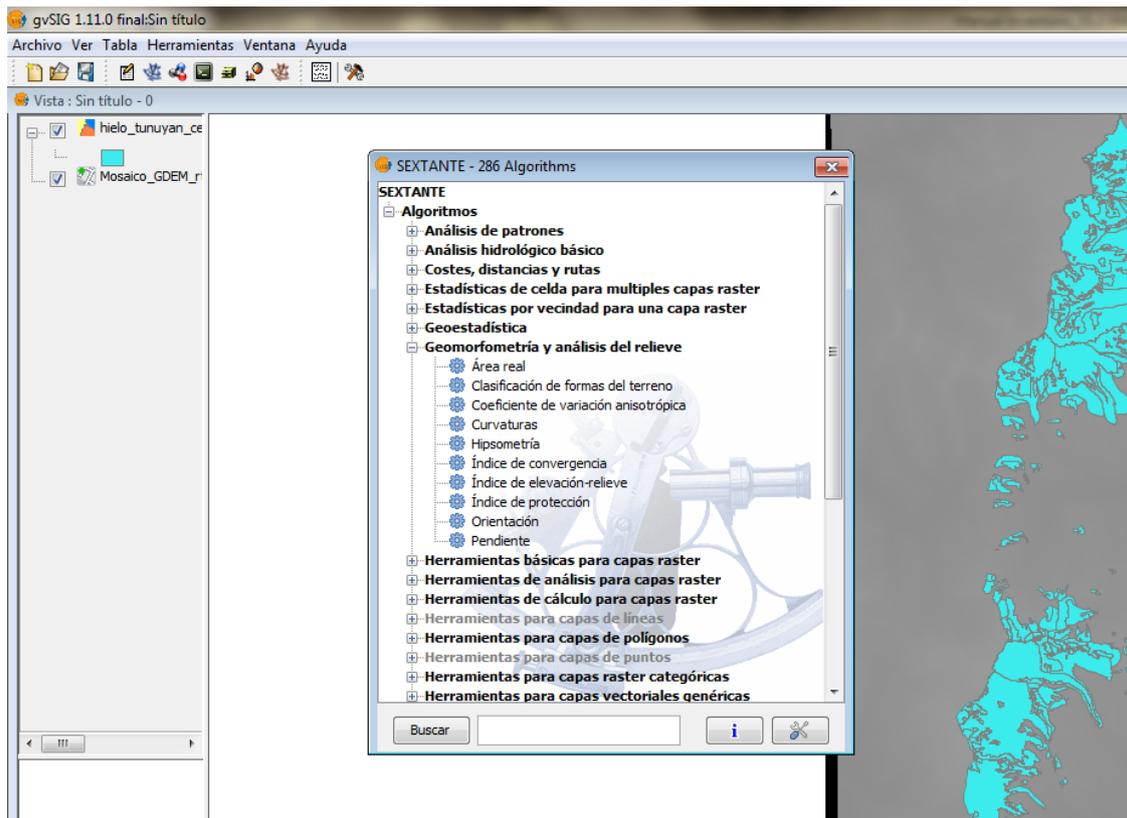


Estableceremos una nueva relación y le daremos un nombre. Después en Campo origen relación pondremos el campo en común que existe entre nuestros dos shapes (puede ser el campo unidad, ID o GID), en capa relación seleccionamos el shape obtenido a partir de la unión espacial realizada en el paso anterior, y en campo destino relación de nuevo el campo en común entre las dos capas.

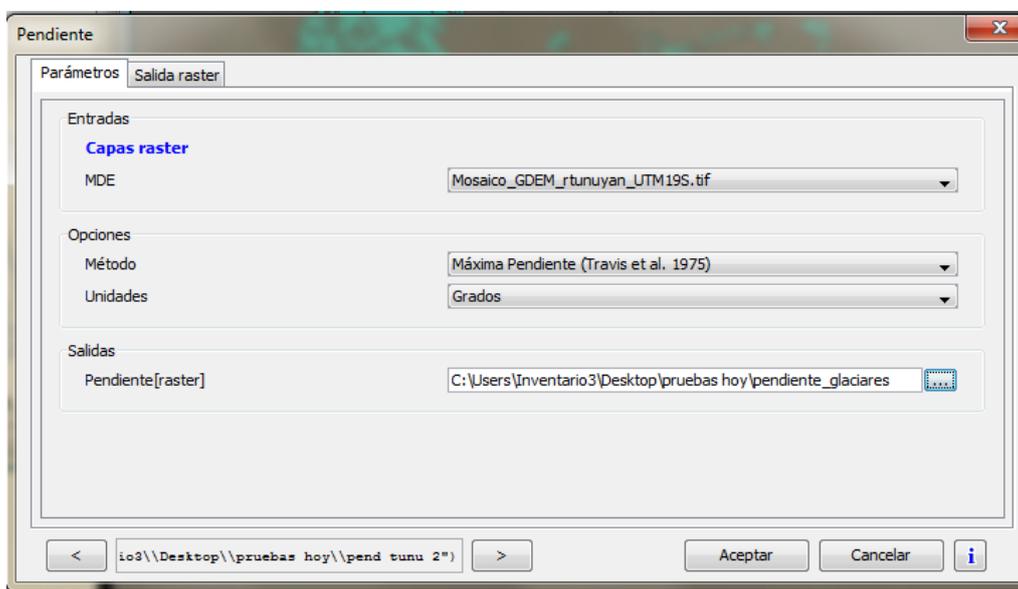
El campo a incluir en la relación será el del largo o longitud.

➤ Cálculo de la pendiente media

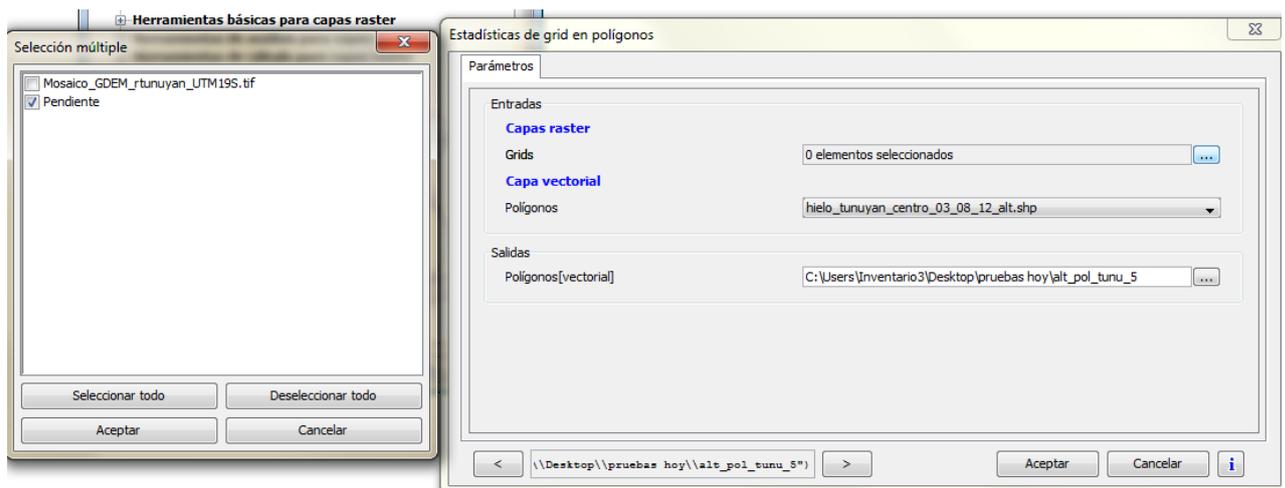
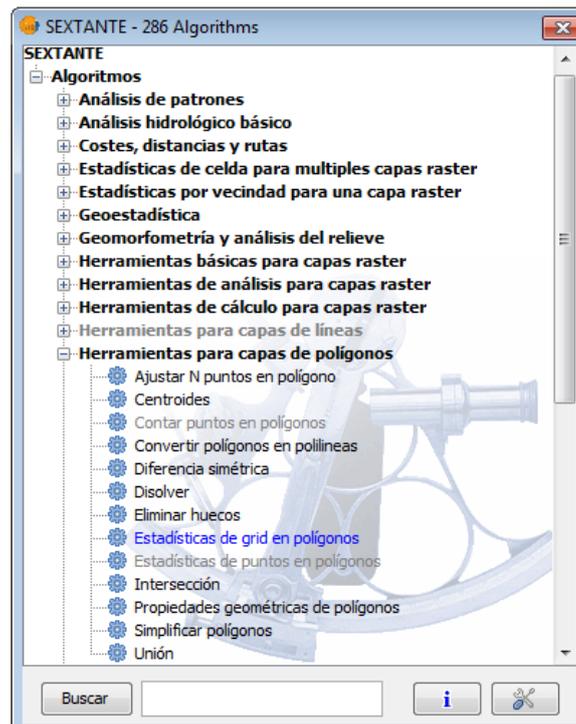
Para el cálculo de la pendiente media utilizaremos nuevamente la extensión Sextante con el programa gvSig. El primer paso consiste en calcular las pendientes a partir del DEM. Para ello deberemos traer al proyecto el modelo de elevación y nuestra capa de glaciares. Utilizaremos la herramienta Geomorfometría y análisis de relieve y dentro de este grupo Pendiente.



En entrada ingresamos el DEM y luego seleccionamos el método para el cálculo de las pendientes (dejamos el que está por defecto) y las unidades en grados. Finalmente, le damos un nombre a la salida. Obtendremos una capa raster con las pendientes de nuestros glaciares.



Por último, para extraer la información en un shape, deberemos ir al sextante, herramienta para capas de polígonos y Estadística de grid en polígonos.



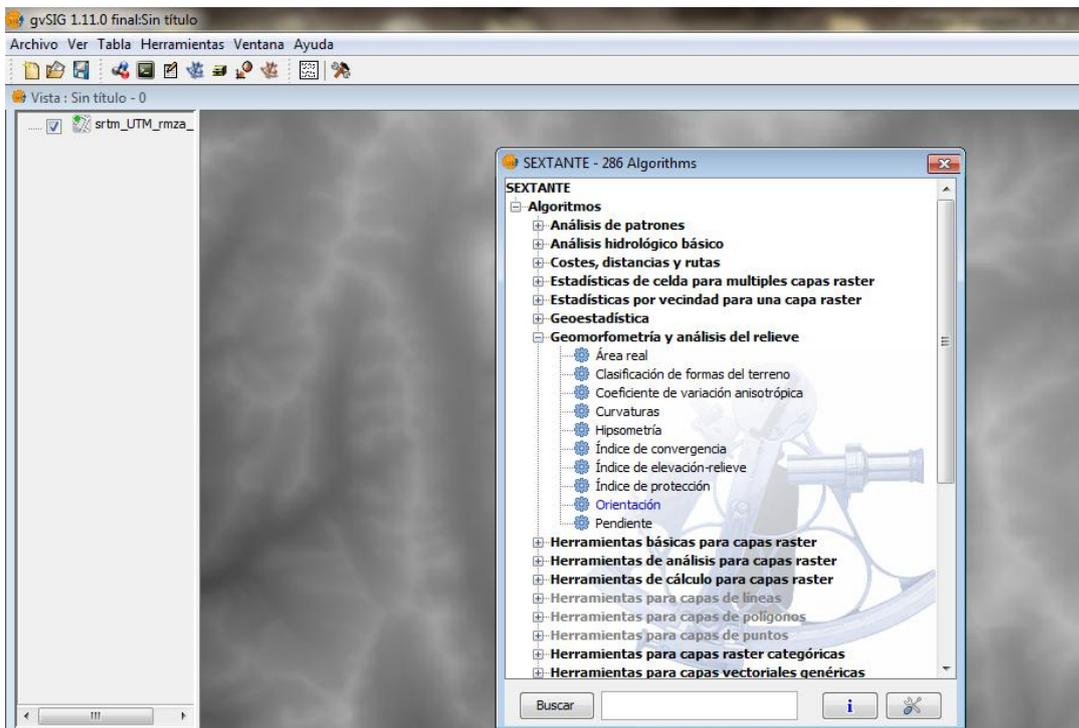
En entrada seleccionaremos la capa raster de pendientes generada en el paso anterior, como capa vectorial la capa de glaciares y le damos un nombre al archivo y lo guardamos. Al abrir la tabla de atributos veremos que nos genera varias columnas (pendiente media, máxima, mínima y varianza) nos quedaremos con la pendiente media.

➤ Cálculo de la Orientación

Existen metodologías automáticas para calcular las orientaciones de un glaciar a partir de un MDE, normalmente se obtienen como un promedio de las orientaciones de los píxeles. Una forma rápida de calcular automáticamente las orientaciones de nuestras geoformas utilizando el programa **GvSIG 1.11** sería así:

Primero abriremos nuestro modelo digital de elevación.

Después con la herramienta “Sextante”  seleccionaremos Geomorfometría y análisis de relieve >> Orientación



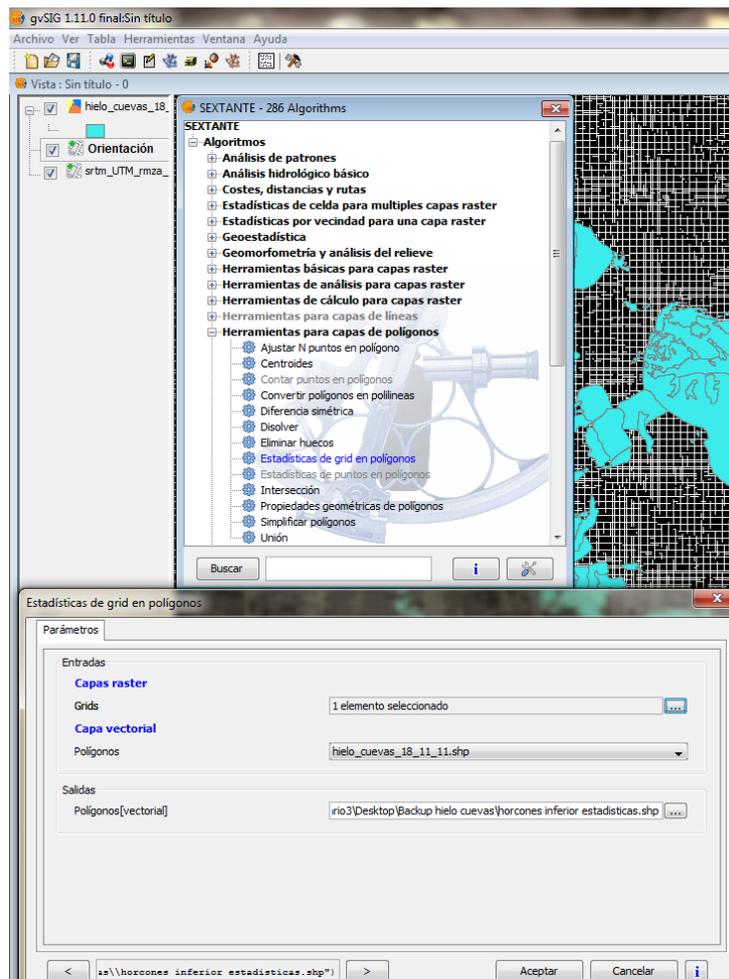
Se despliega una ventana en la cual tendremos que poner como entrada el MDE al que vamos a calcular las orientaciones, las unidades (grados), el método y la carpeta de salida donde se guardarán los resultados.

Las orientaciones vendrán dadas por clases correspondientes a los 8 puntos cardinales, que se distribuyen de la siguiente forma:

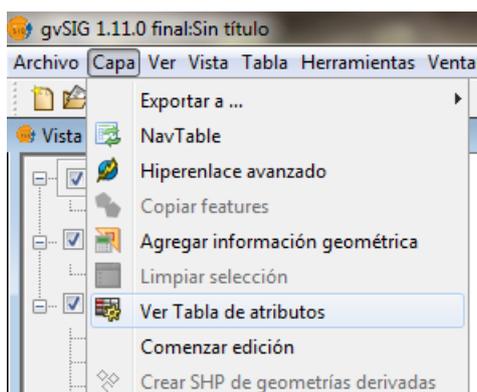
Orientación	Valor
N	0-22,5
NE	22,5-67,5
E	67,5-112,5
SE	112,5-157,5
S	157,5-202,5
SO	202,5-247,5
O	247,5-292,5

NO	292,5-337,5
N	337,5-360

En el paso siguiente obtendremos las orientaciones para nuestros glaciares, para ello cargaremos en nuestro proyecto la capa correspondiente. Después con la herramienta “Sextante”  seleccionaremos Herramientas para capas de polígonos >> Estadísticas de grids en polígonos.



Se generará un nuevo shape. Lo seleccionamos con el ratón, después en la barra de herramientas vamos a “Capa” >> Ver tabla de atributos



En la tabla de atributos del shape, se generan en la parte derecha de la tabla, 4 nuevos campos, correspondientes a orientación máxima, mínima, media y varianza.

MED_orient	VAR_orient	MIN_orient	MAX_orient
31.25512	301.55603	5.10889	69.39814
137.1297	158.6323	119.3779	152.56502
96.88896	6819.46057	0.515	358.16925
101.05356	2193.06424	27.11463	355.84872
152.90714	1348.56676	70.0836	206.20012
155.10182	24176.82922	1.07585	360.0
99.32487	368.28211	80.13419	118.51555
94.53864	6.28722	90.8814	97.95489
160.73257	719.49645	86.13454	221.87119
171.45596	9.89302	168.31064	174.60127
53.98849	3793.1363	4.12477	347.22583
159.76402	547.17539	119.50801	232.58401
275.73218	4186.23052	133.07805	346.40515

Para llevar estos valores a nuestro proyecto SIG de inventario, tendremos que cargar este nuevo shape en el programa Kosmo, que es el programa utilizado para recopilar las bases de datos de nuestros glaciares.

Una vez cargado el shape tendremos que configurar una relación, de la misma forma que fue explicado en el apartado 8.3.1 de unión de bases de datos.

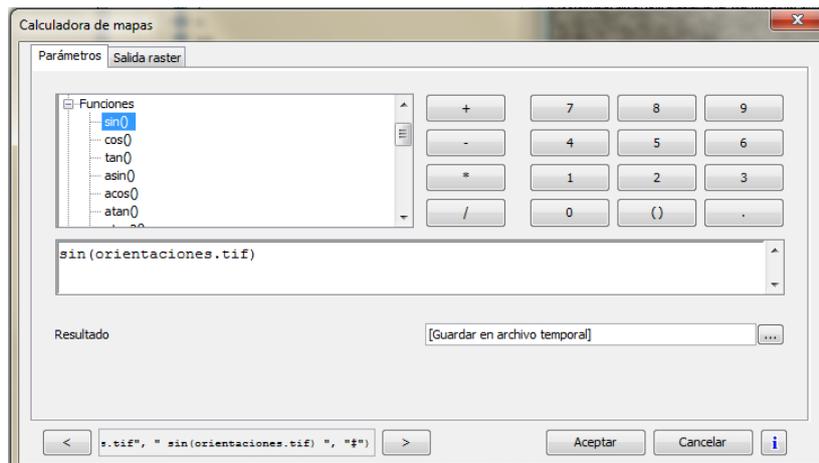
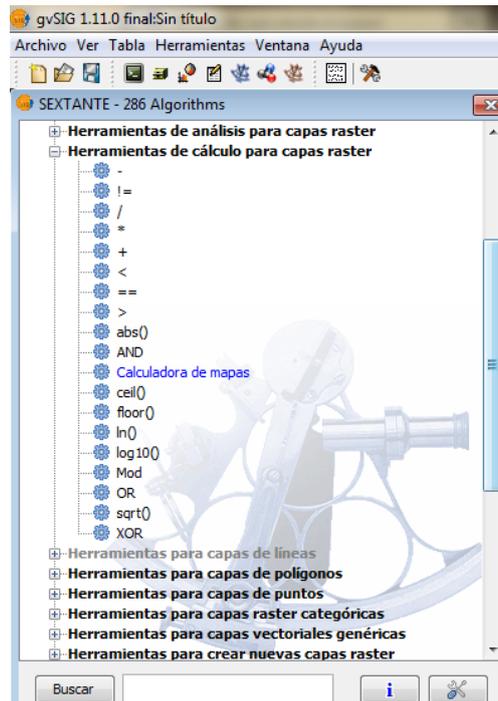
Por último, tendremos que reemplazar los valores obtenidos para cada clase, por el punto cardinal correspondiente.

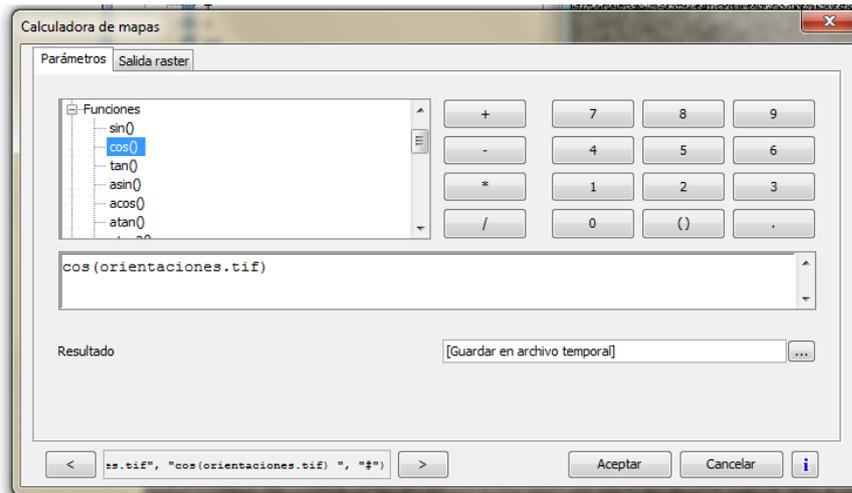
Sin embargo, tendremos que tener en cuenta algo muy importante, supongamos que tenemos un glaciar con una orientación próxima a 0° , lo que es igual a 360° . Esto quiere decir que la grilla de orientación del glaciar tendrá pixeles con valores próximos a 0° (de 1 a 10 grados por ejemplo) y otros tantos próximos a 360° (de 340° a 350° por ejemplo). Dado que nuestro GIS calcula la orientación media, esto quiere decir que entre 0 y 360 grados, la media es 180° , de manera que ahora nuestro glaciar estaría orientado hacia el sur.

Para corregir estos posibles errores, deberemos seguir el primer paso anteriormente explicado, herramienta "Sextante"  seleccionaremos Geomorfometría y análisis de relieve >> Orientación, pero en este caso seleccionar en la ventana de Opciones las unidades en radianes.

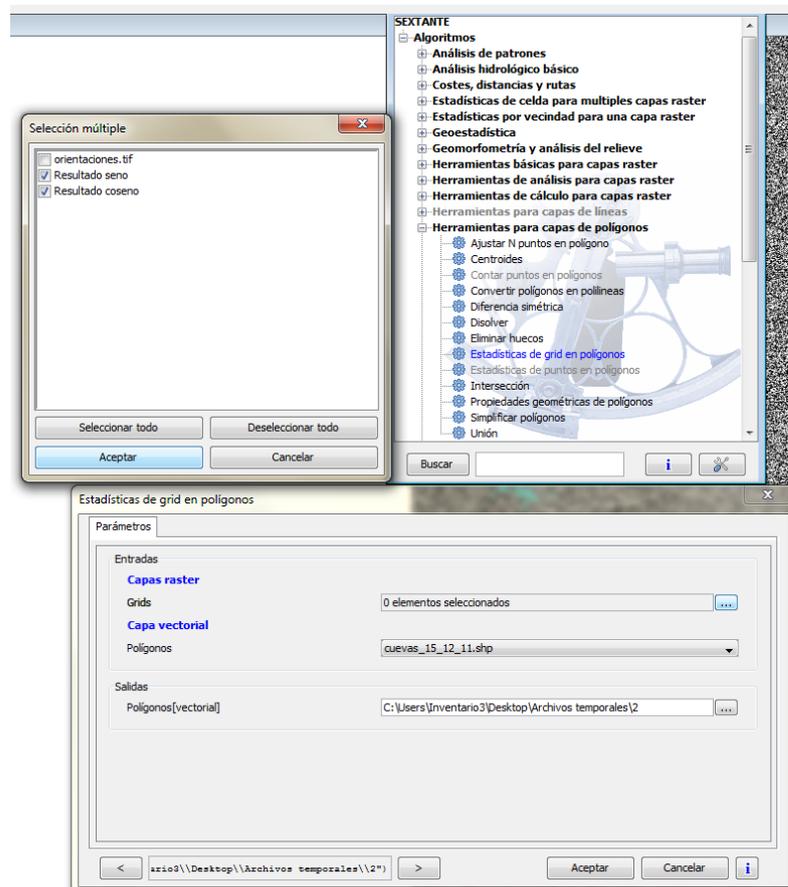
Por último, tendremos que reemplazar los valores obtenidos para cada clase, por el punto cardinal correspondiente.

A partir del mapa de orientaciones obtenido, en Herramientas de cálculo para capas Raster >> Calculadora de mapas >> Funciones, calcularemos el seno y coseno.





Después, cargamos nuestra capa de glaciares, y vamos a la herramienta “Sextante” seleccionaremos Herramientas para capas de polígonos >> Estadísticas de grids en polígonos.



En la entrada de capas ráster, seleccionamos el resultado obtenido en el paso anterior (seno y coseno), en capa vectorial la capa de glaciares. Ahora en la tabla de atributos tendremos para cada glaciar dos valores nuevos que corresponden al mean seno y mean coseno de la orientación de cada uno de ellos. Por defecto se obtendrán otros datos que no necesitamos como valores máximos y mínimos que podemos eliminar de la base de datos.

Finalmente, tendremos que reemplazar los valores obtenidos para cada clase, por el punto cardinal correspondiente.

Luego abrimos el archivo .dbf del shape con un programa que trabaje con planillas de cálculo en donde completaremos el procedimiento.

En primer lugar calculamos la arcotangente a partir del seno y coseno, que están en radianes, mediante la función ATAN().

C2			f _x
A	B	C	
sin_orient [MEAN]	cos_orient [MEAN]	arc_tang	=ATAN2(B2;A2)
-0,191827	-0,914111	-2,934743283	

En segundo lugar pasamos el valor obtenido en el paso anterior de radianes a grados, con la función GRADOS().

D2				f _x
	A	B	C	D
1	sin_orient [MEAN]	cos_orient [MEAN]	arc_tang	degrees
2	-0,191827	-0,914111	-2,934743283	-168,148404

En tercer lugar para obtener la orientación verdadera debemos realizar una operación más como se muestra en la figura a continuación.

E2					f _x
	A	B	C	D	E
1	sin_orient [MEAN]	cos_orient [MEAN]	arc_tang	degrees	orient real
2	-0,191827	-0,914111	-2,934743283	-168,148404	191,851596

Finalmente, tendremos que reemplazar los valores obtenidos para cada clase, por el punto cardinal correspondiente.

Por último, los dos últimos campos a rellenar en nuestra base de datos serán:

35. Fecha_imagen: Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.

36. Sensor: tipo de imagen con la cual se inventarió cada geoforma.

CAPITULO 9: Diseño de mapas

Uno de los resultados más visibles de un inventario de glaciares son los mapas, en los cuales se incluyen todas las geoformas inventariadas dentro de un marco geográfico. Para esta tarea, proponemos la utilización del software libre **Quantum Gis 1.7**.

Diseño de impresión

El diseñador de impresión es la herramienta de Quantum GIS (QGIS) que permite armar mapas con todos sus elementos periféricos (título, orientación, escala y referencias) con el objeto de imprimirlos o exportarlos a formato de imágenes, Postscript, PDF o SVG. El resultado también se puede exportar como plantilla para importarlo en otra sesión.

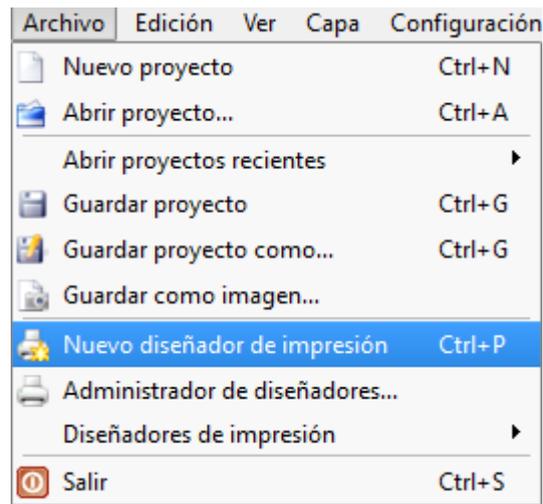
Antes de comenzar el diseño es necesario abrir en la ventana principal de QGIS las capas de información que se quieran utilizar en la composición y dar a las capas la apariencia que necesitamos. Para ello podemos consultar el manual que puede ser obtenido en el sitio <http://www.qgis.org/en/documentation/manuals.html>.

Los colores utilizados para la representación de cada tipo de glaciares se describen en la tabla presentada a continuación.

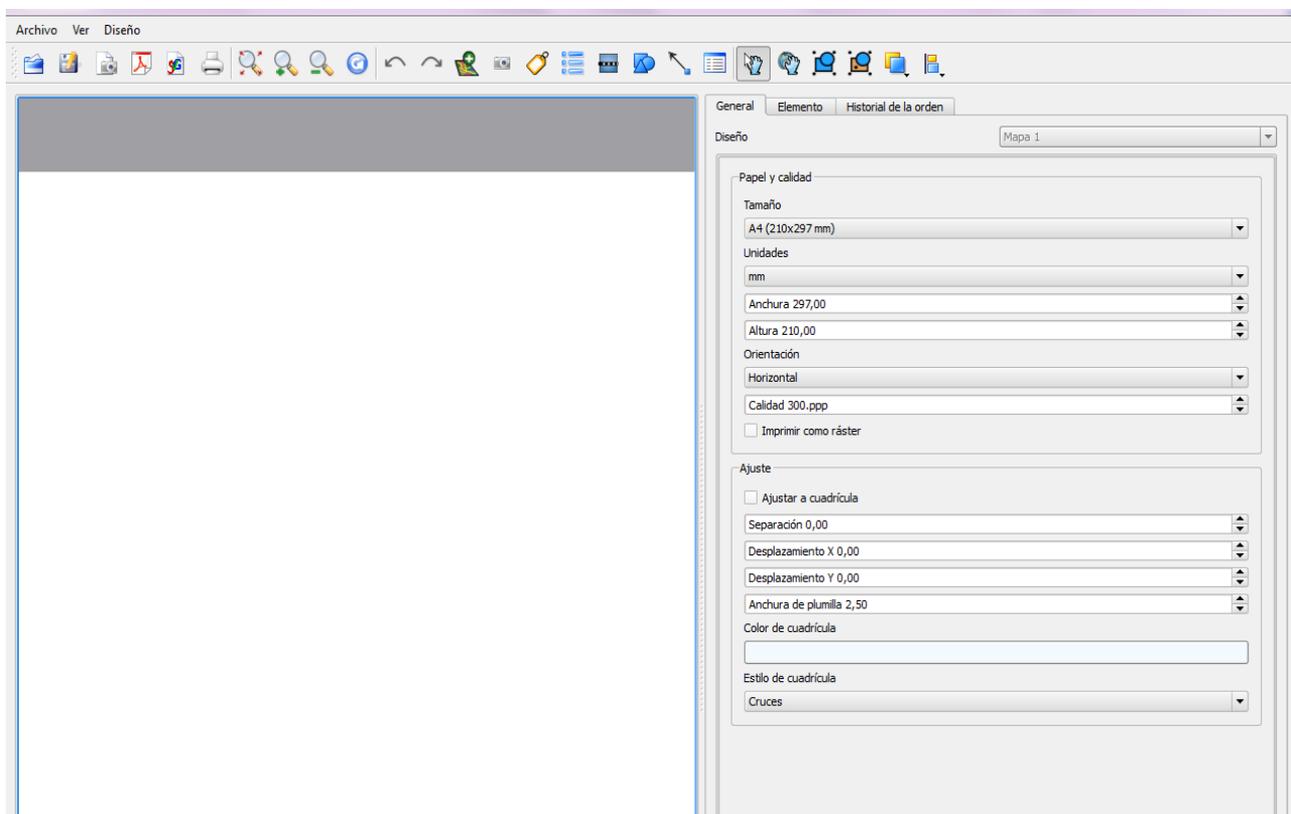
Tipo	Color		
	R	G	B
Glaciar descubierto	85	170	255
Manchón de nieve	85	255	255
Glaciar cubierto	102	131	127
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	189	183	155
Glaciar de escombros activo	139	124	39
Glaciar de escombros inactivo	224	200	62

1- Iniciar el diseñador de impresión

Cuando ya tenemos todo listo para comenzar a trabajar sobre el mapa debemos ir al menú principal y en Archivo seleccionar Nuevo diseñador de impresión.



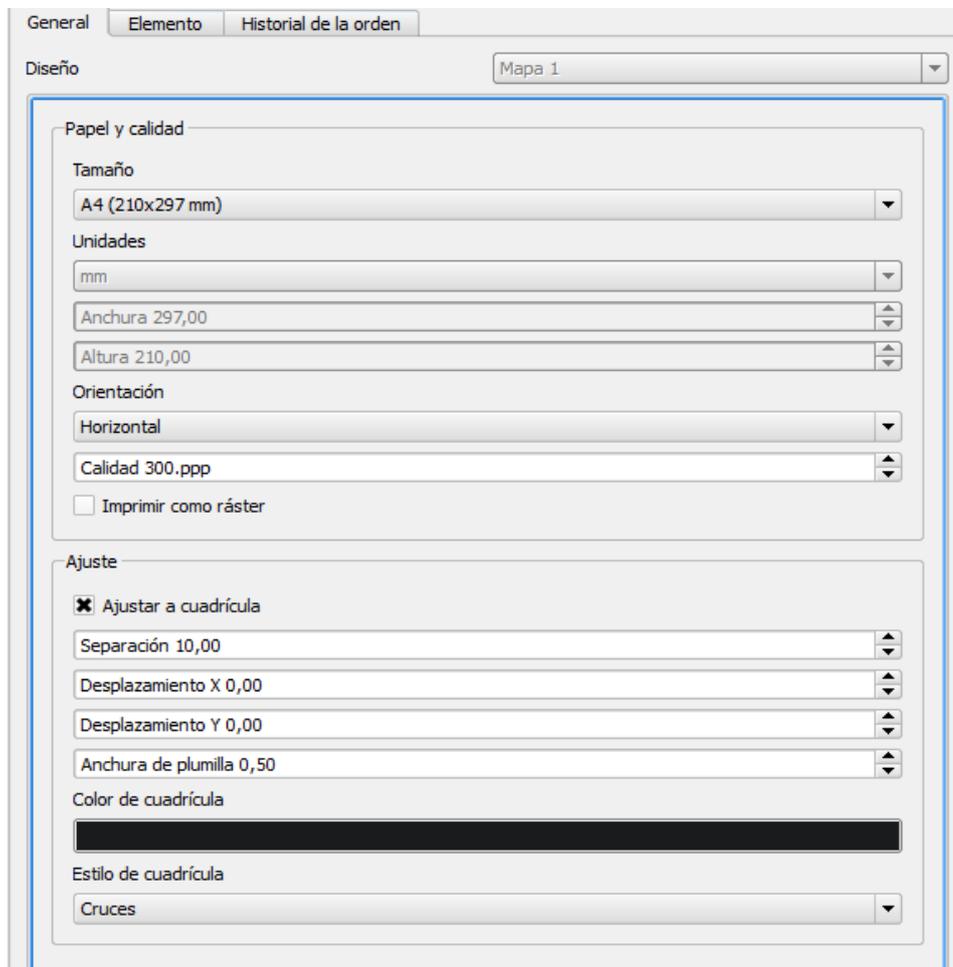
Al seleccionar esta opción se despliega un nuevo ambiente de trabajo.



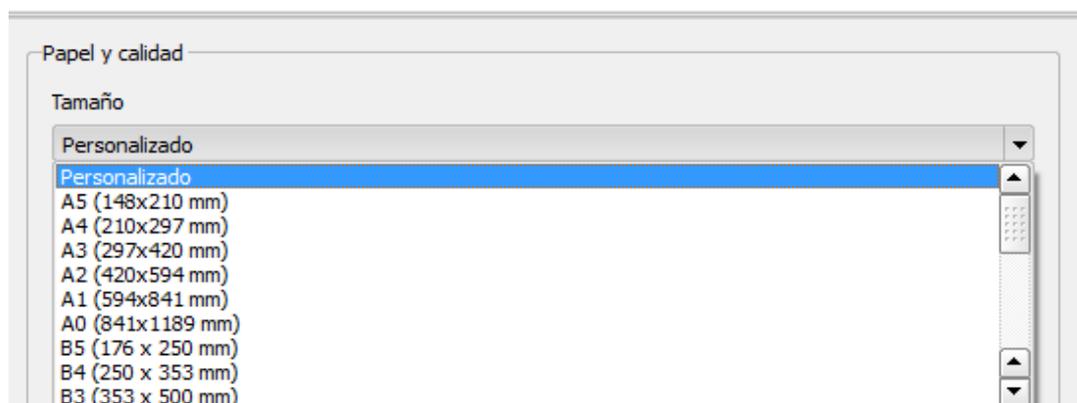
A la izquierda de la nueva ventana encontraremos el ambiente gráfico en el que diseñaremos la salida y a la derecha tres pestañas, una en la que definimos el ambiente general del trabajo, otra en la que se definen las características de los diferentes elementos que componen el mapa y en la tercera se guarda el historial de los pasos realizados.

2- Configurar el ambiente de la impresión

Para configurar el ambiente de la impresión debemos seleccionar la pestaña General. Allí encontraremos dos apartados uno denominado Papel y calidad y otro Ajuste.



En Papel y calidad podemos seleccionar el tamaño del papel para la salida de impresión. Existen diferentes formatos preestablecidos o también se puede optar por un tamaño personalizado.



En caso de seleccionar el tamaño personalizado quedará habilitada la opción unidades en donde podemos colocar el alto y el ancho deseado.

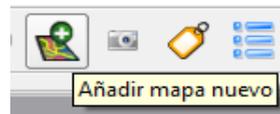
Finalmente podemos escoger la orientación que tendrá la salida y la calidad de la imagen según la cantidad de dpi (dots per inch, unidad de medida de la resolución de una imagen).

La opción Ajuste permite pegar los objetos que vamos a desplegar en el mapa de acuerdo con una grilla. Esta opción sólo funciona si se establece una separación mayor a 0.

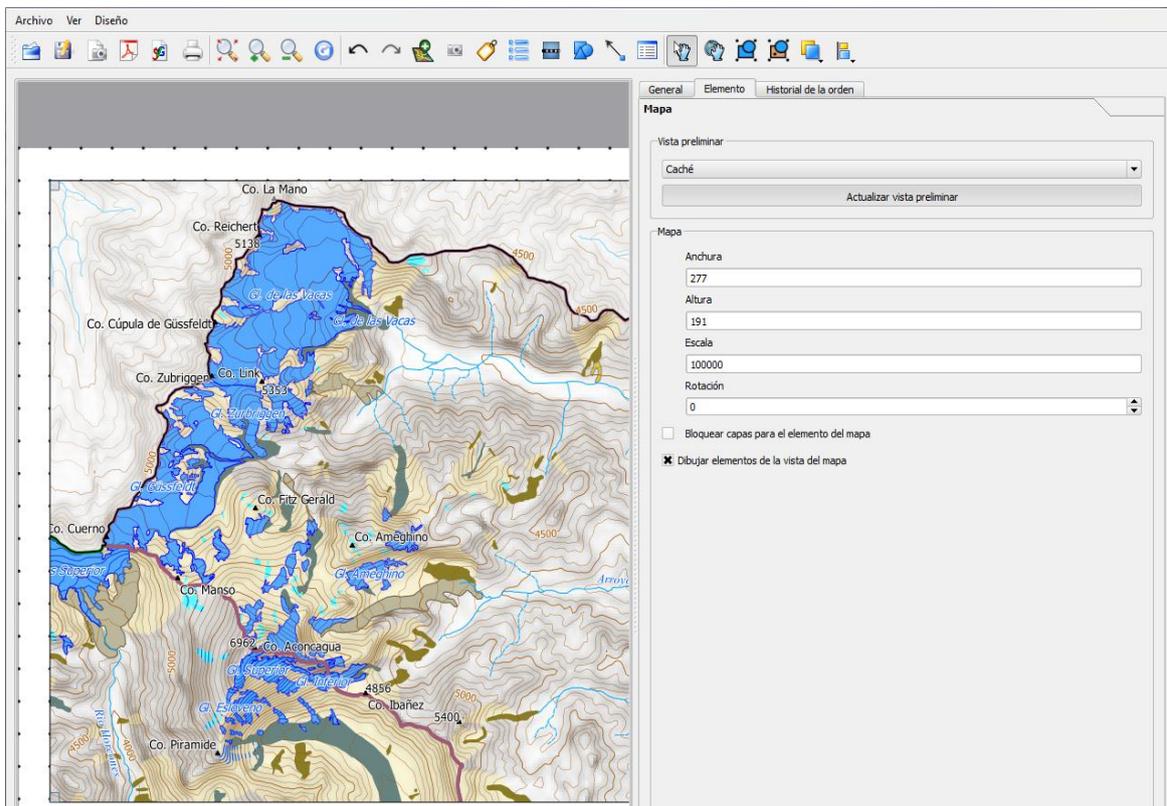
3- Añadir el mapa

Una vez definido el ambiente general podemos comenzar a incorporar los elementos que llevará el mapa.

En primer lugar vamos a insertar la vista realizada en la pantalla principal de QGIS, para ello en la pantalla del diseñador ir a la opción Añadir mapa nuevo.



Con esta herramienta realizaremos un recuadro que representará el área de nuestro mapa.



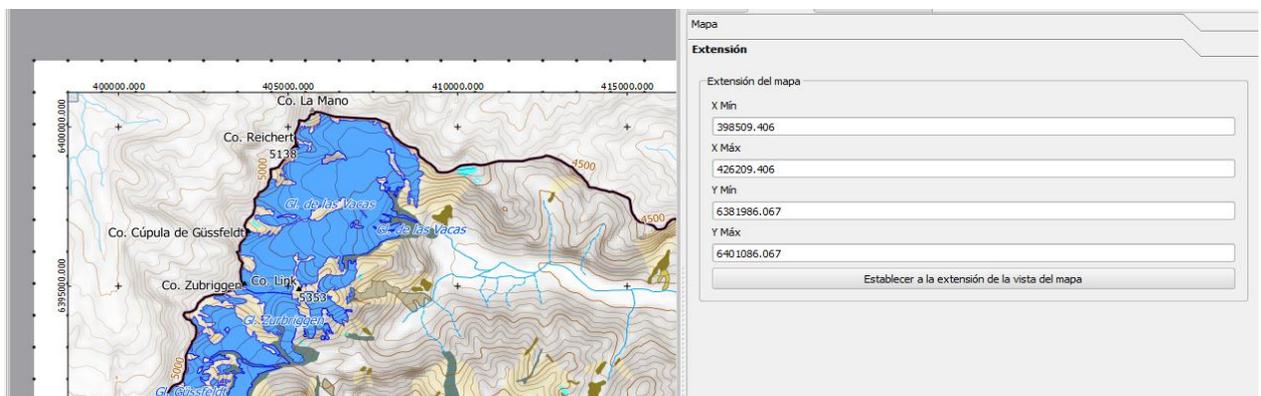
En la parte superior de la ventana de diseño podemos encontrar una serie de herramientas para guardar la plantilla, exportar el mapa a diferentes formatos, imprimir, diferentes herramientas de zoom, deshacer y rehacer cambios, etc. Después de realizar cualquier cambio es importante utilizar el botón actualizar vista para poder observar los cambios, de lo contrario

no los mostrará.

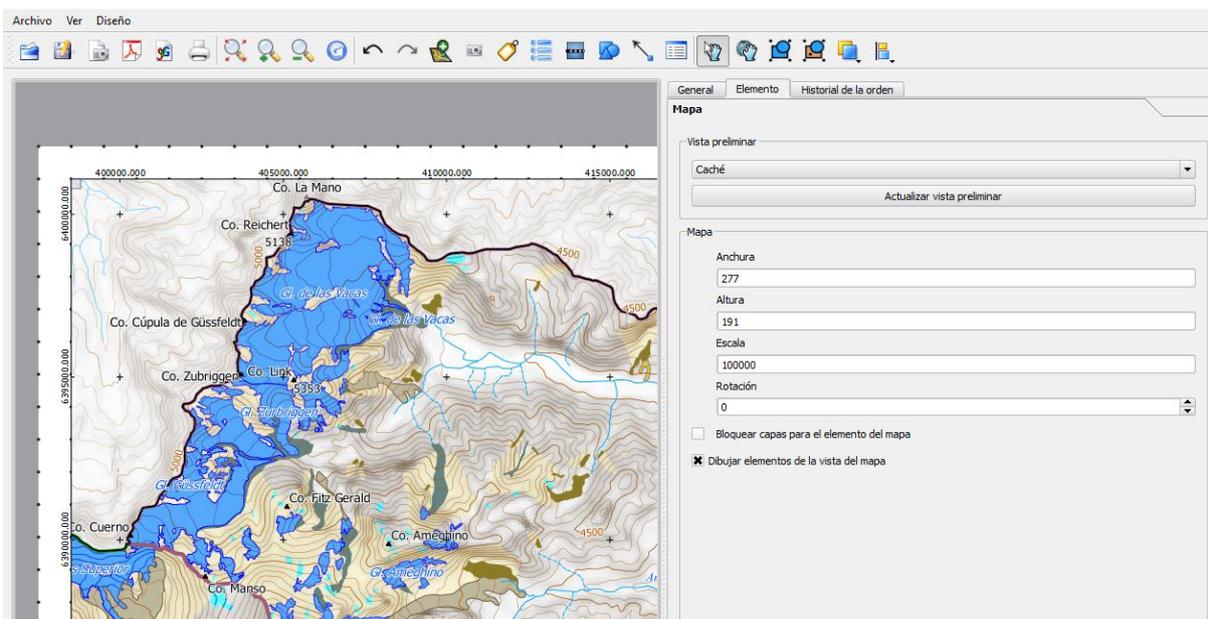
En la pestaña Elemento encontraremos una serie de opciones para determinar las características que tendrá el mapa. Estas opciones son: Mapa, Extensión, Rejilla y Opciones generales.



Mapa: aquí podemos ajustar el ancho y el alto del mapa, así como establecer una escala e incluso rotar el mapa.



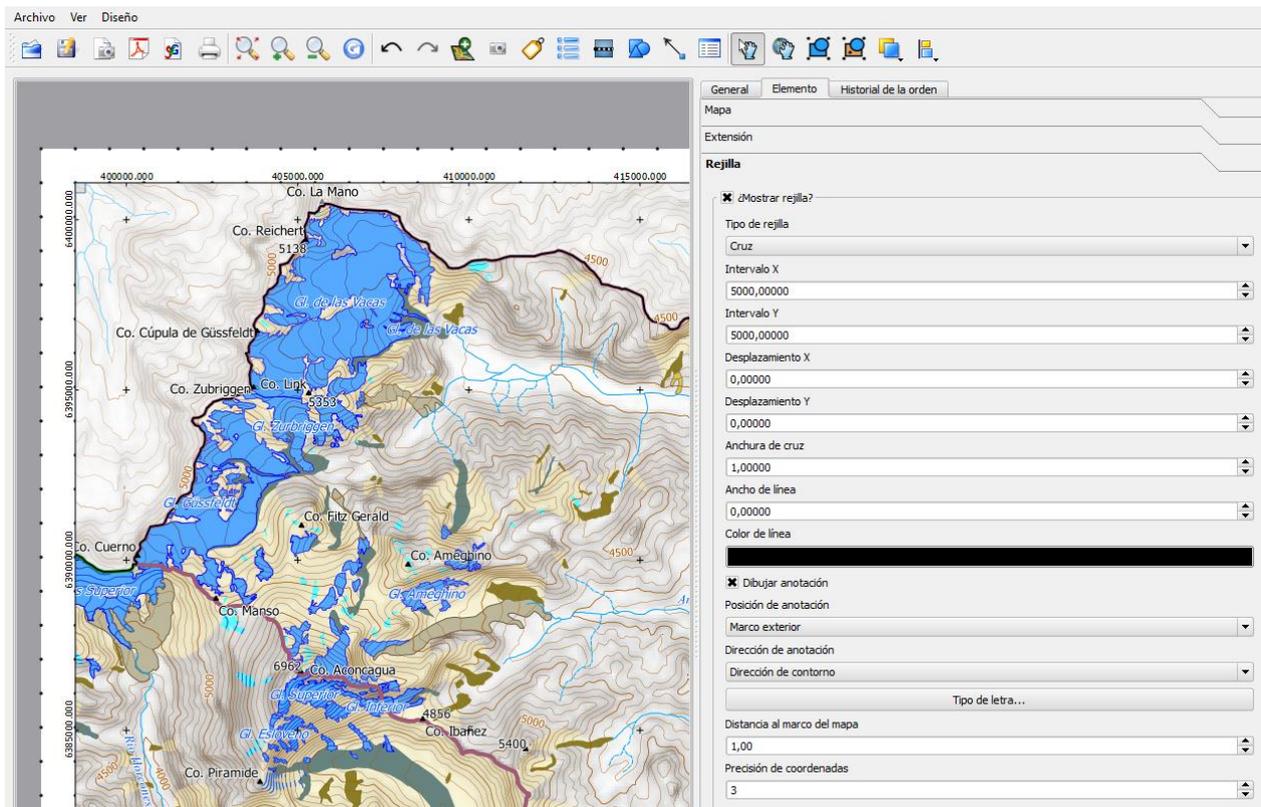
Extensión: podemos establecer de acuerdo a las coordenadas del mapa la extensión que tendrá la salida o establecer la extensión a partir de la vista del mapa.



Rejilla: activando la opción mostrar rejilla podemos establecer una grilla con las

coordenadas del mapa, seleccionar si los intervalos de la grilla se marcarán con cruces o con líneas sólidas, establecer la distancia del intervalo según las unidades del mapa y el ancho y el color de la línea o de la cruz.

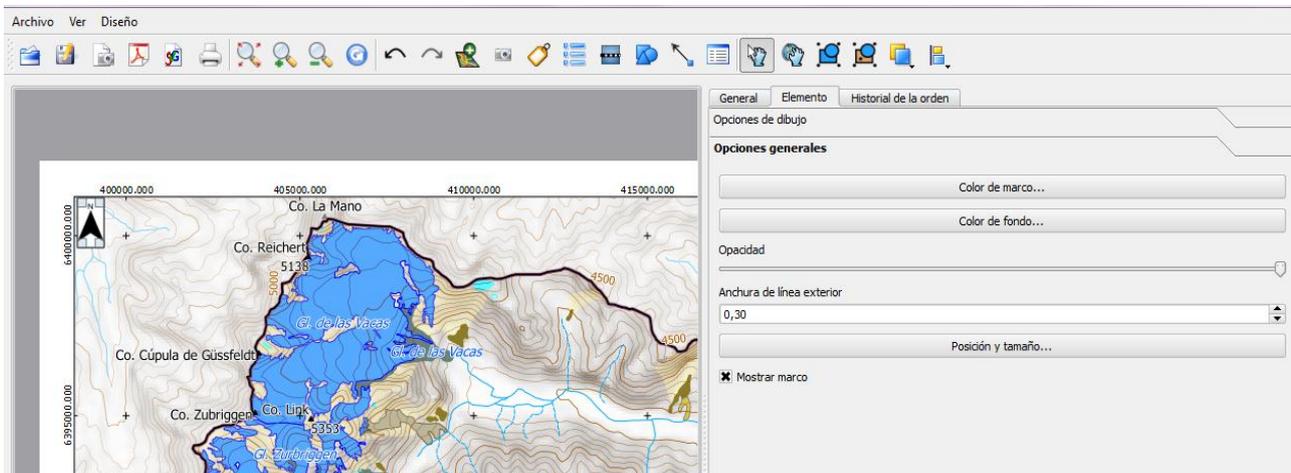
Al activar la opción Dibujar anotación podremos colocar el texto correspondiente a los intervalos. En posición de la anotación es posible seleccionar si las mismas irán en el interior o exterior del mapa, en la dirección elegimos si van en sentido vertical, horizontal o en el sentido de los ejes. También se puede escoger el tipo de letra del texto, la distancia a la que será colocado del marco y en precisión de las coordenadas la cantidad de decimales que utilizaremos.



Opciones generales: finalmente aquí podemos seleccionar el color del marco del mapa, el color del fondo, la opacidad, el ancho de la línea del marco y la posición y tamaño. Existe también una opción que permite mostrar o no el marco.

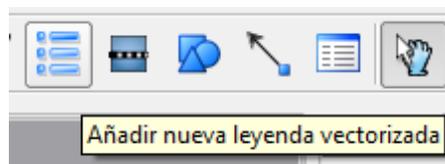
y altura en la pestaña Elemento.

En las Opciones Generales se puede cambiar el color del marco y del fondo del norte, ajustar el ancho de la línea del marco, establecer transparencia y activar o desactivar la posibilidad de mostrar el marco.



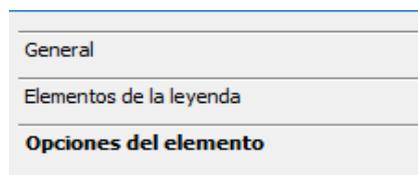
5- Añadir las referencias

Para incluir las referencias en el mapa debemos hacer un clic sobre el ícono Añadir nueva

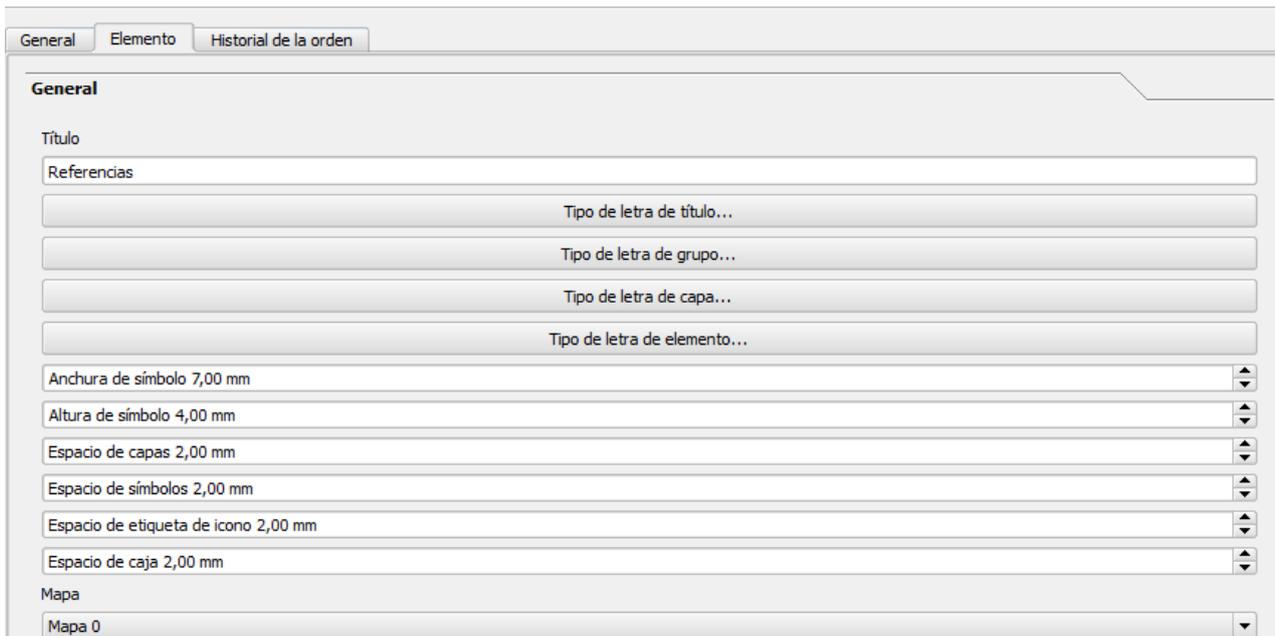


leyenda vectorizada.

Luego ir al sector del mapa en donde insertaremos la leyenda y hacer un clic. En la pestaña Elemento aparecerán una serie de opciones: General, Elementos de la leyenda y Opciones del elemento.

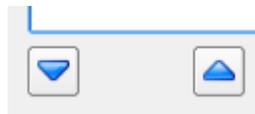


General: aquí podemos definir el título que llevará la leyenda, el tipo de letra de los diferentes elementos que la componen, la altura y el ancho de los símbolos, así como el espacio entre los diferentes elementos.

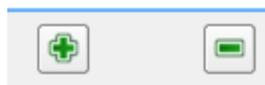


Elementos de la leyenda en la parte superior de esta ventana aparece un listado con todas las capas que hemos incluido en la vista y en la parte inferior una serie de opciones para establecer el diseño de la leyenda.

Los íconos presentados a continuación nos permiten seleccionar una capa y moverla hacia arriba o hacia abajo de acuerdo a la posición que queremos que ocupe en la leyenda.

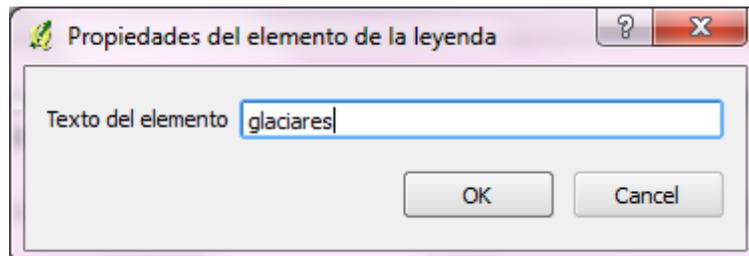


Los íconos siguientes nos permiten eliminar capas que no queremos que figuren en la leyenda o agregar alguna capa que por algún motivo no figure en el listado.



También podemos editar el nombre que llevará la capa con el siguiente ícono





Finalmente con el botón Actualizar aceptaremos los cambios utilizados.

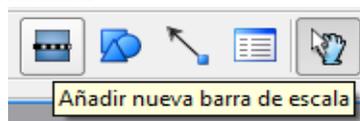
Opciones Generales: en este sector podemos cambiar el color del marco y del fondo de las referencias, ajustar el ancho de la línea del marco, cambiar la transparencia y activar o desactivar la posibilidad de mostrar el marco.

Una vez terminados los cambios tendremos la leyenda lista.



6- Añadir la escala

Para añadir la escala del mapa debemos ir a la opción Añadir nueva barra de escala y hacer un clic en el sector que deseamos incluirla.

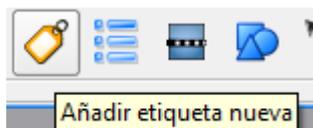


En la pestaña Elemento aparecerán dos opciones Barra de escala y Opciones generales. En barra de escala podremos ajustar las características que tendrá la escala y en Opciones generales las características del marco.

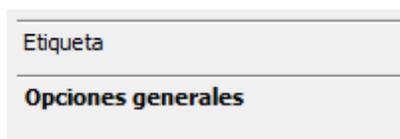


7- Añadir título

Para añadir un título al mapa hacer clic sobre el botón Añadir etiqueta nueva y luego hacer un clic en el sector en donde colocaremos el título.



En la pestaña Elemento aparecerán nuevamente dos opciones Etiqueta y Opciones generales. En Etiqueta podremos ajustar las características que tendrá el título como tamaño y tipo de letra y en Opciones generales las características del marco.



Esta misma herramienta se puede utilizar para agregar cualquier texto al mapa.

8- Exportar

Finalmente para exportar los resultados se puede utilizar alguna de las siguientes opciones.



CAPITULO 10: Elaboración de resultados mínimos por cuenca

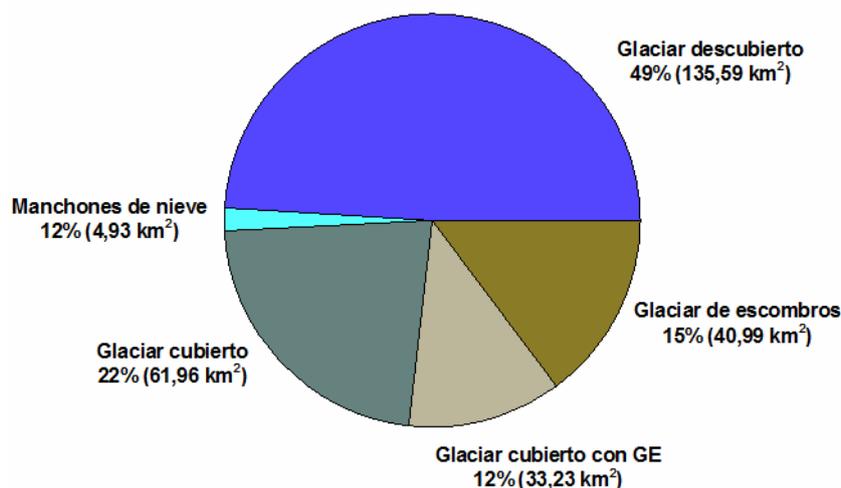
Toda la información generada y explicada en los capítulos previos, será presentada en un informe final, el cual deberá contener el total de geoformas inventariadas por cada cuenca y la superficie ocupada por las mismas.

Se propone que los resultados mínimos a presentar para cada uno de los inventarios de glaciares generados sean los siguientes (las figuras presentadas a continuación como ejemplo fueron realizadas a partir de los resultados obtenidos en el inventario de glaciares para la cuenca del río Mendoza):

1. Distribución de las geoformas:

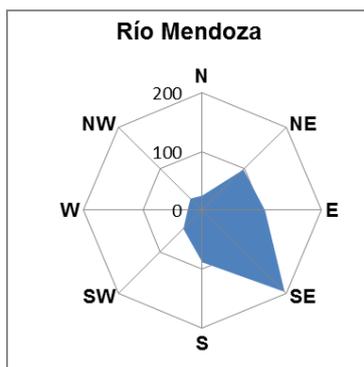
Este resultado reflejará la distribución por área de cada una de las geoformas inventariadas con respecto a la superficie de la cuenca donde se ubican. Con este resultado, a medida que se vayan actualizando los inventarios, se podrán comparar las variaciones en superficie que presenten cada una de las clases inventariadas.

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 276,70 km²
Total de geoformas inventariadas: 572



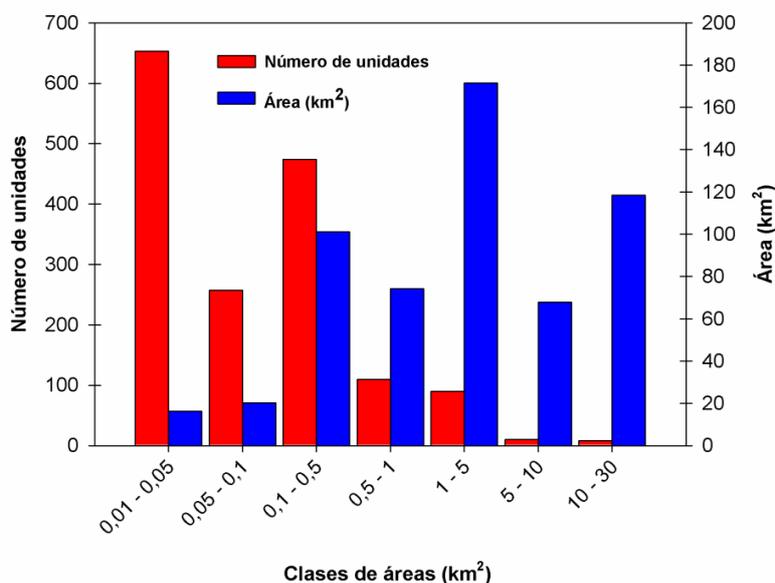
2. Orientaciones:

En el capítulo 8 se explicó cómo obtener las orientaciones. Será interesante representar las orientaciones en base a la superficie expuesta por los glaciares. Estos resultados se suelen expresar en gráficos de rosa de los vientos, los cuales nos indicarán la orientación predominante de las geoformas inventariadas en cada subcuenca.



3. Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas:

También son interesantes los datos que reflejan la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos de hielo. Podremos realizar numerosos análisis por ejemplo, si observamos la figura de abajo veremos que los cuerpos de pequeño tamaño ($<0,5 \text{ km}^2$) son claramente mucho más numerosos que los cuerpos más grandes. Sin embargo, cuando se analizan las superficies relativas cubiertas por las distintas clases de áreas, se puede observar que a pesar de ser muy pocos, los cuerpos más grandes de la cuenca ($1-20 \text{ km}^2$) cubren en total mucha más superficie que la gran cantidad de cuerpos pequeños de la cuenca.

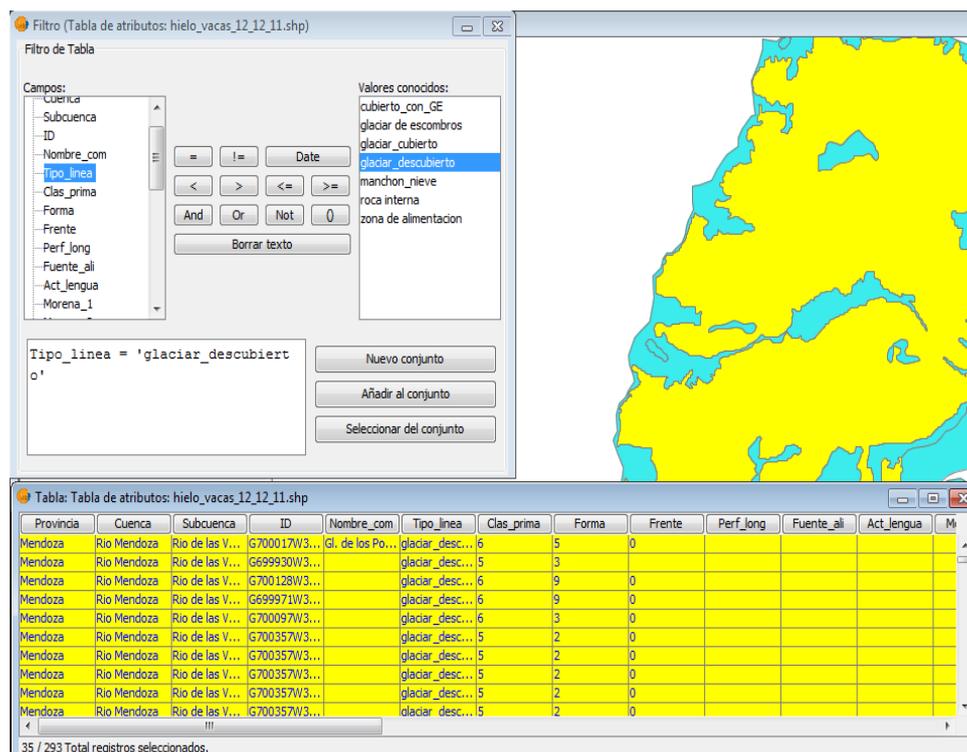


4. Hipsometría

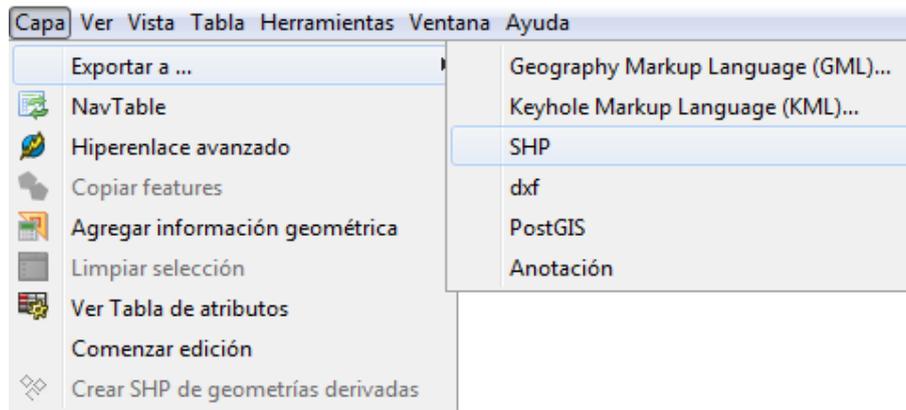
Mediante la combinación de la información de elevación de un DEM y el contorno de las formas glaciares y periglaciares es posible obtener datos sobre la hipsometría de un glaciar. La hipsometría nos muestra la relación que existe entre diferentes rangos altitudinales y el área que ocupan.

En este procedimiento se puede utilizar tanto el programa gvSIG como Kosmo porque se trabaja con algunas funciones básicas de los SIG y con la extensión Sextante, comunes a ambos programas. Sin embargo, recomendamos trabajar con gvSIG pues posee un mayor número de opciones al momento de visualizar capas ráster.

En primer lugar debemos separar cada una de las categorías de glaciares (glaciar descubierto, glaciar cubierto, etc.) en capas individuales. Para ello podemos seleccionar todos los registros correspondientes a cada una de las categorías desde la tabla o aplicar un filtro como se muestra en la figura a continuación.

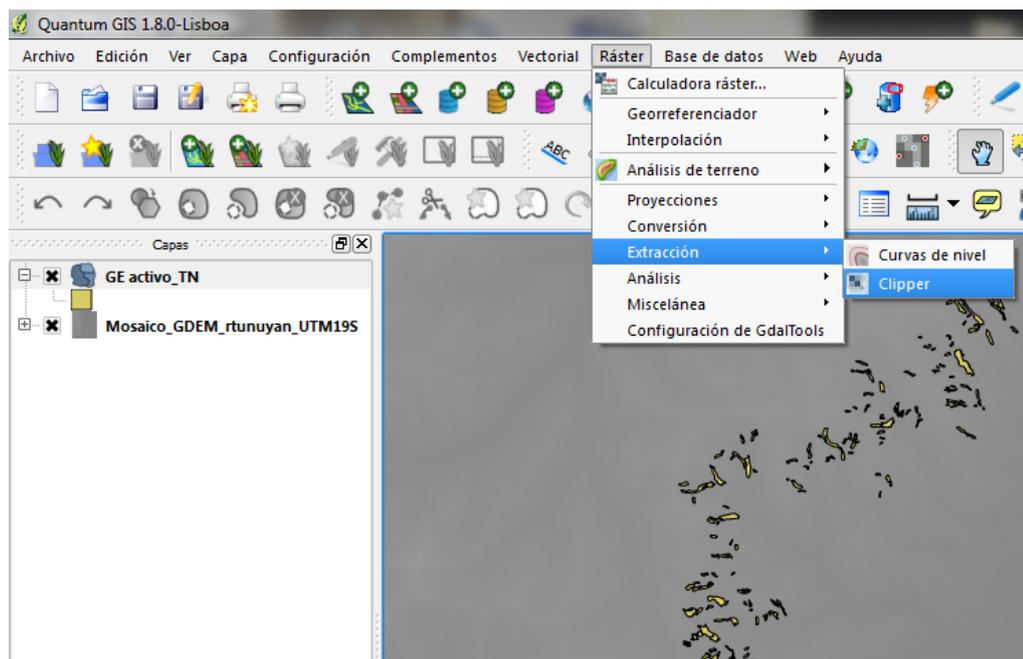


Una vez que tengamos la selección realizada debemos exportarla como un nuevo shape. Para exportar debemos ir a Capa y después a Exportar a...



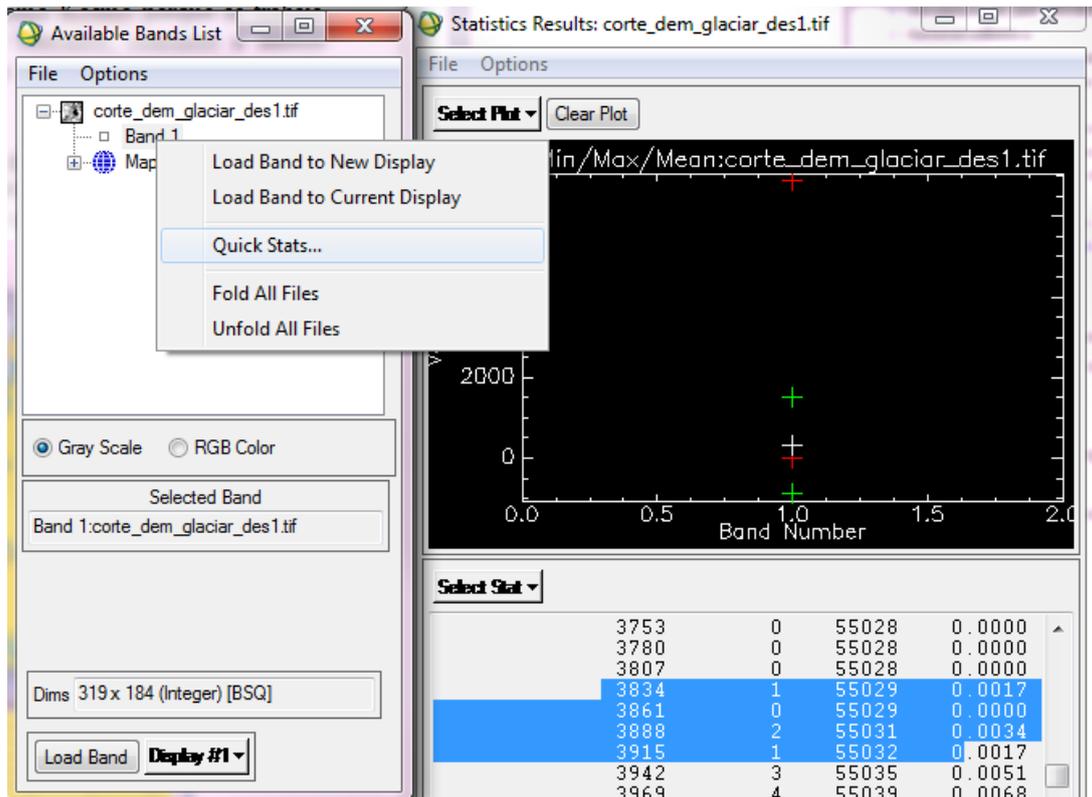
A continuación debemos recortar el DEM tomando como máscara cada una de las categorías (capas de polígonos exportadas). En este caso utilizaremos el software Qgis.

Abriremos las capas y el modelo digital de elevación e iremos a la pestaña >> Raster >> Extracción >> Clipper (Poner background = 0).



Como resultado obtendremos el DEM recortado. Proceder de la misma manera con todas las categorías.

Luego abrimos en ENVI los ráster del DEM recortados en el paso anterior. En Available Band List hacemos un clic derecho sobre Band 1 y luego en Quick Stats. Se desplegará un gráfico con una tabla de estadísticas en donde podremos obtener la cantidad de píxeles por rango de altura. Teniendo en cuenta el tamaño del píxel que estamos utilizando y la cantidad de píxeles podremos determinar el área.



De la estadística obtenida tendremos que copiar las dos primeras columnas que corresponden a DN (alturas) y Npts (distribución de área por altura) y llevarlas a una planilla Excel.

Establecer el rango de alturas para cada zona (por ejemplo desde 2800 a 7000 msnm en los Andes Centrales. En Patagonia y Tierra de Fuego el rango de alturas será menor). Las alturas se distribuirán en intervalos de 100 m por ejemplo, aunque puede variar.

			HIELO DE
2800	0	0	0
2900	0	0	0
3000	0	0	0
3100	0	0	0
3200	0	0	0
3300	0	0	0
3400	0	0	0
3500	0	0	0
3600	0	0	0
3700	0	0	0
3800	0	0	0
3900	293	293	0,065925
4000	820	527	0,118575
4100	1203	383	0,086175
4200	2085	882	0,19845
4300	4906	2821	0,634725
4400	8229	3323	0,747675
4500	13626	5397	1,214325
4600	20354	6728	1,5138
4700	26611	6257	1,407825
4800	32129	5518	1,24155
4900	39970	7841	1,764225
5000	46375	6405	1,441125
5100	49578	3203	0,720675
5200	52786	3208	0,7218
5300	54435	1649	0,371025
5400	55186	751	0,168975
5500	55729	543	0,122175
5600	56285	556	0,1251
5700	56875	590	0,13275
5800	57229	354	0,07965
5900	57746	517	0,116325
6000	58653	907	0,204075
6100	59207	554	0,12465
6200	59970	763	0,171675
6300	60822	852	0,1917
6400	61720	898	0,20205
6500	62165	445	0,100125
6600	62667	502	0,11295
6700	63153	486	0,10935
6800	63792	639	0,143775
6900	64052	260	0,0585
7000	64052	0	0

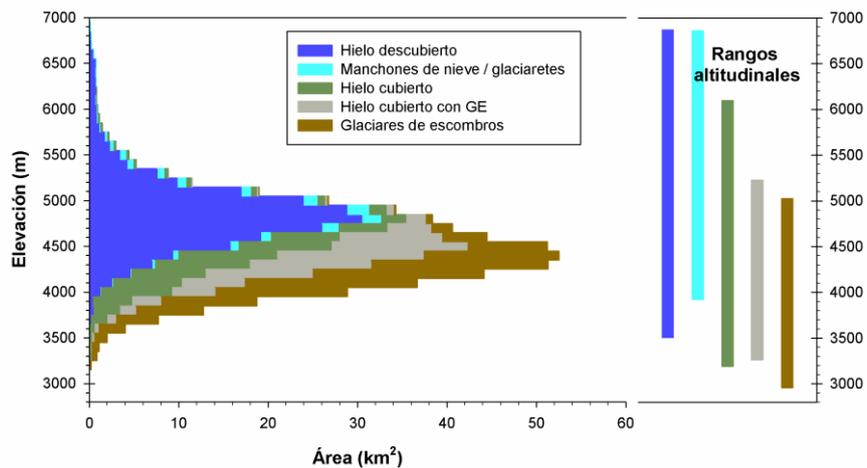
En la columna con el recuadro azul tendremos que aplicar la siguiente fórmula =SUMAR.SI (\$A\$2:\$A\$1000;"<500"; \$B\$2:\$B\$1000), donde la variable es la altura, el resto es fijo.

En la siguiente columna (recuadro rojo) obtendremos un valor acumulado en base a los datos de la columna anterior.

En la fórmula que aplicaremos en la columna siguiente, se tiene que tener en cuenta el tamaño de celda del MDE que se utilizó, por ejemplo H4*30*30/1000000, como si hubiéramos usado un modelo de ASTER que son de 30 m. Podemos observar en ENVI la resolución de nuestro MDE, tal vez sea un poco menor (28.5 m por ejemplo). Si utilizamos el MDE SRTM tendremos que poner 90 m.

De la sumatoria de esta columna deberá salir el área de cada una de las categorías de glaciar que obtuvimos previamente, de esta forma podemos corroborar que estamos haciendo bien el procedimiento.

Los resultados obtenidos en la columna marcada de color rojo y verde, junto con la distribución de alturas, los copiaremos y llevaremos a un programa de diseño de gráficos, donde obtendremos resultados como el que se muestra a continuación, donde observamos la hipsometría de glaciares para cuenca del río Mendoza.



CAPITULO 10: Metodología de trabajo de campo

1. Objetivos

Este trabajo consiste fundamentalmente en verificar mediante el control de campo el mapeo realizado previamente en gabinete en base a imágenes satelitales.

Los objetivos que se deben alcanzar para cumplir con lo requerido en el Nivel 1 del Inventario Nacional de Glaciares serán:

- Identificar en el campo las geoformas inventariadas en gabinete
- Observar detalles morfológicos de las geoformas
- Verificar la clasificación de glaciares realizada
- Tomar fotografías de las diferentes geoformas
- Tomar puntos de referencia y tracks con equipos GPS

2. Antecedentes

La metodología empleada se basa en el cálculo de la exactitud del mapa que consiste en comparar puntos elegidos en el mapa con puntos obtenidos en el terreno.

Se selecciona un sector representativo del mapa pues resulta imposible evaluar el mapa en su totalidad. Los atributos correspondientes al tipo de geoforma en el campo son contrastados luego con la información obtenida en el campo.

3. Selección del área de trabajo

Los glaciares se ubican en zonas de alta montaña, por lo que en la medida de lo posible deberemos elegir aquellas zonas de mejor accesibilidad y con un número de glaciares representativo para nuestro trabajo.

4. Logística

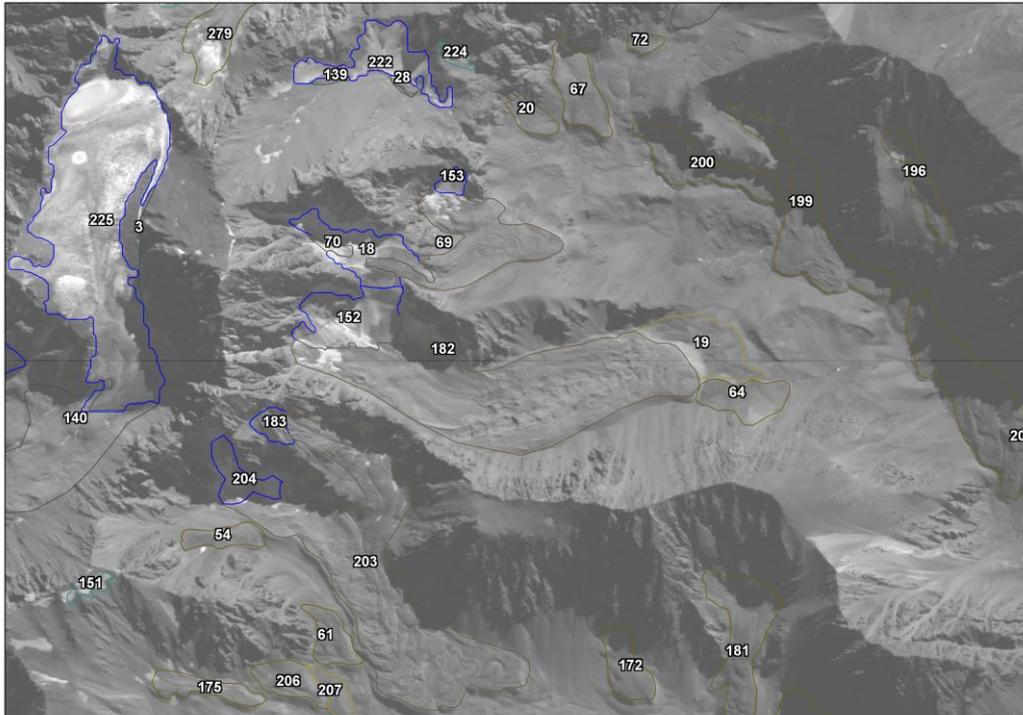
Hay que tener en cuenta:

- El cruce de ríos de gran caudal
- Evitar caminos de cornisa con precipicios
- No caminar por debajo de grandes acarreos donde puedan caer grandes bloques, en caso necesario tomar las precauciones pertinentes
- Consultar el pronóstico del tiempo para evitar exponerse a fuertes tormentas de nieve
- Siempre llevar el equipo de montaña necesario para cada área de trabajo (variará la logística de una campaña a realizar en Patagonia que en la alta montaña de Mendoza o San Juan)

5. Material necesario

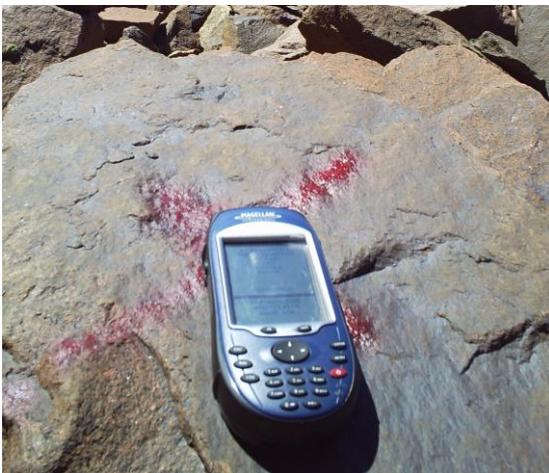
- Mapas impresos de nuestro inventario preliminar

- **Imágenes impresas:** se imprimen una serie de imágenes con los polígonos de las geoformas superpuestas. La escala de impresión deberá permitir una buena visualización de las características de los glaciares. En zonas con glaciares de tamaño mediano-pequeño como por ejemplo en los Andes Centrales, una escala de 1:20000 resulta muy apropiada. Sin embargo en la Patagonia donde los glaciares tienen mayor tamaño se pueden utilizar escalas menores.



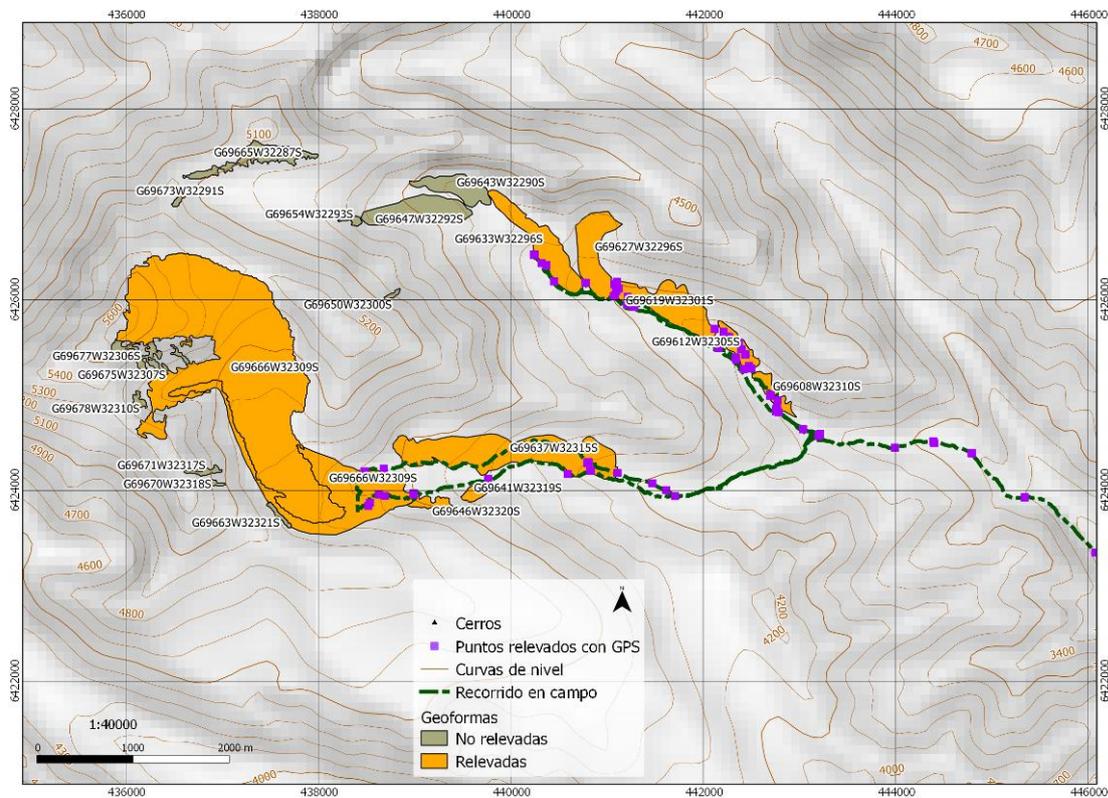
Para agilizar la identificación de las geoformas en el campo se puede reemplazar el ID por un código de campo que represente a cada una de las geoformas, como se puede observar en la figura.

- **GPS navegador.** En los casos en los que se precise tomar puntos de mayor precisión se empleará GPS diferencial.



GPS diferencial empleado para realizar perfiles sobre un glaciar de escombros

Con el navegador GPS podremos ir marcando las rutas que vamos realizando, así como tomar puntos de las geoformas que vamos observando.



Otra actividad que podremos realizar es establecer puntos fijos de monitoreo que nos servirán para identificar la posición exacta desde donde fue tomada una foto, para poder comparar con futuras actualizaciones del inventario.



Construcción de pirca desde la cual tomamos un punto GPS y fotografía, mediante la cual podremos determinar la posición del frente del glaciar y comparar con las futuras actualizaciones del inventario

- Cámara fotográfica
- Planillas de verificación

En estas planillas se vuelca una mínima información extraída de la base de datos de las geoformas que observamos en el terreno.

A los glaciares los nombramos con un código de campo, que emplearemos para simplificar y acortar el código original que sería el ID_local.

En la casilla de verificación escribiremos, una vez observada la geoforma en el terreno, SI en caso de que la geoforma esté correctamente clasificada y NO en caso contrario. En observaciones explicaremos los detalles observados para cada glaciar.

TUNUYÁN 2013					
Nº campo	ID local	Tipo geoforma	Verificación	Observaciones	Fecha
0	G696512O335812S	GEA			
1	G696251O335744S	GEA			
2	G696338O335830S	GEA			
3	G696127O335822S	GC			
4	G696329O335503S	GD			
5	G696329O335503S	GC			
6	G696298O336214S	GEA			

- Planillas de observación

Estas planillas son más detalladas que las anteriores. En estas planillas, anotaremos toda la información que observamos en el terreno de cada uno de los glaciares que seleccionamos para verificar.

Glaciares descubiertos	
Nº geoforma	Fecha: Lugar:
Clasificación primaria	
Forma	
Frente	
Perfil longitudinal	
Fuente alimentación	
Actividad lengua	
Morena 1	
Morena 2	
Cobertura lengua	
Observaciones	
Fotos	

Tendremos una planilla para los glaciares y otra para los glaciares de escombros.

Glaciares de escombros		
Nº geoforma	Fecha:	Lugar:
Clasificación primaria		
Origen		
Actividad		
Forma		
Estructura I y II		
Vegetación		
Litología		
Capa activa		
Pendiente del talud		
Espesor		
Observaciones		
Fotos		

➤ Equipo de montaña

Constará de un equipo general y otro específico que variará dependiendo del tipo de glaciares que vayamos a visitar.

Equipo general: carpa, aislante, bolsa de dormir, mochila, botas, ropa técnica, calentador gas o bencina, linterna, etc.

Equipo específico para hielo: piquetas, grampones, casco, arnés, cuerdas, dispositivos de seguridad, etc.

➤ Equipo de comunicación

Radios

Teléfono satelital

5. Resultados

Una vez que terminamos el trabajo de campo, deberemos incorporar las correcciones necesarias a nuestro shape de glaciares, mapa e informe.

Gracias a lo plasmado en nuestra planilla de verificación, podremos estimar un error aproximado del mapeo realizado, tanto para la identificación como para la clasificación, para un área de estudio determinada. También podremos estimar un error en el área mapeada antes y después de la verificación en el terreno.

Para cualquier duda o consulta que deseen realizar con respecto a este manual, pueden contactarse a través del siguiente correo electrónico:

Laura Zalazar: lzalazar@mendoza-conicet.gob.ar

CCT- Mendoza

Av. Ruíz Leal s/n Parque General San Martín.

Mendoza - Argentina.

CP 5500

Telf. (0261) 5244263