

## PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES A FIN DE DETERMINAR ORIENTACIONES DE MINERALES DE HIERRO EN ROCAS BASÁLTICAS EN LA ZONA DE RIO NEGRO

Szymanowski, Alicia N.<sup>1</sup>; Ciafardini, Juan P.<sup>1</sup>; Aragón, Eugenio<sup>2</sup>; Bava, José A.<sup>1, 3</sup>

- 1- Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP.
- 2- Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP
- 3- Centro de Investigaciones Ópticas, CONICET.

Cátedra Sistemas de Comunicaciones – Departamento de Electrotecnia - Universidad Nacional de La Plata – Calle 48 y 116 - La Plata (1900) - [aliciaszy@yahoo.com.ar](mailto:aliciaszy@yahoo.com.ar).

Palabras clave: teledetección, magnetita, radar, polarización

### INTRODUCCIÓN

La identificación rápida de grandes extensiones con potencial minero es, sin duda, de gran relevancia geo-económica, ya que algunos de los minerales asociados a la magnetita son de importancia estratégica para el país.

El objetivo del presente trabajo es identificar mecanismos de interacción de las ondas electromagnéticas con la superficie terrestre. La propiedad de penetración de las ondas electromagnéticas en las rocas y su interacción con la matriz de partículas magnéticas (magnetita), responden al estado y distribución del hierro sobre la corteza terrestre, la orientación de la magnetita en una roca de la superficie terrestre responde a la ubicación del polo terrestre en el momento en que se formó dicha roca. Dado que los polos terrestres migran en función del tiempo, da como resultado rocas de diferente edad, pero con idéntica composición y fábrica presenten matrices de magnetita con orientaciones distintas, lo que se puede identificar por cambios en la difracción de las ondas electromagnéticas.

Se muestran estudios preliminares respecto a la identificación, seguimiento y evolución de los recursos naturales, mediante el análisis de imágenes de radar obtenidas por sensado remoto. Las ventajas de esta metodología son: la rápida disposición de los datos para su análisis y su amplia cobertura.

Estudios geológicos previos han permitido detectar diferencias entre coladas de lava y rocas sedimentarias utilizando análisis de datos de escaterómetros en diferentes longitudes de onda, diferentes tipos de polarización y varios ángulos de incidencia [1] [2].

La zona de estudio es la región de Quetrequil, en la Provincia de Río Negro, se identificaron aquí zonas bien diferenciadas de sedimento moderno, basalto joven y basalto viejo y se muestran los resultados de las operaciones matemáticas efectuadas a imágenes del satélite ERS, Alos/Palsar y Cosmo Sky-Med.

### PARTE EXPERIMENTAL

El área de estudio, está situada en el centro sur de la provincia de Río Negro extendiéndose hasta el centro norte de la provincia de Chubut, correspondiendo dicha área a la región central de la provincia morfo-estructural del Macizo Norpatagónico. Esta región es llamada Quetrequil. Forma parte de la región árida del sur argentino y en la cual, exceptuando los ríos Chubut y Limay, las aguas superficiales son escasas y temporales. El clima es seco y frío, con vientos fuertes y frecuentes, registrándose heladas durante todo el año. En invierno hay temporales de nieve y granizada en primavera. En general, los suelos son esqueléticos e inmaduros. Por su vegetación, se encuentra incluida en la subregión árida patagónica. El desarrollo de la topografía de mesetas está dada por la friabilidad de los

sedimentos Terciarios y la tenacidad de las coladas basálticas, lo que conduce a que aquellos terrenos que no están cubiertos por basaltos sean fácilmente erosionables y removidos, dejando así los relictos mesetiformes no erosionables protegidos por una carpeta de basaltos (conocido como inversión de relieve) [3] (Figura 1).

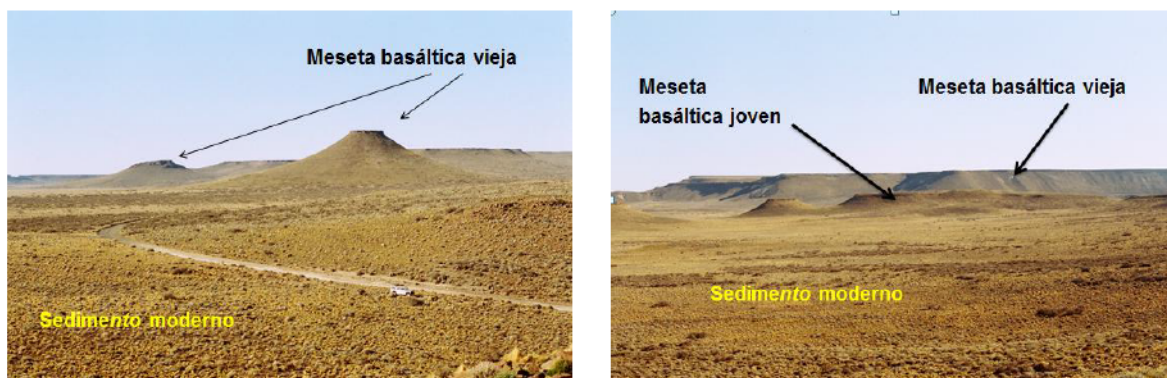


Figura 1 – Imágenes de las zonas en estudio a) mesetas con basalto viejo y sedimento moderno y b) mesetas con basalto viejo y joven y sedimento moderno.

La formación de estos grandes derrames de lava basáltica, puede agruparse en dos grandes períodos: el más antiguo y extenso ocurre hacia fines del Oligoceno-principios del Mioceno (de los 30 a los 20 Millones de años) y el más joven ocurre en los últimos 3 millones de años. La gran cantidad de coladas basálticas genera situaciones en que es difícil determinar su edad relativa [4].

Las efusiones volcánicas de coladas basálticas tiene en su matriz partículas magnéticas que se orientan conforme el campo magnético terrestre. Dado que el campo magnético terrestre experimentó cambios en su orientación en el tiempo, las coladas basálticas de distinta edad tendrán también, respectivamente, distinta orientación de sus partículas magnéticas. Es factible entonces que una microonda polarizada sufra distintos grados de rotación en cada una de las coladas basálticas de distinta edad (Figura 2). El propósito del presente estudio consiste en tratar de diferenciar entre si las coladas basálticas de diferente edad en función de la orientación de los cristales de magnetita, ya que dicha magnetita estará orientada conforme sea la ubicación del polo magnético terrestre al momento de su efusión.

Por otra parte la naturaleza planar y de gran extensión subhorizontal de estas mesetas basálticas permiten minimizar el efecto topográfico en la señal radar recibida. Esta respuesta diferencial de las coladas permitiría mapearlas como unidades distintas no obstante la misma composición química, que las hace indistinguibles entre sí por métodos convencionales.

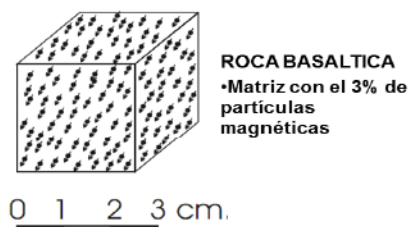


Figura 2 – Orientación de partículas magnéticas en la roca basáltica.

Se contó con imágenes de alta resolución y polarimétricas de alta resolución provistas por Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), cada imagen abarca casi completamente la región del terreno que interesaba para el estudio propuesto, en principio solo se trabajó con datos de amplitud de los canales HH y HV (Figura 3).

A diferencia de las imágenes de sensores remotos ópticos, que se caracterizan por rasgos limpios y uniformes, las imágenes SAR se ven afectadas por el Speckle (moteado). Debido a la alta variabilidad de la respuesta Speckle de las imágenes SAR, la discriminación de los diferentes medios naturales mediante la comparación de la intensidad (amplitud) con un umbral fijo conduce, en general, a numerosos errores.

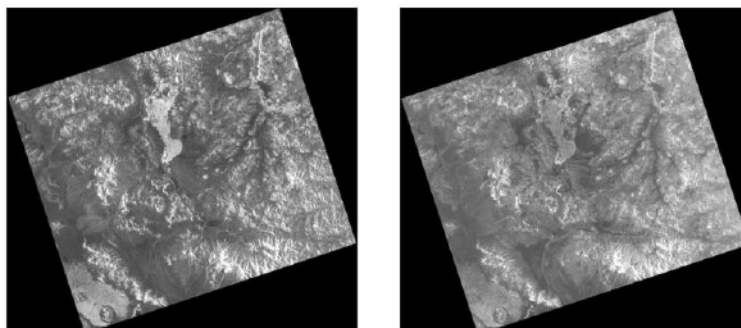


Figura 3 – Imagen de Alta Resolución, solo provee datos correspondientes a las amplitudes de las polarizaciones HH y HV.

El efecto Speckle también afecta la fase del coeficiente de dispersión y corrompe la información polarimétrica. Si bien el efecto Speckle no puede ser considerado como un simple ruido, ya que está estrechamente relacionado con el principio de medición del SAR, se puede demostrar que la respuesta integrada sobre áreas homogéneas presenta una distribución Normal, tanto en amplitud como en fase. De este modo, un valor de amplitud afectado por el Speckle puede considerarse como una variable aleatoria cuyo valor medio es igual al valor de amplitud no afectado por el Speckle pero con una gran varianza debido al mismo. Las técnicas de filtrado de Speckle buscan lograr una reducción de la varianza de las muestras con el fin de mejorar la estimación de su media.

Entre las técnicas de filtrado de Speckle se distinguen las dos más utilizadas que son el filtro Boxcar y el filtro de Lee, las cuales se aplicaron en nuestro procesamiento. El filtro Boxcar consiste en el promediado de una ventana deslizante de  $N \times N$  píxeles. Por otra parte el filtro de Lee trabaja de manera similar pero determina la estimación del valor de intensidad sin Speckle minimizando el error cuadrático medio. Además este filtro utiliza máscaras de dirección para determinar la parte más homogénea de la ventana deslizante, esta modificación permite conservar los bordes afilados de la imagen [5][6].

En este trabajo se realiza una clasificación supervisada, siendo un especialista en el terreno quien efectúa la identificación de zonas homogéneas de superficies de terreno representativas o de interés en la imagen, estas muestras se conocen como zonas o áreas de entrenamiento. La selección apropiada de las áreas de entrenamiento se basa en el conocimiento del analista de la zona geográfica y de los tipos de cobertura de superficies reales presentes en la imagen. De esta manera el analista está “supervisando” la clasificación de un conjunto de clases específicas. La información estadística de los píxeles que componen estas áreas se usan para “entrenar” al algoritmo para que reconozca las áreas estadísticamente similares para cada clase.

Para procesar las imágenes SAR se utiliza el software PolSARpro y los procesamientos realizados consistieron básicamente en filtrado de Speckle y clasificación utilizando los diferentes métodos que facilita el software. Se trabajó procesando las imágenes de alta resolución ALOS/PALSAR, clasificando las imágenes HH y HV por separado, combinando las imágenes con operaciones sencillas como sumas y restas (HH+HV, HH-HV y HV-HH), además se realizaron las mismas operaciones pero filtrando previamente cada polarización con filtros de Speckle Boxcar y Lee.

El procedimiento que proporciona los mejores resultados comienza filtrando cada polarización con un filtro Lee con un tamaño de ventana de 7x7 píxeles, luego realiza la resta de las polarizaciones HH-HV y finalmente se implementa una clasificación supervisada. El método de clasificación utilizado es el supervisado Wishart, se clasificaron los datos en cinco categorías distintas correspondientes a distintas formaciones geológicas (Figura 4).

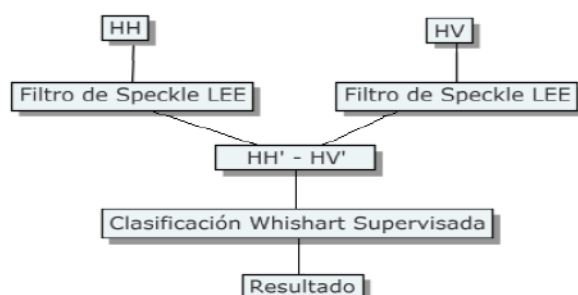


Figura 4 – Procedimiento de clasificación que proporcionó mejores resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 5 se muestra el resultado de procesar la información correspondiente a la polarización HH contenida en la imagen de la figura 3. En este caso se aplicó un filtrado de LEE para el Speckle y luego se realizó una clasificación Wishart supervisada, con un tamaño de ventana de 7x7. A la derecha se muestran las zonas de entrenamiento consideradas para aplicar el algoritmo y a la izquierda el resultado de la clasificación.

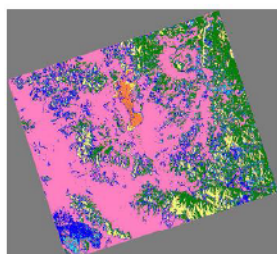


Figura 5 – Polarización HH procesada con filtrado de LEE y clasificación Wishart supervisada.

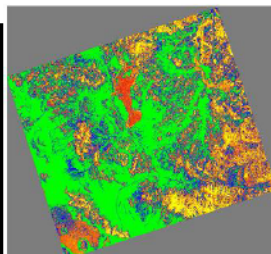
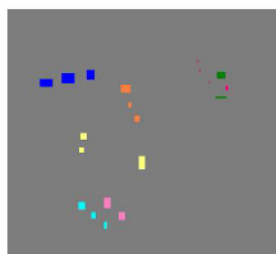
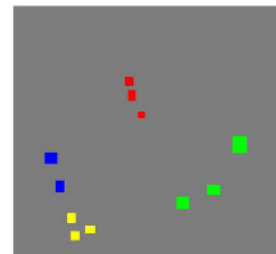


Figura 6– Polarización HV procesada con filtrado de LEE y clasificación Wishart supervisada.



En la figura 7, a la izquierda se muestra una imagen de la zona estudiada compuesta por las polarizaciones HH y HV, ambas polarizaciones están superpuestas. En color rojo se representó la polarización HH y en color verde se representó la polarización HV. De la combinación de ambas imágenes resulta una gama de tonalidades verde-amarillo donde se advierten los límites de las distintas formaciones geológicas y desniveles del terreno.

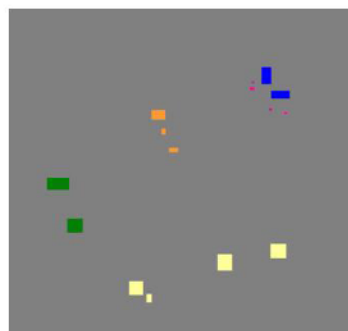
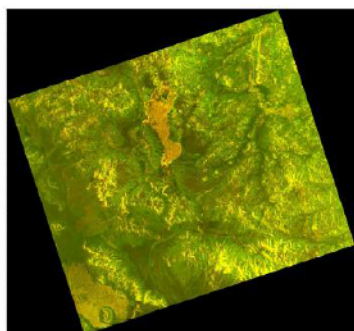


Figura 7 – Zonas donde se efectuó la clasificación

A la derecha de la misma figura se muestran las áreas de entrenamiento consideradas para aplicar el algoritmo de clasificación supervisada. El color naranja corresponde a los basaltos Rumay, el color púrpura corresponde a basaltos Crater, el color verde corresponde a sedimentos y el color amarillo a depósitos fluviales y aluviales indiferenciados (gravas, arenas, limos y arcillas).

En la figura 8 se muestra una imagen con el resultado de la clasificación empleando el procedimiento del diagrama de flujo de la figura 4 comparada con un esquema donde se distinguen las distintas formaciones geológicas del área en estudio. A la izquierda se puede apreciar la imagen resultante del proceso de clasificación, se ve que las regiones de la superficie correspondientes a coladas basálticas aparecen claramente determinadas (colores púrpura y naranja). Se puede realizar una comparación con el esquema de la derecha, donde las zonas correspondientes a distintas referencias geológicas se muestran en distintos colores. En este esquema las coladas basálticas se muestran en tres tonalidades de gris.

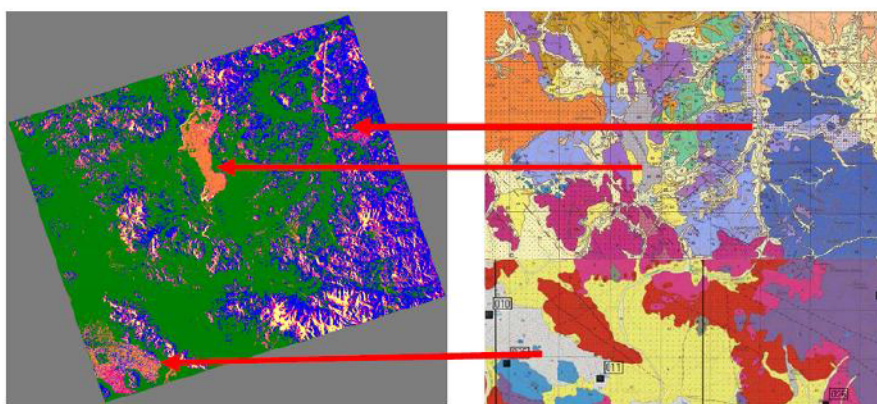


Figura 8 – Resultado de la clasificación comparada con las formaciones geológicas del área en estudio (Carta Geológica Gastre).

En la figura 9 se superpusieron los contornos de las áreas correspondientes a basaltos sobre la imagen obtenida como resultado de la clasificación. Se observa claramente que el algoritmo logra diferenciar las coladas basálticas del resto de las formaciones, y, a su vez, logra diferenciar entre sí coladas basálticas de diferente edad en la región estudiada.

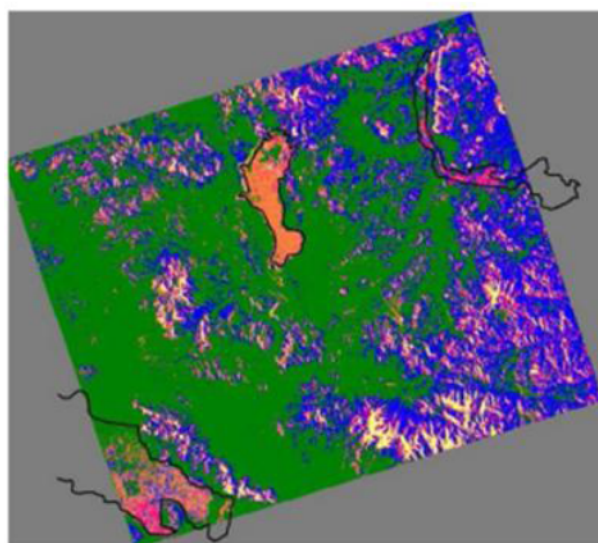


Figura 9 – Superposición de los contornos de las áreas correspondientes a basaltos sobre la imagen obtenida como resultado de la clasificación.

Más allá del trabajo en particular, el objetivo de este trabajo fue lograr mediante un enfoque interdisciplinario el desarrollo de técnicas y algoritmos originales de procesamiento de imágenes combinadas, que nos permitan la detección del hierro y su orientación magnética en sus diferentes estados naturales (Ciclo del Hierro). El estudio de las propiedades de penetración de las ondas milimétricas y centimétricas en las rocas y su interacción con la matriz, para identificar el estado y distribución del hierro sobre la corteza terrestre, es un novedoso enfoque de gran utilidad; dado que la magnetita en la naturaleza se encuentra en diversos tipos de asociaciones minerales, algunas de ellas de interés económico, como las que contienen titanio, aluminio, cobre, oro, etc.

Al presente, las alternativas tecnológicas de mapeo geológico, discriminando distintas unidades, se encuentra en su etapa de investigación y desarrollo. Si bien se han logrado resultados favorables trabajando en rangos de longitudes de ondas de infrarrojo cercano y visible, estos no contemplan la posible constitución de las rocas.

## CONCLUSIONES

El procesamiento de imágenes ALOS/PALSAR de alta resolución se llevó a cabo mediante técnicas sencillas de filtrado y clasificación, siendo imágenes obtenidas en banda L, con características similares a las que se obtendrán con el satélite SAOCOM. Cabe acotar que el trabajo se realizó en el marco del Anuncio de Oportunidad para el desarrollo de Aplicaciones y Puesta a Punto de Metodologías Utilizando Imágenes SAR banda L Polarimétricas de la Misión SAOCOM de CONAE.

Un inconveniente para realizar el trabajo fue no poder contar con mayor cantidad de imágenes de las zonas que deseábamos estudiar en todas las polarizaciones. De igual forma los resultados obtenidos fueron buenos, lográndose diferenciar con ciertos procesamientos coladas basálticas de diferente edades en la región del centro sur de la provincia de Río Negro. El resultado obtenido es alentador ya que trabajando con imágenes de tipo "Level 1.1 data Product" se podrían aplicar técnicas de procesamiento polarimétricas mucho más sofisticadas, lo que permitiría obtener mejores resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. R. G. Blom, L. R. Schenck y R. E. Alley - What are Best Radar Wavelengths, Incidence Angles, and Polarizations for Discriminations among Lava Flows and Sedimentary Rocks? A Static Approach - IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing - Vol. GE-25, N°2, March 1987
2. R. G. Blom - Effects of Variation in Look Angle and Wavelength in radar Images for Geologic Applications: Implication for SIR-C and Magellan - Proceedings of IGARSS 66 Symposium, Edinburg, Scotland, 13-16 Sep 1988. Ref. ESA SP-284, Published by ESA Publication Division, August 1988
3. Ardolino, A., Franchi, M., Remesal, M., and Salani, F., 1999, El volcanismo en la Patagonia extraandina. In Geología Argentina. Caminos, R. (ed.), Servicio Geológico Nacional, Anales 29: 579-612. Buenos Aires
4. Aguilera, E.Y., Aragón, E., Llambias, E., y Aguglino, R... 1998. "Mapeo de Unidades Volcánicas Terciarias, en la Patagonia Andina, con Imágenes Satelitarias" En: 9 Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto. San Pablo. Publicado en CD, pgs.8
5. N. Ibañez, A. Szymanowski, J. A. Bava y E. Aragón - Mapeo discriminado de rocas basálticas de distinta edad mediante el procesamiento de imágenes de satélites de detección remota - VI Congreso Argentino de Tecnología Espacial - 18-20 de mayo de 2011. Universidad de La Punta. San Luis, Argentina
6. Szymanowski A., Ibañez N., Bava J. A. y Aragón E. - Aplicación de la teledetección con radar para la determinación de rocas basálticas de distinta edad - Congreso Argentino de Teledetección 2012 - Ciudad de Córdoba, 18 al 21 de septiembre de 2012