

La Geoinformación al Servicio de la Sociedad

Memorias



Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Capítulo Colombia



Medellín, Colombia 29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE DISTINTOS AMBIENTES EN EL PARQUE NACIONAL LOS GLACIARES (ARGENTINA) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DATOS RADAR Y ÓPTICOS

Antes, M.E.^{1, 2}; Cuello, A.R.^{1, 2}; Sedeño, A.A.¹; Raed, M.A.²; Gari, J.M.¹ y B. Lorenzo³

 Centro de Sensores Remotos, Fuerza Aérea Argentina (FAA)
 PRODITEL, Universidad Nacional de Luján (UNLu)
 Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa Rutas 5 y 7, Lujan, Buenos Aires, Argentina
 selperargentina@gmail.com; cuello@terra.com.ar; m_raed_ar@yahoo.com.ar; aamsed@yahoo.com; j_gari_ar@yahoo.es; belorenzo@gmail.com

RESUMEN

El Parque Nacional Los Glaciares, Patrimonio Mundial, está ubicado en la región conocida como Andes Australes del territorio argentino, al sudoeste de la provincia de Santa Cruz. Actualmente, los hielos ocupan una superficie aproximada de 2.600 km², con 47 glaciares mayores, siendo los más conocidos el Perito Moreno y el Upsala, ubicados sobre el Brazo Sur y Norte del Lago Argentino, respectivamente. El área de estudio corresponde al Glaciar Perito Moreno y sus áreas aledañas. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la capacidad de las imágenes radar banda L ALOS PALSAR polarimétricas e imágenes ópticas SPOT 5, con el propósito de identificar y caracterizar los tipos de ambientes y las unidades fisonómicas forestales nativas presentes en el área de estudio. Se aplicaron técnicas de procesamiento digital de imágenes: clasificaciones, índices de vegetación y análisis polarimétricos, generando información temática de la cobertura vegetal y ambientes asociados. 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. Palabras claves: bosques, cartografía, geotecnologías, glaciares, SAR

THEMATIC CARTOGRAPHY OF DIFERENT ENVIRONMENT IN PARQUE NACIONAL LOS GLACIARES (ARGENTINA) BY USING RADAR AND OPTICAL DATA

ABSTRACT

Parque Nacional Los Glaciares, known as World Patrimony, is located in Andes Australes region, at the southwest of Santa Cruz province in Argentina. Nowadays, the ice bodies cover 2600 km² with 47 greater glaciers. One of the most known is Perito Moreno that is located on Brazo Sur of Lago Argentino and Upsala on Brazo Norte of the same lake. The study area includes Perito Moreno Glacier and its surrounding. The objective of this paper is to evaluate how polarimetric band L ALOS PALSAR and SPOT 5 images can be used to identify and characterize the environment and physiognomic natural forest unities that are present in the study area. Classifications, vegetation index and polarimetric analysis have been applied to relate optical and microwave digital processing methods. Thematic Cartography of natural resources has been generated.. SAR data has shown a great importance for forest studies, although the interaction between microwave data and vegetation is very complex.

Key words: forest, cartography, geo-technology, glaciers, SAR, SIG

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de observación de la Tierra constituyen una tecnología esencial para evaluar y monitorear los recursos naturales y un instrumento de suma utilidad para el desarrollo sostenible de un país. El avance tecnológico de los últimos tiempos, hace posible una gran disponibilidad de información de distintos tipos de sensores, procesos y algoritmos y la obtención de una variedad de productos.

Asimismo, 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 la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de proyectos optimizando el aprovechamiento de los recursos y su sostenibilidad (Arias Duarte *et al.* 2010).

La información sobre recursos naturales forestales y de ambientes asociados, es fundamental para establecer políticas de acción que optimicen las funciones y actividades relacionadas a la conservación y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como a su control y fomento, logrando un manejo sostenible.

Este trabajo se basa en la utilización de imágenes radar y ópticas para generar información temática de diferentes cubiertas naturales mediante el uso de datos ópticos (SPOT 5) y de radar (ALOS PALSAR).

Las imágenes adquiridas por el satélite 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 ALOS PALSAR presentan información todo tiempo, diversas polarizaciones y bandas de frecuencia.

La polarización hace referencia a la orientación y la forma trazada por la onda, es la dirección del campo eléctrico en un plano perpendicular a la dirección de la propagación de la energía. Haciendo uso de las bandas polarimétricas (HH, VV, HV y VH) es posible visualizar composiciones color que permiten obtener más información que la obtenida con solo una banda (Posada & Bernate 2010).

La adquisición simultánea de imágenes en 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. En este contexto, se plantea como objetivo general del presente trabajo generar una cartografía temática de las unidades fisonómicas forestales nativas: *Nothofagus pumilio* (lenga), *Nothofagus Antarctica* (ñire) *y Nothofagus betuloides* (guindo), la vegetación de estepa (arbustos pequeños, espinosos y pastizales) y la zona de transición (especies típicas del bosque y de la estepa patagónica). 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, y 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 y gestión del área protegida, coherentes con sus características ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El 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. 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, 2- Región Preandina, 3- Región Subandina. 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 las cuales 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, confundiéndose gradualmente con la altiplanicie patagónica (Feruglio 1944).

El Glaciar Perito Moreno fluye hacia el noreste y termina en el canal sudoeste del Lago Argentino, a una altura de 180 m, dividiendo el canal en Canal de los Témpanos al norte y Brazo Rico al sur.

La vegetación asociada a las montañas y glaciares es la de los bosques subantárticos dominados por la lenga, el guindo, el ñire y muchos arbustos como el notro y el calafate, que ofrecen vistosas y coloridas flores.

El área de estudio de este trabajo, corresponde al Glaciar Perito Moreno y zonas aledañas (Figura 1).



Figura 1. Localización del área de estudio

Materiales

Imágenes ópticas y radar

La imagen óptica seleccionada fue la del SPOT 5, Path/Row 680/452, de fecha 5 de abril de 2014, con ancho de barrido de 60 km y resolución espacial de 10 m (Figura 2), la misma fue escogida considerando características de baja nubosidad, buena calidad radiométrica. La imagen radar seleccionada fue ALOS PALSAR polarimetríca, Nivel de procesamiento 1.1, PLR (HH-HV-VH-VV), del 27 de marzo de 2011, 24.08°, Ascendente, zona Península Avellaneda y Lago Rico (Figura 3). Ambas imágenes fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)



Figura 2. Imagen SPOT 5, FCC 342/RGB Figura 3. Imagen ALOS PALSAR El sensor PALSAR es un Radar de Apertura Sintética que trabaja en la banda L y es capaz de adquirir datos de hasta 10 m de resolución con ángulos de incidencia entre 20° y 55°. Tiene cuatro modos de adquisición (cada uno de ellos con una determinada resolución, cobertura y polarización), cada uno de los cuales está activo durante un ciclo completo de adquisición de 46 días (Larrañaga 2010).

Software utilizado

- ENVI 4.7
- NEST 5.0 (ESA)
- POLSARPRO V4.2.0 (ESA)
- ARC-VIEW 3.2

PolSARpro es un programa especializado tanto en el procesamiento de datos SAR (Radar de Apertura Sintética) polarimétrico como interferómetrico y SAR (Polarimétrico-interferométrico).

El NEST en la versión 5, incorporó "Deskewing" de ALOS L1.1 que permite una correcta ortorrectificación ("Terrain correction"). Para ALOS 1.1 los tiempos registrados no son "cero-doppler", los datos se distribuyen en una geometría "sesgada", por lo tanto, generalmente necesitan ser corregidos ("deskewed") antes de su procesamiento.

Metodología

Se realizó una revisión de los trabajos existentes relacionados con la utilización de datos ópticos y de radar para el mapeo y cartografía de ambientes de bosques y glaciares, con el fin de caracterizar el área de estudio, y a partir de estos antecedentes y del análisis de información de sensores ópticos y radar, se generaron mapas temáticos correspondientes a las comunidades de vegetación y otros ambientes presentes.

A través de técnicas de análisis visual se caracterizaron los diferentes ambientes presentes en el área de estudio utilizando productos mejorados mediante procesos digitales simplificados (Ensanche de contraste y Realce de bordes), aplicados a la imagen SPOT 5. Se identificaron y validaron las clases temáticas previamente establecidas en el análisis visual preliminar y los antecedentes bibliográficos, a través de un recorrido a campo. Dicho trabajo consistió en recorrer el área de estudio, apoyado con GPS, relevando muestras de cobertura vegetal boscosa, vegetación de estepa, mallines y otras cubiertas asociadas como hielo de glaciar, nieve (Figura 4). Estas clases se utilizaron en la clasificación digital supervisada de la imagen SPOT.



(g)

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.Fotos de relevamiento a campo. (a) Lenga, (b) Bosque Ñire, (c) Bosque asociado, (d) Vegetación de estepa, (e) Mallines, (f) Agua y (g) Hielo de glaciar y Nieve

Se clasificó la imagen SPOT 5, escena 680/452, del 5 de abril de 2014, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque asociado, vegetación de estepa, agua, 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.

La imagen ALOS PALSAR, se calibró 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 de radar deben ser calibradas.

Se le aplicó el filtro Lee Adaptativo con ventana de 3x3 para disminuir el ruido speckle. El ruido speckle tiene las características de un ruido multiplicativo aleatorio donde sus efectos son más pronunciados en áreas de alta intensidad que en áreas de baja intensidad (Shi & Fung 1994).

El filtro de Lee usa estadísticas locales como la media y la desviación estándar en una ventana de tamaño fijo, para determinar pesos adecuados para suavizar la imagen. El modelo multiplicativo del ruido speckle se aproxima por un modelo lineal.

En el análisis se utilizó un parámetro adicional denominado Índice Radar de Vegetación – Radar Vegetation Index (RVI), obtenido a partir de la señal retodispersada co-polarizada y de polarización cruzada. Parámetro definido por Kim & van Zyl, 2004:

$$RVI = \frac{8\sigma_{hv}^0}{\sigma_{vv}^0 + \sigma_{hh}^0 + 2\sigma_{hv}^0}$$

Donde $\sigma 0$ es la sección cruzada normalizada del radar (NRCS) y en el denominador se muestra la polarización de la señal transmitida y recibida: vv señal transmitida vertical y recibida vertical, hh señal transmitida horizontal y recibida horizontal, y hv señal transmitida verticalmente y recibida horizontalmente (Figura 5).



Figura 5. Radar Vegetation Index (RVI)

El RVI permitió identificar la presencia de vegetación y caracterizar su distribución espacial, los tonos amarillo rojizos corresponden a áreas de mayor cobertura boscosa.

En la imagen ALOS PALSAR se realizó el análisis polarimétrico denominado descomposición de Pauli. 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 & Pottier 1996). La Entropía (H) representa el grado de aleatoriedad o desorden estadístico 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 6 y 7).



Figura 6. Parámetros polarimétricos (a) Entropía (b) Alpha y (c) Anisotropía, imagen ALOS PALSAR, área glaciar Perito Moreno

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 & 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 no supervisadas (Alberga 2007, Rodrigues *et al.* 2003).



Figura 7. Descomposición de Pauli (RGB/ HH-VV,

HV, HH+VV)

RESULTADOS

A partir del análisis de la cartografía vigente, la interpretación visual y de la clasificación digital multiespectral de la imagen SPOT 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, agua, hielo glaciario y nieve (Figura 8 y Tabla 1). Clases temáticas identificadas:

Bosque de lenga: Corresponde a la especie lenga (*Nothofagus pumilio*) como especie predominante en dos tipos, arbóreo y achaparrado. Según su ubicación y en función de su distribución altitudinal puede presentarse como árboles de gran porte, transformándose en las laderas en un arbusto de pocos metros de altura.

Bosque de ñire: Corresponde a la especie ñire (*Nothofagus antartica*), es una especie rústica, de la familia de las fagáceas, se encuentran bosques puros, en la zona de transición entre el bosque y la estepa y también asociado con la lenga en los faldeos. 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 el guindo (*Nothofagus betuloides*), especie de la familia de las fagáceas, con individuos de gran porte, perennifolio, y asociado a la lenga, notro (*Embothrium coccineum*), canelo (*Drimys winteri*) y sauco (*Sambucus spp.*).

Vegetación de estepa: Esta clase 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 a menudo supera el 100%, y las especies dominantes son los pastos mesofíticos (*Poa pratensis, Deschampsia flexuosa,* etc.), los juncos (*Juncus balticus*) y las ciperáceas (*Carex spp.*).

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

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

Hielo glaciario: áreas de hielo y lenguas glaciarias ubicadas en el campo de Hielo Patagónico Sur. Esta clase identifica el hielo de los glaciares en la zona de ablación, incluyendo las morenas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Clasificación Supervisada, imagen SPOT 5

	CLASE	PIXELES	IMAGEN	HAS
Agua	1	11344949	32.61	113449,49
Hielo	2	2023573	5.82	20235,73
Nieve	3	2850607	8.20	28506,07
B. Lenga	4	5125836	14.75	51258,36
B. Asociad	o 5	224136	0.64	2241,36
B. Ñire	6	838694	2.41	8386,94
Estepa	7	8636811	24.84	86368,11
Mallines	8	3724052	10.71	37240,52
Total		34768658	100.00	347686,58

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

Fuente: Elaboración propia

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

Con la imagen ALOS PALSAR, se realizó una clasificación polarimétrica, no supervisada (entropía/alfa/anisotropía), Wishart-H/A/Alpha, con 9 clases temáticas, a fin de observar distintas características de hielos, vegetación y rocas. (Figura 9).

Con esta clasificación se observó una buena separabilidad de las clases agua, lenga, estepa y roca.



Figura 9. Clasificación WISHART

CONCLUSIONES

La clasificación supervisada, realizada a la imagen SPOT, utilizando clasificadores convencionales arrojó resultados satisfactorios, similares a los obtenidos en otros estudios que utilizan el mismo tipo de clasificador.

En el análisis polarimétrico realizado sobre la imagen 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.

Resulta necesario considerar y corregir los efectos del relieve en las imágenes SAR, en áreas de bosques y 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 disponibilidad de estos datos para estudios de bosques y contribuir en diversas aplicaciones científicas.

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.

AGRADECIMIENTOS

A la CONAE por la provisión de los datos satelitarios y la capacitación recibida.

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

Chan, C.K. (1981). Studies on the power scattering matrix of radar targets, University of Illinois, Chicago, USA

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 atributes using Synthetic Aperture Radar. *Remote Sensing of Environment*. 51, 199-214

ESA. (2011) POLSARPRO, (Versión 4.2). [Polarimetric SAR Data Processing and Educational Tool]

ESA. (2013) NEST (Versión 5.0). [Software de procesamiento digital de imágenes radar]

ESRI. (2000). ArcView (Versión 3.2). [Softwre de Sistema de Información Geográfica]. Los Ángeles, Estados Unidos: Environmental Systems Research Institute, Inc.

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. 255

Freeman, A. & Durden, S.L. (1992). A three component scattering model to describe polarimetric SAR data. Proc. SPIE, Radar Polarimetry, 1748, 213-225

GLCF. Fuente de datos perteneciente al Global Land Cover Facility, http://www.landcover.org

IGARSS, 800-802. doi: http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1368525

Kim, Y. & van Zyl, J. (2004). Vegetation Effects on Soil Moisture Estimation. Proc. IEEE
Larrañaga A., Albizua L. & Álvarez-Mozos J. (2010). Clasificación de cultivos en la zona
media de Navarra mediante imágenes radar polarimétricas. *Revista de Teledetección*. ISSN:
1988-8740. 2010. 34: 77-88

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). 2249 - 2258

Ouarzeddine, M., Souissi, B. & Belhadjaissa, A. (2007). Unsupervised classification using Wishart classifier. Proc. of ESA POLINSAR. Workshop

PCI Geomatica Version 9.1, (2003). [Software de procesamiento digital de imágenes satelitales], 50 West Wilmot St., Suite 200, Richmond Hill, Canadá.

Posada E. & Bernate Suarez M.E (2010). Avances conceptuales y aplicaciones de la polarimetría y la interferometría de radar. *Revista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Análisis Geográficos,* Número 44, 45-57 ISSN. 0120-8551

Shi, Zhenghao & Fung, Ko B. (1994). A comparison of digital speckle filters. Proceedings of IGRASS 94.Canada Centre for Remote Sensing, 2129 - 2133