



## Detección de Zeolitas con ASTER en Piedra Parada - La Buitrera, río Chubut medio, provincia del Chubut

Silvia Edith CASTRO GODOY<sup>1</sup>, Guillermo COZZI<sup>2</sup>, María Cecilia UBALDÓN<sup>3</sup>, Eva DONNARI<sup>3</sup> y Eugenia Mariana WRIGHT<sup>1</sup>

**Abstract:** *DETECTION OF ZEOLITES WITH ASTER IN STONE STOP-BUITRERA, MIDDLE CHUBUT RIVER, PROVINCE OF CHUBUT.* The Geological and Mining Survey of Argentina, SEGEMAR, carries out the “Prospection of Sedimentary Zeolites in Argentina” project through the Geological Mineral Resources Department with the participation of several areas, including the Remote Sensing and GIS Division. The results obtained from ASTER data digital processing in Piedra Parada area, Río Chubut Medio, Cushamen and Languiño departments, at the NW of Chubut province are presented in this work, related to fallen tufts reworked and deposited in a volcanic caldera (Tufolitas Laguna de Hunco, Paleocene-Eocene). As a classification method the Spectral Angle Mapper algorithm was applied and spectral patterns of clinoptilolite, heulandite, mordenite and analcima were selected from USGS database. With a probability of occurrence map, an exhaustive fieldwork and sample collection were carried out with the objective of determining the variability in zeolite distribution, its composition and validation of the image processing methodology. X-ray diffraction method (XRD) was applied and the diffractograms were interpreted to determine that the zeolitic rocks are composed mainly of clinoptilolite and / or heulandite. The characterization was complemented by reflectance measurements with spectroradiometer which allowed adjusting the spectral classification and the assembly of the spectral base of zeolites of Chubut. Geological, vector and raster data, and XRD were loaded into databases and exported to a GIS for its integration. The results allow to validate the methodology of digital processing and to continue using it in the detection of zeolitic rocks in other Argentina regions in order to contribute and expand the prospection.

**Resumen:** El Servicio Geológico Minero Argentino, SEGEMAR, lleva adelante el proyecto “Prospección de Zeolitas Sedimentarias en la República Argentina” mediante la Dirección de Recursos Geológico Mineros con la participación de diversas áreas, entre ellas la Unidad Sensores Remotos y SIG. En este trabajo se presentan los resultados del procesamiento digital de datos ASTER obtenidos en la zona de Piedra Parada, Río Chubut Medio, departamentos Cushamen y Languiño, al NO de la provincia del Chubut donde afloran tobas de caída retrabajadas y depositadas en una caldera volcánica (Tufolitas Laguna de Hunco, Paleoceno-Eoceno). Como metodología de clasificación se utilizó el algoritmo Spectral Angle Mapper y patrones espectrales de los minerales clinoptilolita, heulandita, mordenita y analcima de la base de datos del USGS. A partir de un mapa de probabilidad de ocurrencia se realizó un exhaustivo trabajo de campo y recolección de muestras con el objetivo de

---

<sup>1</sup>) Unidad Sensores Remotos y SIG. Instituto de Geología y Recursos Minerales (SEGEMAR). Av. Gral. Paz 5445 - CP 1650 San Martín, Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 25.

e-mail: [silviacastrogodoy@gmail.com](mailto:silviacastrogodoy@gmail.com) - [Eugenia.wright@segemar.gov.ar](mailto:Eugenia.wright@segemar.gov.ar)

<sup>2</sup>) Centro de Investigación de Geología Aplicada. Instituto Nacional de Tecnología Minera, (SEGEMAR). Av. Gral. Paz 5445 -CP 1650 San Martín, Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 14.

e-mail: [guillermo.cozzi@segemar.gov.ar](mailto:guillermo.cozzi@segemar.gov.ar)

<sup>3</sup>) Dirección de Recursos Geológico Mineros. Instituto de Geología y Recursos Minerales (SEGEMAR). Av. Gral. Paz 5445 -CP 1650 San Martín, Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 25.

e-mail: [ubaldon@speedy.com.ar](mailto:ubaldon@speedy.com.ar) - [eva.donnari@segemar.gov.ar](mailto:eva.donnari@segemar.gov.ar)

determinar la variabilidad en la distribución de las zeolitas, su composición y realizar la validación de la metodología del procesamiento de imágenes. Se aplicó difracción de rayos X (DRX) y se interpretaron los difractogramas determinando que las rocas zeolitizadas están compuestas principalmente por clinoptilolita y/o heulandita. La caracterización se complementó con la medición de la reflectancia con espectroradiómetro lo que permitió ajustar la clasificación espectral y el armado de la base espectral de zeolitas de Chubut. Los datos geológicos, vectoriales y raster, y DRX fueron volcados en bases de datos y exportados a un SIG para su integración. Los resultados permiten validar la metodología de procesamiento digital y continuar utilizándola en la detección de rocas zeolíticas en otras regiones de Argentina con el objeto de contribuir y ampliar la prospección.

**Palabras clave:** Zeolitas. ASTER. Chubut.

**Key words:** Zeolites. ASTER. Chubut.

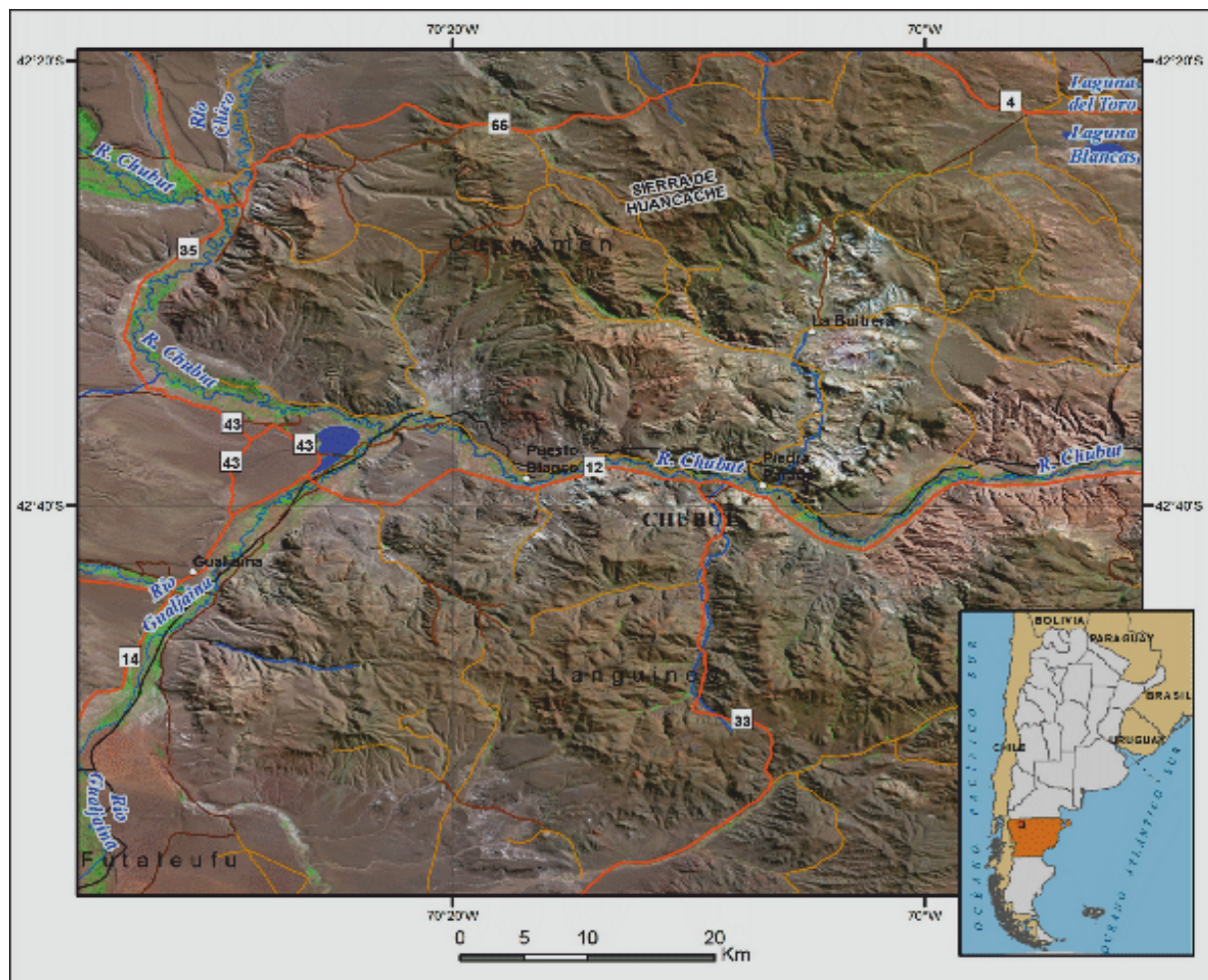
## Introducción

Las zeolitas pertenecen a un grupo mineralógico muy buscado en la actualidad por su especial estructura cristalina microporosa que le confiere la propiedad de ser tamices moleculares con capacidad de realizar intercambio

de cationes y posibilitar múltiples aplicaciones.

En este contexto la Dirección de Recursos Geológico Mineros del SEGEMAR lleva adelante el proyecto “Prospección de Zeolitas Sedimentarias en la República Argentina”.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en la zona de Piedra



**Figura 1.** Mapa de ubicación y accesos. / **Figure 1.** Location map and access.

| Sensor | Subsistema | Banda                     | Rango Espectral<br>$\mu\text{m}$ (micrómetro) | Resolución<br>Espacial | Resolución<br>Radiométrica |
|--------|------------|---------------------------|---|------------------------|----------------------------|
| ASTER  | VNIR       | 1                         | 0.52-0.60 $\mu\text{m}$                       | 15m                    | 8bits                      |
|        |            | 2                         | 0.63-0.69 $\mu\text{m}$                       |                        |                            |
|        |            | 3N                        | 0.78-0.86 $\mu\text{m}$                       |                        |                            |
|        |            | 3B                        | 0.78-0.86 $\mu\text{m}$                       |                        |                            |
|        | SWIR       | 4                         | 1.600-1.700 $\mu\text{m}$                     | 30m                    | 8bits                      |
|        |            | 5                         | 2.145-2.185 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        |            | 6                         | 2.185-2.225 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        |            | 7                         | 2.235-2.285 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        |            | 8                         | 2.295-2.365 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        |            | 9                         | 2.360-2.430 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        | TIR        | 10                        | 8.125-8.475 $\mu\text{m}$                     | 90m                    | 12bits                     |
|        |            | 11                        | 8.475-8.825 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        |            | 12                        | 8.925-9.275 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
|        |            | 13                        | 10.25-10.95 $\mu\text{m}$                     |                        |                            |
| 14     |            | 10.95-11.65 $\mu\text{m}$ |   |                        |                            |

**Figura 2.** Resoluciones del sistema ASTER. / **Figure 2.** ASTER System Resolutions.

Parada, Río Chubut Medio, departamentos Cushamen y Languiño, al NO de la provincia del Chubut (figura 1).

En esta región se encuentra la Unidad Tufolitas Laguna de Hunco que constituye extensos afloramientos de tobas de caída, portadoras de minerales zeolíticos y esmectitas y que se disponen a modo de mantos de colores blanquecino verdosos a amarillentos.

En el año 2012 los profesionales geólogos a cargo del trabajo de campo seleccionaron áreas a partir de la mención bibliográfica de hallazgos de rocas zeolitizadas y se dio comienzo a la etapa de prospección en sectores de la provincia del Chubut. Durante la primer campaña se recolectaron en el área de Piedra Parada solo 5 muestras las cuales fueron analizadas por difracción de rayos X (DRX) identificándose minerales del grupo de las zeolitas como componentes mayoritarios.

Con esta información, se recurrió al procesamiento de datos ASTER y se obtuvo un mapa de probabilidad de ocurrencia (Castro Godoy, 2014) lo que extendió la búsqueda a un área mayor que la inicial; posteriormente, en base a la generación de este nuevo mapa se

ejecutó una segunda campaña al área realizando un exhaustivo trabajo de campo y la recolección de muestras con el objetivo de determinar el grado de variabilidad de distribución de las zeolitas, su composición mineralógica y tener datos de campo para poder realizar la validación de la metodología del procesamiento de imágenes.

### Características del sensor ASTER

ASTER es un sensor de origen japonés que se encuentra a bordo de la plataforma satelital TERRA. Está constituido por 3 subsistemas VNIR, SWIR y TIR (figura 2). VNIR (Visible and Near Infrared) tiene 15 m de resolución espacial, 2 bandas en el rango del visible (verde y rojo) y una en el infrarrojo cercano donde posee 2 telescopios, uno con visión Nadir y otro vista atrás, lo que permite la generación de modelos digitales de elevaciones y la ortorrectificación de las escenas; el subsistema SWIR (Short Wave Infrared) tiene una resolución espacial de 30 m y posee 6 bandas (4 a 9) en el rango del infrarrojo de onda corta; el subsistema TIR (Thermal Infrared) tiene 90m de resolución espacial y 5 bandas (10 a 14).

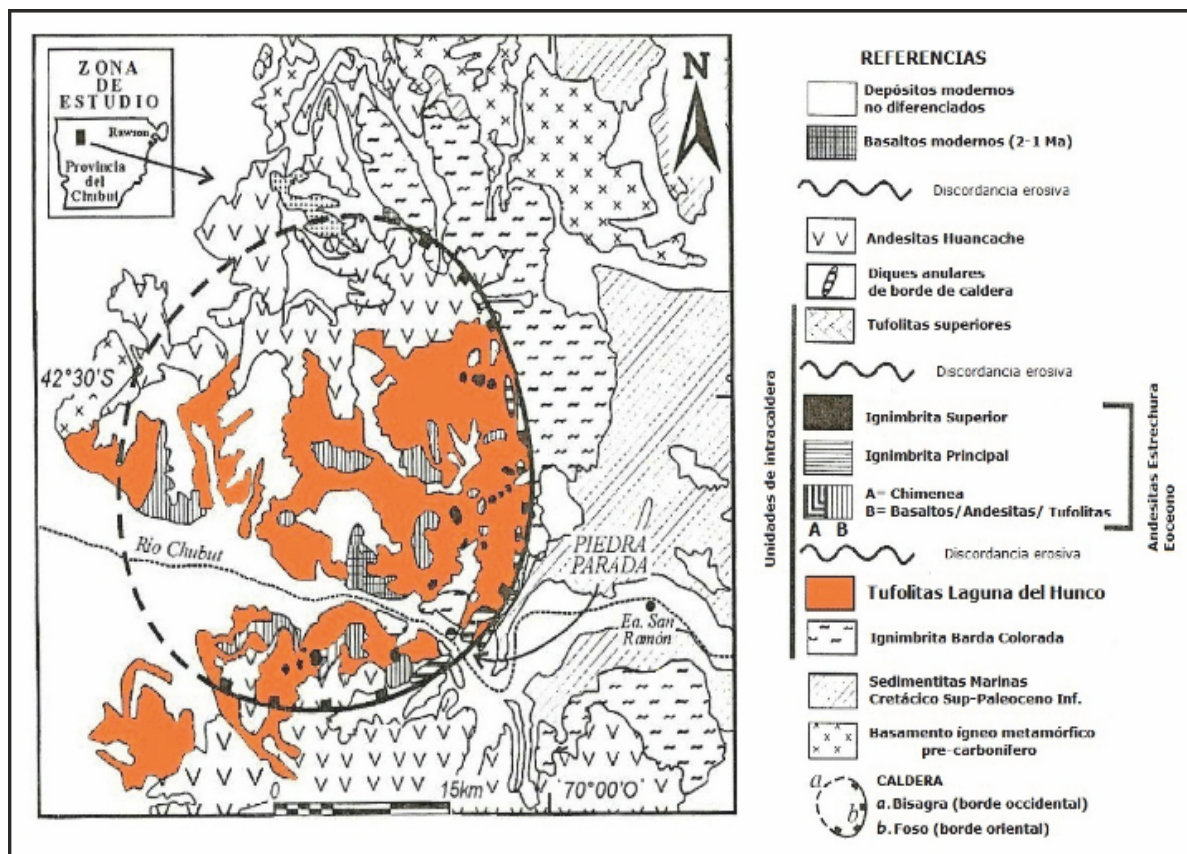


Figura 3. Geología de la Caldera Volcánica de Piedra Parada. /Figure 3. Geology of the Parched Stone Volcanic Caldera.

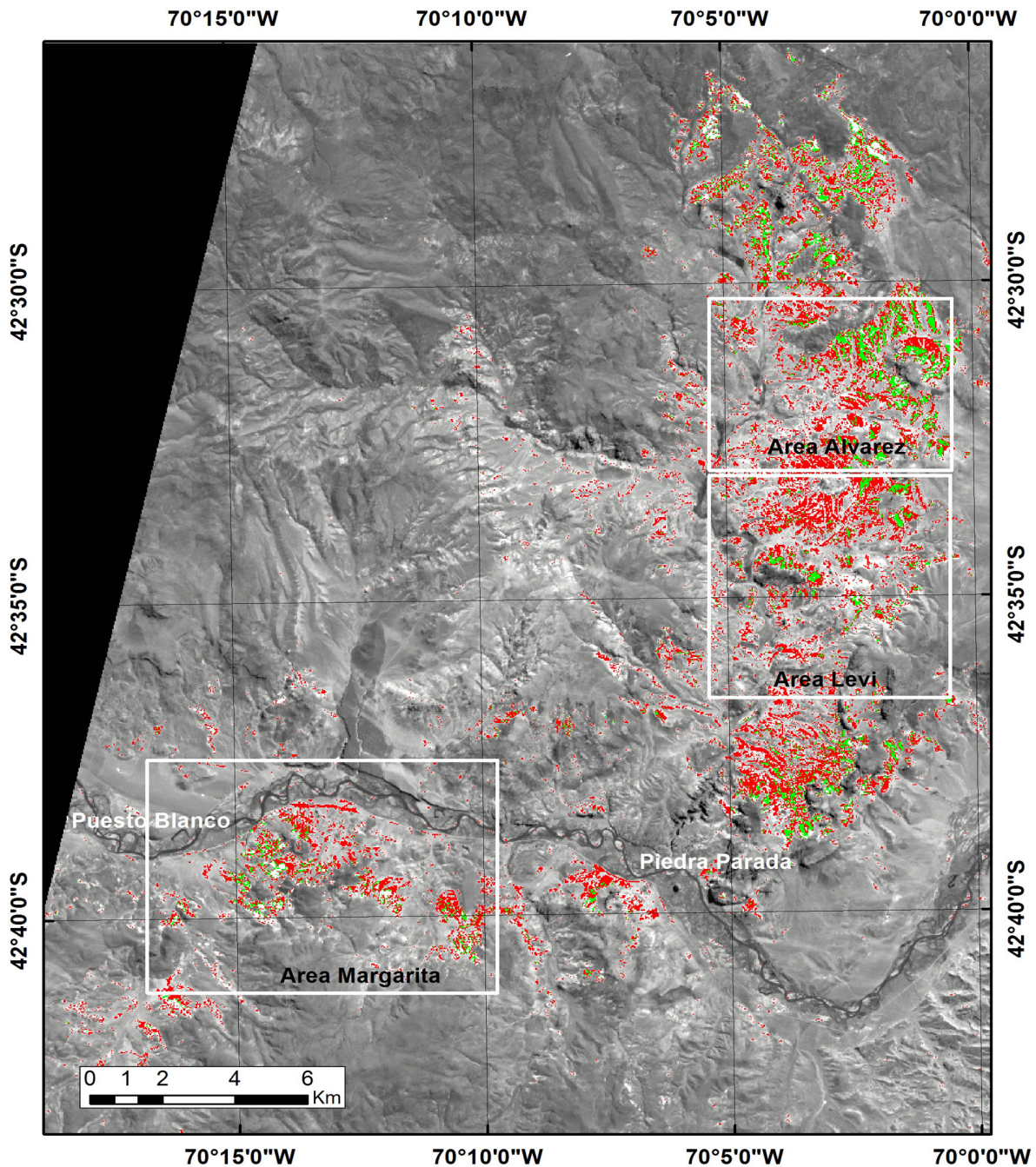
El arreglo de las bandas del sensor ASTER fue realizado con el objetivo de detectar óxidos de hierro en VNIR, minerales de alteración hidrotermal como las arcillas, carbonatos y algunos sulfatos en el SWIR y rocas con variable contenido en sílice y carbonatos en TIR.

Sin embargo las zeolitas también pueden ser detectadas a pesar de no haber sido consideradas en el diseño original de bandas debido a que poseen rasgos distintivos de absorción en las bandas del SWIR. Esta configuración característica se debe a las vibraciones de las uniones OH – cationes y a la presencia de agua en la composición mineral.

La detección satelital utilizando datos ASTER demostró ser una herramienta útil para la prospección de zeolitas en la Estancia la Tradición, Telsen, Chubut, área que fue tomada como piloto en una etapa anterior (Castro Godoy *et al.* 2015) y por lo tanto se aplicó esta tecnología en esta nueva zona de estudio.

## Geología

Las rocas volcánicas aflorantes entre la localidad de Gualjaina y el paraje Piedra Parada, se formaron como resultado de la evolución de una caldera volcánica de edad paleógena que se conoce bajo la denominación de Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut Medio (Aragón y Mazzoni, 1997). Debajo de las volcanitas terciarias aflora el Basamento ígneo metamórfico pre Carbónico y las Sedimentitas marinas del Cretácico superior Paleoceno inferior. Cubren el complejo volcánico basaltos y depósitos sedimentarios modernos. Durante el paleógeno, en la región, se manifestó un clima subtropical con abundantes precipitaciones que favoreció que la depresión de la caldera fuese ocupada por un lago donde se depositaron cenizas provenientes de pequeños volcanes (Aragón *et al.*, 2008), estas cenizas constituyen las Tufolitas Laguna del Hunco (figura 3) que son las rocas objeto de este estudio. A estas tobas de caída retrabajadas



**Figura 4.** Clasificación con las variedades de zeolitas de la base espectral del USGS. Clinoptilolita en rojo y verde. / **Figure 4.** Classification with the zeolite varieties of the spectral base of the USGS. Clinoptilolite in red and green.

depositadas en el interior de la caldera volcánica se asociaron coladas y cuerpos dómicos.

Según varios autores, entre ellos Teruggi y Andreis (1963), la formación de las zeolitas sedimentarias se produciría por alteración del vidrio volcánico de las tobas y la interacción del agua con pH alcalino de la cuenca en la cual se depositan.

## Metodología

Se utilizó una imagen ASTER, nivel 1A, radiancia al sensor, cuyo identificador es AST-L1A0110301446010111120674, del 30 de Octubre de 2001. A partir de ella se obtuvo el modelo digital de elevaciones (MDE) y se ortorrectificó la imagen mediante la aplicación del

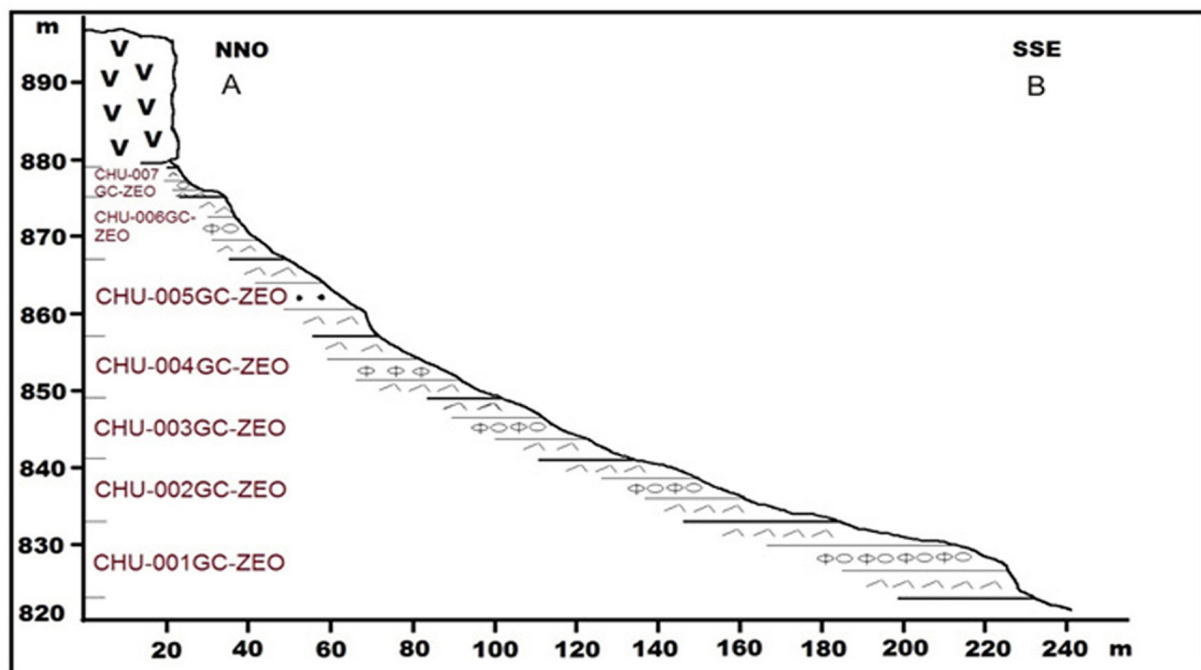


Figura 5. Perfil esquemático de muestreo levantado en el área Levi. / Figure 5. Schematic profile of raised sampling in the Levi area.

programa SILCAS, (V1:08) desarrollado por Sensor Information Laboratory Corporation en lenguaje IDL. El MDE tiene una alta resolución espacial donde los datos de elevación son extraídos cada 30 m e interpolados cada 1s. Luego los datos interpolados cada 15 m, 30 m y 90 m se utilizan para ortorrectificar las bandas de los subsistemas VNIR, SWIR y TIR respectivamente. La imagen generada posee proyección UTM y el dato de elevación está corregido a la altura del geoide.

Para la detección espectral de zeolitas con ASTER se analizaron en primer lugar los patrones espectrales de minerales puros de la base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Se aplicó el método de clasificación espectral Spectral Angle Mapper (SAM) para encontrar el espectro de imagen que sea semejante a un espectro de referencia (endmember) en n-dimensiones (bandas). Los espectros de referencia utilizados en primera instancia pertenecen a la base espectral del USGS: Clinoptilolita, Heulandita, Mordenita y Analcima. El SAM compara el ángulo espectral entre el endmember y cada píxel vector en el espacio n-dimensional de la imagen ASTER (9 bandas). Cuando los ángulos de búsqueda son

más pequeños mejor se ajusta el espectro de la imagen al espectro de referencia. Esta técnica, fue utilizada sobre datos calibrados lo que la hace relativamente insensible a los efectos de iluminación y albedo.

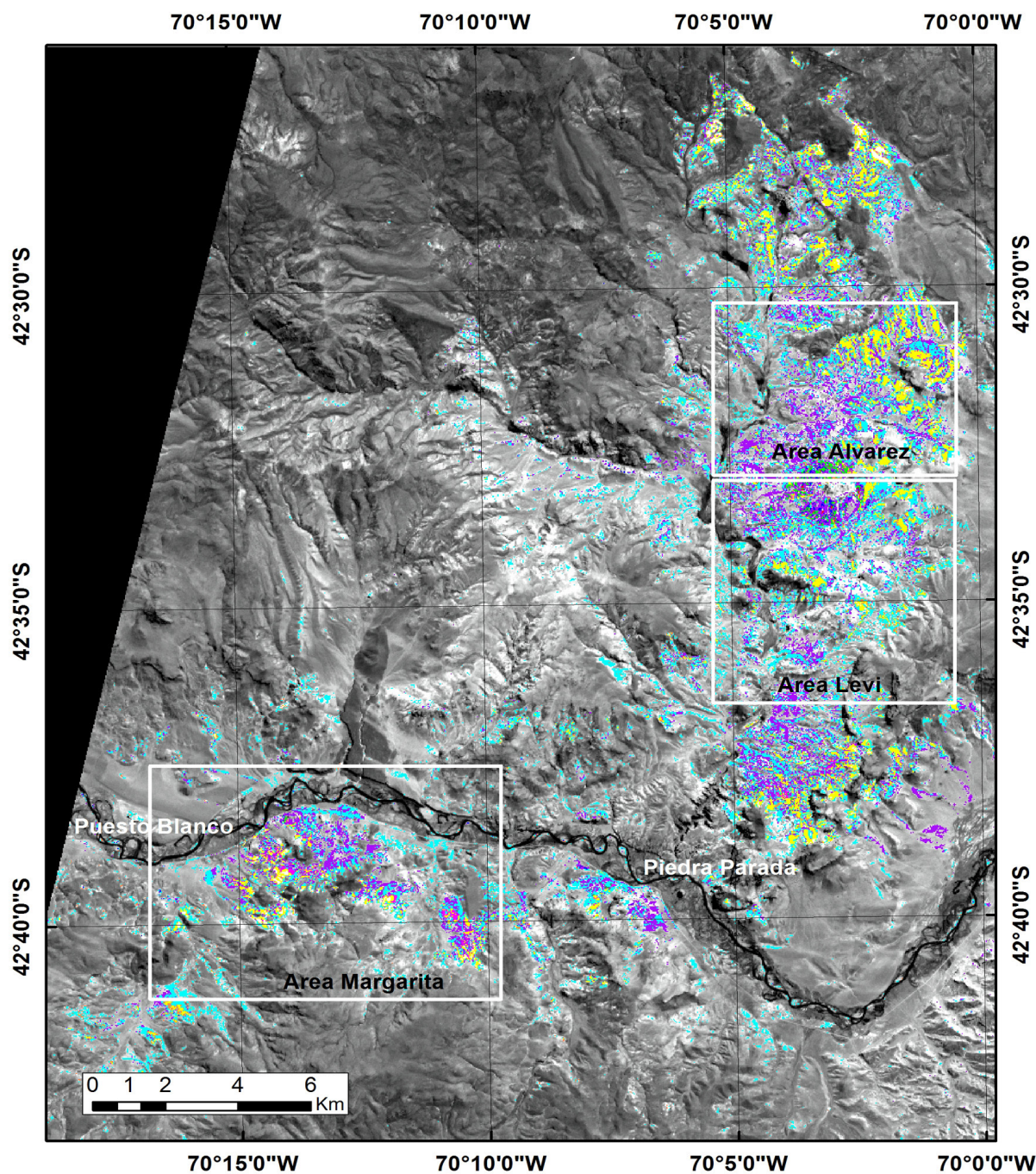
Se realizaron mediciones con el espectroradiómetro SVC HR1024 (Spectra Vista Corporation) en el rango visible a infrarrojo de onda corta (350 nm a 2500 nm) sobre 36 muestras obtenidas en la zona y se confeccionó la base espectral de zeolitas para esta área. Se aplicó nuevamente el algoritmo SAM utilizando los espectros medidos con SVC y se obtuvo un nuevo mapa de distribución de zeolitas.

Se realizó la caracterización mineralógica por difracción de rayos X sobre 36 muestras recolectadas en las áreas de Puesto Blanco y La Buitrera.

Los datos obtenidos en campo y laboratorio así como las mediciones espectrales fueron volcados en bases de datos y exportados a un SIG.

## Procesamientos y resultados

En la figura 4 se observa la imagen ASTER en composición color RGB: 468 y super



**Figura 6.** Clasificación espectral utilizando las mediciones de reflectancia con radiómetro. / **Figure 6.** Spectral classification using reflectance measurements with radiometer.

puesta la clasificación espectral (Spectral Angle Mapper) de zeolitas utilizando la base de datos espectral del USGS. En rojo y verde se representan los afloramientos cuya respuesta espectral es similar al patrón de referencia del USGS para la clinoptilolita y en cian y violeta para la mordenita. A simple vista se observa que la respuesta espectral predominante, representada en

color rojo y verde, es coincidente con el patrón de la clinoptilolita.

El trabajo de campo permitió realizar un exhaustivo muestreo para el estudio con espectroradiómetro SVC y difracción de rayos X.

A continuación, a modo de ejemplo, se ilustra el muestreo en el área de Levi mediante un perfil topográfico esquemático A-B de di-

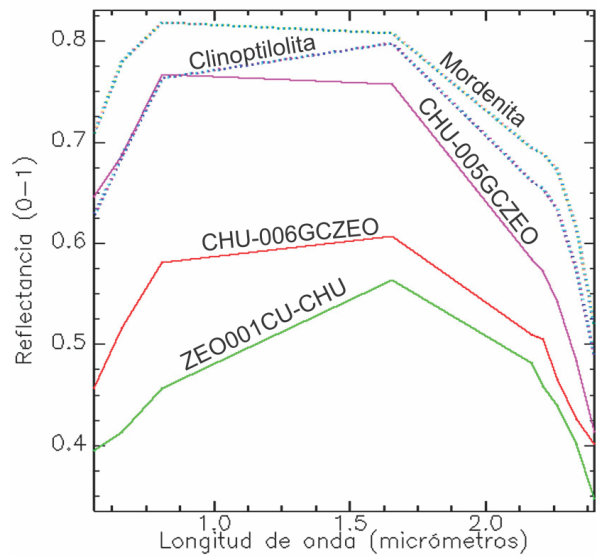
rección NNO-SSE de aproximadamente 250 m de longitud en el cual se ubican 9 muestras identificadas como CHU-001GC-ZEO a CHU-009GC-ZEO (figura 5).

Se realizaron las mediciones de reflectancia con espectroradiómetro SVC sobre 36 muestras tomadas en las áreas Levi y Margarita en horas del mediodía y con cielo libre de nubes.

Con las mismas se confeccionó la base de datos espectral y se utilizó nuevamente la herramienta de clasificación tomando esta vez las mediciones realizadas como endmembers. Se obtuvo un nuevo mapa de distribución de zeolitas según las muestras de la zona (figura 6).

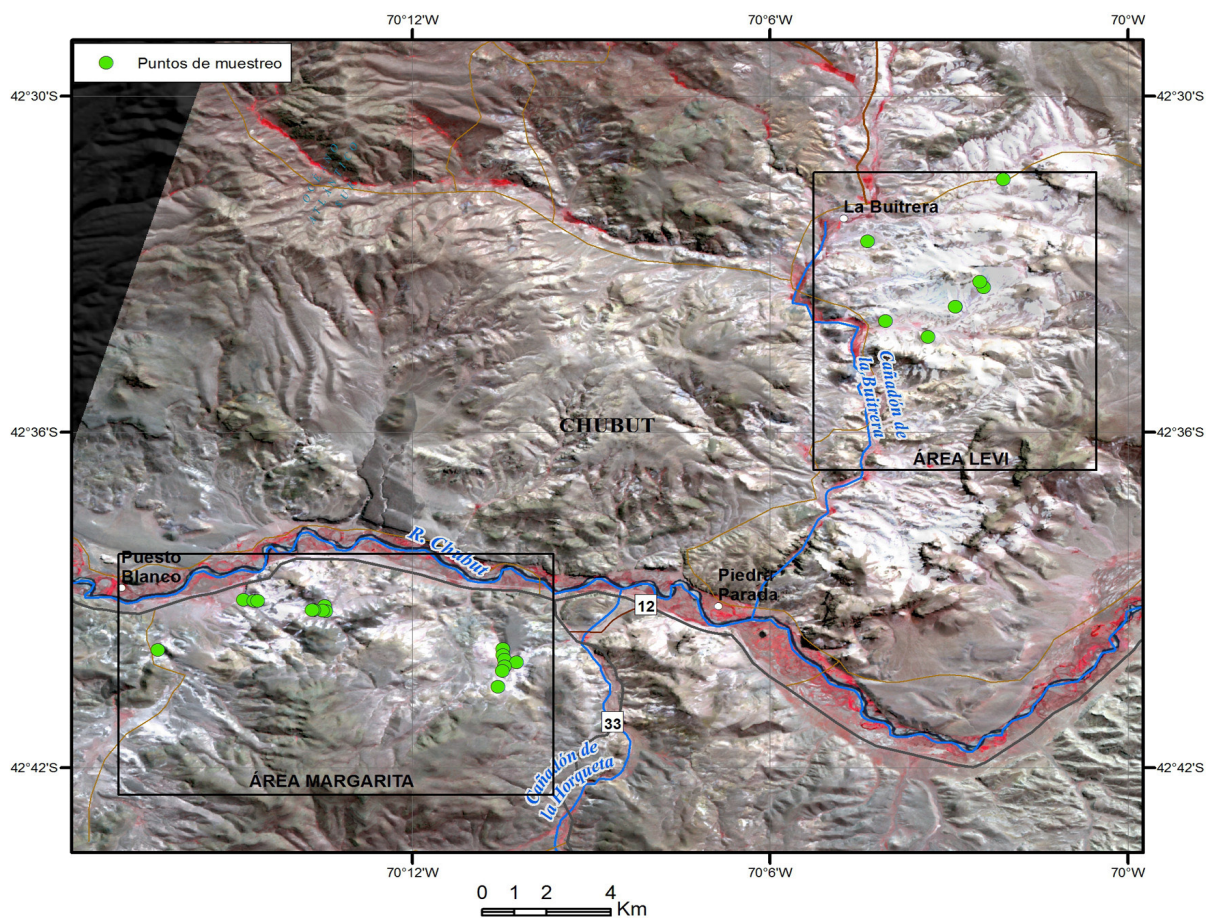
### Difracción de rayos x

Se realizó la caracterización mineralógica mediante DRX de roca total sobre las 36 muestras recolectadas en las áreas denominadas Levi



**Figura 7.** Comparación espectros muestras de campo con zeolitas USGS. / **Figure 7.** Comparison spectra field samples with USGS zeolites.

y Margarita. De acuerdo a la interpretación de los difractogramas obtenidos las rocas zeolitizadas están compuestas principalmente por cli-



**Figura 8.** Distribución de puntos de muestreo de zeolitas sobre imagen ASTER RGB: 321. / **Figure 8.** Distribution of zeolite sampling points on ASTER RGB image: 321.



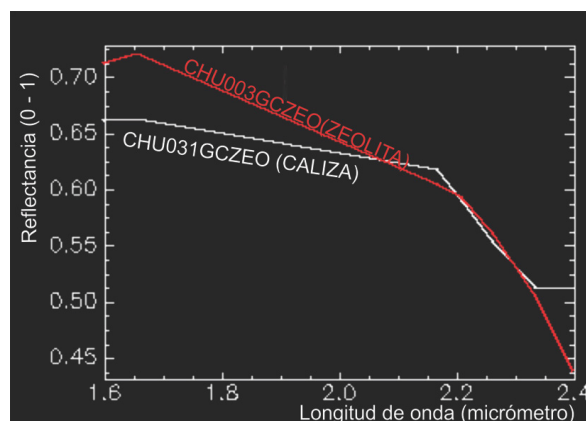
noptilolita y/o heulandita con cantidades minoritarias de feldespatos, opalo C y/o cristobalita y cantidades accesorias de cuarzo, mordenita y filosilicatos (Ubaldo y Cozzi, 2014).

Las rocas que se encuentran en el área de Levi son las que poseen contenido de minerales zeolíticos mayoritarios (entre un 80 y 90%) según los resultados de difracción de rayos X. Coincidentemente los resultados obtenidos con estas muestras se asemejan a las respuestas obtenidas con los minerales puros (figura 7).

Los datos obtenidos en campo y laboratorio así como las mediciones espectrales fueron volcados en bases de datos y exportados a un SIG lo que permite integrar la información de diversas fuentes (datos geológicos, vectoriales y raster, DRX) para realizar el análisis espacial del contexto en el que se encuentran estos afloramientos de rocas zeolitizadas. En la figura 8 se ilustra la ubicación de los sitios donde se tomaron muestras de zeolitas, detectadas por el procesamiento digital y confirmado por difracción de rayos X.

Es importante considerar que este método presenta interferencias espectrales con otros minerales como las calizas las cuales tienen una respuesta espectral similar a las zeolitas en el rango de las bandas SWIR de ASTER. Además, se debe tener en cuenta en el análisis, la superficie de distribución y variabilidad de los afloramientos ya que ASTER observa como respuesta espectral el promedio de la mezcla de minerales presentes en un pixel de 30 m.

En el sector SO del área Margarita (figura 4), existen afloramientos clasificados por el mapeador de ángulo espectral SAM como zeolitas. Sin embargo en el relevamiento de campo se pudo constatar que se trataba de afloramientos de calizas y se tomaron muestras para su estudio y caracterización espectral. En la figura 9 se grafican comparativamente las respuestas espectrales de una muestra de caliza y de una zeolita de la zona. El comportamiento de ambos es de reflectancia decreciente en todas las bandas del SWIR, excepto en la banda 9. La respuesta de la zeolita cae abruptamente en esta banda mientras que en el carbonato es ligeramente superior



**Figura 9.** Comparación espectral en SWIR de muestras de caliza y zeolita. / **Figure 9.** Spectral comparison in SWIR of limestone and zeolite samples.

a la banda 8. Considerando esta diferencia se aplicó el álgebra de bandas (banda 9 \* banda 9) / banda 8 y se pudieron diferenciar estos afloramientos, tomando como valor umbral los valores de píxeles mayores a 0.3 e identificándolos como calizas (figura 10).

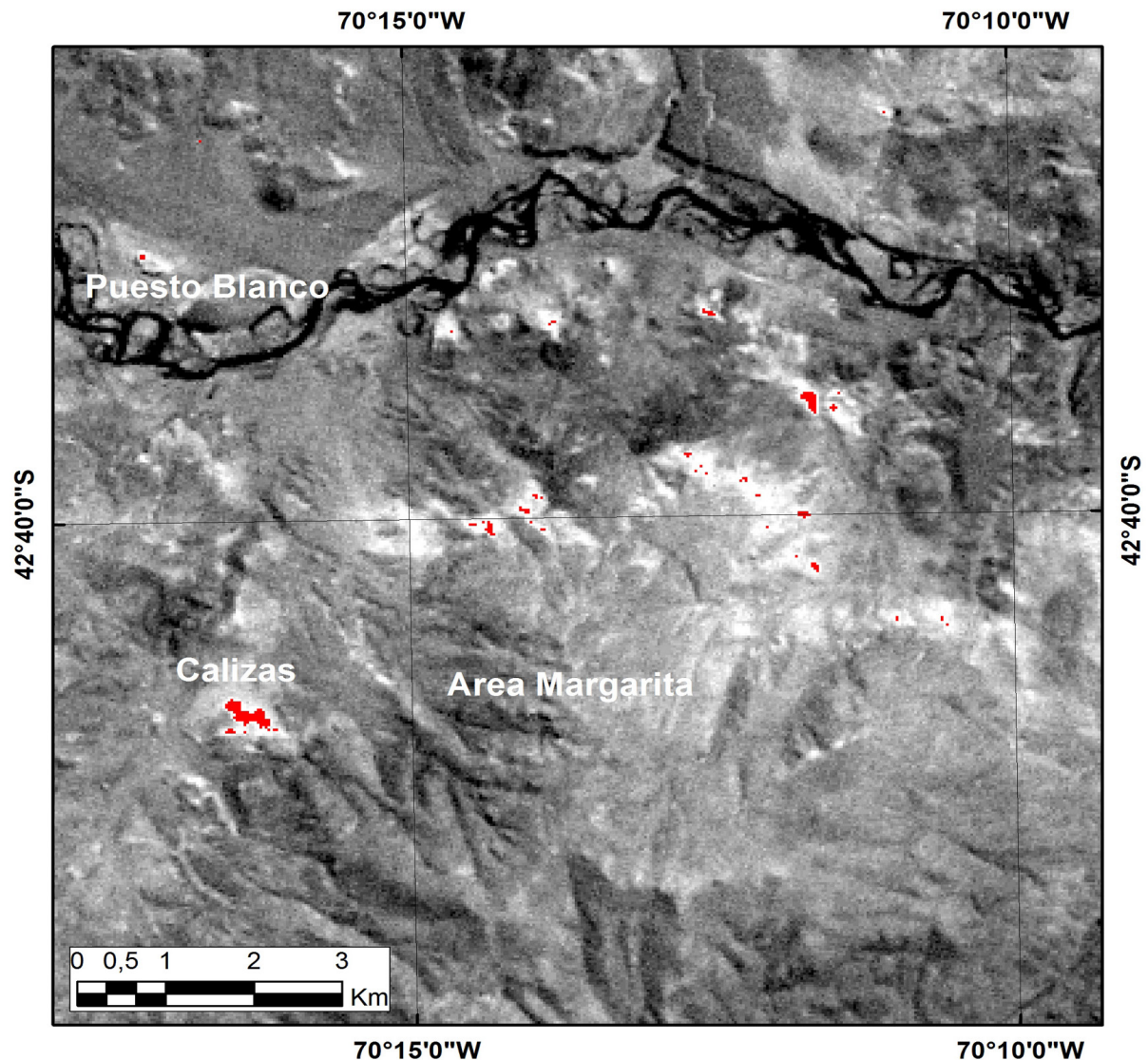
Una vez identificadas las áreas de calizas se realiza una máscara utilizando el valor umbral. Se genera una matriz de 0 y 1, donde a las regiones con umbral superior a 0.3 (calizas) se les adjudica el valor 0 y al resto de la imagen el valor 1. Luego se multiplica esta matriz (máscara) por la imagen de reflectancia con la que se realizará la clasificación espectral. De este modo, en la clasificación espectral final para zeolitas, quedan anuladas las áreas con afloramientos de calizas.

## Conclusiones

El procesamiento de datos ASTER permitió la identificación de nuevos afloramientos de rocas zeolitizadas en el área Piedra Parada-LaBuitrera

Se obtuvo un mapa preliminar a partir de la clasificación espectral utilizando espectros puros de variedades zeolíticas de la base espectral del USGS. Como resultado se observa que la señal espectral dominante en el área mencionada corresponde a la del patrón dado para la variedad Clinoptilolita.

El mapa espectral se validó a partir de los trabajos de prospección y del muestreo sistemático del área de referencia. El análisis mineralógico



**Figura 10.** Identificación de calizas con cociente de bandas; en rojo valor umbral superior a 0.3. / **Figure 10.** Identification of limestones with band ratio; In red threshold value greater than 0.3.

por difracción de rayos X permitió la identificación de especies minerales del grupo de las zeolitas, Clinoptilolita y/o Heulandita, como componente mayoritario en coincidencia con los resultados obtenidos mediante el procesamiento digital previo.

Las calizas presentan características espectrales similares a las zeolitas en el rango de observación de ASTER y constituyen interferencias en el método de clasificación espectral primaria ya que se presentan como falsos positivos en el rango del SWIR. Sin embargo, a partir de la existencia de afloramientos de calizas en el área de estudio y de su posterior caracterización mineralógica y espectral fue posible diferenciarlas de las zeolitas

mediante la aplicación de “álgebra de bandas” y la aplicación de una máscara.

Se armó la base de datos espectral de zeolitas de la región a partir de las mediciones con radiómetro SVC; se complementa con una base de datos mineralógica obtenida de la difracción de rayos X.

Se obtuvo un nuevo mapa espectral utilizando las mediciones radiométricas de muestras tomadas en campo y eliminando la respuesta de carbonatos.

La información de campo, laboratorio y de gabinete se encuentra integrada en un SIG lo que permite integrar la información de diversas fuentes y tener un acceso rápido a ella.

Estos resultados permiten profundizar en los alcances de la metodología utilizada, conocer sus ventajas e interferencias y configuran una base para continuar su aplicación en nuevas áreas de prospección de la Republica Argentina ya que constituye una herramienta eficaz para la selección preliminar de blancos previos a los trabajos de campo.

## Agradecimientos

Agradecemos al Servicio Geológico Minero Argentino por permitir la publicación de este trabajo.

## Referencias

- Aragón, E. y Mazzoni, M. 1997. Geología y estratigrafía del complejo volcánico piroclástico del río Chubut medio (Eoceno), Chubut, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 52 (3): 243-256.
- Aragón, E., Aguilera, Y., Consoli, V., Cavarozzi, C.E. y Ribot, A. 2004. Las Andesitas Estrechura del Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut medio (Paleoceno - Eoceno medio). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 59 (4): 619-633. Edición especial sobre Patagonia.
- Aragón, E., Aguilera, Y., Cavarozzi, C.E., Ubaldon, M.C. y Ribot, A. 2008. *La Caldera Paleógena de Piedra Parada. Un complejo de Intraplaca*. Sitios de Interés Geológico Ed. SEGEMAR: 669-682.
- Castro Godoy, S. 2014. Procesamiento Digital de Datos ASTER. Area Gastre – Complejo Volcánico Piroclástico del río Chubut Medio, Ruta Prov. N° 12. *Proyecto de Prospección de Zeolitas Sedimentarias en Argentina*. SEGEMAR. Informe Inédito.
- Castro Godoy, S., Donnari, E., Gozalvez, M. y Cozzi, G. 2015. Utilización de datos satelitales ASTER para la prospección de manifestaciones de rocas zeolíticas en la provincia del Chubut. *Jornadas Argentinas de Geotecnologías 2015*. 2 al 4 de setiembre de 2015, San Luis, 216-220.
- Teruggi, M. y Andreis, R. 1963. Revisión de las zeolitas con especial referencia a su importancia sedimentológica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina XVIII*, 1-2; 73-95.
- Ubaldón, M. y Cozzi, G. 2014. Prospección de Zeolitas Sedimentarias en el Noroeste de la Provincia de Chubut. *Informe de campaña Octubre de 2014*. SEGEMAR, inédito, 14 págs.

**Recibido:** 07 de Noviembre del 2016

**Aceptado:** 27 de Marzo del 2017

