

## INFORME TÉCNICO:

### **DETECCION DE ZEOLITAS CON ASTER EN PIEDRA PARADA-LA BUITRERA, RIO CHUBUT MEDIO, PROVINCIA DEL CHUBUT**

**Silvia Castro Godoy, Guillermo Cozzi, M. Cecilia Ubaldón, Eva Donnari, Eugenia Wright**

Septiembre 2016

#### **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.

Como 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, se aplicó esta tecnología para la identificación de nuevas áreas. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la zona de Piedra Parada, Río Chubut Medio, departamentos Cushamen y Languiñeo, al NO de la provincia del Chubut.

En el año 2012 los profesionales 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.

En el área de Piedra Parada se seleccionaron los afloramientos de tobas de caída retrabajadas y depositadas en una caldera volcánica que constituyen la unidad Tufolitas Laguna de Hunco de edad Paleoceno-Eoceno. Durante el primer viaje de campo realizado en el 2012 se colectaron en esa zona 5 muestras que fueron analizadas por difracción de rayos X (DRX) identificándose como componentes mayoritarios minerales del grupo de las zeolitas.

Con la información obtenida, se recurrió al procesamiento de datos ASTER y se detectaron nuevas áreas potencialmente zeolíticas lo cual motivó una segunda campaña de prospección que incluyó la toma de muestras representativas de dichas áreas. Como metodología de clasificación se utilizó el algoritmo *Spectral Angle Mapper*, se seleccionaron patrones espectrales de la base de datos del USGS: clinoptilolita, heulandita, mordenita y analcima.

Se obtuvo un mapa de probabilidad de ocurrencia lo que extendió la búsqueda a un área mayor que la inicial; se realizó un exhaustivo trabajo de campo y recolección de muestras con el objetivo de determinar la variabilidad en la distribución de las zeolitas, su composición y realizar la validación de la metodología del procesamiento de imágenes.

Con posterioridad al segundo viaje de campo se aplicó DRX sobre 36 muestras recolectadas en las áreas antes mencionadas. De acuerdo a la interpretación de los difractogramas obtenidos 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 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.

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.

Cabe destacar que existen otros componentes minerales tales como los carbonatos que dan una respuesta espectral similar a la obtenida para rocas zeolitizadas por lo cual se debe recurrir a otros tipos de procesamientos para diferenciarlas.

**Palabras Clave:** Zeolitas, ASTER, Chubut

## ABSTRACT

The Geological and Mining Survey of Argentina, SEGEMAR, carries out the research project "Prospection of Sedimentary Zeolites in Argentina" through the Geological Mineral Resources Department with the participation of various areas including Remote Sensing and GIS Division.

As satellite detection using ASTER data proved to be a useful tool for the exploration of zeolites at Estancia La Tradición, Telsen, Chubut, area that was taken as a pilot at an earlier stage, it continued with the application of this technology to identify new areas. This paper presents the results obtained in the area of Piedra Parada, Middle Chubut River, Languiño and Cushamen departments, NW of Chubut. In 2012 the professionals in charge of the fieldwork selected areas of zeolitised rocks from references and the prospecting stage began in various regions of Chubut.

In Piedra Parada, outcrops of fall tuffs reworked and deposited inside a volcanic caldera and mentioned as "Tufolitas Laguna de Hunco" unit from Paleocene-Eocene there were selected to study.

During the first field trip in 2012 five samples were collected in that area, it were analyzed by the method of X-ray diffraction (XRD) and it were identify in its mainly composition minerals of the zeolites group.

With this information ASTER digital processing was used and new suitable areas were detected for the second field trip. As a methodology it was apply the *Spectral Angle Mapper* algorithm and spectral patterns from USGS database there were selected: clinoptilolite, heulandite, mordenite, analcime. A map of probability of occurrence was obtained and the original search area was extended. During the fieldwork there were collected samples in order to evaluate the variability in zeolites distribution, composition and perform validation of the methodology of image processing.

After the second field trip XRD was applied on 36 samples collected in the above areas. According to the interpretation of diffraction patterns obtained the zeolitised rocks are composed mainly of clinoptilolite and/or heulandite.

It was also complemented by measuring the reflectance with spectroradiometer adjusting the spectral classification and generation of zeolites spectral data base in Chubut.

Not only the field data but also laboratory and spectral measurements were overturned in databases and exported to a GIS allowing the integration of information from various sources (geological map, XRD, vector data and raster) to analyze the context in which these zeolitised rocks outcrops.

The obtained results validate the methodology of digital processing and it allows continuing the detection of zeolitic rocks in other regions of Argentina in order to contribute and expand the prospection.

**Keywords:** 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 Parada, Río Chubut Medio, departamentos Cushamen y Languiño, al NO de la provincia del Chubut (Fig. 1).

En esta región se encuentra la Formación 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.

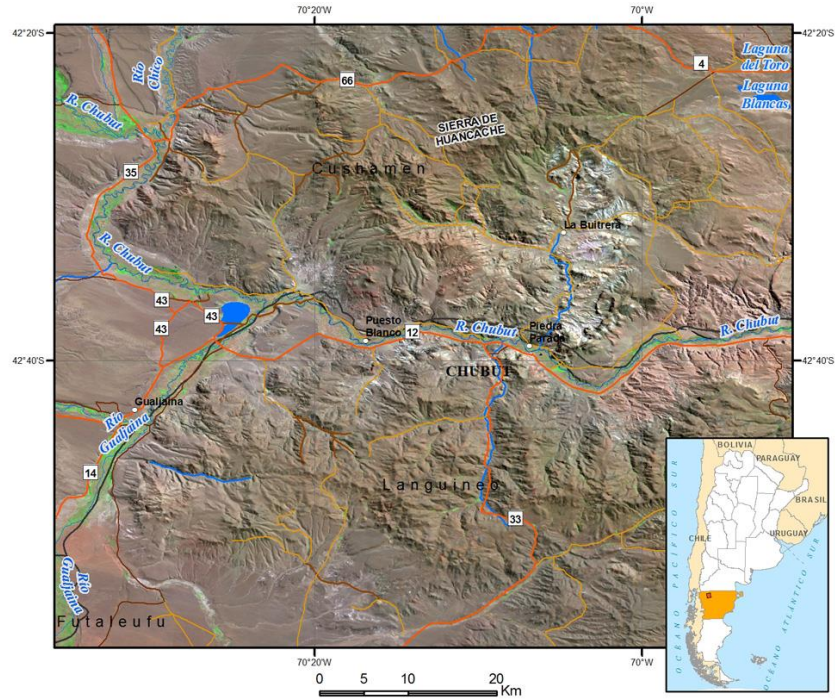


Figura 1. Mapa de ubicación y accesos.

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 (Fig. 2). VNIR (Visible and Near Infrared) tiene 15m 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 30m 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).

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.

Sensor	Subsistema	Banda No.	Rango Espectral $\mu\text{m}$ (micrometro)	Resolución Especial	Resolución Radiométrica
ASTER	VNIR	1	0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$	15 m	8 bits
		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 $\mu\text{m}$	30 m	8 bits
		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 $\mu\text{m}$		
	TIR	9	2.360 - 2.430 $\mu\text{m}$	90 m	12 bits
		10	8.125 - 8.475 $\mu\text{m}$		
		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

## GEOLOGIA

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), las Tufolitas Laguna del Hunco que constituyen las rocas objeto de este estudio. A estas tobas de caída retrabajadas depositadas en el interior de la caldera volcánica se asociaron coladas y cuerpos dómicos, los Domo Vitrofríricos y los Vitrofríos Buitrera (Fig. 3).

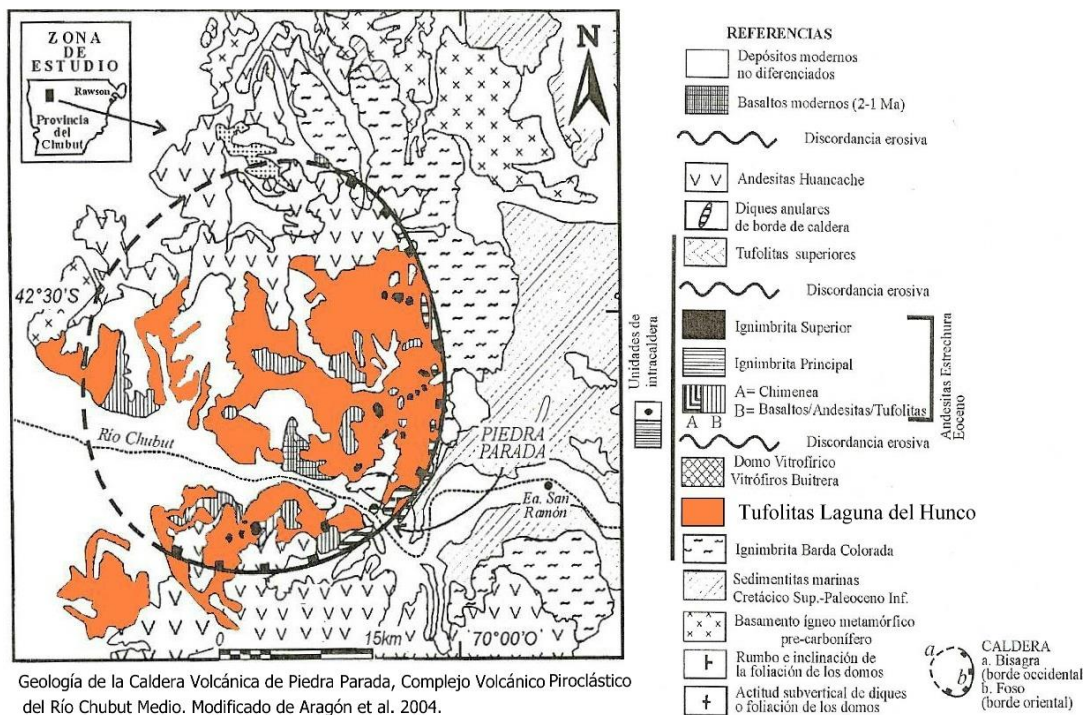


Figura 3: Geología de la Caldera Volcánica de Piedra Parada.

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.

## METODOLOGIA

Se utilizó una imagen ASTER, nivel 1A, radiancia al sensor, cuyo identificador es ASTL1A0110301446010111120674, 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 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 geoido.

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 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 (350nm a 2500nm) 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 superpuesta 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 dirección NNO-SSE de aproximadamente 250 m de longitud en el cual se ubican 9 muestras identificadas como CHU-001GC-ZEO a CHU-009GC-ZEO (Fig. 5).

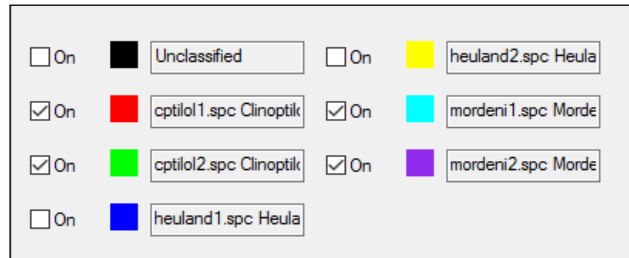
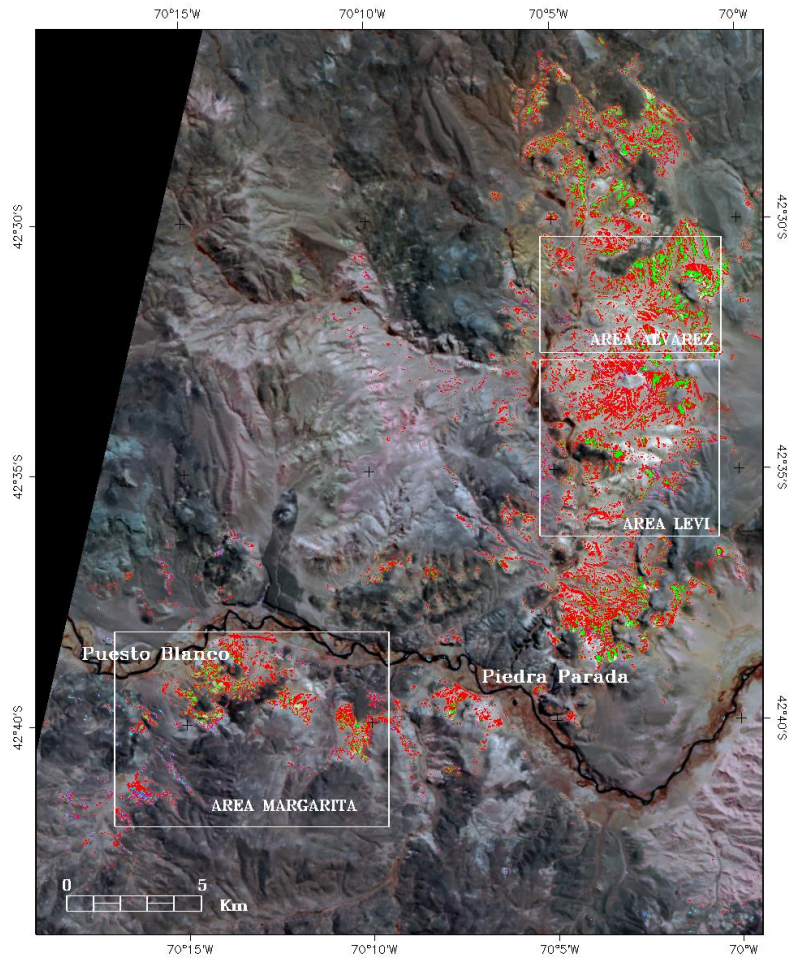


Figura 4. Clasificación con las variedades de zeolitas de la base espectral del USGS. Clinoptilolita en rojo y verde.

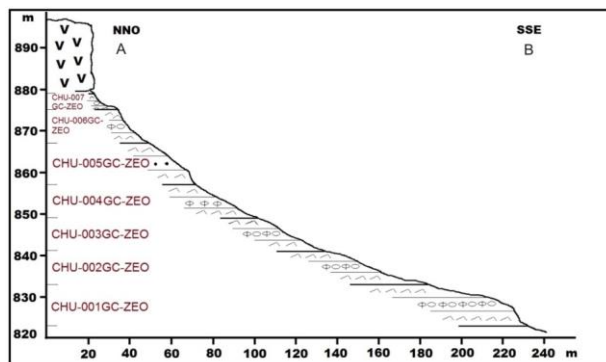


Figura 5. Perfil esquemático de muestreo levantado en el área Levi.

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 (Fig.6).

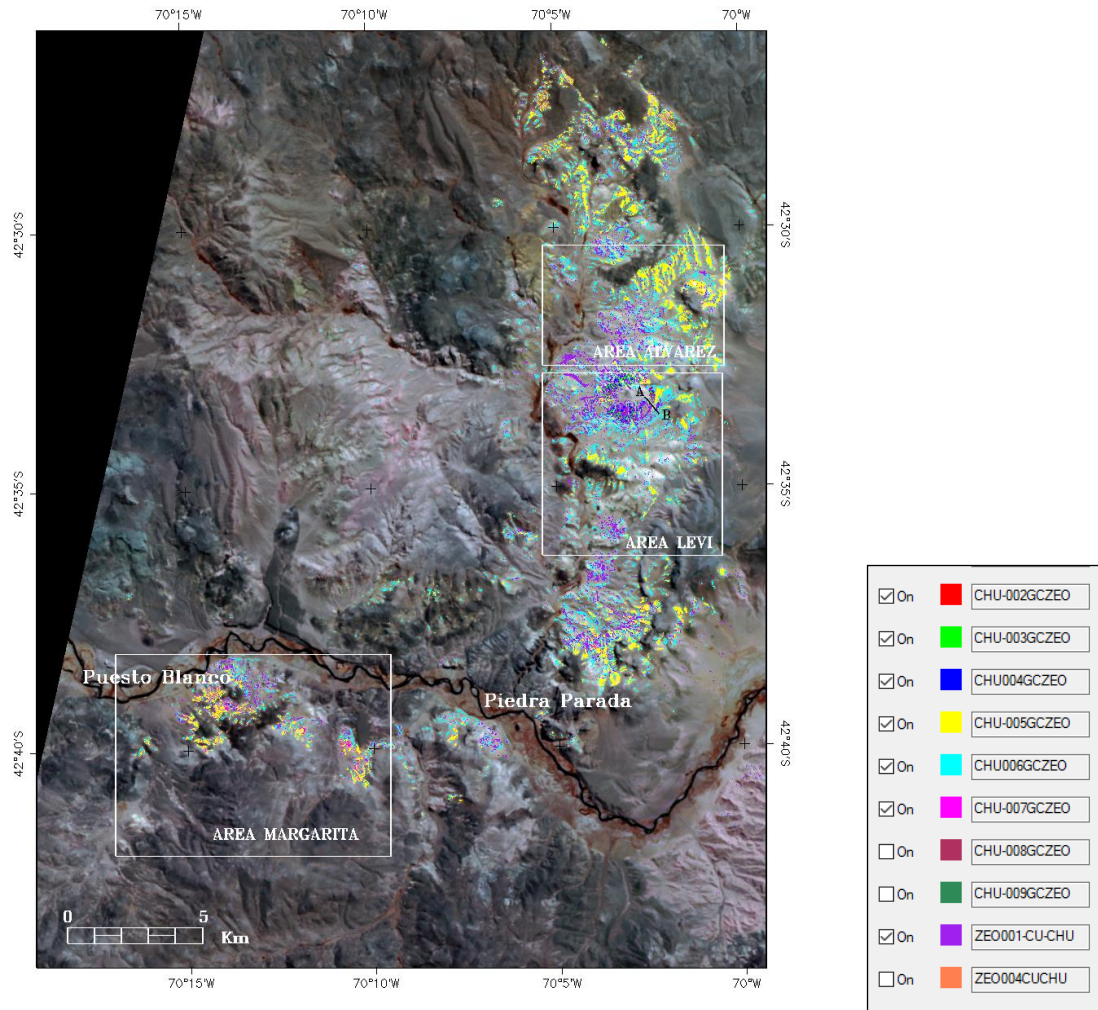


Figura 6. Clasificación espectral utilizando las mediciones de reflectancia con radiómetro.

## DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Se realizó la caracterización mineralógica mediante DRX de roca total sobre las 36 muestras recolectadas en las áreas denominadas Levi y Margarita. De acuerdo a la interpretación de los difractogramas obtenidos las rocas zeolitizadas están compuestas principalmente por clinoptilolita y/o heulandita con cantidades minoritarias de feldspatos, opalo C y/o cristobalita y cantidades accesorias de cuarzo, mordenita? y filosilicatos (Ubaldón 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 (Fig. 7).

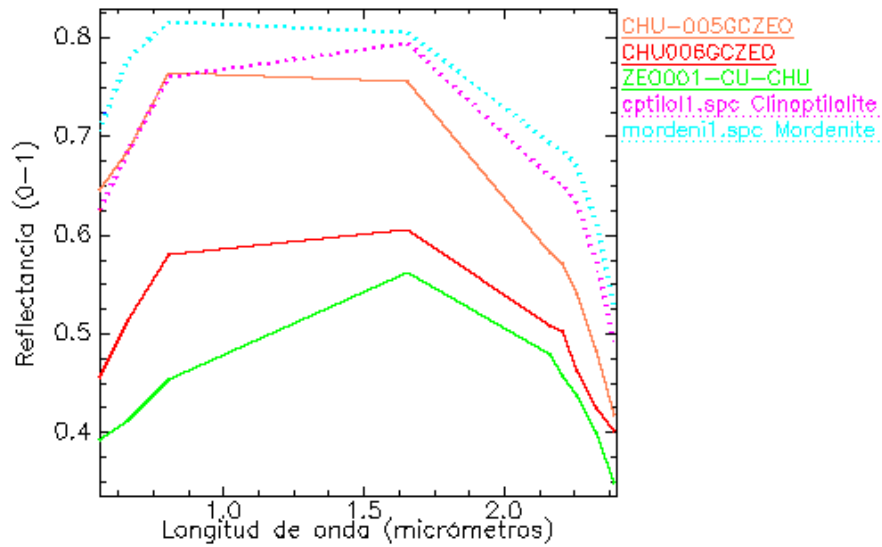


Figura 7. Comparación espectros muestras de campo con zeolitas USGS

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.

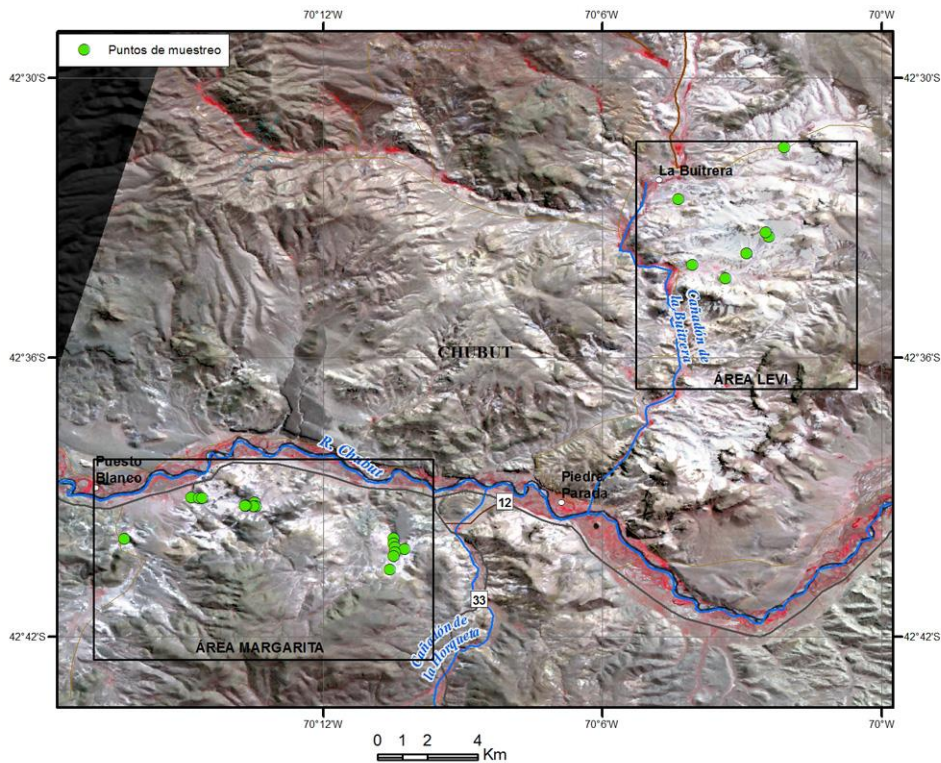


Figura 8. Distribución de puntos de muestreo de zeolitas sobre imagen ASTER RGB: 321



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 píxel de 30m.

En el sector SO del área Margarita (Fig.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 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 (Fig. 10).

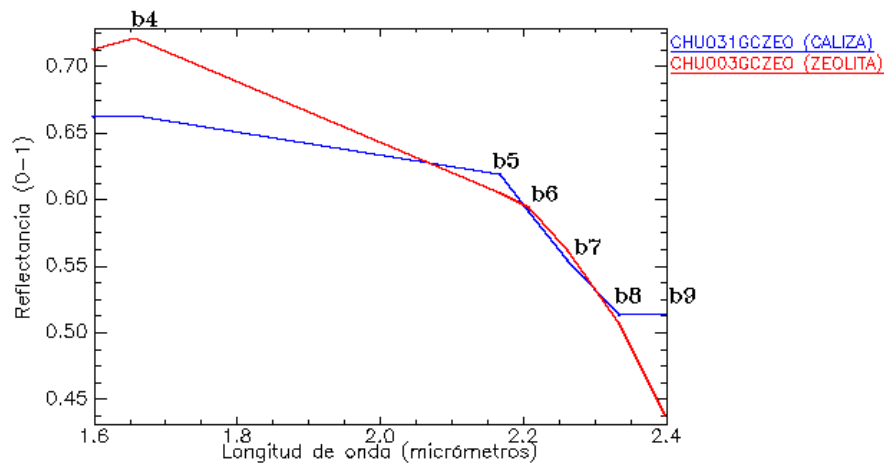


Figura 9. Comparación espectral en SWIR de muestras de caliza y zeolita

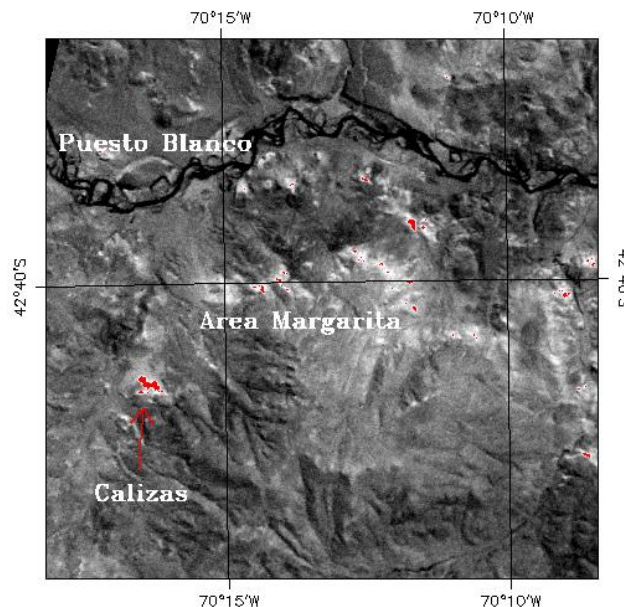


Figura 10. Identificación de calizas con cociente de bandas; en rojo valor umbral superior a 0.3.

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-La Buitrera.

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 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 reunida 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 República Argentina ya que constituye una herramienta eficaz para la selección preliminar de blancos previos a los trabajos de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

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)". En: 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. Área 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., Gozálvez M., 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. Págs. 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, N° 1-2; 73-95.

Ubaldo, 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.