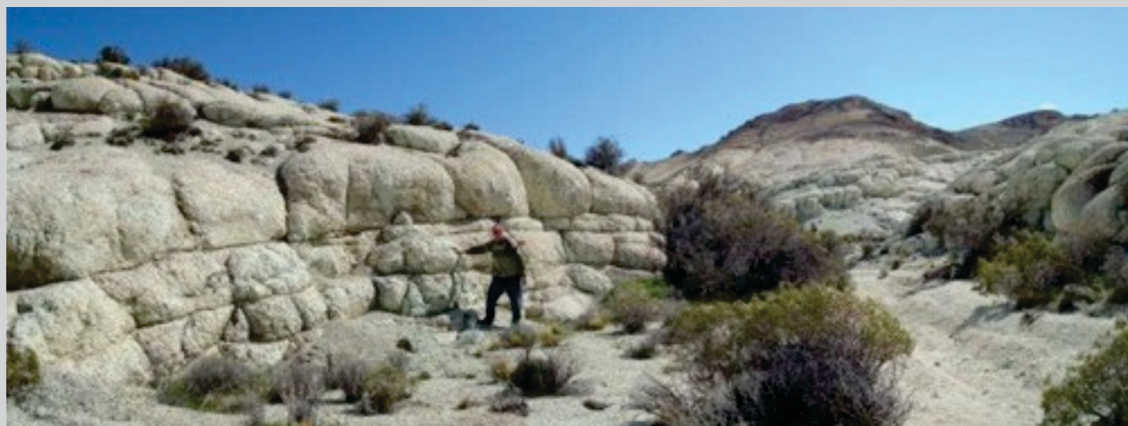


Investigación geológica y caracterización de depósitos de zeolitas de origen vulcano-sedimentarias en la provincia del Chubut, Argentina

Donnari E., Gozálvez M. R., Ubaldón M., Cozzi G., Dal Molín C.,
Castro Godoy S5. y Marquetti C.



INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE DEPÓSITOS DE ZEOLITAS DE ORIGEN VULCANO-SEDIMENTARIAS EN LA PROVINCIA DEL CHUBUT, ARGENTINA

Donnari E.¹, Gozalvez M. R.¹, Ubaldón M.², Cozzi G.³, Dal Molín C.⁴,
Castro Godoy S.⁵ y Marquetti C.¹

- 1- Dirección de Recursos Geológico Mineros, IGRM-SEGEMAR-eva.donnari@segemar.gov.ar
martin.gozalvez@segemar.gov.ar -cintiamarquetti@gmail.com
- 2- Delegación Comodoro Rivadavia. SEGEMAR ubaldon@speedy.com.ar
- 3- CIGA. INTEMIN-SEGEMAR -guillermo.cozzi@segemar.gov.ar
- 4- Dirección de Geología Regional. IGRM-SEGEMAR-carlos.dalmolin@segemar.gov.ar
- 5- Área de Sensores Remotos. IGRM-SEGEMAR-silvia.castrogodoy@segemar.gov.ar

Preparación de muestras: Carlos Costado, Pablo Juarez, Leonardo Del Olmo
Difracción de rayos X: Ana Rodríguez Velo, Guillermo Cozzi
Análisis Químico: Marcelo Olivera, Matias Cunci, Patricia Claramunt, Hugo
Achear, Liliana Gonzalez, Enrique Lavia, Ricardo Crubellati.

Capacidad de Intercambio

Catiónico (C.I.C.): Laura Sanchez, Daniela Cirello

Propiedades físicas: Jeimy Diaz Navarro. Beatriz Ponce

Procesamiento de Imágenes ASTER: Silvia Castro Godoy, Cintia Marquetti

Fotomicrografías Microscopio

Electrónico y Microsonda EDAX: Andrea Romano- INTEMIN

Ayudantes de campo: Juan Cruz de la Vega y Julio Burgos

Normas, dirección y supervisión del Instituto de Geología y Recursos Minerales

**SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO
INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES**

CONTRIBUCIÓN TÉCNICA - RECURSOS MINERALES N° 42
Buenos Aires 2017

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente: Geól. Julio Ríos Gómez
Secretario Ejecutivo: Lic. Carlos G. Cuburu

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director: Dr. Eduardo O. Zappettini

DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO MINEROS

Director: Lic. Eduardo Marquina

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Esta publicación debe citarse como:

DONNARI E., M.R. GOZALVEZ, M. UBALDÓN, G. COZZI,
C. DAL MOLÍN, S. CASTRO GODOY y C. MARQUETTI 2017.
Investigación geológica y caracterización de depósitos de zeolitas
de origen vulcano-sedimentarias en la provincia del Chubut.
Contribución Técnica - Recursos Minerales N° 42. Instituto de
Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero
Argentino. 22pp., Buenos Aires.

ISSN 0328-2333

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES - SEGEMAR
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 25 | 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina
(11)5670-0211 | telefax (11)4713-1359



Av. Julio A. Roca 651 | 3° Piso
1067 - Ciudad de Buenos Aires
República Argentina
telefax (11)4349-3162 | www.segemar.gov.ar

CONTENIDO

RESUMEN	.....	1
ABSTRACT	.....	1
1. PRESENTACIÓN	.....	2
2. ANTECEDENTES EN LA ARGENTINA	.....	2
3. METODOLOGÍA	.....	2
4. PROVINCIA DEL CHUBUT: SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y ÁREAS RELEVADAS	.....	3
4.1. PIEDRA PARADA	.....	4
4.2. TELSEN	.....	8
4.3. LOS ALTARES	.....	11
4.4. LAGO MUSTERS	.....	16
5. USOS	.....	19
6. CONSIDERACIONES FINALES	.....	19
7. AGRADECIMIENTOS	.....	20
8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO	.....	21

RESUMEN

INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE DEPÓSITOS DE ZEOLITAS DE ORIGEN VULCANO-SEDIMENTARIAS EN LA PROVINCIA DEL CHUBUT, ARGENTINA.

Se presenta la evaluación geológica de cuatro áreas con afloramientos de rocas zeolitizadas de origen vulcano-sedimentario en la provincia de Chubut, Argentina.

Las áreas seleccionadas son: Piedra Parada, Telsen, Los Altares y Lago Muster y corresponden a antiguos depocentros con secuencias vulcano-sedimentarias y ambiente lagunar.

En cada una de las áreas mencionadas se utilizó como principal herramienta de prospección el procesamiento de Imágenes ASTER, en base a patrones espectrales de zeolitas de la librería del USGS, con lo cual se obtuvieron imágenes de distribución zonal de zeolitas que orientaron el muestreo y permitieron ampliar las zonas de interés. Todos los afloramientos estudiados corresponden a material piroclástico (tobas de caída) depositadas en cuencas de ambiente lagunar y zeolitizadas en diferentes grados por clinoptilolita/heulandita predominantes, con mordenita minoritaria además de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, ópalo C/CT, cristobalita, material amorfo y esmectitas. La caracterización incluyó análisis químicos, difracción de Rayos X, capacidad de intercambio catiónico y medición de parámetros físicos. Se identificaron dos litotectos: 1) Secuencias superiores del Grupo Chubut, de edad cretácica y aflorantes en el sector extrandino de la provincia (Telsen, Los Altares y Lago Muster) y 2) Tufolita Laguna de Hunco, de edad paleocena, constituida por material tobáceo circunscripto al interior de la caldera Piedra Parada, en el valle medio del río Chubut.

Este estudio confirma la potencialidad minera de los depósitos de zeolitas de origen Vulcano-sedimentarias en cuatro áreas de la provincia del Chubut. Se corroboran como guías prospectivas las *secuencias de tobas de caída* y *las áreas de alteración con zeolitas-esmectitas* y se valida el procesamiento de imágenes ASTER, como herramienta efectiva a ser empleada en la investigación geológica de este tipo de depósitos.

ABSTRACT

GEOLOGICAL RESEARCH AND CHARACTERIZATION OF VOLCANO-SEDIMENTARY ZEOLITIZED DEPOSITS IN CHUBUT PROVINCE, ARGENTINA.

This paper concerns about geological and mineralogical characterization studies of volcano-sedimentary zeolitized rocks in four areas of Chubut province in Argentina. The selected areas were: Piedra Parada, Telsen, Los Altares and Lago Muster which correspond to old depocentres with volcano-sedimentary sequences in a lagoon environment. ASTER images data were the main prospecting tool used in each area basing in spectral patterns references of the USGS Bookstore Zeolites. This allowed to perform a zonal distribution of zeolites serving as a guide for sampling and the geological mapping. All outcrops studied correspond to pyroclastic material (tuffs fall) deposited in basins lagoon environments. The tuffs rocks are zeolitized to different degrees by predominant clinoptilolite/heulandite with minor mordenite, besides quartz, plagioclase, potassium feldspar, opal C/CT, cristobalite, amorphous material and smectites. The pyroclastic rocks were analyzed by chemical analysis, XRD, cation exchange capacity and physical parameters.

Two lithotects were identified: 1) higher Sequences of Chubut Group, of Cretacic age, outcropping in the extrandine sector of the province (Telsen, Los Altares and Lago Muster) and 2) Tufolita Laguna de Hunco formation, of Paleocene age, being tuffaceous material circumscribed to inside the cráter of Piedra Parada, in the middle valley of Chubut river.

This study confirms the mining potential of four areas of volcano-sedimentary zeolitized deposits in Chubut province. The sequences of ash fall tuffs and zeolite-smectite altered areas were also confirmed as prospective guides and Aster Image processing was validated as an effective tool to be used in geological research of this type of deposits.

1. PRESENTACIÓN

El presente trabajo, realizado en el marco del «Programa de Prospección de Zeolitas en Argentina» y llevado a cabo por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) desde 2012, constituye el primer estudio geológico-minero de depósitos de zeolitas vulcano-sedimentarias en la provincia del Chubut. En él se han considerado elementos de interpretación geológica para la determinación de áreas favorables al hallazgo de zeolitas como así también se han añadido estudios de caracterización tecnológica de las rocas zeolitizadas para determinación de aptitudes industriales.

Las zeolitas naturales son minerales de génesis volcánica. Constituyen un grupo particular de alúmino-silicatos con una estructura cristalina tridimensional compuesta por tetraedros interconectados por canales ó cavidades que constituyen una malla ó tamiz molecular. La estructura microporosa está definida por un tamaño de poro uniforme y es una característica fundamental de cada especie de zeolita natural, lo cual le confiere gran capacidad selectiva de adsorción de iones y posibilita versatilidad en múltiples aplicaciones en diferentes procesos industriales.

Su nombre deriva del griego y significa «piedra que hierva» (Zeo: hervir y lithos: piedra), denominación asignada por el geólogo sueco Axel Cronstedt, quién las bautizó así en 1756 al observar que burbujaban agua en superficie al ser calentadas. Durante largo tiempo se las consideró como constituyentes menores en cavidades de rocas volcánicas hasta que a principios de 1960 se descubrieron como constituyentes mayoritarios en depósitos sedimentarios al oeste de Estados Unidos. El avance tecnológico a partir de la década de 1980, permitió definir nuevas aplicaciones en el campo de la catálisis en la industria del petróleo y posteriormente en otros usos por sus propiedades en adsorción y separación de gases, alto poder de absorción y gran capacidad de hidratación y deshidratación sin modificar su estructura.

Con el inicio del siglo XXI, las zeolitas representan materiales de gran interés en el campo de la nanotecnología y con grandes oportunidades de aplicación en campos de la electrónica, remediación ambiental, agricultura, veterinaria y medicina.

2. ANTECEDENTES EN LA ARGENTINA

Los primeros hallazgos mineralógicos de zeolitas en nuestro país proceden de descripciones petrográ-

ficas de perforaciones de pozos petrolíferos (Casanova, 1931), continuándose en años siguientes, hallazgos puntuales de diferentes especies del grupo (Di Paola, 1965; Andreis e Iñiguez Rodriguez, 1968; Latorre y Vattuone 1995 entre otros autores). La presencia de zeolitas como componentes de rocas sedimentarias es conocida a partir de la importante obra de revisión de Teruggi y Andreis (1963) sobre zeolitas en rocas sedimentarias en la Argentina. En tal sentido los trabajos de Andreis e Iñiguez Rodriguez (1968), Andreis et al (1974; 1975), Iñiguez Rodriguez et al. (1987) y Manassero et al (1998; 2000) ampliaron las descripciones de zeolitas en sedimentitas terciarias y cretácicas en la provincia de Chubut. Datos de zeolitas en la zona suroeste de la provincia de Mendoza son citados por Bengochea et al (1997) y Canafoglia et al. (2008), quienes refieren presencia de niveles de mordenita con cuarzo y clinoptilolita, intercalados en tobas dacíticas terciarias. En la provincia de La Rioja datos petrográficos de Prieri (1982; 2003) revelaron presencia de zeolitas en el área de Patquía, confirmados y ampliados posteriormente en Carrizo et al. (2006). A partir de 2012 el SEGEMAR inicia el «Programa de prospección de rocas zeolíticas sedimentarias en Argentina» con el objetivo de relevar, identificar y caracterizar las manifestaciones de rocas zeolíticas en diferentes regiones del país: Patagonia Sur (Chubut y Santa Cruz), Patagonia Norte (Neuquén y Río Negro), Cuyo (Mendoza, San Juan, La Rioja y Catamarca) y Noroeste (Tucumán, Salta y Jujuy). Dada la amplitud y extensión territorial que el Programa implica, se dan a conocer en esta primera etapa los avances obtenidos en la prospección geológica y caracterización analítica básica de las manifestaciones de rocas zeolitizadas vulcano-sedimentarias en la provincia del Chubut.

3. METODOLOGÍA

La metodología implementada para el objetivo de este trabajo constó de seis etapas:

1. Revisión de antecedentes bibliográficos y referencias personales recabadas de diferentes fuentes de investigaciones geológicas nacionales, provinciales e internacionales.
2. Procesamiento de datos satelitales del sensor ASTER para confirmar la presencia y extensión de las áreas con depósitos zeolitizados (Castro Godoy *et al.*, 2015, 2016 y Marquetti *et al.*, 2016). Estos datos, permiten la identificación de

minerales del grupo de las arcillas, carbonatos, algunos sulfatos y zeolitas, entre otros, los cuales presentan rasgos distintivos desde el punto de vista espectral en las porciones del espectro electromagnético visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta.

3. Selección de las áreas favorables, solicitud de permisos a los propietarios de los campos y comunicación a autoridades provinciales.
4. Relevamiento geológico mediante realización de perfiles y toma de muestras georeferenciadas en los lugares previamente seleccionados.
5. Determinación mineralógica y características físico-químicas de muestras mediante:
 - a) Espectrometría de reflectancia SWIR: se utilizó el espectrómetro PIMA (Portable Infrared Mineral Analyzer) para el testeo, previo a los análisis de DRX, de las muestras obtenidas. Este estudio se realizó sobre muestras de rocas del tamaño de un puño, aplicándose una cara plana sobre la lente del espectrómetro. El mismo capta la reflectancia de los minerales presentes en un punto sobre la muestra seleccionada, dando como resultado un espectro cuyo diseño depende de las características químicas y de estructura cristalina de los minerales presentes. A su vez ese patrón se compara con espectros de referencia de librerías espectrales, para poder determinar qué mineral o grupo de minerales están presentes en la muestra.
 - b) Difracción de rayos X (DRX): la colección de datos se realizó sobre preparaciones de polvo de «roca total» utilizando portamuestras circulares y giratorios mediante un difractor de rayos X de polvo marca Philips, modelo X'Pert MPD, con radiación $K\alpha$ de Cu, en el intervalo de barrido 2θ comprendido entre $5-70^\circ$ con paso/tiempo de $0,03^\circ/2s$. La determinación de las especies minerales se llevó a cabo utilizando el programa High Score Plus de PANalytical y la base de datos PDF del ICDD (1997). Esta técnica, además de ser utilizada para la identificación de zeolitas permite estimar semicuantitativamente la abundancia de zeolitas y minerales asociados en la muestra.
 - c) Fluorescencia de rayos X (FRX): las muestras se digieren por fusión con tetraborato de litio y la determinación se efectúa usando materiales de referencia certificados para la verificación. Por este método se determina SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , CaO , MgO , SO_3 , K_2O , Na_2O , PPC a $1000^\circ C$.

d) Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): se realizó la digestión total de la muestra con mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico. Se utilizó para determinar Cd, Cr, Zn, Pb, Ba, Cu, As, Mo y Ni.

e) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): se determinó, por triplicado, intercambio total de los «cationes intercambiables» presentes en la muestra por el catión Sodio (Na^+). El intercambio se produjo mediante el contacto de las muestras con una solución de NaCl 2M. La cuantificación del Na^+ total intercambiado se realizó por ICP-MS.

f) Densidad y Absorción de Agua: los cálculos se realizaron siguiendo la Norma IRAM 10602 mediante la Técnica de Inmersión con algunas modificaciones; se tomaron tres fragmentos representativos de cada muestra, los cuales fueron secados a $70^\circ C$ hasta que el peso se mantuvo constante. Luego fueron sumergidos en agua a temperatura ambiente y se tomó el peso a diferentes tiempos hasta que no se notó variación significativa.

g) Análisis por Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental PhilipsXL30 ESEM y microsonda EDAX. Las muestras de las tobas zeolitizadas, previamente molidas en mortero de ágata se montaron en una platina de aluminio sobre cinta de carbono. Para una mejor observación, se metalizaron algunas muestras con Au-Pd en un equipo Polarón. Se realizaron las tomas fotomicrográficas y se obtuvieron los espectros de los elementos químicos presentes en los cristales de zeolita mediante el análisis en una microsonda dispersiva en energía EDAX.

6. Elaboración de Informe con descripción de los depósitos y consideraciones finales.

4. PROVINCIA DEL CHUBUT: SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y ÁREAS RELEVADAS

La provincia del Chubut se localiza en la parte central del sector patagónico limitada de norte a sur por los paralelos de 42° y 46° respectivamente y su extensión de este a oeste comprende desde el océano Atlántico hasta el límite internacional con Chile. En este extenso territorio de 224.686 Km^2 se llevaron a cabo tareas de prospección de rocas zeolitizadas en la región extraandina. La provincia del Chubut presenta una población de 509.108 habi-

tantes (INDEC, 2010) siendo los centros urbanos más importantes del sector litoral atlántico las ciudades de Comodoro Rivadavia, Trelew, Rawson y Puerto Madryn, del sector central los poblados de Paso de Indios, Las Plumas y Los Altares, del sector oeste la ciudad de Esquel y del sector sur Sarmiento. Las principales vías de comunicación y accesos son a lo largo del sector costero la ruta Nacional N° 3, el sector occidental es recorrido de norte a sur por la Ruta Nacional N° 40 y de este a oeste es recorrida por las ruta provincial N° 4 y las rutas nacionales N° 24 y 26.

Las áreas seleccionadas fueron: 1) Piedra Parada; 2) Telsen; 3) Los Altares y 4) Lago Musters (Fig. 1). Las tres primeras se seleccionaron a partir de la revisión de antecedentes bibliográficos con menciones de hallazgos de zeolitas o que reunían las condiciones litológicas y genéticas potenciales para su probable desarrollo tales como las Tufolitas Laguna de Hunco (Aragón y Mazzoni, 1997; Manassero et al., 2000). En el caso de Lago Musters la selección se realizó por el hallazgo de tobas alteradas, pertenecientes al grupo Chubut durante la realización de la Hoja Geológica Sarmiento 1:250.000 (Dal Molin comunicación verbal), cuyo análisis arrojó valores anómalos de zeolita-esmectitas. Los trabajos de campo se llevaron a cabo en cuatro campañas realizadas durante el periodo 2012-2014, enmarcándose, el muestreo realizado en las áreas de Piedra Parada, Los Altares y Telsen dentro de las Cartas Geológicas a escala 1:250.000, Gastre (Lizuaín y Silva Nieto, 2008), Paso de Indios (Silva Nieto, 2005), Los Altares (Lizuaín y Silva Nieto, 2005) y Telsen, (Ardolino y Franchi, 1996).

4.1 PIEDRA PARADA

Localización

La zona está en los alrededores del paraje Piedra Parada, 140 km al noreste de la ciudad de Esquel, entre las localidades de Gualjaina y Paso del Sapo. En este tramo el río Chubut corre en sentido oeste-este y las áreas muestreadas se ubican al norte y sur del mismo. Las áreas de muestreo se denominan: 1) Margarita-Puesto Blanco 2) La Buitrera-Álvarez y 3) La Buitrera-Levi (Fig.2). El acceso a la zona es por la RP N°12 hasta Piedra Parada y de allí por caminos vecinales que conectan el Cañadón de la Buitrera con el camino al Cañadón del Loro y Paso del Sapo.

Marco Geológico

Los rasgos geológicos más sobresalientes de la región son aquellos asociados a la caldera volcánica de Piedra Parada. Esta estructura volcánica se formó durante el Paleógeno y de su actividad quedan extensos afloramientos de volcanitas y piroclastitas inicialmente agrupadas en la Formación Huitrera (Volkheimer y Lage, 1981) y posteriormente en el Complejo Volcánico-Piroclástico del río Chubut Medio (Aragón y Mazzoni, 1997) (Fig. 2). Dentro del mencionado Complejo, la caldera de Piedra Parada es el edificio volcánico más importante con un ancho de 25 km y un volumen de material extruido de más de 200 km³ de ignimbritas riolíticas (Formación Ignimbrita Barda Colorada). La caldera está rellena con depósitos piroclásticos (Tufolitas Laguna del Hunco) e intercalaciones de domos de vidrio (Vitrófiros Buitrera), sills andesíti-

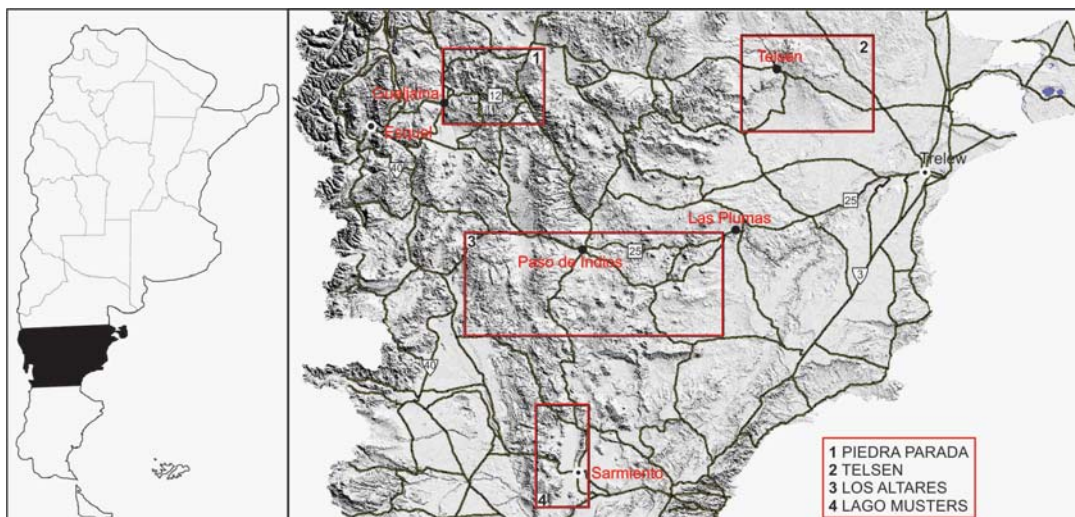


Figura 1. Ubicación de las áreas seleccionadas en la provincia de Chubut para los trabajos de prospección de zeolitas sedimentarias

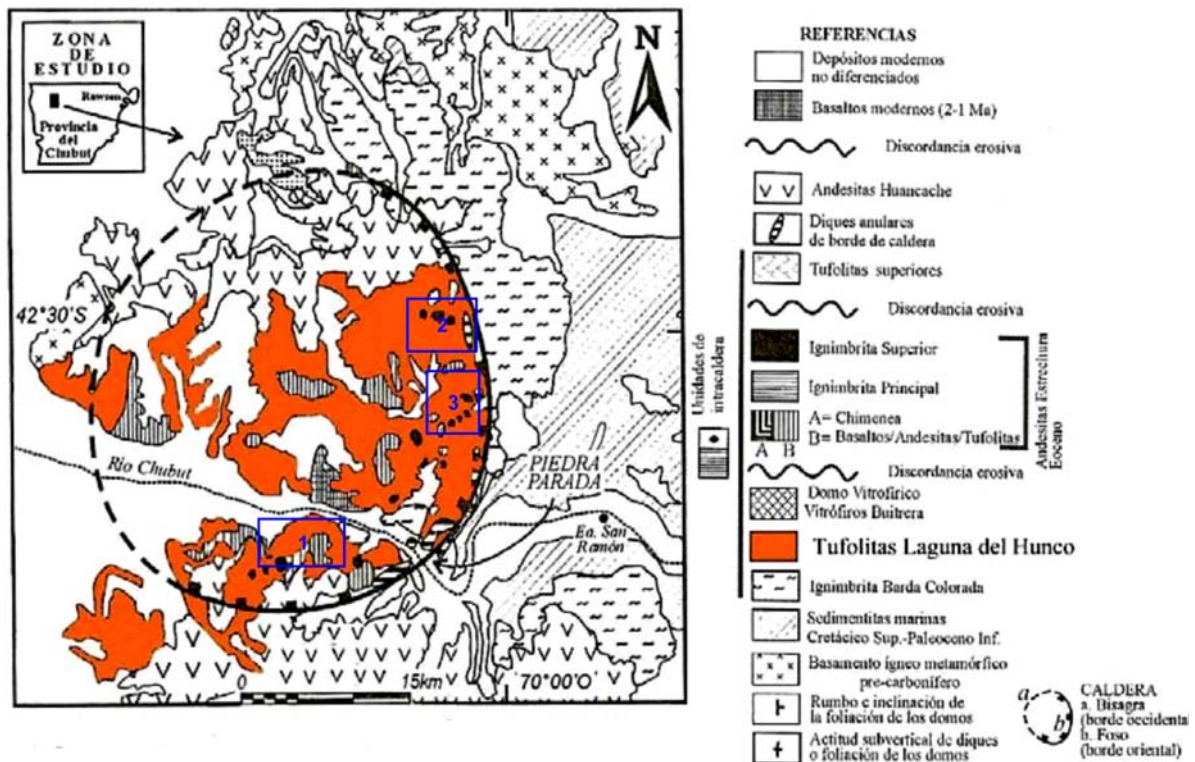


Figura 2: Geología de la Caldera Volcánica de Piedra Parada y ubicación de los sectores muestreados: 1. Margarita-Puesto Blanco; 2. La Buitrera-Álvarez; 3. La Buitrera-Levi (mapa modificado de Aragón et al., 2004).

cos y flujos de basaltos toleíticos y alcalinos (Aragón et al., 2001; 2004a; 2004b; 2005; 2009).

Geología de los depósitos

Las rocas de interés son tobas de caída retrabajadas del interior de la caldera volcánica (Tufolitas Laguna del Hunco). Sobre esta unidad se realizaron observaciones geológicas y muestreos en los tres sectores arriba mencionados (Fig. 2) con el objetivo de caracterizar mineralógica y físico-químicamente el material zeolítico y estimar recursos geológicos.

Los afloramientos de las Tufolitas Laguna del Hunco se ubican al norte y sur de un valle de rumbo oeste-este conformando extensos mantos que circundan domos riolítico-ignimbríticos los cuales las coronan con geformas mesetiformes.

Al norte del río Chubut se encuentran los sectores de La Buitrera-Alvarez y La Buitrera-Levi (Fig. 3a y 3c) donde el manto de tobas zeolitizadas aflora en una superficie aproximada de 4 km² con espesores medidos de hasta 56 metros. Macroscópicamente se trata de tobas lapilíticas a lapilitas tobáceas de textura masiva y coloración general blanquecina con tintes variables de verdoso a castaño amarillento, constituidas por litoclastos mayormente pumíceos de hasta 2 cm de diámetro aglutinados por una matriz tobácea de grano fino a muy fino. De acuerdo a los

resultados obtenidos por DRX tanto los litoclastos pumíceos como la fracción tobácea están mayormente alterados a zeolitas (clinoptilolita/heulandita) presentando además cantidades minoritarias de cuarzo, plagioclasas y opalo C/CT y/o cristobalita (Tabla 1). Las rocas son compactas y tenaces y presentan moderada absorción de agua; en planos de fractura suelen presentar pátinas de óxidos de hierro y/o de manganeso.

Al sur del río Chubut se encuentra el sector Margarita-Puesto Blanco y, a semejanza de los depósitos descritos en los sectores del norte, los afloramientos forman suaves y amplias pendientes bordeando domos riolíticos. En Puesto Blanco el manto de tobas zeolitizadas tiene un espesor de aproximadamente 45 metros (Fig. 3b).

Ambiente depositacional

Las tobas se depositaron en un ambiente lagunar en cuenca cerrada y representan el relleno volcano-sedimentario del interior de una caldera volcánica bajo condiciones climáticas cálidas y de humedad estacional (Aragón y Mazzoni, 1997).

Análisis de imágenes satelitales

En el área de Piedra Parada el método de clasificación espectral *Spectral Angle Mapper* dio re-



Figura 3. Afloramientos de tobas zeolitizadas, Tufolitas Laguna del Hunco. a) La Buitrera-Álvarez. b) Margarita-Puesto Blanco. c) La Buitrera-Levi.

sultados positivos de zeolitas (clinoptilolita) pudiéndose identificar áreas favorables. (Fig. 4).

Se escogió el sector La Buitrera-Levi para realizar el chequeo de campo el cual se llevó a cabo en una campaña de observación geológica y muestreo. Las dimensiones de los afloramientos y los resultados de DRX obtenidos permitieron definir al sector de La Buitrera-Levi como un área con alto potencial minero en rocas zeolíticas.

Determinación mineralógica y características físico químicas de las rocas zeolitizadas

Se realizó sobre muestras testigos seleccionadas en cada una de las áreas visitadas y comprendió el análisis mineralógico por DRX (Tabla 1), determi-

nación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), análisis químico de componentes mayoritarios y trazas (Tabla 2) y absorción de agua.

A partir del análisis por DRX se determinó la presencia mayoritaria de minerales del grupo de las zeolitas en el sector norte del área Margarita-Puesto Blanco, en el área La Buitrera Alvarez y en La Buitrera-Levi. La zeolita predominante es clinoptilolita/heulandita (Fig 5), a veces acompañada por cantidades accesorias de mordenita (?) y en cantidades minoritarias a accesorias las rocas contienen cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, ópalo C/CT y/o cristobalita, material amorfo y esmectitas.

La presencia de zeolitas como componente mayoritario en las muestras analizadas se manifiesta en

Sitios Muestreo	Muestra	Latitud	Longitud	Composición Mineralógica Roca Total							Fracción Filosilicatos			Fracción Zeolitas			CIC [meq/100g]			
				Fil	Qz	FK	P	Op C	Op Cr	Zeo	Amf	Celd	May.	Min.	Cl/Heu	Mor				
Buitrera-Levi	CHU-001GC-ZEO	S42° 33' 25,1"	W70° 02' 25,3"		x		x					xxx				zzz	z?	160 ± 20		
	CHU-002GC-ZEO				x		x							xxx				zzz	z?	150 ± 10
	CHU-003GC-ZEO				x		x							xxx				zzz	z?	170 ± 10
	CHU-004GC-ZEO				x		x							xxx				zzz	z?	152 ± 4
	CHU-005GC-ZEO				x		x							xxx				zzz	z?	170 ± 10
	CHU-006GC-ZEO				x		x							xxx				zzz	z?	137 ± 10
	CHU-007GC-ZEO				S42° 33' 19,3"	W70° 02' 29"	x		xx					xxx				zzz	z?	156 ± 3
	CHU-008GC-ZEO				S42° 34' 18,2"	W70° 03' 21,4"			xx					xxx				zzz	z?	159 ± 3
	CHU-009GC-ZEO				S42° 34' 01,2"	W70° 04' 04,1"	x		xx					xxx				zzz	z?	143 ± 2
	CHU-001MU-ZEO				S42° 33' 46"	W70° 02' 53,8"	x		xx		x			xxx				zzz	z?	170 ± 20
Buitrera-Álvarez	CHU-002MU-ZEO		S42° 33' 46"	W70° 02' 53,9"	x		xx		x		xxx				zzz	z?	170 ± 40			
	ZEO-004-CU-CHU		S42° 31' 29,5"	W70° 02' 05,4"			xx				xxx				zzz	z?	183 ± 3			
	ZEO-005-CU-CHU		S42° 32' 36,0"	W70° 04' 21,9"	x		xx			Sm	xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-010GC-ZEO		S42° 39' 53,0"	W70° 10' 28,8"			x				xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-011GC-ZEO		S42° 39' 59,4"	W70° 10' 28,7"					xx		xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-012GC-ZEO		S42° 40' 04,5"	W70° 10' 27,5"			xxx				xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-013GC-ZEO		S42° 40' 07,0"	W70° 10' 15,1"			x		x		xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-014GC-ZEO								x			xxx				zzz	z?	nd		
	CHU-015GC-ZEO		S42° 40' 11,3"	W70° 10' 27,2"						xx		xxx				zzz	z?	nd		
	CHU-016GC-ZEO		S42° 40' 16,3"	W70° 10' 29,4"						xx		xxx				zzz	z?	nd		
Margarita-Puesto Blanco	CHU-017GC-ZEO		S42° 40' 33,4"	W70° 10' 34,1"					xx		xxx				zzz	z?	nd			
	ZEO-001-CU-CHU		S42° 39' 0,2"	W70° 14' 49,9"	x	x?	x		xx		xxx			Sm		zzz	z?	nd		
	ZEO-002-CU-CHU		S42° 39' 0,4"	W70° 14' 39,6"	x	x?	x		xx		xxx			Sm		zzz	z?	164 ± 2		
	ZEO-003-CU-CHU		S42° 39' 0,2"	W70° 14' 35,8"			x		xx		xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-22-CU-ZEO		S42° 39' 54"	W70° 16' 16"			xx		xx	xx	xxx				zzz	z	nd			
	CHU-23-CU-ZEO		S42° 39' 07"	W70° 13' 28"					x	xxx	xx	xxx			zzz	zz	nd			
	CHU-018GC-ZEO		S42° 39' 12,2"	W70° 13' 27,0"						xx	xx	xxx			zzz	z?	nd			
	CHU-019GC-ZEO								xx	xx	xx	xxx			zzz	z?	nd			
	CHU-020GC-ZEO		S42° 39' 11,7"	W70° 13' 30,3"			xx		xx	xx	xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-021GC-ZEO						xxx			xx	xxx				zzz	z?	nd			
Buitrera-Álvarez	CHU-022GC-ZEO					x?					xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-023GC-PETRO		S42° 39' 11,1"	W70° 13' 39,1"			xxx		xx	xx	xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-024GC-ZEO						xxx		xx	xx	xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-026GC-ZEO		S42° 39' 11,4"	W70° 13' 40,6"			x	xx	xx	xx	xxx				zzz	z?	nd			
	CHU-027GC-ZEO		S42° 39' 10,4"	W70° 13' 44,4"			xxx	x	xx	xx	xxx				zzz	z?	nd			

REFERENCIAS: Amf: amorfo; Cld: celadonita; Cl/Heu: clinoptilolita/heulandita; Fil: Filosilicatos; FK: feldespatos potásico; Mor: mordenita; Op C: ópalo C; Op/Cr: ópalo y/o Cristobalita; P: plagioclasas; Qz: cuarzo; Sm: Esmeclitas; Zeo: Zeolitas. Estimación contenido relativo roca total: xxx: mayoritario; xx: minoritario; x: accesorio; ? : accesorio; z: accesorio. nd: no determinado zeolitas. zzz: mayoritario; zz: minoritario; z: accesorio. nd: no determinado

Tabla 1. Composición mineralógica, determinada a través de DRX, de tobas zeolitizadas de la región de Piedra Parada.

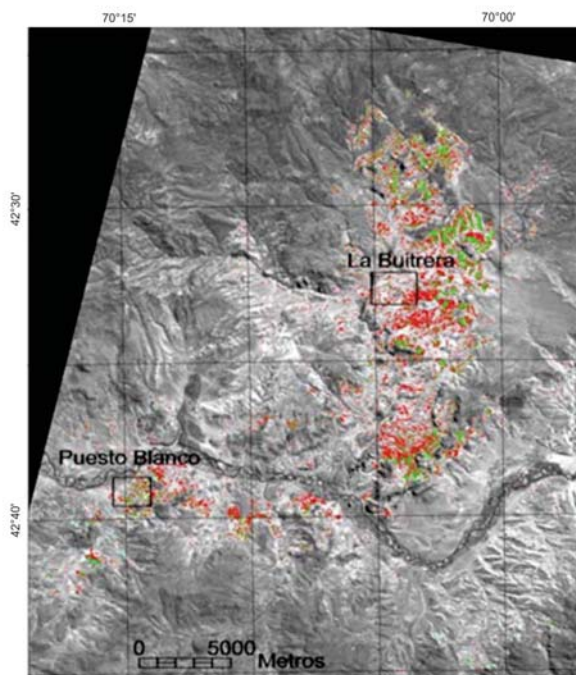


Figura 4. Procesamiento digital de imágenes Aster en la Zona Piedra Parada; en rojo-verde se muestra la clasificación espectral de la clinoptilolita.

los relativamente altos valores de CIC obtenidos los cuales están comprendidos entre 130 y 170 meq/100g.

En lo que respecta a la absorción de agua se analizaron dos muestras una correspondiente al área La Buitrera-Levi (CHU-003-GC-ZEO) y otra a La Buitrera-Álvarez (ZEO-004-Cu-CHU). La muestra de La Buitrera-Levi incrementó su absorción de agua hasta las 24 hs de sumergida donde alcanzó un valor promedio de 25% y a partir de allí mostró escasa variación. En el caso de la muestra de La Buitrera-Álvarez la estabilidad de los valores de absorción se

logró a las 120 hs cuando alcanzó un promedio de 27,5% (ver Anexo).

Recursos

A partir de las observaciones de campo y de los resultados analíticos obtenidos se estimaron en forma expeditiva y preliminar los volúmenes mínimos de rocas zeolitizadas para los sectores La Buitrera-Levi y Margarita-Puesto Blanco. Para el primer sector, el área de afloramientos de rocas zeolitizadas alcanza a 2,7 Ha con una potencia media del manto mineralizado de 56 m, siendo los recursos geológicos del orden de 1.500.000 m³. Para el sector de Margarita-Puesto Blanco, las rocas zeolitizadas abarcan un área mínima de 1,6 Ha y la potencia del manto mineralizado es de 45 m siendo sus recursos geológicos del orden de los 750.000 m³.

4.2 TELSEN

Localización

En la región de Telsen los depósitos de rocas zeolitizadas se encuentran en la estancia La Tradición, la cual se ubica 96 km al este de la localidad de Telsen y 151 km al oeste de Puerto Madryn (Fig. 1). Desde la ciudad costera se deben recorrer 5 km hasta el cruce con la ruta nacional 3 y la ruta provincial 4, continuando por este último 108 km hasta el empalme con el camino vecinal, dirección sur, que comunica con el casco de la estancia La Tradición. Desde este punto se deben recorrer 7 km al este hasta llegar a los afloramientos de rocas zeolíticas. Las coordenadas centrales del depósito son: 42°47'39,5" L. S – 66°24'27,2" L. O.

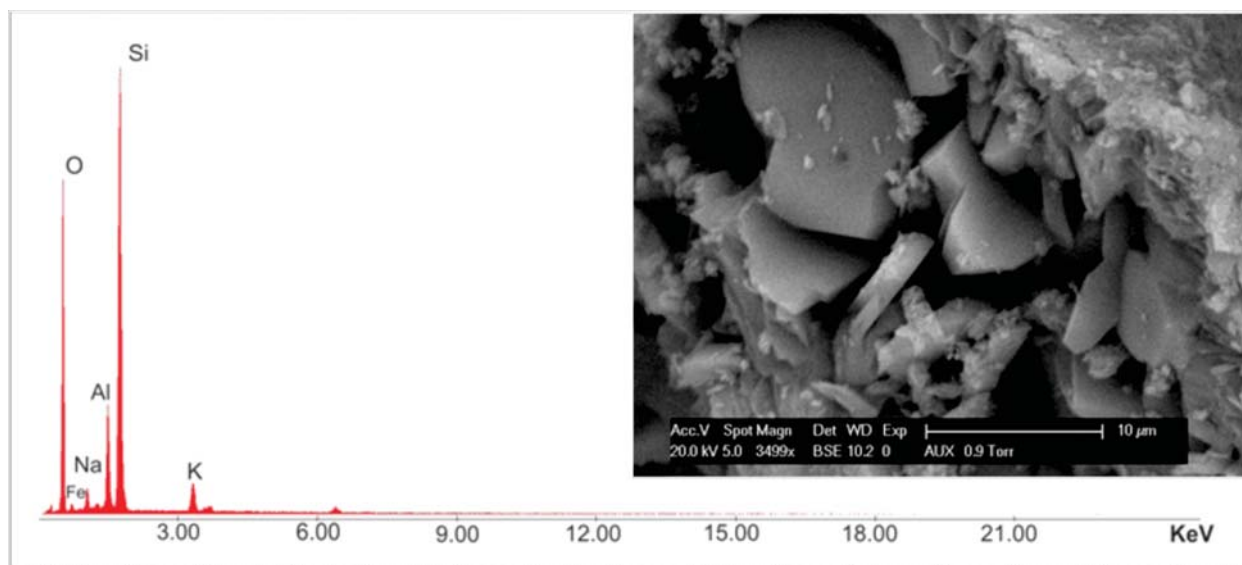


Figura 5. Fotomicrografía SEM de cristales de clinoptilolita en tobas zeolitizadas del área de Levi-La Buitrera y diagrama de la composición química semicuantitativa (microsonda EDAX) del mineral zeolítico.

Área	La Buitrera - LEVI														La Buitrera - ALVAREZ		Margarita - Pto Blanco										
	CHU-001GC ZEO	CHU-002GC ZEO	CHU-003GC ZEO	CHU-004GC ZEO	CHU-005GC ZEO	CHU-006GC ZEO	CHU-007GC ZEO	CHU-008GC ZEO	CHU-009GC ZEO	CHU-001MU ZEO	CHU-002MU ZEO	ZEO-004 CU-CHU	ZEO-002 CU-CHU	CHU-001GC ZEO	CHU-002GC ZEO	CHU-003GC ZEO	CHU-004GC ZEO	CHU-005GC ZEO	CHU-006GC ZEO	CHU-007GC ZEO	CHU-008GC ZEO	CHU-009GC ZEO	CHU-001MU ZEO	CHU-002MU ZEO	ZEO-004 CU-CHU	ZEO-002 CU-CHU	
SiO₂	64,00	62,33	63,93	64,94	62,57	62,49	63,48	56,56	54,97	63,54	64,33	62,15	69,25	64,00	62,33	63,93	64,94	62,57	62,49	63,48	56,56	54,97	63,54	64,33	62,15	69,25	
Al₂O₃	12,43	13,00	13,11	12,88	12,70	12,38	12,78	13,34	13,46	12,67	12,83	15,26	11,88	12,43	13,00	13,11	12,88	12,70	12,38	12,78	13,34	13,46	12,67	12,83	15,26	11,88	
Fe₂O₃	2,88	2,30	1,50	1,27	1,86	2,08	0,98	4,49	6,13	2,45	2,52	2,60	2,91	2,88	2,30	1,50	1,27	1,86	2,08	0,98	4,49	6,13	2,45	2,52	2,60	2,91	
TiO₂	0,21	0,22	0,23	0,22	0,21	0,23	0,23	0,47	0,48	0,22	0,23	0,61	0,11	0,21	0,22	0,23	0,22	0,21	0,23	0,23	0,47	0,48	0,22	0,23	0,61	0,11	
P₂O₅	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,10	0,11	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,10	0,11	0,03	0,02	0,02	0,01	
MnO	0,15	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,14	0,05	0,07	0,04	0,01	0,15	0,07	<0,01	<0,01	0,06	0,14	0,05	0,06	0,14	0,05	0,07	0,04	0,01	
CaO	0,98	0,95	0,77	0,61	0,70	0,73	0,69	1,71	2,20	1,66	1,31	2,60	0,67	0,98	0,95	0,77	0,61	0,70	0,73	0,69	1,71	2,20	1,66	1,31	2,60	0,67	
MgO	0,27	0,32	0,30	0,25	0,27	0,28	0,23	0,33	0,42	0,31	0,31	0,60	0,74	0,27	0,32	0,30	0,25	0,27	0,28	0,23	0,33	0,42	0,31	0,31	0,60	0,74	
SO₃	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	<0,01	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	<0,01	0,12	
K₂O	4,37	4,30	4,41	4,72	4,00	4,14	4,70	2,87	2,48	3,59	3,45	3,06	3,20	4,37	4,30	4,41	4,72	4,00	4,14	4,70	2,87	2,48	3,59	3,45	3,06	3,20	
Na₂O	4,85	7,24	6,29	6,02	7,68	6,46	5,96	7,83	7,53	6,28	6,07	5,56	5,66	4,85	7,24	6,29	6,02	7,68	6,46	5,96	7,83	7,53	6,28	6,07	5,56	5,66	
PPC 1000°C	9,52	8,98	9,13	8,79	9,72	10,94	10,65	11,94	11,83	8,95	8,62	7,20	5,18	9,52	8,98	9,13	8,79	9,72	10,94	10,65	11,94	11,83	8,95	8,62	7,20	5,18	
Total	99,74	99,80	99,75	99,77	99,78	99,80	99,76	99,75	99,81	99,80	99,81	99,70	99,74	99,74	99,80	99,75	99,77	99,78	99,80	99,76	99,75	99,81	99,80	99,81	99,70	99,74	
Cd	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Cr	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Pb	8,1	8,9	10	11	<2	4	<2	6,1	5,8	8,9	9,5	<1	8,3	8,1	8,9	10	11	<2	4	<2	6,1	5,8	8,9	9,5	<1	8,3	
Cu	4,9	4,5	3,8	4,7	2,8	4	2,9	5,2	5	4,3	4,3	4	4,6	4,9	4,5	3,8	4,7	2,8	4	2,9	5,2	5	4,3	4,3	4	4,6	
Ba	415	412	403	430	385	389	415	536	556	414	421	nd	nd	415	412	403	430	385	389	415	536	556	414	421	nd	nd	
As	5,4	2,6	3,5	2,7	2,8	3,5	1,9	2,1	3,5	2,2	2,7	2,1	1,3	5,4	2,6	3,5	2,7	2,8	3,5	1,9	2,1	3,5	2,2	2,7	2,1	1,3	
Mo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	nd	nd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	nd	nd
Ni	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	nd	nd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	nd	nd
Zn	64	51	52	57	43	49	30	68	70	52	53	69	98	64	51	52	57	43	49	30	68	70	52	53	69	98	
Co	1,4	1,3	<1	<1	<1	1,1	1,2	9,4	8,5	6,7	4,1	nd	nd	1,4	1,3	<1	<1	9,4	8,5	6,7	9,4	8,5	6,7	4,1	nd	nd	
Li	14	20	19	14	17	18	9	29	36	34	30	nd	nd	14	20	19	14	17	18	9	29	36	34	30	nd	nd	
Mn	599	338	65	11	15	18	36	261	599	251	339	nd	nd	599	338	65	11	15	18	36	261	599	251	339	nd	nd	
V	4,8	5	2,9	3,8	3,1	5,9	5,8	3,1	4,4	5,3	5,7	nd	nd	4,8	5	2,9	3,8	3,1	5,9	5,8	3,1	4,4	5,3	5,7	nd	nd	

Tabla 2. Composición química de tobas zeolitizadas de la región de Piedra Parada. Los óxidos de elementos mayoritarios están expresados en % y los elementos trazas en ppm.

Marco Geológico

La región muestra un paisaje de lomadas muy suaves en pedimentos de la zona del Bajo de la Tierra Colorada. Las rocas más antiguas están representadas por efusiones volcánicas lávicas, ignimbritas, piroclastitas y volcanoclastitas predominantemente ácidas de edad jurásica (Formación Marifil). Estas vulcanitas constituyen la unidad basal de un depocentro relleno por sedimentos continentales y piroclásticos del cretácico inferior-superior (Grupo Chubut). Esta última unidad está constituida de base a techo por la Formación Los Adobes, esencialmente epiclástica, y la Formación Cerro Barcino, unidad con una importante participación piroclástica (Lesta, 1968; Codignotto et al., 1978). Al presente las rocas del Grupo Chubut constituyen la base dura sobre la cual se apoyan los depósitos aluviales del cuaternario.

Geología de los depósitos

Los afloramientos de rocas del Grupo Chubut que se observan en la estancia La Tradición corresponden a depósitos ubicados en los bordes de una cubeta labrada en las rocas de la Formación Marifil (Fig. 6). La base de la secuencia consiste en un conglomerado clasto soportado con clastos angulosos de ignimbritas y pórfiros riolíticos. En contacto neto continúan tobas blanquecinas teñidas superficialmente de rojo, lajeada fina con intercalaciones de niveles de tobas color gris claro. La potencia de este manto varía entre 2 y 7 metros. Hacia el techo continúa un nivel de tobas blancas, más cohesiva y masiva que las anteriores, con espesores de 1 a 4 metros, coronadas por un conglomerado polimíctico, clasto soportado y cohesivo de aproximadamente 2 m de potencia (Fig. 7). El conjunto de tobas presenta una continuidad lateral de al menos 4.000 metros en dirección N-S y 3.000 m en dirección E-O, siendo el área total de afloramientos de aproximadamente 12 km².

Ambiente depositacional

Desde el punto de vista geológico se observó que las rocas del Grupo Chubut en la región de Telsen-Cona Niyeu presentan características homogéneas mostrando una secuencia de tobas blancas y rojizas intercaladas con niveles de tufitas y conglomerados finos a gruesos. La presencia mayoritaria de estratos piroclásticos sobre epiclásticos nos permiten correlacionar estos depósitos con los de la Formación Cerro Barcino, unidad depositada durante el estadio de subsidencia térmica de la cuenca de Cañadón Asfalto (Cortiñas, 1996). La región de Telsen-Cona

Niyeu formó parte del borde oriental de la mencionada cuenca explicando ello la escasa potencia de los depósitos del grupo Chubut si los comparamos con otros sectores más al oeste. En la zona de Estancia La Tradición parte de las rocas del Grupo Chubut han sido erosionadas ya que forman parte del sustrato del pedimento

Análisis de imágenes satelitales

La metodología aplicada para este análisis se detalló en la primera parte de este trabajo. A través de esta metodología se obtuvo una imagen en donde se pueden discriminar áreas, dentro del ámbito de Estancia La Tradición, con firmas espectrales homologables a la de zeolitas. En la imagen de la figura 8 puede observarse como la clasificación espectral obtenida coincide con los afloramientos de rocas del Grupo Chubut, extendiendo las áreas de interés a sectores al norte y sur de los muestreados. Se debe tener en cuenta que las áreas mapeadas como posibles blancos deben ser chequeadas con muestreo de campo y técnica de análisis por Rayos X correspondiente.

Determinación mineralógica y características fisico-químicas

Se realizaron estudios de difracción de rayos X (DRX), análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas, exámenes de capacidad de intercambio catiónico y determinaciones de propiedades físicas.

Se tomaron muestras de tobas en cuatro sectores del área total de afloramientos a los que se les denominó A, B, C y D (Fig 6 y 7). A partir del estudio de DRX se destaca la presencia de zeolita en todas las muestras de tobas, tanto del manto inferior rojo como del manto superior blanco, siendo un mineral mayoritario en varias de ellas e identificándose los tipos mordenita, clinoptilolita/heulandita y probable chabazita (Tabla 3). Completan la mineralogía, en cantidades variables, cuarzo y esmectitas.

La composición química de las tobas alteradas de Estancia La Tradición es compatible con el contenido mineralógico de las mismas (Tabla 4). Se destaca mayor contenido de Na₂O y H₂O libre en aquellas muestras con clinoptilolita/heulandita mayoritaria y sin esmectitas. También es importante destacar los bajos valores de elementos traza metálicos y no metálicos en todas las muestras analizadas. En este sentido el alto contenido de zeolitas se ve reflejado en la mayor capacidad de intercambio catiónico y de absorción de agua (Tabla 5).

Recursos

El cálculo de los recursos geológico se realizó en base al levantamiento geológico realizado en el área (escala 1:25.000) y a cuatro perfiles. Se estimó un área del manto de tobas zeolitizadas de 2.800.000 m² y una potencia media del manto de 3,4 m, totalizando un volumen de 9.500.000 m³ que equivaldrían a aproximadamente 19 Mt de tobas zeolitizadas.

4.3 LOS ALTARES

Localización

Sector comprendido entre los paralelos de 43° 40' y 44° 00' sur y los meridianos de 67° 30' y 68° 51' oeste. Corresponde a un área del valle medio del río Chubut, entre las localidades de Paso de Indios y Las Plumas, donde se ubica la localidad de Los Al-

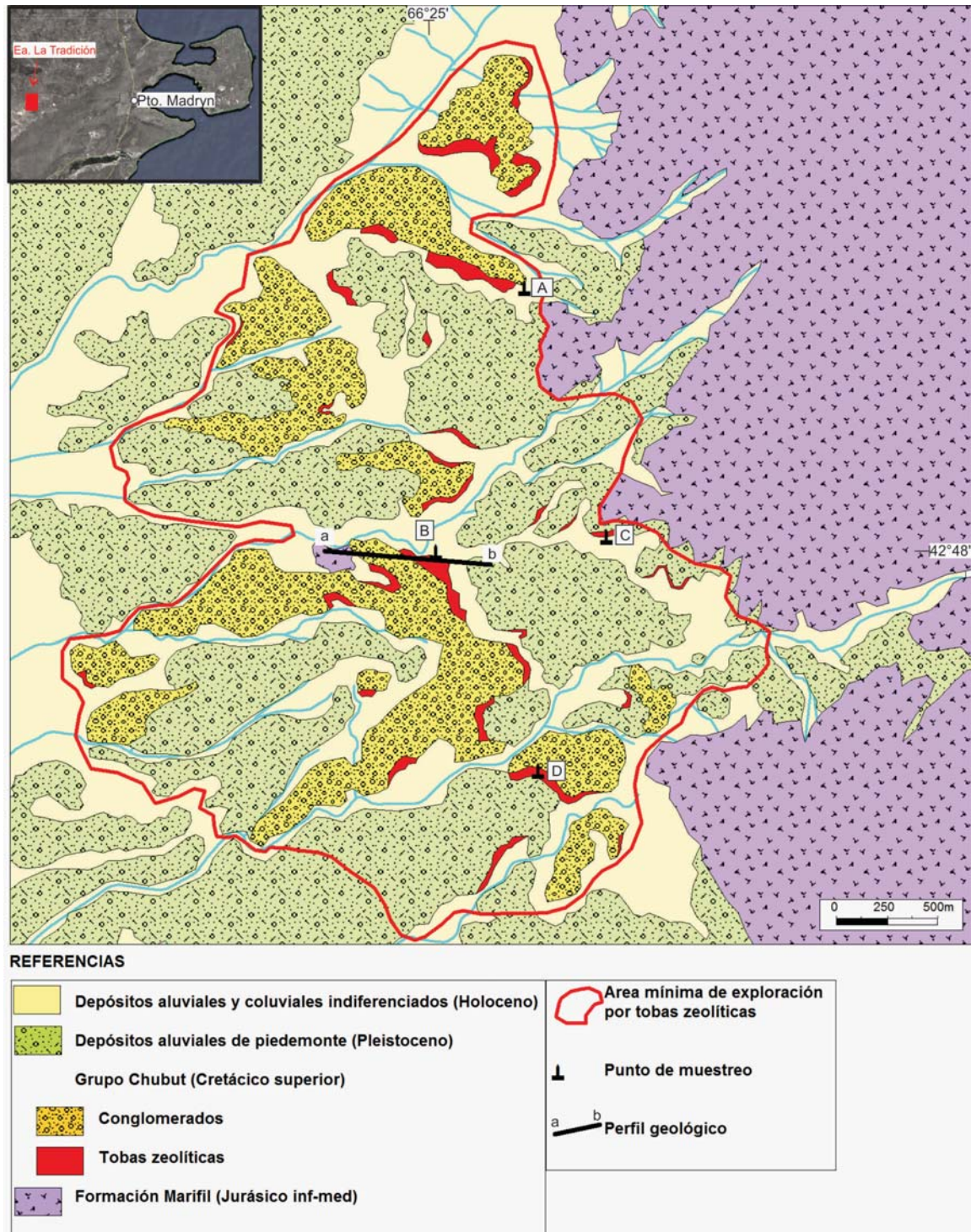


Figura 6. Mapa geológico del depósito de zeolitas de la Estancia La Tradición. Con las letras A, B, C y D se indican los lugares donde se levantaron perfiles verticales y se tomaron muestras.

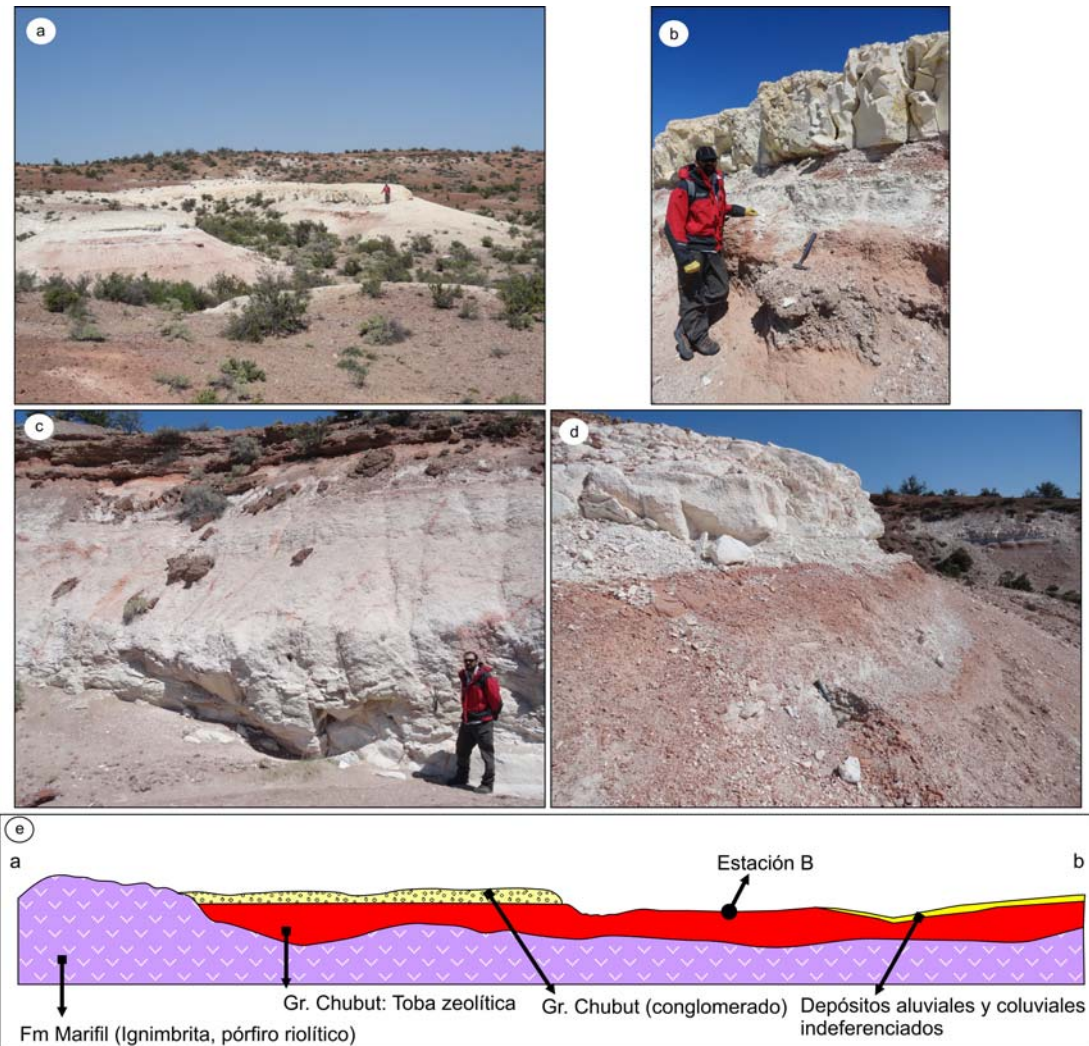


Figura 7. Depósito de zeolitas de la Estancia La Tradición. a) Banco de tobas zeolitizadas de la estación A. b) Detalle de la secuencia litoestratigráfica de la estación A. En la base se observa el conglomerado y por encima las tobas. c) Banco de tobas zeolitizadas en la estación B. d) Secuencias de tobas (teñidas de rojo y blancas) en la estación D. E) Perfil geológico transversal interpretado de las observaciones en la estación B y sus alrededores.

Sitio Muestreo	Estacion de Muestreo	Muestra	Composición Mineralógica Roca Total							Fracción Filosilicatos		Fracción Zeolitas			CIC [meq/100g]	
			Fil	Qz	Feldespatos		Ca	Ye	Zeo	Ha	May.	Min.	Cl/Heu	Mor		Cha
					FK	P										
Ea. La Tradición	A	ZEO-016-GC		xxx					xxx				zz	zzz	z?	170 ± 38
		ZEO-017-GC	xxx	xxx	x				xx		Sm		zzz	zz		nd
		ZEO-018-GC	xxx	xxx	x				xx		Sm		zzz	zzz		nd
	B	ZEO-019-GC	xx	xxx	x				xx		Sm		zzz	zzz		132 + 3
	C	ZEO-020-GC	xxx	xxx					xx		Sm		zzz	zzz		134 + 5
	D	ZEO-021-GC		xx					xxx	x			zz	zzz		199 ± 6
ZEO-022-GC		xxx	xx					xx		Sm		zzz	zz		nd	

Tabla 3. Mineralogía y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de tobas del Grupo Chubut en el área de Estancia La Tradición. Las determinaciones se realizaron por DRX en roca total.

tares como punto central y es atravesada de este a oeste por la ruta nacional 25. El área de Los Altares fue seleccionada para este estudio en base a los antecedentes de Manassero et al. (2000) quienes estudiaron las secuencias del Grupo Chubut en el área e identificaron que los niveles piroclásticos de la Formación Cerro Barcino sufrieron un proceso

de zeolitización de tipo diagenético con alteración de los vitroclastos a arcillas y/o zeolitas.

Marco Geológico

En la región la roca más antigua corresponde a los mantos ignimbrítico y lávicos riolíticos de la Formación Marifil (Jurásico) los cuales están cubiertos

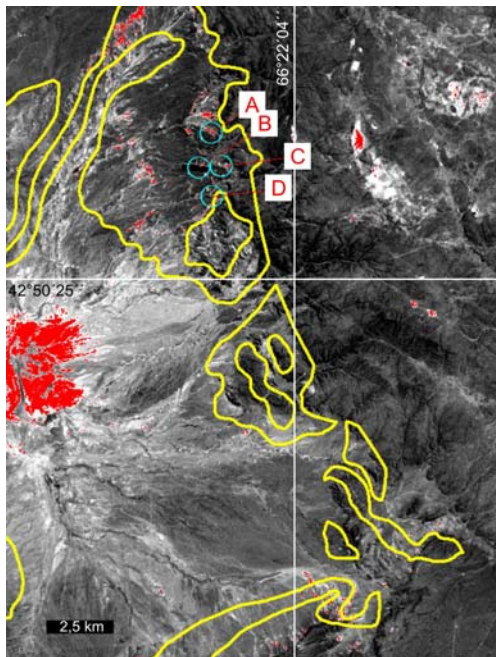


Figura 8. Imagen ASTER banda 1, área Ea. La Tradición. En rojo clasificación espectral realizada con Spectral Angle Mapper (SAM), ángulo de búsqueda 0.13 con espectro de zeolita medido en laboratorio (zeo 021GC, grano suelto). En líneas amarillas los afloramientos del Grupo Chubut (tomado de la Hoja Geológica Telsen de Ardolino y Franchi, 1996). Las estaciones de muestreo están indicadas en letras rojas.

parcialmente por las sedimentitas cretácicas del Grupo Chubut (Lesta y Ferello, 1972; Chebli et al., 1976). El estudio del Grupo Chubut por parte de Codignotto et al. (1978) permitió diferenciar depósitos epiclásticos basales (Formación Los Adobes) cubiertos, a través de contactos netos, por una secuencia volcánicla (Formación Cerro Barcino). Esta última unidad, en el área de estudio, fue dividida en cuatro miembros denominados de base a techo: i) Miembro La Paloma, ii) Miembro Cerro Castaño, iii) Miembro Las Plumas y iv) Miembro Manuel Arce (Manassero et al., 2000). El Miembro La Paloma (40 m), también denominado Facies Toba Verde,

presenta como litología predominante tobas riolíticas, tobas arenosas de composición similar y tobas riolíticas de coloración verdosa. El miembro Cerro Castaño (90 m) está compuesto por tobas arenosas, arcilitas y areniscas bien estratificadas de colores predominantemente pardo-marillentos. El Miembro Las Plumas (110 m) presenta una secuencia heterogénea donde abundan las tobas de caída retrabajadas color predominantemente blanco rojizas, además de depósitos de conglomerados y areniscas fluviales. El miembro Manuel Arce (45 m) corona el grupo Chubut, tanto al norte como al sur de la ruta 25, y lo conforman tobas, tobas areniscosas y areniscas tobáceas, de colores claros y arcilitas de color gris oscuro a negro, bien estratificadas (Lizuáin y Silva Nieto, 2005).

Geología de los depósitos

A lo largo del valle del río Chubut y la traza de la ruta nacional 25, entre Las Plumas-Los Altares-Paso de Indio, se observan importantes afloramientos de los miembros Cerro Castaño y Las Plumas del Grupo Chubut (Manassero et al., 2000). En el marco de este trabajo se escogieron cuatro sectores de muestreo (Fig. 9), sobre la traza de la ruta nacional 25, con el objeto de realizar perfiles geológicos y recolectar muestras para diferentes estudios de caracterización.

El Miembro Cerro Castaño conforma crestas empinadas y está formado esencialmente por tobas vítreas de grano fino y colores predominantemente pardo-amarillentos. La secuencia se presenta en un manto tabular de aproximadamente 2 m de potencia. El Miembro Las Plumas se dispone en afloramientos de pendientes suaves conformado principalmente por tobas vítreas con 5% de líticos y depósitos epiclásticos fluviales de conglomerados y areniscas. La secuencia se presenta como manto de morfología tabular y en ocasiones lenticular, blanco rojizo.



Figura 9. Afloramientos de los miembros La Paloma, Cerro Castaño y Las Plumas de la Formación Cerro Barcino (Cretácico inferior-superior) en los alrededores de Los Altares. Basado en el mapa de Lizuáin y Silva Nieto (2005). En la figura se indica ubicación de las estaciones de muestreo.

Est. De muestreo	A	B	C	D
Muestra	ZEO-016-GC	ZEO-019-GC	ZEO-020-GC	ZEO-021-GC
SiO ₂	69,15	66,51	64,11	62,68
Al ₂ O ₃	11,05	13,33	13,22	12,08
Fe ₂ O ₃	1,42	1,56	2,13	1,43
TiO ₂	0,09	0,15	0,2	0,1
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,05	0,03
MnO	0,08	0,03	0,24	0,13
CaO	0,62	0,82	0,49	0,8
MgO	0,57	0,95	1,21	0,57
SO ₃	< 0,05	< 0,05	0,22	< 0,05
K ₂ O	1,01	2,74	0,76	0,65
Na ₂ O	6,93	6,73	9,17	9,79
PPC 1000°C	8.68	6.85	7.97	11.52
Total	99,62	99,71	99,77	99,78
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cr	< 2	< 2	6,1	< 2
Pb	2,2	< 5	9,8	10
Cu	10	3,6	5,6	5,4
Ba	254	53	439	188
As	< 5	< 5	< 5	< 5
Mo	< 10	< 10	< 10	< 10
Ni	21	24	38	21
Zn	25	23	27	21

Tabla 4. Composición química de elementos mayoritarios (en %) y traza (en ppm) en rocas zeolitizadas de Estancia la Tradición

Est. De muestreo	A			B	C	D		
Muestra	ZEO-016-GC			ZEO-019-GC	ZEO-020-GC	ZEO-021-GC		
Espécimen	A	B	C	A		A	B	C
Densidad Real [g/cm ³]	2,07	2,09	2,1	2,29	s/d	1,92	1,96	2,09
Densidad Aparente [g/cm ³]	1,4	1,48	1,44	1,59	s/d	1,23	1,2	1,34
Porosidad [%]	32,53	29,48	31,6	30,34	s/d	35,98	38,63	35,76
Absorción de Agua [%]	23,27	19,98	21,96	19,05	s/d	29,2	32,13	26,62

Tabla 5. Propiedades físicas de tobas zeolitizadas de Estancia La Tradición.



Figura 10: Detalle del afloramiento de la Formación Cerro Barcino en la estación de muestreo II.

En la estación II se muestreo el Miembro Cerro Castaño. Se trata de un extenso frente de tobas claras moderadamente friables con estratificación subhorizontal grosera (Zeo 012-CU-CHU) y con algunas intercalaciones de tobas moradas compactas y tenaces con

trazas fósiles de hasta 0,50 m de espesor (Zeo013-CU-CHU). El encape, si bien no es continuo puede alcanzar los 2 m de espesor y corresponde a areniscas conglomerádicas con laminación entrecruzada perteneciente, con reservas al Miembro Las Plumas (Fig. 10).

La estación de muestreo IV corresponde al Miembro Las Plumas de la Formación Cerro Barcino y presenta en la base tobas amarillentas compactas y tenaces con estratificación grosera (Zeo 017-CU-CHU) y en el techo a tobas blanquecinas compactas con laminación fina y trazas fósiles (Zeo 018-CU-CHU). Los bancos se presentan como bardas mesetiformes sin encape con 13 m de espesor (Fig. 11).

Ambiente depositacional

En el área entre La Plumas y Paso de Indios la sedimentación piroclástica (lluvias de cenizas) que constituye la Formación Cerro Barcino, se habría desarrollado en un ambiente continental representado por llanuras onduladas con planicies aluviales de inundación, canales arenosos, y esporádicos cuerpos someros de agua en los que predominó un ambiente reductor, en simultaneo con un importante aporte piroclástico de tipo riolítico-dacítico (Manassero et al., 2000), condiciones éstas de favorabilidad a la formación de zeolitas.

Determinación mineralógica y características físico-químicas

En la estaciones I, II y III se tomaron muestras del Miembro Cerro Castaño y en la estación IV tobas del Miembro Las Plumas. Los resultados obtenidos por estudios de difracción de rayos x en muestras del Miembro Cerro Castaño presentan analcima como especie de zeolita dominante y las muestras del Miembro Las Plumas con predominancia de clinoptilolita/heulandita (Tabla 6). Estos datos son consistentes con los de Manassero et al. (2000).

En lo que respecta a la proporción de zeolitas dentro de la roca se pudo constatar que es variable ya que se puede encontrar como un constituyente mineral mayoritario, accesorio y en algunos casos minoritario, sin dejar de destacar que en todos los casos las muestras presentan algún grado de zeolitización. A modo orientativo y preliminar se realizó la determinación de intercambio catiónico en la muestra Zeo 017 CU-CHU con clinoptilolita/heulan-



Figura 11: Detalle del afloramiento de la Formación Cerro Barcino, Miembro Cerro Castaño en la estación de muestreo IV.

Sitio Muestreo	Estación de Muestreo	Muestra	Composición Mineralógica Roca Total							Fracción Filosilicatos		Fracción Zeolitas			CIC [meq/100g]
			Fil	Qz	Feldespatos		Ca	Zeo	Celd	May.	Min.	Cl/Heu	Anc	Mor	
					FK	P									
Los Altares	I	zeo009-CU-CHU		xxx		x		xx				zzz			nd
		zeo010-CU-CHU	x	xx	xx	xx	xxx	xx		Sm?			zzz		nd
		zeo011-CU-CHU		xxx	xx	xx	xx	xx	x?				zzz		nd
	II	zeo012-CU-CHU		xxx	xx	xx	x	xx					zzz		nd
		zeo013-CU-CHU	x	xx		xx	x	xxx					zzz		nd
	III	zeo015-CU-CHU	xx	xxx	xx			x					zzz		nd
		zeo016-CU-CHU	xx	xxx	xx			x					zzz		nd
	IV	zeo017CU-CHU	x	xxx		xx		xxx		Sm?			zzz		145 ± 11
		zeo018CU-CHU		xxx			z	xx					zzz	zz	zz	nd

REFERENCIAS. Anc: analcima; Ca: calcita; Celd: celadonita; Cl/Heu: clinoptilolita/heulandita; Fil: filossilicatos; FK: feldespato potásico; Mor: mordenita; P: plagioclasas; Qz: cuarzo; Sm: Esmeclitas; Zeo: zeolitas. Estimación contenido relativo roca total. xxx: mayoritario; xx: minoritario; x: accesorio; ?: componente dudoso. Estimacion contenido relativo fraccion zeolitas. zzz: mayoritario; zz: minoritario; z: accesorio. nd: no determinado

Tabla 6. Resultados de los estudios de DRX y CIC en muestras del Miembro Cerro Castaño (estaciones I, II y III) y del Miembro Las Plumas (estación IV).

quita mayoritaria la cual arrojó resultados alentadores con 145 ± 11 meq/100g (Tabla 6).

Recursos

Se estimaron en forma expeditiva, los volúmenes mínimos de tobas con grados variables de zeolitización de la Formación Cerro Barcino (Grupo Chubut) en cada sector:

- a) Sector I: 100.000 m³
- b) Sector II: 140.000 m³
- c) Sector III: 550.000 m³
- d) Sector IV: 450.000 m³

4.4 LAGO MUSTERS

Localización

El área se encuentra en el centro sur de la provincia del Chubut, en las zonas aledañas al lago Musters. Incluye a la localidad de Sarmiento y es atravesada por la Ruta Nacional 26 y la Ruta Provincial 24. Las zonas de muestreo son: 1) Establecimiento La Península y 2) Sierra de Silva, ambas con acceso por la Ruta Provincial 24 desde la localidad de Sarmiento.

Marco Geológico

El área de muestreo está ubicada en el sector noroccidental de la Cuenca del Golfo San Jorge. Se trata de una cuenca de intraplaca originada sobre una corteza continental de edad eopaleozoica cuya etapa inicial está representada por depósitos volcánico-clásticos y vulcanitas de la etapa temprana del rift del Jurásico medio que constituyen el Grupo Lonco

Trapial. Durante el Neocomiano, en la etapa de rift tardío, se abrieron depocentros lacustres extensionales profundos cuyos depósitos dieron origen al Grupo Las Heras que incluye unidades definidas e identificadas solamente en el subsuelo de la cuenca. En discordancia angular se apoya el Grupo Chubut (Cretácico inferior-Superior), constituido por las formaciones Pozo D-129, Matasiete, Castillo, Bajo Barreal y Laguna Palacios, todas depositadas en ambientes continentales. Durante el Cenozoico, la cuenca se comportó como una amplia plataforma de baja pendiente en un contexto predominantemente extensional. Su relleno sedimentario dio origen a las formaciones Salamanca (marino), Río Chico (fluvial), Sarmiento (continental con participación piroclástica), Chenque (marino) y Santa Cruz (fluvial y eólico), separadas entre sí por discontinuidades de carácter regional, excepto el pase entre las formaciones Chenque y Santa Cruz, que es transicional.

En el sector occidental de la Cuenca del Golfo San Jorge se encuentra la Faja Plegada de San Bernardo, donde se exponen las rocas cretácicas que han sido muestreadas (Fig. 12).

Geología de los depósitos

La Formación Bajo Barreal presenta una litología muy homogénea y monótona. Consiste en tobas líticas de colores verde, amarillo y blanco, areniscas tufíticas de colores castaño, amarillo y rosado. Todas estas rocas están bien estratificadas y muestran una marcada alternancia de niveles de bancos friables y duros que le dan un característico aspecto a sus afloramientos.



Figura 12. Mapa de ubicación y marco geológico de las áreas muestreadas en los alrededores del Lago Musters y puntos de extracción de las muestras.

Los afloramientos del establecimiento La Península muestran una alternancia de bancos tabulares de areniscas tobáceas de color castaño grisáceas y tobas blancas con mucha continuidad lateral (Fig. 13). En los afloramientos muestreados, se distinguen dos ciclos de depositación que comienzan con las areniscas y culminan con las tobas que suman un espesor estratigráfico aflorante de aproximadamente 6 metros. Estas tobas presentan estructuras internas que evidencian algún tipo de transporte. Existen entonces dos niveles de tobas con espesores que varían entre 1,5 y 2 metros.

La litología de Sierra de Silva es similar a la de los afloramientos anteriormente descritos. La sucesión comienza con areniscas tobáceas estratificadas de color gris castaño de al menos 4 metros de espesor aflorante (no aflora su base), seguida de 6 metros de tobas blancas bien consolidadas (Fig. 14).

Ambiente depositacional

La Formación Bajo Barreal se originó a partir de depósitos de corrientes efímeras, llanuras de inundación y ríos entrelazados proximales asociados a procesos volcánico-clásticos, mientras que el miembro superior estaría constituido por depósitos de corrientes efímeras y llanuras de inundación (Hechem et al., 1989).

Análisis de imágenes satelitales

Se procesaron dos imágenes ASTER de la zona correspondiente a la Hoja Geológica Sarmiento. Se

hicieron clasificaciones con el método «Spectral Angle Mapper» (SAM) a fin de obtener una imagen clasificada con la distribución de zeolitas utilizando los patrones espectrales de heulandita y clinoptilolita del U.S. Geological Survey, disponibles en las bases de datos del programa de procesamiento ENVI.

Como resultado de este trabajo se obtuvo una imagen de distribución de zeolitas (Fig. 15) donde los pixeles clasificados corresponden a tobas zeolitizadas tanto de los sectores Estancia La Península y Sierra de Silva como de zonas aledañas. Esto permitió, junto con características geológicas y geomorfológicas de la Formación Bajo Barreal, ampliar la prospección inicial.

Determinación mineralógica y características físico-químicas

Se realizaron estudios de difracción de rayos X y análisis químicos de elementos mayoritarios y traza en muestras de Estancia La Península y Sierra de Silva. Los resultados de análisis de DRX confirmaron los resultados de estudios previos (clasificación espectral y análisis de PIMA) al identificar presencia de heulandita y clinoptilolita (Tabla 7 y Fig. 16). Las zeolitas se encuentran dentro de las tobas alteradas como minerales minoritarios.

Químicamente las tobas zeolitizadas de Lago Muster muestran homogeneidad composicional (Tabla 8). Sin embargo los contenidos levemente mayores de K_2O y Na_2O y menores de CaO y Ba de la muestra de Estancia La Península puede tenerse en



Figura 13. Afloramiento de la Formación Bajo Barreal en el establecimiento La Península



Figura 14. Afloramiento de la Fm. Bajo Barreal en la Sierra de Silva

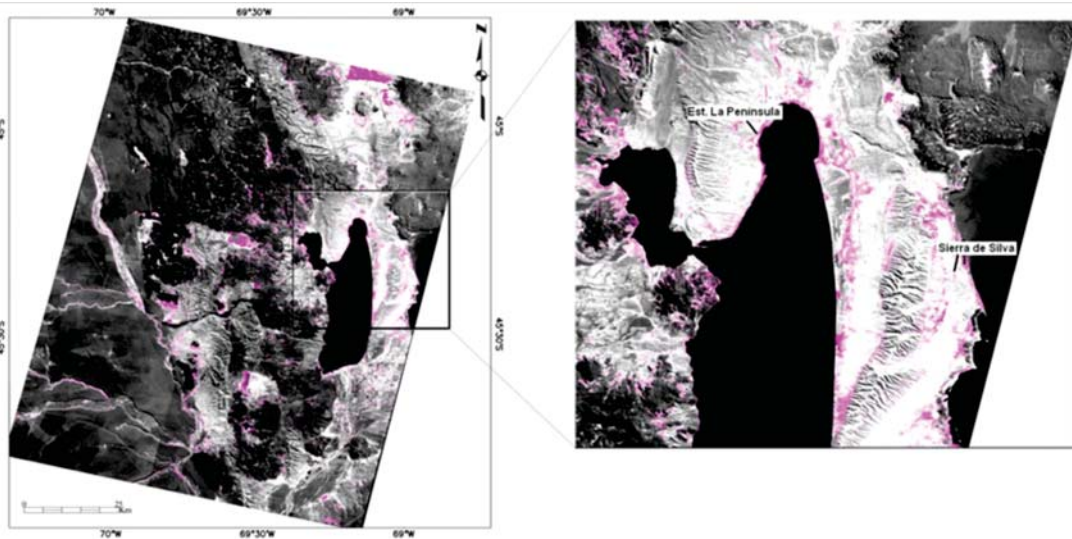


Figura 15. Imagen ASTER clasificada con la firma espectral de heulandita y clinoptilolita. a) Imagen regional. b) Detalle de la clasificación de los sectores estudiados como así también de otros de interés prospectivo (color magenta).

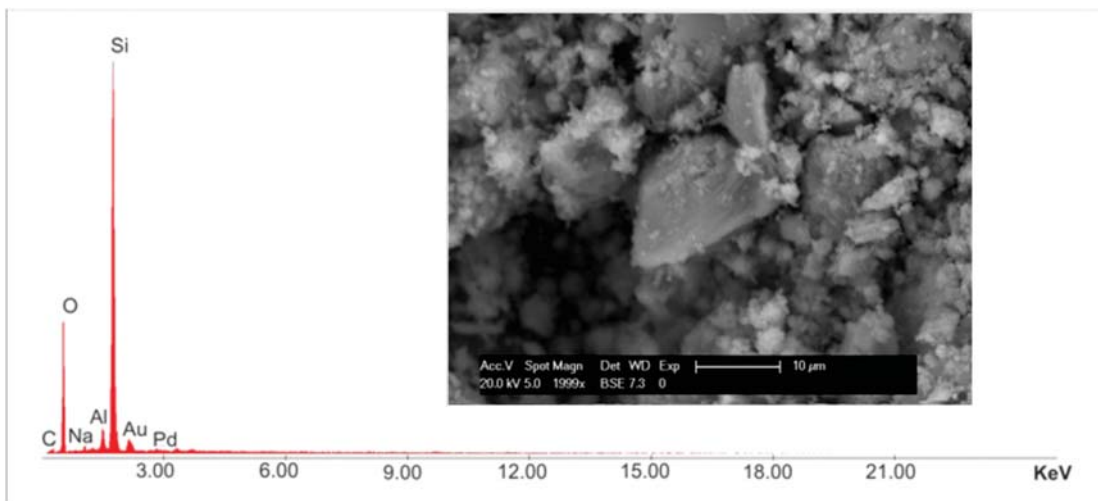


Figura 16. Fotomicrografía SEM metalizada, de cristales de clinoptilolita en tobas zeolitizadas de Lago Muster y diagrama de la composición química semicuantitativa (microsonda EDAX) del mineral zeolítico.

Sitio Muestreo	Descripción	Muestra	Composición Mineralógica Roca Total						Fracción Filosilicatos		CIC [meq/100g]
			Fil	Qz	Feldespatos		Ba	Zeo (Cl/Heu)	May.	Min.	
					FK	P					
Establ. La Península	Toba. Nivel sup.	HS2-P47a	x	xxx	xx	x			Sm		nd
	Toba. Nivel inf.	HS2-P47b	x	xxx	x	xx	tr	xx	I/M		114 ± 11
Sierra de Silva	Toba	HS-BB1	x	xxx	x	xx	tr	xx	Sm?		106 ± 2
	Tufita	HS2-P42	x	xxx	x	xx		xx	Sm?		nd

REFERENCIAS. Qz: cuarzo; FK: potásicos; P: plagioclasas; Ba: baritina; I/M: illita/micas; Sm: esmectitas; Cl/Heu: clinoptilolita/heulandita; Zeo: zeolitas. Estimación contenido relativo roca total. xxx: mayoritario; xx: minoritario; x: accesorio; tr: trazas; ?: componente dudoso. nd: no determinado. CIC: capacidad de intercambio catiónico

Tabla 7. Composición mineralógica (DRX) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) en muestras de roca total de Estancia La Península y Sierra de Silva.

Área	Estab. La Península	Sierra de Silva
Muestra	HS2-P47b	HS-BB1
SiO ₂	71,24	72,94
Al ₂ O ₃	12,60	12,35
Fe ₂ O ₃	0,81	0,56
TiO ₂	0,20	0,18
P ₂ O ₅	0,05	<0,01
MnO	0,01	0,02
CaO	1,63	2,11
MgO	0,32	0,37
SO ₃	0,05	0,05
K ₂ O	2,25	1,76
Na ₂ O	5,21	2,95
PPC 1000°C	5,42	6,53
Total	99,79	99,82
Cr	6,9	7,5
Pb	8,3	8,2
Cu	1,1	1,7
Ba	1100	1541
As	3,5	2,1
Mo	<0,12	<0,12
Ni	0,23	<1
Zn	20	15

Tabla 8. Composición química de muestras del área Lago Musters

cuenta como rasgo guía junto con la mineralogía y capacidad de intercambio catiónico para identificar rocas zeolitizadas. Desde el punto de vista mineralógico se refleja en la presencia de esmectitas e illita/montmorillonita, minerales que colaboran en que posea una mayor capacidad de intercambio catiónico.

Recursos

La estimación de los recursos geológicos de tobas zeolitizadas en diferentes grados según los sectores, se realizó en base al levantamiento geológico de la Formación Bajo Barreal. En el sector de Sierra de Silva la superficie de los afloramientos es de aproximadamente 4,6 km² y el espesor promedio de 2,5 m lo que totaliza un volumen de 11.500.000 metros cúbicos. En el Establecimiento La Península la

superficie de afloramiento es de aproximadamente 1 km² siendo el espesor promedio de 0.5 m y el volumen estimado de 500.000 metros cúbicos.

5. USOS POSIBLES

Los análisis y ensayos realizados en este informe sobre las muestras de tobas zeolitizadas de las áreas de Piedra Parada, Telsen Los Altares y Lago Muster indican su utilidad en tratamientos de potabilización de agua, acuicultura y también, como insumos de valor en aplicaciones agronómicas y veterinarias. Por sus propiedades de elevada capacidad de intercambio catiónico, poder de adsorción-absorción y particular estructura cristalina, estas rocas constituyen sólidos microporosos con potencialidad de aplicaciones en otras áreas de la ciencia y de la nanotecnología.

6. CONSIDERACIONES FINALES

A partir de los datos obtenidos y analizados en el presente trabajo, se han reconocido dos periodos principales de generación de depósitos zeolíticos con sus respectivos litotectos: a) Cretácico y b) Paleógeno. Ambos periodos se caracterizan por una profusa generación de material piroclástico debido a la actividad del arco volcánico en el sector occidental del territorio provincial. El origen de las zeolitas se debió a un proceso diagenético de alteración de vitroclastos siendo las principales guías prospectivas:

- Secuencias de tobas de caída
- Áreas de alteración con zeolitas-esmectitas

Los depósitos del Cretácico están vinculados a secuencias piroclásticas (tobas de caída) depositadas en cuencas lacustres del sector extraandino. Estos antiguos depocentros tenían distribución errática y sus secuencias, en muchos casos, se intercalan o están cubiertas con facies fluviales.

Las rocas de interés prospectivo (litotecto) de este periodo corresponden a las facies piroclásticas del Grupo Chubut (Cretácico inferior-superior) las cuales reciben diferentes nombres formacionales según el sector de la provincia donde se hallan descripto (Formación Cerro Barcino, Formación Bajo Barreal). Es un litotecto con alto potencial geológico y minero ya que presenta una gran distribución areal

e importantes espesores además de encontrarse en sectores del área extraandina con buenos accesos e infraestructura.

Depósitos de zeolitas pertenecientes a este periodo se han hallado en Estancia La Tradición (sector Telsen), en las márgenes de la ruta nacional N°25 entre Las Plumas y Paso de Indios (sector Los Altares) y en las áreas circundantes al lago Musters. Las zeolitas presentes en estos depósitos son principalmente clinoptilolita/heulandita, mordenita y analcima y como accesorio, probable chabasita. Si bien la extensión de las áreas zeolitizadas y la intensidad de la alteración varían de un sector a otro se puede considerar, siguiendo el criterio de Hammerberck (1998), que los depósitos identificados son medianos (> 0,5 Mt) a grandes (>1 Mt).

Los depósitos del Paleógeno están vinculados a la caldera volcánica Piedra Parada (Paleoceno), localizada en el tramo medio del río Chubut. Son depósitos piroclásticos tobáceos de intracaldera, alterados en un medio subácuo y constituyen el litotecto (Tufolita Laguna de Hunco). El potencial geológico del litotecto está limitado por su extensión, que se circunscribe al área intravolcánica, sin embargo desde el punto de vista minero el sector presenta buena infraestructura de accesos y proximidad a centros poblados de importancia (a 140 km de Esquel). En este sector denominado Piedra Parada, se identificaron tres áreas con depósitos de tufolitas zeolitizadas, cuyos volúmenes, se estima pueden alcanzar los 2.000.000 m³ y alientan a futuros estudios orientados a la producción. Las principales es-

pecies de zeolitas identificadas son clinoptilolita/heulandita y en cantidades subordinadas se encontró mordenita.

Cabe mencionar, la presencia de zeolitas en rocas de la Formación Cañadón Asfalto, (edad Jurásico medio a superior), detectadas en las canteras de lajas San José y Yamil, ambas en la Sierra de Taquetrén, aproximadamente a 28 km al SO de Gastre. (Ualdón et al, 2015)

En esta contribución, se valida la metodología de procesamiento de datos satelitales del sensor ASTER como herramienta eficaz para la detección de afloramientos de rocas zeolíticas vulcano-sedimentarias así como su utilidad en la identificación de este tipo de depósitos.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo, agradecemos la colaboración del geólogo Feliciano Pagnanini en la edición informática de los diagramas EDAX para su inclusión en este informe, al Lic. Diego Silva Nieto por su asesoramiento y comentarios respecto a las formaciones Vulcano-sedimentarias de la zona de los Altares, a la Lic. Noelia Iannizzotto por su atención en la corrección del resumen en inglés, a los propietarios de los establecimientos donde se encuentran los afloramientos de rocas zeolitizadas, en particular a los Sres Levi y Solari Yrigoyen, y así también al Sr Rolando Lexow por su colaboración en las tareas de campo.

8-TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ANDREIS, R., IÑIGUEZ, A. 1968. Clinoptilolita de la Formación La Matilde (Jurásico superior), provincia de Santa Cruz. *Revista Museo de La Plata, Geología* 6(48): 221-234, Buenos Aires.
- ANDREIS, R., IÑIGUEZ, A., LLUCH, J. Y SABIO, D. 1974. Estudio sedimentológico de las formaciones del Cretácico superior del área del lago Pellegrini (Provincia de Río Negro, República Argentina). *Revista Asociación Geológica Argentina* 29(1): 85-104, Buenos Aires.
- ANDREIS, R., MAZZONI, M. Y SPALLETI, L. 1975. Estudio estratigráfico y paleoambiental de las sedimentitas terciarias entre Pico Salamanca y Bahía Bustamante, provincia del Chubut, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 30(1): 85-103, Buenos Aires.
- ANSELMINI, G., M. T. GAMBA y J. L. PANZA, 2004. Hoja Geológica 4369-IV, Los Altares. Provincia del Chubut. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. *Boletín* 313, 98p. Buenos Aires.
- ARAGÓN, E Y M. MAZZONI, 1997. Geología y estratigrafía del complejo volcánico piroclástico del río Chubut medio (Eoceno), Chubut, Argentina. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 52 (3) 243-256.
- ARAGÓN, E., Y AGUILERA, V. CONSOLI, C. CAVAROZZI y A. RIBOT, 2004 a- Las Andesitas Estrechura del Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut Medio (Paleoceno-Eoceno Medio). *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 59 (4). 619-633
- ARAGÓN, E., GONZÁLEZ P., AGUILERA Y., MARQUETTI C., CAVAROZZI C., RIBOT A. 2004 b- El domo vitrofórico Escuela Piedra Parada del Complejo Volcánico Piroclástico del río Chubut Medio. *Revista Asociación Geológica* N° 59 (4). 634-642
- ARDOLINO, A. FRANCHI, M., 1996. Hoja Geológica 4366-1. Telsen. *Boletín* 215. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería de la Nación, 110 pp. Buenos Aires.
- BENGOCHEA, L., MAS, G., MAIZA, P., y BENGOCHEA, J., 1997. Mordenite occurrence in the Mendoza province, Argentina. *Zeolite* 97. Ischia, Napoles, Italia. 63-64
- CANAFOLIA M., GONZÁLEZ M., FERNÁNDEZ R. 2008- Reporte y caracterización de material zeolitizado en el sector suroeste de la provincia de Mendoza. *Actas del XVII Congreso Geológico Argentino*, p 1412. Jujuy.
- CARRIZO, R., DONNARI, E., MARCOS, O., PRIERI, A. 2006. Potencial Geológico-Minero de Zeolitas Sedimentarias en El distrito de Paganzo, Provincia de La Rioja, Argentina. *Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales* N°29.
- CASANOVA, M., 1931. Apuntes petrográficos sobre los terrenos atravesados por los pozos de Comodoro Rivadavia y alrededores. *Contribución Primeras Reuniones Nacionales de Geografía. Boletín Informaciones Petroleras*, Buenos Aires.
- CASTRO GODOY S., DONNARI, E., GOZALVEZ 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 Geotecnología* 2015. p.216-220. San Luis. Argentina.
- CASTRO GODOY, S., COZZI, G., UBALDÓN, C., DONNARI, E., WRIGHT, E. 2016. Detección de zeolitas con Aster en Piedra Parada-La Buitrera, río Chubut medio, Provincia del Chubut. *Simpósio Internacional SELPER* 2016. Puerto Iguazú- Misiones. Argentina.
- CODIGNOTTO, J., NULLO, F., PANZA, J. L. Y PROSERPIO, C., 1978. Estratigrafía del Grupo Chubut entre Paso de Indios y Las Plumas, provincia del Chubut, Argentina. *7° Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 471-480.
- CHEBLI, G. A., NAKAYAMA, C., SCIUTTO, J. C. Y SERRAIOTTO, A. A., 1976. Estratigrafía del Grupo Chubut en la región central de la provincia homónima. *7° Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 375-392.
- CORTIÑAS, 1996. Cuenca de Somuncurá- Cdón Asfalto, sus límites, ciclos evolutivos del relleno sedimentario y posibilidades exploratorias. *Actas XIII Congreso Geológico Argentino y III de Hidrocarburos*. 147-163
- DI PAOLAE., 1965. Heulandita autigénica en formaciones mesozoicas de Neuquén y Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. XX, N°1-2 : 229-240
- HAMMERBECK, E. C. I., 1998. *International Metallogenic Map of Africa. Commission for the Geological Map of the World (UNESCO) and Council for Geoscience*, Pretoria, South Africa.
- INDEC, 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P1-P_Chubut.pdf
- IÑIGUEZ RODRIGUEZ, M., ZALBA, P., MAGGI, J. 1987. Clinoptilolita y analcima en miembros del Grupo Chubut, entre Paso de Indios y Las Plumas, provincia de Chubut, Argentina. *10° Congreso Geológico Argentino*, San Miguel de Tucumán, Actas I: 75-78
- LESTA P. 1968- Estratigrafía de la cuenca del Golfo San Jorge. *3° Jornadas Geológicas Argentinas*, Actas I: 251-289.

- LESTA P.y FERELLO R., 1972. Región extraandina del Chubut y norte de Santa Cruz. A.F.Leanza, editor en Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 601-654. Córdoba.
- LIZUAÍN A.y SILVA NIETO, 2005. Observaciones geológicas en la región de río Chico, Gastre, río Chubut del medio, provincia de Chubut. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas I: 133-139. La Plata.
- LIZUAÍN, A., Y SILVA NIETO, D., 2008. Carta Geológica Gastre, escala 1:250.000. Provincia del Chubut. Servicio Geológico Minero Argentino. Informe Inédito.
- MANASSERO, M., ZALBA, P., ANDREIS, R., MOROSI, M. 1998. Ambientes volcánicoclasticos de La Formación Cerro Barcino (Grupo Chubut, Cretácico superior), entre Los Altares y Las Plumas, Chubut, Argentina. 7° Reunión Argentina de Sedimentología. Salta. Actas 278-279
- MANASSERO, M., ZALBA, P. E., ANDREIS, R. R. Y MOROSI M., 2000. « Petrology of continental pyroclastic and epiclastic sequences in the Chubut Group (Cretaceous), Los Altares and Las Plumas area, Chubut, Patagonia Argentina». Revista Geológica de Chile. ISBN/ISSN: 0716-0208. Volumen 27 N°1: 13-26. Julio 2000.
- MARQUETTI, C., DALMOLÍN, C., DONNARI, E., COZZIG, 2016. Prospección de zeolitas sedimentarias en Argentina: aplicación de datos Aster, espectrometría de reflectancia SWIR y rayos X. Formación Bajo Barreal, CHUBUT
- XII Congreso de Mineralogía y Metalogenia 5-7 de octubre de 2016. San Miguel de Tucumán.
- MAZZONI, M. y ARAGÓN 1987. La Ignimbrita Barda Colorada del Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut. Medio. X Congreso Geológico Argentino Actas IV (Resumen) págs. 168-170.
- MORANTE, F., GARCÉS, D., MACHIELS, L., MINA, A., NORIEGA, R. 2013. «Metodología de investigación para la prospección de yacimientos de zeolitas naturales de origen vulcano sedimentarios». Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros, Vol.IV; E. Berrezueta y M.j.Dominguez-Cuesta, eds; Red Minera XXI, CYTED e Instituto Geológico y Minero de España; Oviedo.
- NULLO, F., 1983. Descripción Geológica de la Hoja 45c, Pampa de Agnia. Provincia de Chubut. Boletín N° 199. Secretaría de Estado de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería. 94 págs.
- PRIERI, A. 1982. Estudio petrográfico de rocas tobáceas en El área de Patquía. Informe Inédito. Delegación La Rioja. Servicio Minero Nacional. Argentina
- PRIERI, A. 2003. Estudio petrográfico sobre tobas ceolíticas del área de Patquía. Informe Inédito. Servicio Geológico Minero Argentino.
- SILVA NIETO, D., 2005. Hoja Geológica 4369-III Paso de Indios Escala 1:250.000. SEGEMAR-IGRM. Boletín N° 267. Págs. 64.
- SILVA NIETO, D., N. CABALERI, F. SALANI y A. COLUCCIA, 2002. Cañadón Asfalto, una cuenca tipo «pull apart» en el área de Cerro Cóndor, Provincia del Chubut. Actas del XV Congreso Geológico Argentino, El Calafate, 6 págs.
- TERUGGIM., 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
- UBALDON, MC, M. DALPONTE, P. ESPEJO Y B. MATEOS, 2012, Carta de Minerales Industriales, Rocas y Gemas 4369-I Gastre, Boletín N°412. SEGEMAR. Buenos Aires, 2015
- VOLKHEIMER, W., y LAGE, J., 1981. Descripción Geológica de la Hoja 42 C, «Cerro Mirador», Provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional. Boletín 181. p 71. Buenos Aires.
- ZALBA, P. E. y R. R. ANDREIS. 2003. Procesos diagenéticos en el Grupo Chubut: Formaciones Castillo, Bajo Barreal Y Laguna Palacios (Albiano - Maastrichtiano), Patagonia, Chubut, Argentina. 3 er Congreso Nacional de Zeolitas Naturales, Zacatecas, México.