

ESTUDIO DE LA COBERTURA DE GLACIARES Y AREA BOSCOSEA DEL HIELO CONTINENTAL PATAGONICO SUR MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES ÓPTICAS Y RADAR

Jorge Gari
Alicia Sedeño
Alfredo Cuello
Miriam Antes
Mirta Raed
Beatriz Lorenzo
Ailin Ortone

RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro del Proyecto AO SAOCOM, el cual tiene como objetivo el estudio de la cobertura de glaciares y de forestación en un área del Hielo Continental Patagónico Sur mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales ópticas y de radar, evaluando el grado de aporte que en dicho análisis realizan los datos SAR todo-tiempo, disponibles actualmente en diversas polarizaciones y bandas de frecuencia, dado que 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 área de estudio corresponde al Parque Nacional los Glaciares, ubicado en la región conocida como Andes Australes del territorio argentino, al sudoeste de la provincia de Santa Cruz. Gran parte de este Parque estuvo cubierto por glaciares y ríos de hielo. Actualmente, el área cubierta por el Hielo Continental Patagónico Sur en el territorio argentino ocupa una superficie total aproximada de 3.500 km², con 13 grandes glaciares ubicados en el Parque Nacional. Para generar la cartografía se utilizó información correspondiente a imágenes radar (RADARSAT 2 y ALOS PALSAR), en combinación con imágenes ópticas (Landsat 5 TM y SPOT 5). Se aplicaron técnicas de procesamiento digital tales como clasificaciones supervisadas y análisis polarimétrico, integrando datos de radar y ópticos, multitemporales. Se evaluó el aporte que ofrecen ambos sensores para definir y caracterizar los tipos de ambientes y las unidades fisonómicas forestales nativas, generando una cartografía temática de las unidades identificadas.

Palabras claves: SAR / cartografía / bosques / geotecnologías / glaciares

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 las actividades relativas a la conservación y aprovechamiento económico de tales recursos, como su control y fomento, logrando así un manejo sostenible de los mismos.

La información de observación de la Tierra proveniente de sensores remotos, se ha convertido en una herramienta de apoyo muy valiosa para la toma de decisiones por parte de los gobiernos y el sector privado. La interpretación y análisis de los productos de sensores remotos ha permitido realizar de manera más eficiente el planeamiento, ejecución, seguimiento y evaluación de proyectos optimizando el aprovechamiento de los recursos y su sostenibilidad (Arias Duarte et al. 2010).

Las imágenes adquiridas por el satélite Landsat TM 5 y SPOT 5 de observación de la Tierra constituyen una fuente de información importante para el conocimiento, el control, la previsión y la gestión de los recursos y actividades humanas; y los datos radar RADARSAT 2 y ALOS PALSAR presentan información complementaria todo tiempo, diversas polarizaciones y bandas de frecuencia.

Se plantea como objetivo de este trabajo obtener la cartografía temática de las unidades de vegetación existentes en el área de estudio que puedan ser identificadas y categorizadas mediante el análisis digital y de reconocimiento a campo de distintos tipos de bosques (*Nothofagus pumilio*, lenga; *Nothofagus Antarctica*, ñire y *Nothofagus betuloides*, guindo); estepa (arbustos pequeños, espinosos y pastos) y zona de transición (especies típicas del bosque y de la estepa patagónica).

La utilización de imágenes radar de varias polarizaciones resulta útil para interpretar y clasificar el terreno dado que se añaden canales con información adicional que permiten caracterizar las propiedades físicas de la superficie observada de forma mucho más completa. Esto ha hecho que en los últimos años se estén empleando este tipo de observaciones en diferentes aplicaciones como en agricultura, silvicultura, hidrología etc. (Ouarzeddine et al. 2007).

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 et al. 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.

Asimismo es de interés identificar y mapear otras cubiertas presentes en el área tales como agua, hielo glaciario (zona de ablación y acumulación) y nieve. El desarrollo del mismo permitirá generar información para estudios científicos y técnicos, así como para la planificación y gestión del área protegida, coherentes con sus características ambientales.

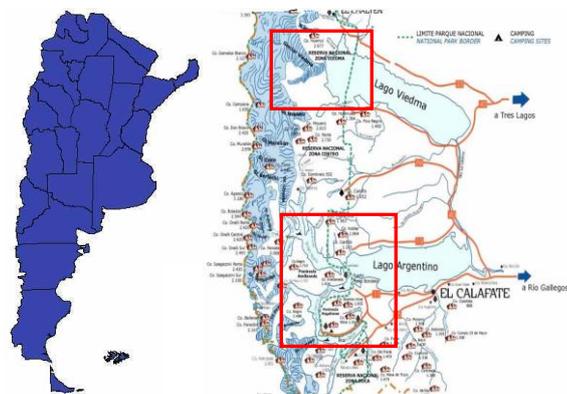
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Hielo Continental Patagónico Sur en el territorio argentino ocupa una superficie total aproximada de 3.500 km², con 13 grandes glaciares localizados en el Parque Nacional Los Glaciares (Bertone 1997), dicho Parque se localiza entre los 49° 43' y 50° 53' de latitud Sur y los 71° 52' y 73° 43' de longitud O.

En él 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, 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, de los cuales descienden a dos grandes lagos, el Lago Argentino y el Lago Viedma, y lenguas glaciares. 2- Región Pre-andina, 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. 3- Región Sub-andina, región sub-andina se compone de mesetas que se levantan abruptamente sobre el nivel del Lago Argentino y van disminuyendo hacia el (Feruglio, 1944).

Se seleccionaron como áreas pilotos: el Glaciar Perito Moreno, el Glaciar Upsala, El Chaltén y zonas aledañas a ambos glaciares (Figura 1).



Elaboración propia

Figura 1. Localización del área de estudio

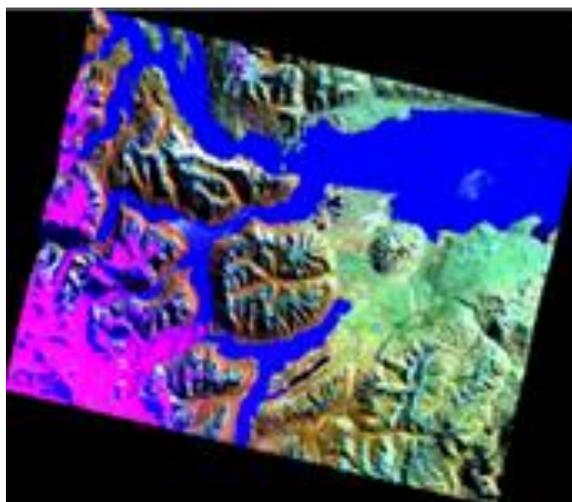
Materiales

Imágenes ópticas

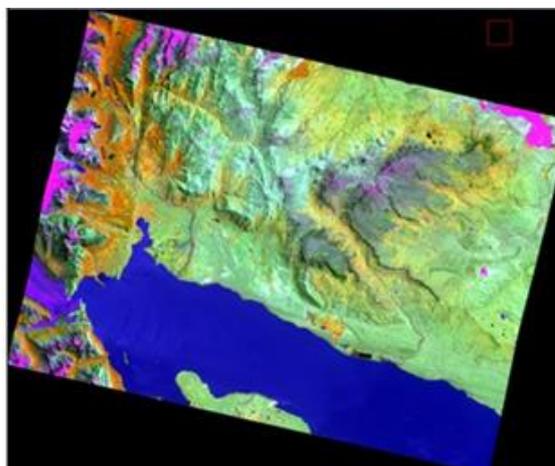
Las imágenes ópticas seleccionadas fueron: Landsat 5 TM, Path/Row 231/095, de fecha 20 de febrero de 2011, con ancho de barrido de 185 km y resolución espacial de 30 m, SPOT 5 Path/Row 680/452, de fecha 5 de abril de 2014, SPOT 5 Path/Row 680/450, de fecha 18 de Enero de 2013, ambas con ancho de barrido de 60 km y resolución espacial de 10 m. Imágenes obtenidas del banco de datos del Centro de Sensores Remotos, provista por CONAE (Figuras 2, 3 y 4) las mismas fueron escogidas considerando características de baja nubosidad, buena calidad radiométrica y con un intervalo de tiempo entre las imágenes relevante al estudio.



**Figura 2. Imagen Landsat 5 TM FCC
(R/Irm/Irc - A/V/R)**



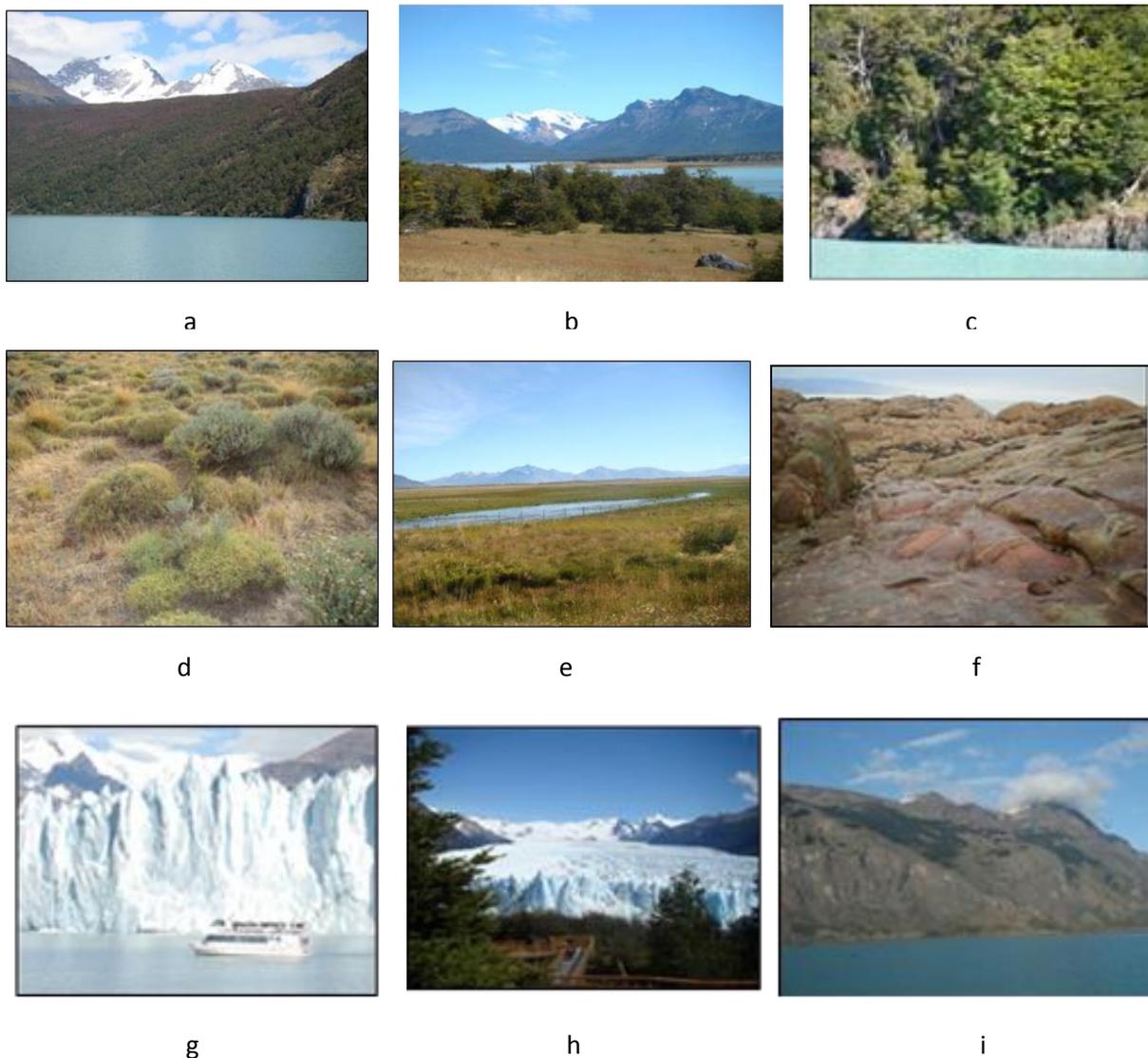
**Figura 3. Imagen SPOT 5, 680/452
FCC 342/RGB**



**Figura 4. Imagen SPOT 5, 680/450
FCC 342/RGB**

Imágenes radar

Las imágenes radar seleccionadas fueron: RADARSAT-2, SAR, ID 36726 e ID 36757, ambas del 27 de abril de 2009, modo Fine Quad-Polarization HH, VV, HV, VH, ancho de barrido nominal 25 km y una resolución espacial de 10 m, adquiridas bajo el programa Science and Applications Research (SOAR) de la Agencia Espacial Canadiense; y ALOS PALSAR polarimétrica, Nivel de procesamiento 1.1, PLR (HH-HV-VH-VV), del 27 de marzo de 2011, 24.08°, Ascendente, zona



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. 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) glaciar, (h) Hielo de glaciar y Nieve, (i) agua

Imágenes ópticas

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 (leyenda), 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 (Chuvienco, 2002).

Se realizó una clasificación digital multispectral supervisada, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve, tanto para la imagen Landsat TM como la SPOT 5 (área Perito Moreno) y las clases: estepa arbustiva, estepa, lenga, bosque asociado, bosque quemado, roca y roca erosionada para la imagen SPOT 5 (área El Chaltén). 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.

En la imagen SPOT 5 (área El Chaltén) se enmascaró el agua y las sombras, logrando buena separabilidad entre clases. La máscara se generó utilizando la banda 4 con un Rango de datos de 0-25 (mín-máx.), a la que luego se le realizó álgebra de bandas para invertir los resultados y lograr que las sombras y el agua tomaran valores nulos (Figura 7).



Fuente elaboración propia

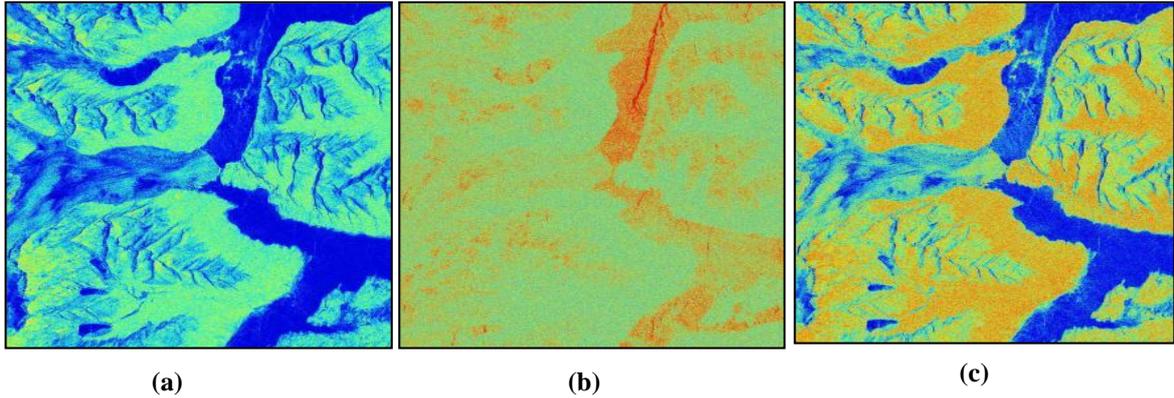
Figura 7. Máscara de agua y sombras, imagen SPOT 5- 680/450

Imágenes radar

Las imágenes RADARSAT 2 y la ALOS PALSAR se calibraron radiométricamente, por la variación del ángulo de incidencia. Se le aplicó el filtro Frost a las imágenes RADARSAT y el filtro Lee Adaptativo a la imagen ALOS PALSAR, ambos con ventanas de 3x3 para disminuir el ruido speckle.

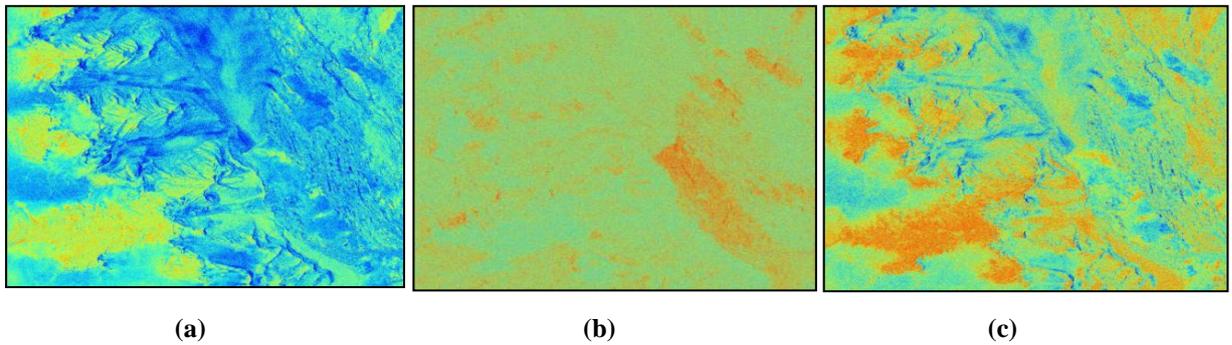
Se realizó el análisis polarimétrico, la descomposición de Pauli y de Sinclair a las imágenes RADARSAT-2 y la descomposición de Pauli a la imagen ALOS PALSAR. El análisis polarimétrico es relevante solamente si parte de la onda retro-dispersada es predominante. La evaluación de las matrices de retrodispersión 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, 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°, dispersión superficial y 90°, reflexión de esquina, con valores intermedios 45° 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 (Figura 8, 9, 10, 11, 12 y 13).



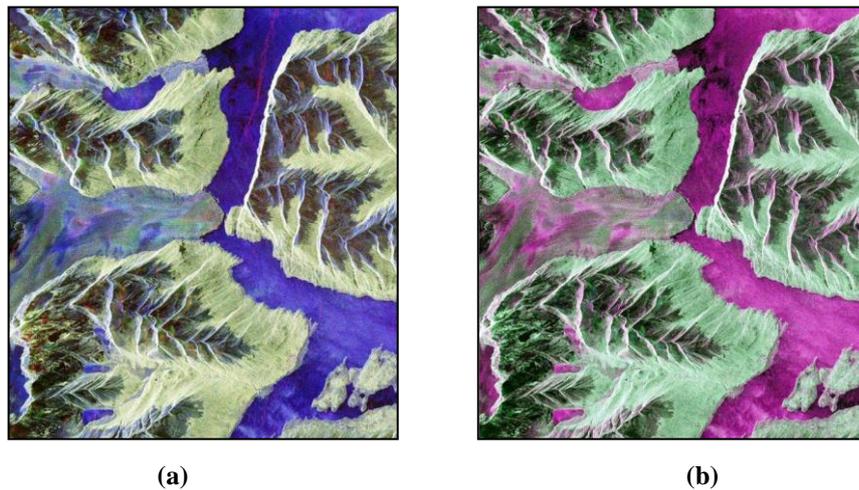
Elaboración: Fuente propia

Figura 8. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía



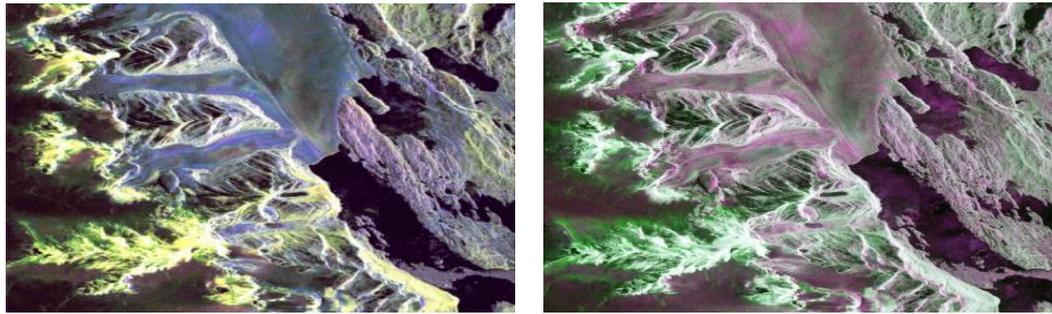
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno



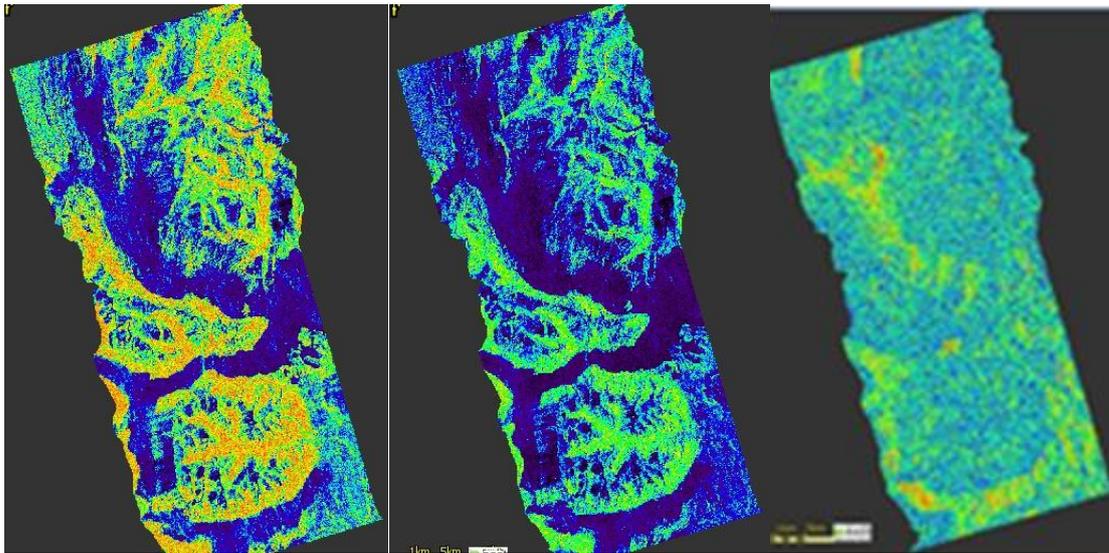
(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala

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° y 45° , 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, 1992; Lee, 1999; Ouarzeddine, 2007). Las descomposiciones se pueden utilizar para interpretar la naturaleza de las cubiertas e incluso realizar clasificaciones supervisadas y no supervisadas (Alberga, 2007; Rodrigues, 2003).



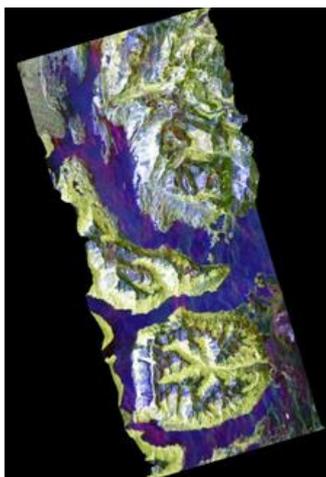
(a)

(b)

(c)

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Parámetros polarimétricos (a) Entropía (b) Alpha y (c) Anisotropía, imagen ALOS PALSAR



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Descomposición de Pauli (RGB/ HH-VV, HV, HH+VV) imagen ALOS PALSAR

RESULTADOS

Imágenes ópticas

La imagen SPOT 5 correspondiente a la zona de El Chalten, se la clasificó en forma supervisada mediante el algoritmo de Máxima Verosimilitud considerando 7 clases temáticas (estepa arbustiva, estepa, lenga, bosque asociado, bosque quemado, roca y roca erosionada), enmascarando el agua y las sombras (Figuras 14, Tabla 1).

Asimismo, se generaron mapas temáticos, considerando las clases: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, agua, hielo glaciario y nieve, a partir del análisis de la cartografía vigente, la interpretación visual y la clasificación digital multiespectral de la imagen Landsat 5 TM y SPOT 5 (área Perito Moreno) (Figura 15 y 16, Tabla 2 y 3).

Clases temáticas identificadas:

Bosque de lenga: Corresponde a la especie lenga (*Nothofagus pumilio*) como especie predominante en dos tipos, arbóreo y achaparrado.

Bosque de ñire: Corresponde a la especie ñire (*Nothofagus antarctica*), es una especie bastante rústica, de la familia de las fagáceas, se encuentran tanto bosques puros como asociado con la lenga en los faldeos. También puede presentarse en forma arbustiva.

Bosque asociado: 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*) y asociado a la lenga, notro, (*Embothrium coccineum*), canelo, (*Drimys winteri*) y sauco (*Sambucus spp.*).

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

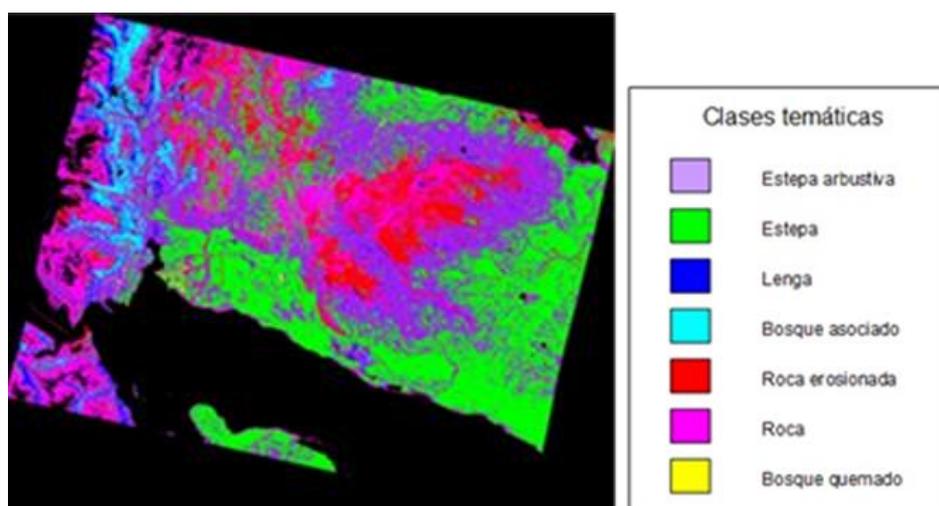
Mallines: Son praderas húmedas que se encuentran en la estepa, generalmente asociadas con los cursos de ríos o arroyos o con los fondos de los valles. Las especies dominantes son los pastos mesofíticos (*Poa pratensis*, *Deschampsia flexuosa*, etc.), los juncos (*Juncus balticus*) y las ciperáceas (*Carex spp.*).

Roca: áreas de roca pelada o suelo expuesto, en la parte alta de las montañas y en sectores bajos se denotan los efectos de la erosión glaciaria (Roca erosionada).

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.

Agua: área correspondiente al Lago Viedma, Lago Argentino, Brazo Norte, Brazo Sur, Canal de los Témpanos, Brazo Rico y Lago Roca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Clasificación Supervisada, imagen SPOT 5- 680/450

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

CLASE	PIXELS	IMAGEN	HAS
Estepa arbustiva	12124922	17,44	121249,22
Estepa	11519816	16,56	115198,16
Lengua	722864	1,04	7228,64
Bosque asociado	1348223	1,94	13482,23
Bosque quemado	163909	0,24	1639,09
Roca	5628821	8,09	56288,21
Roca erosionada	3626721	5,21	36267,21
Enmascarados	34406828	49,48	344068,28
Total	69542104	100,00	695421,04

Fuente: Elaboración propia

Overall accuracy = 92.9732% / KAPPA COEFFICIENT = 0.9127



Training Site Editing					
Class Edit Tools					
	Value	Name	Color	Threshold	Bias
1	6	Roca	Grey	3.00	1.00
2	9	Mallines	Orange	3.00	1.00
3	1	Estepa	Yellow	3.00	1.00
4	5	Bosque asociad	Light Green	3.00	1.00
5	4	Bosque de Nire	Dark Green	3.00	1.00
6	3	Bosque de lengt	Bright Green	3.00	1.00
7	7	Nieve	Cyan	3.00	1.00
8	2	Agua	Blue	3.00	1.00
9	8	Hielo	Red	3.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

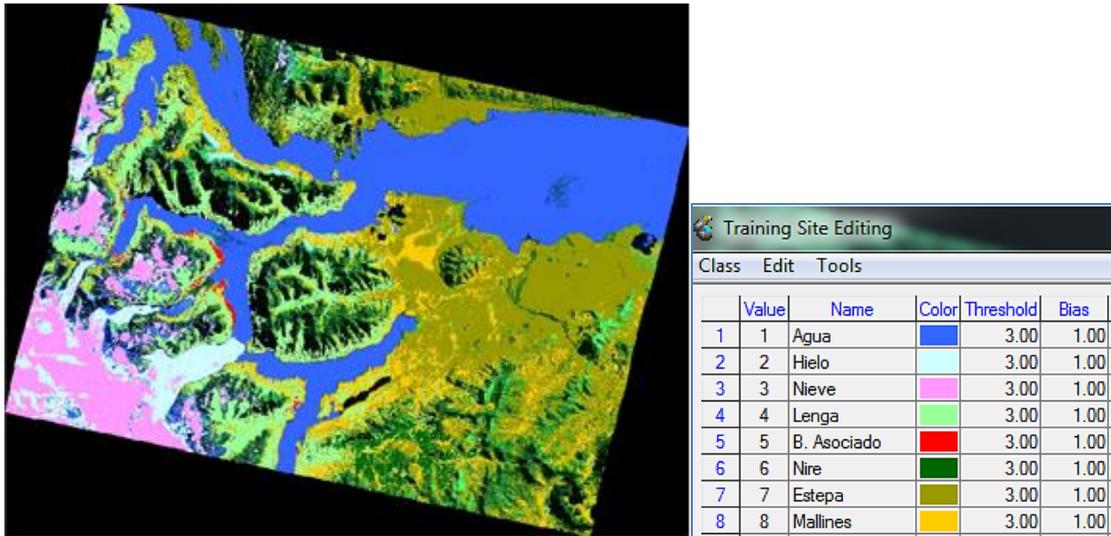
Figura 15. Imagen Landsat 5 TM clasificada

Tabla 2. 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

Fuente: Elaboración propia

Average accuracy = 97.08 / Overall accuracy = 98.21 / KAPPA COEFFICIENT = 0.98251



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Clasificación Supervisada, imagen SPOT 5- 680/452

Tabla 3. Resultado de la clasificación. Superficie por clase temática

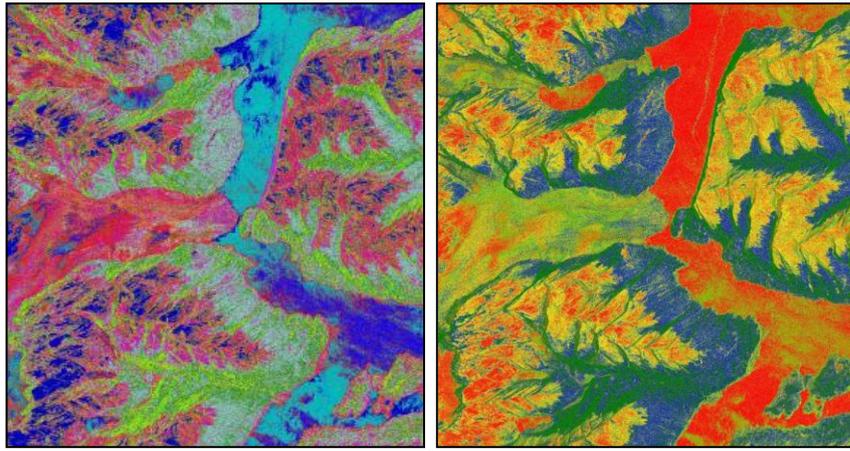
CLASES	PIXELES	IMAGEN	HAS
Estepa	8636811	24.84	86368,11
Agua	11344949	32.61	113449,49
Bosque de lenga	5125836	14.75	51258,36
Bosque de ñire	838694	2.41	8386,94
Bosque asociado	224136	0.64	27795.96
Nieve	2850607	8.20	28506,07
Hielo glaciar	2023573	5.82	20235,73
Mallines	3724052	10.71	3724052
Total	34768658	100.00	347686,58

Fuente: Elaboración propia

Average accuracy = 95.60 / Overall accuracy = 99.31 / KAPPA COEFFICIENT = 0.99310

Imágenes radar

Con el fin de observar distintas características de hielos, vegetación y rocas, en ambas imágenes radar (RADARSAT-2 y ALOS PALSAR), se realizaron clasificaciones polarimétricas supervisadas y no supervisadas (entropía/alfa/anisotropía), Wishart-H/A/Alpha, en las imágenes RADARSAT-2 y solo no supervisada en ALOS PALSAR (Figuras 17, 18 y 19).

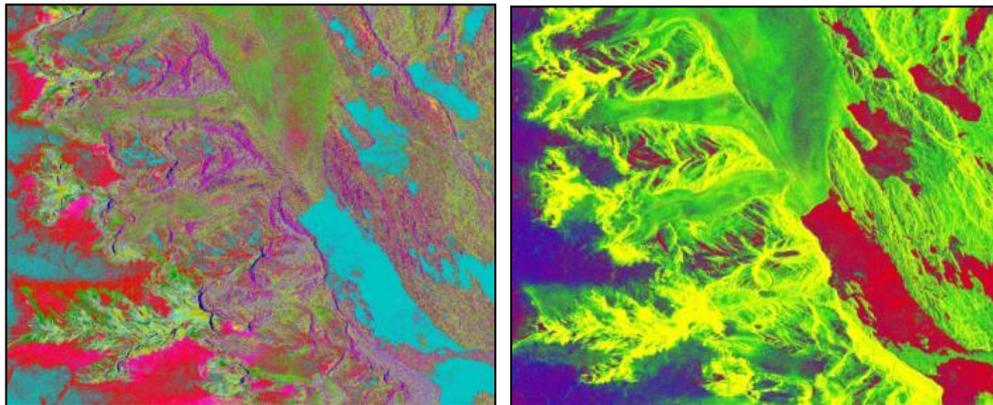


(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Clasificación Whishart. (a) no supervisada y (b) supervisada.
Perito Moreno RADARSAT-2

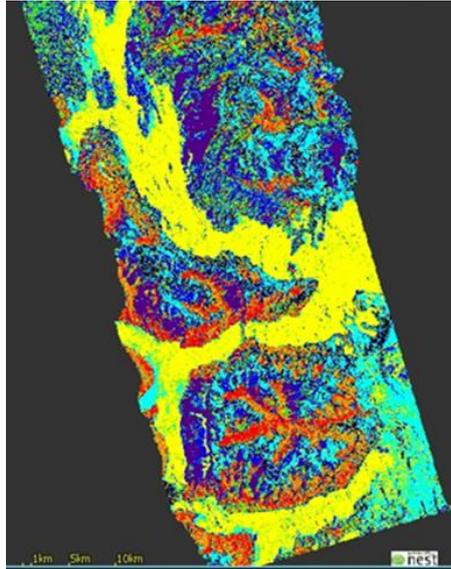


(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Clasificación Whishart. (a) no supervisada y (b) supervisada.
Upsala. RADARSAT-2



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Clasificación Whishart. (a) no supervisada. ALOS PALSAR

CONCLUSIONES

Las clasificaciones supervisadas realizadas a las imágenes Landsat 5 TM y SPOT 5, arrojaron buenos resultados utilizando las mismas clases temáticas, en forma visual y por las estadísticas (separabilidad de clases, matriz de confusión).

Se aprecian mejoras en la clasificación utilizando las clases temáticas obtenidas en terreno, lo cual aporta datos más precisos a la diferenciación de clases. Esto disminuye los valores de separabilidad ya que la resolución espacial de la imagen no es suficiente como para clasificar áreas con tanto detalle, pero esto puede mejorarse al agregar más superficies (y por lo tanto más píxeles) a las regiones de interés, ayudando al proceso de clasificación.

El empleo de máscaras aporta a una buena diferenciación al eliminar los píxeles que no forman parte de las regiones de interés, evitando confusiones cuando se clasifica.

En el análisis polarimétrico realizado sobre las imágenes RADARSAT-2 y ALOS PALSAR 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 geométricas, 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), 3851-3870

Arias Duarte, L.P., Santacruz Delgado, A.M. & Posada, E. (2010). Programa satelital colombiano de observación de la Tierra: una estrategia de innovación y desarrollo tecnológico para Colombia, *Revista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Análisis Geográficos*, Número 44, 13-29 ISSN. 0120-8551

Bertone M. (1997). Aspectos glaciológicos de la zona del hielo continental patagónico.

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, Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, 34, 2

Dobson, M., Ulaby, F. & Pierce, L. (1995). Land cover classification and estimation of terrain attributes using Synthetic Aperture Radar. *Remote Sensing of Environment*. 51, 199-214

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

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.