

# *Mapeo de ambientes en el Parque Nacional Los Glaciares, Provincia de Santa Cruz – Argentina (Glaciar Upsala y Perito Moreno), mediante datos ópticos y radar e integración en un SIG*

Alfredo Rafael Cuello, Miriam Esther Antes, Mirta Aída Raed, Alicia Avelina Sedeño, Luciano Enrique Delise, Jorge Marcelo Gari y Leonardo Alfredo Di Franco

## **Resumen:**

El Parque Nacional los Glaciares se encuentra ubicado en la región conocida como Andes Australes del territorio argentino, al sudoeste de la provincia de Santa Cruz, en el límite con Chile, el mismo fue declarado “Patrimonio Mundial” por la UNESCO en el año 1981. Gran parte de este Parque estuvo cubierto por glaciares y los ríos de hielo dieron forma al paisaje con montañas de laderas abruptas y amplios valles. Actualmente, los hielos ocupan una superficie total aproximada de 2.600 km<sup>2</sup>, con 47 glaciares mayores. El área de estudio corresponde al Glaciar Perito Moreno, ubicado sobre el Brazo Sur del Lago Argentino, al Glaciar Upsala, ubicado sobre el Brazo Norte del mismo lago y a las áreas aledañas a los mismos. El uso de geotecnologías basado en la utilización de información satelitaria representa una alternativa de importancia práctica como herramienta de monitoreo y evaluación de recursos naturales. El objetivo de este estudio fue realizar un mapeo temático de los recursos naturales presentes en el área, para identificar y caracterizar los tipos de ambientes y las unidades fisonómicas forestales nativas, generando una cartografía temática de las unidades identificadas. Para generar dicha cartografía se utilizó información correspondiente a imágenes radar (RADARSAT-2, polarimétricas), en combinación con imágenes ópticas Landsat 5 TM; se utilizaron técnicas de procesamiento digital, clasificaciones multiespectrales y análisis polarimétricos, integrando los datos de radar y ópticos, aprovechando el aporte que ofrecen ambas tecnologías. La cartografía temática generada será integrada en un SIG territorial.

**Palabras claves:** SAR / cartografía / bosques / geotecnologías / SIG

**Abstract:**

Los Glaciares Argentina National Park is located in Andes Patagonicos and it belongs to Santa Cruz province and it limits with Chile country. It was declared Natural Patrimony of Mankind by the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) in 1981. An important part of this Park is covered by glaciers and the ice rivers give form to the landscape with abrupt hillsides mountains and wide valleys. Nowadays, the ice occupies approximately an area of 2.600 km<sup>2</sup>, with 47 major glaciers. The study area of this work is the Glacier Perito Moreno located over Brazo Sur that belongs to the Lago Argentino and the Glaciar Upsala located over Brazo Norte of the same lake. Besides, the environment surrenders of both glaciers are taken into account to carry out a complete study of this important area. Satellite data has proved to be very important for monitoring and evaluating natural resources. The objective of this paper is to carry out a thematic map of the natural resources of this area. In this way the different environment can be identified, characterized and the physiognomic natural forest unities described so a thematic cartography of the different identified unities are obtained. Polarimetric RADARSAT-2 and optical Landsat 5 TM images were used to generate this cartography. Digital processing, supervised classification, polarimetric analysis techniques are applied to integrate radar and optical data, taking into account both technologies at the same time. All the thematic cartography will be added to a GIS.

**Keywords:** SAR / cartography / forestry / geotechnologies / GIS

---

**Alfredo Rafael Cuello** (alfredo.cuello@gmail.com), CSR-FAA y PRODITEL-UNLu; **Miriam Esther Antes** (selperargentina@gmail.com), CSR-FAA y PRODITEL-UNLu; **Mirta Aída Raed** (m\_raed\_ar@yahoo.com.ar), CSR-FAA y PRODITEL-UNLu; **Alicia Avelina Sedeño** (aamsed@yahoo.com), CSR-FAA; **Luciano Enrique Delise** (ciano.delise@gmail.com), CSR-FAA; **Jorge Marcelo Gari** (j\_gari\_ar@yahoo.it), CSR-FAA y UTN; **Leonardo Alfredo Di Franco** (difranco\_leo@yahoo.com.ar), PRODITEL-UNLu y UNGS.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener información sobre recursos naturales de carácter forestal y de ambientes asociados, es fundamental para establecer políticas de acción que optimicen las funciones y actividades relativas a la conservación y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como a su control y fomento, logrando de esta manera un manejo sostenible de los mismos.

La teledetección espacial se ha mostrado como una herramienta de importancia práctica para la evaluación y el monitoreo de los recursos forestales, acrecentada por el desarrollo tecnológico de los últimos años que ha posibilitado una amplia disponibilidad de información de distintos tipos de sensores, procesos y algoritmos que permiten obtener una gran variedad de productos utilizados en proyectos de gran complejidad.

Este trabajo está orientado a la utilización de imágenes ópticas y de radar para obtener información temática de cubiertas naturales; en el caso de las aplicaciones forestales el uso de ambos datos, ópticos y de radar resulta necesario ya que permite superar limitaciones que cada uno de los tipos de datos tienen por separado; aunque existen métodos de obtención de índices y clasificación de vegetación mediante datos ópticos, estos no pueden ser utilizados en regiones cubiertas frecuentemente por nubes como lo es la región andino-patagónica. La señal radar retrodispersada por una superficie vegetal depende de dos tipos de factores: (i) factores geométricos relativos a la estructura del suelo y de la cubierta vegetal y, (ii) factores dieléctricos principalmente controlados por la humedad del suelo y del dosel (Dobson, 1995). En términos generales, las superficies más secas producirán una señal más baja. La influencia de las propiedades estructurales sobre la señal devuelta al sensor por una cubierta vegetal es mucho más compleja puesto que se ve afectada por la frecuencia, la polarización y el ángulo incidente de la señal enviada por el sensor. Los parámetros estructurales de mayor importancia son la arquitectura del dosel (tamaño, forma y orientación de elementos retrodispersantes: hojas, ramas y troncos) y la rugosidad del suelo. Por otro lado la topografía constituye otro factor que causa dificultades para identificar los distintos estratos altitudinales de vegetación y que debe ser considerada en el momento del análisis de los resultados. En este sentido, este trabajo demuestra la complementariedad de ambos tipos de datos en estudios de cubiertas forestales.

La generación de cartografía de uso del suelo a partir del tratamiento digital de las imágenes de satélite es una de las aplicaciones de la teledetección más prolija, siendo en muchas ocasiones la fase culminante del tratamiento digital de las imágenes (Chuvieco, 2002).

En este contexto, se plantea como objetivo general del presente trabajo generar una cartografía temática de las unidades de vegetación existentes en el área de estudio que puedan ser identificadas y categorizadas mediante el análisis digital y reconocimiento a campo de los diferentes tipos forestales: (*Nothofagus pumilio, lenga; Nothofagus Antarctica, ñire y Nothofagus betuloides, guindo*); la vegetación de estepa (arbustos pequeños, espinosos y pastizales) y una zona de transición (especies típicas del bosque y de la estepa patagónica). Asimismo es de interés el mapeo de otras cubiertas presentes en el área tales como suelo desnudo (roca), hielo de glaciar (zona de ablación y acumulación) y nieve, con el objetivo de evaluar los mecanismos de interacción de estas cubiertas con la señal del radar polarimétrico, utilizando metodologías de procesamiento y análisis de imágenes. El desarrollo del mismo permitirá generar información para estudios científicos y técnicos, así como para la planificación e implementación de estrategias de gestión sustentable del Parque Nacional, coherentes con sus características ambientales.

## MATERIALES

### Área de estudio

El área de estudio, Parque Nacional los Glaciares, Provincia de Santa Cruz, Argentina se localiza entre los 49°43' y 50°53' de latitud Sur y los 71°52' y 73°43' de longitud O (Figura 1).

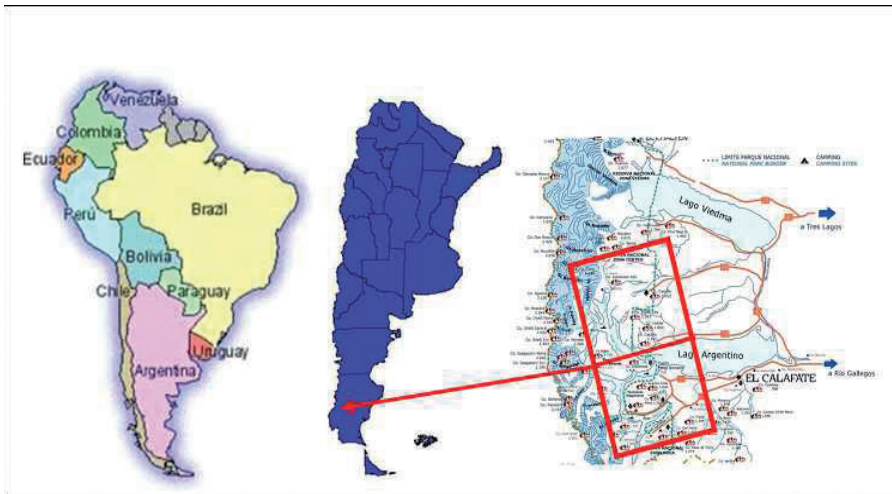
En ella se pueden distinguir fisiográficamente tres fajas que corren en forma paralela al eje de la cordillera de sur a norte: 1- Cordillera Principal o región andina, 2- Región Pre-andina, 3- Región Sub-andina.

La primera corresponde a una extensa masa montañosa con alturas superiores a los 2500 m, su mayor ancho se estima entre 50 y 60 km. En la parte central está cubierta por campos de hielos denominado Hielo Continental Patagónico, de los cuales descienden lenguas glaciarias a dos grandes lagos, el Lago Argentino y el Lago Viedma, entre ellas podemos identificar 13 grandes glaciares.

La segunda región está conformada por un gran valle que desciende desde el cerro Norte hasta la estancia Cristina, el brazo Norte, el brazo Spegazzini, el Canal de los Témpanos y el brazo Sur (todos ellos brazos del Lago Argentino). Las cadenas montañosas bajan desde alturas superiores de los 2000 m y se encuentran desprovistas de hielo. La tercera región sub-andina se compone de mesetas que se levantan abruptamente sobre el nivel del Lago Argentino y van disminuyendo hacia el este confundiendo gradualmente con la altiplanicie patagónica (Feruglio, 1944).

En esta etapa del proyecto se seleccionaron como áreas pilotos: el Glaciar Perito Moreno, el Glaciar Upsala y zonas aledañas a ambos glaciares.

Figura 1. Localización del área de estudio



## Imágenes ópticas y de radar

### *Imagen óptica*

La imagen óptica seleccionada fue la del Landsat 5 TM, Path/Row 231/095, de fecha 20 de febrero de 2011, con ancho de barrido de 185 km y resolución espacial de 30 m, del banco de datos del Centro de Sensores Remotos, provista por CONAE (Figura 2), la misma fue escogida considerando características de baja nubosidad, buena calidad radiométrica.

Figura 2. Imagen Landsat 5 TM FCC (R/lrm/lrc – AV/R)



Fuente CONAE

### *Imágenes radar*

Las imágenes empleadas en el presente estudio corresponden al sensor SAR a bordo del satélite RADARSAT-2. Se contó con dos imágenes RADARSAT-2, SAR, ID 36726 e ID 36757, ambas del 27 de abril de 2009, adquiridas bajo el programa Science and Applications Research (SOAR) de la Agencia Espacial Canadiense. El satélite RADARSAT-2 fue lanzado en diciembre de 2007 y está gestionado por la empresa MacDonald-Dettwiler and Associates Ltd. (MDA) y el gobierno de Canadá.

El tipo de imagen empleada en este trabajo es el denominado Fine Quad-Polarization con cuatro canales de polarización (HH, VV, HV, VH), ancho de barrido nominal 25 km y una resolución espacial de 10 m.

El SAR interferométrico y polarimétrico (PolInSAR) utiliza la información de la energía retrodispersada, que dependiendo de las características de la superficie incidente, la misma tiene un ángulo preferente de polarización. Utilizando filtros de polarización tanto en la emisión como en la recepción de la señal, es posible estudiar la misma, en cuatro configuraciones angulares para cada punto de la superficie: HH, VV, HV y VH.

El PolInSAR emplea una información muy rica, pues para cada punto de la superficie dispone no sólo del módulo de la retrodispersión, sino también de su fase y de sus características angulares. Con esta información es posible procesar los datos basándose en modelos físicos que predicen la retrodispersión en función de una serie de parámetros de la superficie que pueden ser medidos en el terreno.

### *Software*

- ENVI 4.7
- NEST 4.C (ESA)
- POLSARPRO V4.2.0 (ESA)
- ARC-VIEW 3.2

## **METODOLOGÍA**

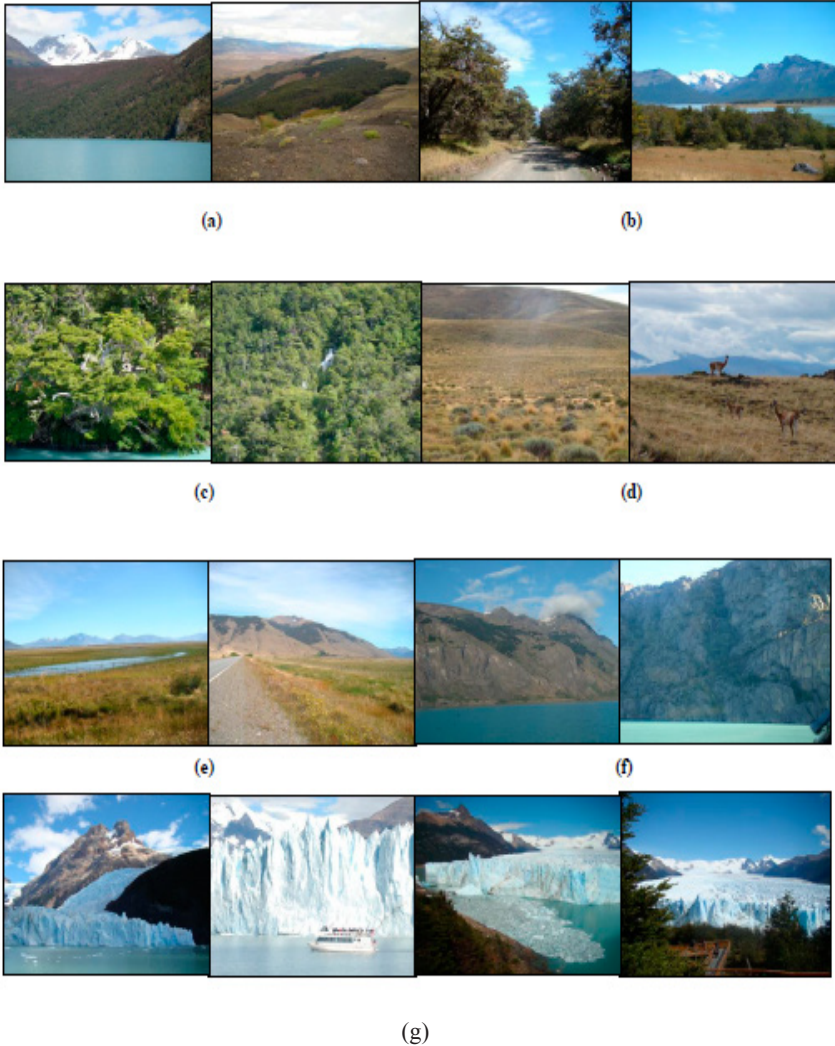
Para caracterizar el área de estudio, se realizó una revisión de los trabajos existentes relacionados con la utilización de datos ópticos y de radar en ambientes de bosques y glaciares, su cartografía e interpretaciones. A partir de esos datos y del análisis de imágenes satelitales provenientes de diferentes sensores, ópticos y radar, se estructuró una nueva serie de mapas temáticos correspondientes a las comunidades de vegetación y de ambientes presentes.

Se evaluaron a través del análisis visual, sitios característicos de los diferentes ambientes presentes en el área de estudio utilizando como apoyo para este trabajo productos mejorados a través de procesos digitales simplificados (Ensanche de contraste y Realce de bordes), aplicados a la imagen Landsat 5 TM empleada.

Se realizó un relevamiento de campo con el objetivo de identificar y validar cada una de las clases temáticas que fueron establecidas en la interpretación visual preliminar y considerando antecedentes de trabajos realizados en el área de estudio. El control de campo consistió en recorrer el terreno localizando, con GPS, muestras de los distintos tipos de cobertura vegetal boscosa (Bosque de lenga, Bosque de ñire y Bosque asociado), vegetación de estepa, mallines y otras cubiertas asociadas como hielo de glaciar, nieve, roca, etc. (Figura 3). Estos sitios de entrenamiento sirvieron como base para definir patrones espectrales a ser utilizados en la clasificación digital supervisada de la imagen Landsat y para el análisis de los mecanismos de interacción en los datos radar.



Figura 3. Fotos de relevamiento a campo. (a) Bosque de lenga, (b) Bosque de ñire, (c) Bosque asociado, (d) Vegetación de estepa, (e) Mallines, (f) Roca y (g) Hielo de glaciar y Nieve



Fuente: Elaboración propia

La clasificación digital es un proceso que consiste en la agrupación automática de los píxeles de una imagen, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen (reflectancia), en distintas categorías (leyen-



da), ya sean predefinidas por el usuario (clasificación supervisada) o por el sistema de clasificación utilizado (clasificación no supervisada); de este proceso resulta un archivo raster temático de una sola banda, con diferentes categorías, cuyos valores representan categorías temáticas conocidas o por definir (Chuvieco, 2002).

La imagen Landsat fue ajustada geométricamente mediante el método imagen-imagen, utilizando como referencia una escena Landsat 7 ETM +, ortogeoreferenciada, WRS-2, path/row 231/95, del 14 de octubre de 2001, el sistema de referencia corresponde a la proyección UTM, zona 18 sur, con Datum WGS84 (Fuente USGS/ GLCF).

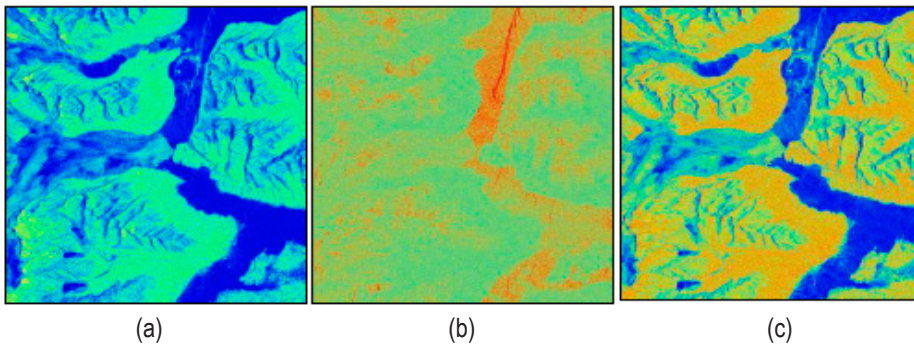
Se realizó una clasificación digital multiespectral supervisada, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve. Se verificó la buena separabilidad de clases y se redistribuyeron las mismas. Para la evaluación del comportamiento y separabilidad espectral de las distintas clases se aplicó el análisis de divergencia transformada. El algoritmo utilizado en la clasificación fue el de Máxima Verosimilitud.

Las imágenes RADARSAT-2, se calibraron radiométricamente, por la variación del ángulo de incidencia. El ángulo local de incidencia del haz, aumenta gradualmente entre los puntos situados en el rango cercano y el lejano. Asumiendo el caso más sencillo de una superficie plana, esto produce una atenuación en la respuesta para los puntos situados en el rango lejano, para compensar este efecto es que las imágenes radar deben ser calibradas. Asimismo, se les aplicó el filtro Frost con ventana de 3x3 para disminuir el ruido speckle.

Se realizó el análisis polarimétrico, la descomposición de Pauli y de Sinclair en las imágenes RADARSAT-2. El análisis polarimétrico es relevante solamente si una parte de la onda retro-dispersada es predominante. La evaluación de las matrices de retrodispersión y coherencia permite cuantificar las dos partes de la onda (polarizada y no polarizada) (Chan, 1981). La descomposición de los blancos permite la definición de los parámetros polarimétricos tales como el análisis de la Entropía, Anisotropía y Alpha; estos parámetros reúnen la información polarimétrica y la descomponen en términos de los mecanismos de retrodispersión que se producen en las cubiertas, lo que está directamente relacionado con su naturaleza (Cloude and Pottier 1996). La Entropía (H) representa el grado de

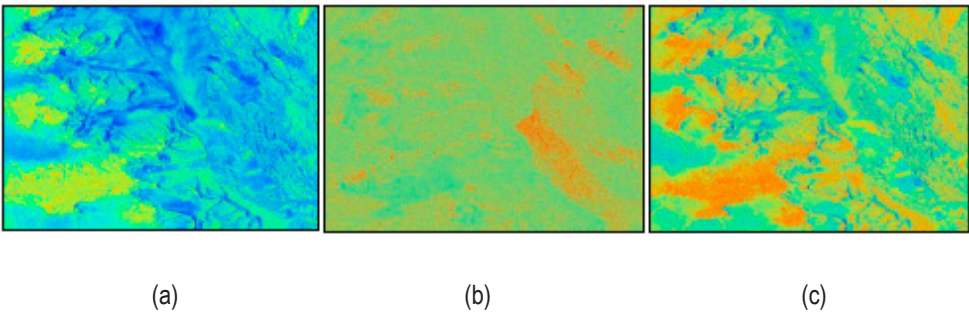
aleatoriedad o desorden estadístico de la dispersión. Varía entre 0 (reflexiones de primer orden) y 1 (mezcla aleatoria de mecanismos de reflexión). El ángulo Alpha proporciona un valor relativo al mecanismo de retrodispersión dominante, oscila entre  $0^\circ$  (dispersión superficial) y  $90^\circ$  (reflexión de esquina), con valores intermedios  $45^\circ$  ilustrando la dispersión de volumen. Por último, la Anisotropía (A) cuantifica la proporción entre los dos mecanismos de dispersión no dominantes. Su valor varía entre 0 y 1 y da idea de la homogeneidad de la cubierta; valores bajos corresponden a cubiertas homogéneas y viceversa (Figuras 4, 5, 6 y 7).

Figura 4. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía



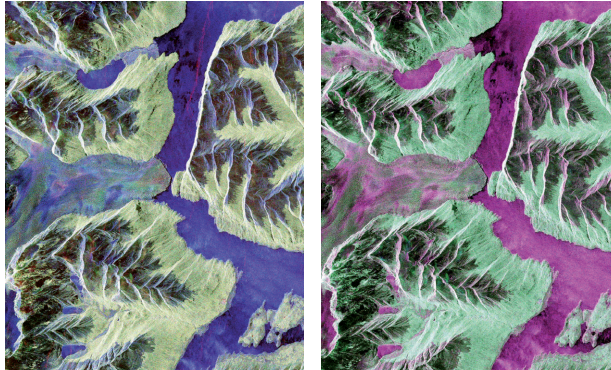
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía



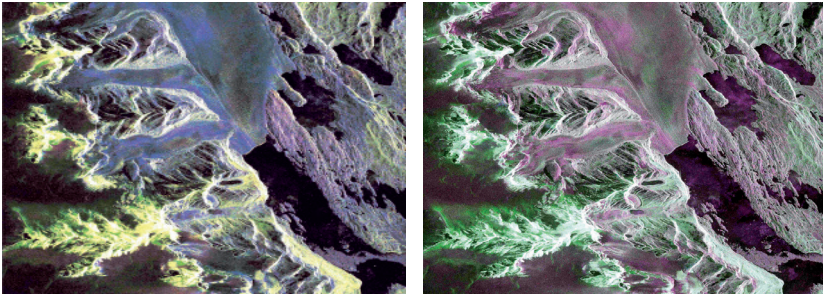
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno



(a) (b)  
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala



(a) (b)  
Fuente: Elaboración propia

El teorema Pauli, utiliza las matrices de Spin Pauli para expresar  $[S]$  en términos de dispersión única (superficie plana, esfera, o triedro) y mecanismos diédricos con una orientación de  $0^\circ$  y  $45^\circ$ , estos algoritmos permiten descomponer las observaciones en parámetros que ofrecen una interpretación física de la interacción ocurrida (por ejemplo dispersión superficial, dispersión de volumen o doble rebote) (Freeman and Durden 1992; Lee et al., 1999; Ouarzeddine et al., 2007). Las descomposiciones se pueden utilizar para interpretar la naturaleza de las cubiertas e incluso realizar clasificaciones supervisadas y no supervisadas (Alberga, 2007; Rodríguez et al., 2003).

## RESULTADOS

A partir del análisis de la cartografía vigente, la interpretación visual y de la clasificación digital multiespectral de la imagen Landsat (Figura 8 y Tabla 1) se generó un mapa temático con las categorías objeto de estudio, en este caso el resultado es el mapa de unidades de vegetación y ambientes, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve.

Clases temáticas identificadas:

Bosque de lenga: corresponde a la especie lenga (*Nothofagus pumilio*) como especie predominante en dos tipos, arbóreo y achaparrado. Según donde crezca la lenga y en función de su distribución altitudinal puede medir desde 35 m de altura y diámetros en la base de hasta 2 m, conformando árboles de gran porte, transformándose en la altura de las laderas, en forma de arbusto de pocos metros de altura.

Bosque de ñire: corresponde a la especie ñire (*Nothofagus antartica*), es una especie bastante rústica, de la familia de las fagáceas, se encuentran bosques puros, con árboles de hasta 15 m de altura, en la zona de transición entre el bosque y la estepa y también asociado con la lenga en los faldeos. También puede presentarse en forma arbustiva.

Bosque asociado: corresponde a un bosque mixto, que crece en sitios con condiciones más favorables, como faldeos con mayor insolación y cercanos a orillas de lagos, está conformado principalmente por otra especie de la familia de las fagáceas, el guindo, (*Nothofagus betuloides*), con individuos de gran porte, perennifolio, alcanzando los 20 a 30 m de altura y asociado a la lenga, notro, (*Embothrium coccineum*), canelo, (*Drimys winteri*) y sauco (*Sambucus spp.*).

Vegetación de estepa: la clase vegetación de estepa se compone de especies de herbáceas perennes como los coirones y pastizales que forman matas bajas y compactas, con presencia de subarbustos bajos formando matas circulares, como el neneo (*Mulinun spinosum*), la mata mora (*Senecio filaginoides*), la mata negra (*Junellia tridens*) etc.

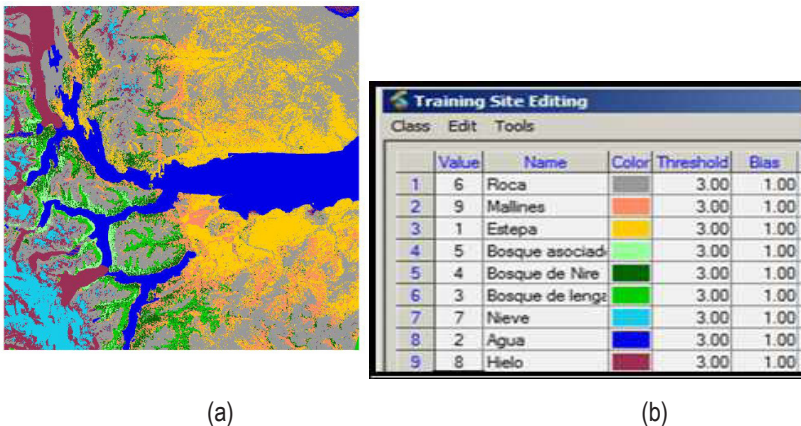
**Mallines:** son praderas húmedas que se encuentran en la estepa, generalmente asociadas con los cursos de ríos o arroyos o con los fondos de los valles. En ellos, la alta disponibilidad de agua, debida a la redistribución local, determina una fisonomía enteramente diferente. La cubierta vegetal frecuentemente supera el 100% y las especies dominantes son los pastos mesofíticos (*Poa pratensis*, *Deschampsia flexuosa*, etc.), juncos (*Juncus balticus*) y ciperáceas (*Carex spp.*).

**Roca:** corresponde a áreas de roca pelada o suelo expuesto, se distinguen varios sectores rocosos, en la parte alta de las montañas, luego de los bosques de lenga achaparrada y en sectores bajos como la Península Herminita o alrededores de la Estancia Cristina donde se denotan los efectos de la erosión glaciaria.

**Nieve:** áreas cubiertas de nieve ubicadas en la zona de acumulación de los glaciares.

**Hielo de glaciar:** áreas de hielo y lenguas glaciarias ubicadas en el campo de Hielo Patagónico Sur, allí podemos encontrar 48 grandes glaciares que desaguan desde la cordillera de los Andes hacia el Pacífico y el Atlántico. Están unidos en la zona de acumulación por un campo de hielo denominado Hielo Patagónico Sur, con una altitud promedio de 1600 m y un área de 13000 km<sup>2</sup>. Esta clase identifica el hielo de los glaciares en la zona de ablación, incluyendo las morenas.

Figura 8. Imagen Landsat 5 TM clasificada (a) y sitios de entrenamiento (b)



Fuente: Elaboración propia



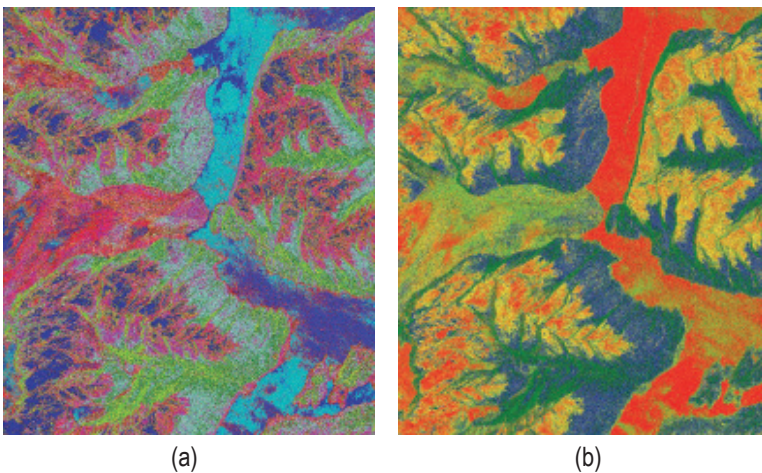
Tabla 1. Resultado de la clasificación. Superficie por clase temática

CLASE	PIXELS	IMAGEN	HAS
Estepa	2992422	19.90	269317.98
Agua	2062004	13.71	185580.36
Bosque de lenga	539647	3.59	48568.23
Bosque de ñire	770412	5.12	69337.08
Bosque asociado	308844	2.05	27795.96
Roca	5199592	34.57	467963.28
Nieve	735441	4.89	66189.69
Hielo glaciar	1123586	7.47	101122.74
Mallines	1308772	8.70	117789.48
Total	15040720	100.00	135(3664.8

Average accuracy = 97.08 / Overall accuracy = 98.21 / KAPPA COEFFICIENT = 0.98251  
 Fuente: Elaboración propia

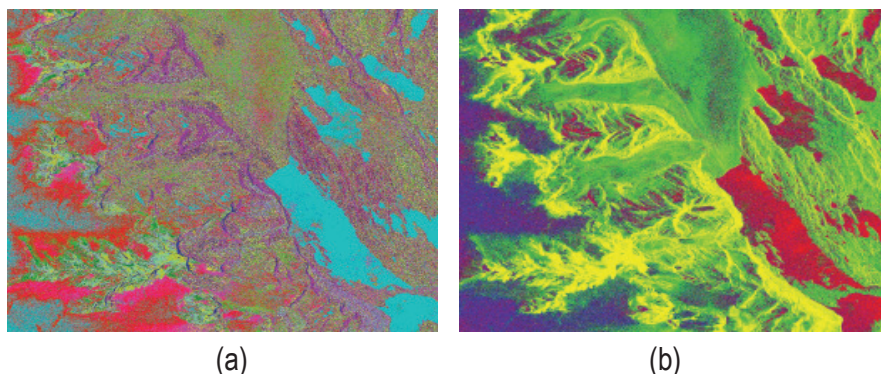
Se realizaron clasificaciones polarimétricas supervisadas y no supervisadas (entropía/alfa/anisotropía), Wishart-H/A/Alpha, con 9 clases, a fin de observar distintas características de hielos, vegetación y rocas, en ambas áreas de estudio (Figuras 9 y 10).

Figura 9. Clasificación Wishart. (a) no supervisada y (b) supervisada. Perito Moreno



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Clasificación Whishart. (a) no supervisada y (b) supervisada. Upsala



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

La clasificación supervisada realizada a la imagen Landsat 5 TM, arrojó buenos resultados utilizando las mismas clases temáticas que se definieron a través de la interpretación visual, el relevamiento de campo y por el análisis de las estadísticas (separabilidad de clases), (matriz de confusión).

En el análisis polarimétrico realizado sobre las imágenes RADARSAT-2 se observó mayor despolarización (mayores componentes de polarización cruzada HV, VH) en las zonas de bosques, según lo esperado, y también en algunas zonas de hielos de glaciar.

Es imprescindible considerar y corregir los efectos del relieve en las imágenes SAR de bosques en áreas montañosas o con importantes gradientes topográficos.

Si bien los mecanismos de interacción entre las microondas y los componentes de la vegetación son complejos, el tipo de información ofrecida por los datos SAR demuestra su importancia como dato único y complementario para estudios forestales. El desarrollo de radares en Banda L, polarimétricos, como el SAOCOM Argentino, promete aumentar la utilidad de estos datos para estudios de bosques y contribuir en aplicaciones operativas.

Como conclusión final se demostró la importancia del aporte de la información radar aún en zonas de alto relieve con presencia de deformaciones geométri-



cas, para la confección de mapas temáticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberga, A. (2007): "A study of land cover classification using polarimetric SAR parameters", *International Journal of Remote Sensing*, 28 (17) págs. 3851-3870
- Chan, C. K. (1981): "Studies on the power scattering matrix of radar targets", University of Illinois, Chicago, USA
- Chuvieco, E. (2002): "Teledetección Ambiental". La observación de la tierra desde el espacio. Ediciones Ariel Ciencia, Madrid, España
- Cloude, S.R.; Pottier, E. (1996): "A review of target decomposition theorems in radar polarimetry". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 34, n. 2, págs. 498–518
- ENVI (2002). *The Environment for Visualizing Images*. Version 3.6
- ENVI 4.7.: *Manuales de Usuario*. ITT
- ESA NEST 4. 1C, (2012): *Tutoriales de Nest ESA SAR Toolbox*
- ESA POLSARPRO, (2011): *Tutoriales Polarimetric decompositions and Polarimetric SAR data classification*
- Feruglio, E. (1944): "Estudios geológicos y glaciológicos en la región del Lago Argentino. Patagonia". (Expedición Alberto M. De Agostini 1930-31). Editor Academia Nacional de Ciencias, pág. 255
- Freeman, A., Durden, S. L. (1992): "A three component scattering model to describe polarimetric SAR data". *Proc. SPIE, Radar Polarimetry*, 1748, págs. 213-225
- GLCF. Fuente de datos perteneciente al Global Land Cover Facility, <http://www.landcover.org>

- Lee, J. S., Grunes, M. R., Ainsworth, T. L., Lijen, D. U., Schuler, D. L., Cloude, S. R. (1999): "Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier". IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 37/1(5). Págs. 2249 -2258
- Ouarzeddine, M., Souissi, B., Belhadjaissa, A. (2007): "Unsupervised classification using Wishart classifier". Proc. of ESA POLINSAR. Workshop.
- Rodrigues, A., Corr, D. G., Pottier, E., Ferro-Famil, L., Hoekman, D. H., (2003): "Landcover classification using Polarimetric SAR data". Proc. of ESA POLINSAR Workshop
- Ouarzeddine, M., Souissi, B., Belhadjaissa, A. (2007): "Unsupervised classification using Wishart classifier". Proc. of ESA POLINSAR. Workshop.
- Rodrigues, A., Corr, D. G., Pottier, E., Ferro-Famil, L., Hoekman, D. H., (2003): "Landcover classification using Polarimetric SAR data". Proc. of ESA POLINSAR Workshop

## Agradecimientos

A la CONAE por la provisión de las imágenes satelitales. Al Centro de Sensores Remotos Canadiense por la provisión de imágenes RADARSAT 2 en el marco del Programa SOAR.