

**CALDERAS JURÁSICAS ASOCIADAS A LAS VOLCANITAS
DE LA FORMACIÓN CHON AIKE EN LAS INMEDIACIONES DEL PUESTO
SALADO, SECTOR ORIENTAL DE LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ,
ARGENTINA**

**JURASSIC CALDERAS ASSOCIATED WITH CHON AIKE FORMATION
VOLCANISM NEARBY PUESTO SALADO, EAST OF SANTA CRUZ PROVINCE,
ARGENTINA**

Flavia M. Salani^{1,2} y Carlos J. Chernicoff^{1,3}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

²Universidad de Buenos Aires. Pab. 2, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires

³Servicio Geológico-Minero Argentino, Edificio 25, Predio INTI 1650, San Martín, Buenos Aires
E-mail: fms@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN

A partir del levantamiento aeromagnético del Macizo del Deseado, se ha podido interpretar la presencia de dos conspicuas estructuras caldéricas de 30 y 23 km de diámetro, separadas por una distancia de 7 km, centradas en 48°52'S/68°02'O y 48°53'S/68°29'O, respectivamente, en el subsuelo de la región del Puesto Salado. Las calderas identificadas se asocian a las volcanitas de la Formación Chon Aike y son las primeras detectadas en el subsuelo en esta unidad, siendo estructuras análogas a las encontradas en unidades volcánicas equivalentes de la Patagonia. La profundidad estimada a la que se encuentran las estructuras caldéricas está en el rango de 350 a 550 m. En virtud de la dimensión de estas calderas se ha estimado que el volumen de material piroclástico erupcionado por las mismas está en el orden de 1000 km³ para la caldera Puesto Salado oriental y de 200 km³ para la caldera Puesto Salado occidental. Las calderas del Puesto Salado se distinguen por sus dimensiones mayores con respecto a aquellas asociadas al volcanismo jurásico de la región extraandina de Santa Cruz. Con fines comparativos se realizaron algunas observaciones, acerca de las firmas magnéticas de dos áreas vecinas de la secuencia volcánica-piroclástica jurásica de la Formación Chon Aike.

Palabras claves: Calderas, Chon Aike, Volcanismo ácido, Santa Cruz, Aeromagnetismo

ABSTRACT

The aeromagnetic survey of the Deseado Massif, Santa Cruz province, Argentina, has allowed to interpret the occurrence of two conspicuous caldera structures of 30 and 23 km in diameter, respectively centered at 48° 52' S / 68° 02' W and 48° 53' S/ 68° 29' W, i.e. located roughly about 7 km apart. The identified calderas –herein referred to as Puesto Salado calderas– are associated with the Chon Aike Jurassic acid volcanites which, although are locally covered by Cenozoic sediments, are largely spread in the southern Patagonian region. The estimated depth for the Puesto Salado caldera structures ranges 350 to 550 m; its dimension (diameter) is notably larger than that of other calderas associated with the Jurassic volcanism in the extra-Andean region of the Santa Cruz province. The possible volume of pyroclastic material erupted from the identified calderas has been estimated in terms of their dimension, ranging between 1000 km³ for the eastern Puesto Salado Caldera and 200 km³ for the western Puesto Salado caldera. Additionally, preliminary characterization of the magnetic signatures associated with the Jurassic volcanic-pyroclastic sequence of the Chon Aike Formation in two neighboring areas has been carried out for comparative purposes.

Keywords: calderas, Chon Aike, acidic volcanism, Santa Cruz, aeromagnetism

INTRODUCCIÓN

La región patagónica argentina se caracteriza por un volcanismo jurásico predominantemente ácido que abarca desde la región cordillerana hasta la extrandina, donde forma un extenso campo volcánico referido como Provincia Volcánica Chon Aike (Kay et al., 1989), *Large Igneous Province (LIP)* silícea Chon Aike (Pankhurst et al., 1998), o bien Provincia Silícea Chon Aike (Sruoga et al., 2010). A su vez, a este campo volcánico se le asignan distintas nomenclaturas formacionales según la región, p.e.: Formaciones Marifil y Chon Aike en el sector extrandino de las provincias de Río Negro y Santa Cruz, respectivamente, y Complejo El Quemado en la región andina de la provincia de Santa Cruz. En gran parte del Macizo del Deseado las volcanitas Chon Aike se asocian a depósitos epitermales de Au y Ag de edad jurásica media a superior.

Fuera del área patagónica, este vulcanismo se extiende también a la región antártica, entendiéndose que, conjuntamente, su génesis se debe a fusión parcial de corteza inferior de edad mesoproterozoica (Pankhurst and Rapela, 1995; Pankhurst et al., 1998) que, en un contexto de extensión, precedió y finalmente condujo al desmembramiento del supercontinente de Gondwana (Gust et al., 1985; Kay et al., 1989; Pankhurst et al., 1998, entre otras).

Se considera que la efusión de las volcanitas ácidas jurásicas de la región patagónica está vinculada a calderas (o megacalderas) a grandes fisuras o, muy probablemente, a la combinación de ambas. Aragón *et al.* (1996), por ejemplo, identificaron una megacaldera de 100km de diámetro asociada a la Fm. Marifil. Asimismo, en el ámbito extraandino de Santa Cruz. Fernández et al. (1996) y Moreira et al. (2010) propusieron la ocurrencia de calderas en el área de La Josefina. Guido (2004) reconoció varios centros volcánicos entre los que menciona la caldera del cerro Torta. Echavarría et al. (2005) y Sruoga et al. (2008) estudiaron la estructura caldérica de la zona de El Dorado-Monserrat, mientras que Ruiz et al. (2011, y referencias allí citadas) estudiaron la caldera Cerro 1° de Abril (Distrito Mina Martha). En tanto, Chernicoff y Salani (2002), presentaron el análisis preliminar de las dos estructuras caldéricas de la región del Río Seco / Puesto Salado, que se dan a conocer con más detalle en el presente trabajo. La ocurrencia de las calderas recién mencionadas en el área extraandina de Santa Cruz es consistente con la afirmación de Pankhurst et al. (1998) según la cual deben haber otras calderas aún no identificadas, de manera de justificar los grandes volúmenes ignimbríticos de la provincia volcánica Chon Aike de la Patagonia. Esta última propuesta, debe entenderse como complementaria –i.e. no como opuesta– a la también importante generación de un gran volumen de material ignimbrítico a partir de erupciones fisurales, i.e. sin formación de prominentes centros volcánicos. Dichas fisuras a escala regional responden a grandes lineamientos asociados a la ruptura del supercontinente de Gondwana (Gust et al., 1985; Feraud et al., 1999). La importancia de los mecanismos fisurales también ha sido destacada en trabajos realizados por Guido (2004) y Jovic et al. (2006; 2011) en las áreas oriental y central, respectivamente.

En esta contribución se presentan las evidencias geofísicas que permiten ubicar, a profundidades someras, dos calderas asociadas a la actividad magmática ácida jurásica en el subsuelo de la región del Puesto Salado, provincia de Santa Cruz. Se delinean otras estructuras caldéricas menores en áreas volcánicas jurásicas vecinas del Macizo del Deseado, también a partir del levantamiento aeromagnético de la región. La información aeromagnética sobre la cual se basa el presente trabajo corresponde al levantamiento geofísico aéreo de un amplio sector del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, ubicado entre 47°44' y 49°00'S, 70°00'O y la costa atlántica (Fig. 1). La identificación de las dos estructuras caldéricas que se presenta en este artículo se hizo en el contexto del estudio de interpretación geológica del levantamiento geofísico aéreo del Macizo del Deseado (Chernicoff y Vargas, 1998).

Fuera de la región patagónica hay conocidos ejemplos argentinos y mundiales de la utilización de aeromagnetometría y gravimetría para la identificación de calderas inclusive en zonas parcialmente cubiertas por sedimentos modernos (Chernicoff et al., 2002; Drenthl y Finn, 2007; George et al. 2015; Prima y Yosida, 2010; Prima et al., 2012; Yosida et al., 2012).

Previo a la realización del levantamiento aeromagnético del Macizo del Deseado por parte del SEGEMAR, en la región de estudio no había indicios de la ocurrencia de estructuras caldéricas asociadas a las volcanitas jurásicas, más allá de su postulado predictivo. Esto último, nos llevó a inspeccionar detenidamente los datos digitales correspondientes al levantamiento aeromagnético del Macizo del Deseado, de donde surgió –específicamente en las imágenes de la señal analítica (gradiente total) del campo magnético total– el reconocimiento de las calderas del área del Río Seco / Puesto Salado.

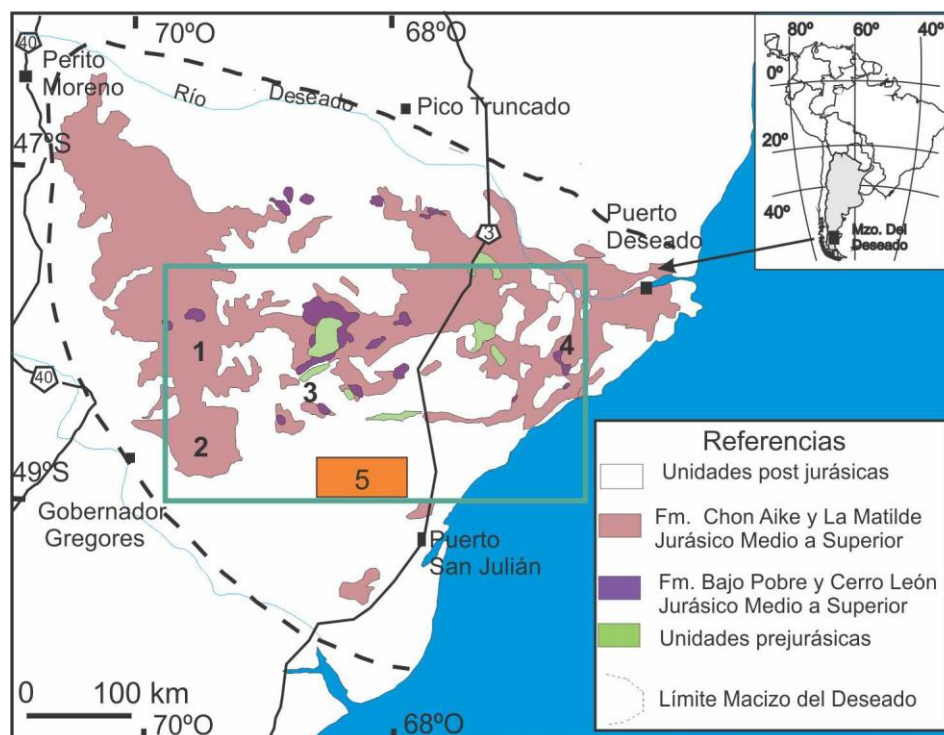


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio (área delineada en verde: área del cubrimiento aeromagnético del Macizo del Deseado; rectángulo naranja 5: área del río Seco- Puerto Salado). 1. Caldera La Josefina, 2. Caldera Cerro 1° de Abril, 3. Caldera El Dorado-Monserrat, y 4. Caldera Cerro Torta.
Figure 1. Locality map of the study área (green rectangle: aeromagnetic coverage of the Deseado Massif; orange rectangle 5: río Seco-Puerto Salado area). 1 La Josefina Caldera, 2 Cerro 1° de Abril caldera, 3 El Dorado-Monserrat caldera, 4 Cerro Torta caldera.

Levantamiento aeromagnético de la región

El estudio aeromagnético de la región del río Seco, provincia de Santa Cruz, forma parte del levantamiento geofísico aéreo regional del Macizo del Deseado (Fig. 1) realizado por el Servicio Geológico-Minero Argentino (SEGEMAR) en el año 1998, a través de la empresa contratista Sander Geophysics. El mismo está constituido por perfiles magnéticos de orientación norte-sur y espaciamiento de 1km, efectuados a una altura de 100m sobre el terreno; las líneas de control tienen una orientación este-oeste, con un espaciamiento de 10km (SEGEMAR, 1998).

Estos perfiles fueron realizados utilizando un avión Cessna Caravan, cuya velocidad fue mantenida en el orden de los 130 nudos. El posicionamiento de la aeronave durante el vuelo fue obtenido mediante el uso de un sistema GPS diferencial a razón de una lectura por segundo, sincronizado con el sistema de adquisición de datos geofísicos; el error de posicionamiento es igual o inferior a 5 m.

Marco geológico

La región de estudio (Figs. 1 y 2) forma parte del Macizo del Deseado, un bloque amalgamado al margen sudoccidental de Gondwana durante el Paleozoico (Pankhurst et al., 2006 y referencias allí citadas).

El área del Puerto Salado- río Seco, en el sector sudoriental de la provincia de Santa Cruz, está comprendida en la Hoja Geológica 1:250.000 Tres Cerros (Panza, 1994) donde las rocas más antiguas reconocidas corresponden a las sedimentitas continentales de la Fm. El Tranquilo de edad triásica. Durante el Jurásico temprano se acumularon areniscas tobáceas, pelitas y tobas de la Fm. Roca Blanca, cubiertas en discordancia por aglomerados volcánicos, basaltos y andesitas subordinadas de la Fm. Bajo Pobre. El Jurásico medio a superior está representado por volcanitas ácidas y volcanoclásticas del Grupo Bahía Laura que comprende las Formaciones Chon Aike y La Matilde. La Fm. Chon Aike es mayormente ignimbrítica, con facies asociadas de brechas y

aglomerados volcánicos y en menor proporción está constituida por domos lávicos de composición riolítica y dacítica. La Fm. La Matilde se interdigita con la Fm. Chon Aike y está representada por tobas, tuffitas e ignimbritas. La secuencia es cubierta en discordancia por sedimentitas y piroclastitas de la Fm. Baqueró del Cretácico inferior. Continúan efusiones del Basalto Las Mercedes asignados con dudas al Cretácico superior - Paleoceno.

Las sedimentitas paleógenas de la Fm. Salamanca sobreyacen a las unidades jurásicas y cretácicas, sucedidas por los depósitos tobáceos oligocenos del Grupo Sarmiento y los basaltos y basanitas correspondientes al denominado Basalto Alma Gaucha del Oligoceno medio. Durante el Oligoceno superior-Mioceno se produce una ingresión marina representada por los depósitos de la Fm. Monte León (arcilitas tobáceas, tobas, areniscas finas y escasas coquinas). A continuación se disponen los depósitos continentales de la Fm. Mata Grande del Plioceno superior, que son gravas poco consolidadas con componentes predominantemente volcánicos. En el Pleistoceno inferior las gravas y arenas de la Fm. La Avenida conforman la cubierta sedimentaria de la mayor parte del área de estudio. En el Plioceno superior se produce la efusión del Basalto La Angelita. Completan la estratigrafía depósitos de terrazas que se disponen a lo largo del valle del río Seco y se adosan a los de la Fm. La Avenida. Durante el Holoceno se originan depósitos de playas y cordones litorales, depósitos aluviales y de bajos y lagunas.

Específicamente, el área de estudio, en el entorno del Puesto Salado, aproximadamente 10km al sur del río Seco, está cubierta por las sedimentitas de las Formaciones Monte León, Mata Grande y La Avenida, en tanto que en el valle del río Seco afloran volcanitas y piroclastitas de las Formaciones Chon Aike y La Matilde que se vinculan a las estructuras caldéricas que se describen en este trabajo.

INTERPRETACIÓN GEOLOGICA DE LOS DATOS AEROMAGNÉTICOS

El método magnetométrico registra las variaciones locales en la intensidad del campo magnético terrestre, las cuales se originan en las propiedades magnéticas que caracterizan cada tipo de roca. Así es como este método puede ser utilizado para la identificación de diferentes unidades litológicas y de estructuras, y también para la localización de cuerpos magnéticos no aflorantes (cubiertos por sedimentos no magnéticos o "transparentes" al método magnetométrico) y la estimación aproximada de su profundidad.

En el caso del presente estudio, el método aeromagnético ha permitido la identificación de estructuras y cuerpos no aflorantes correspondientes a las volcanitas Chon Aike, localmente cubiertas por sedimentos neógenos y cuaternarios aflorantes y, muy probablemente, por sedimentos pre-neógenos no aflorantes. El carácter "transparente" de estos sedimentos hace que las anomalías magnéticas observadas en el área reflejen la litología y estructura del substrato volcánico. Esto, a su vez, refleja el contraste de susceptibilidad magnética entre los sedimentos, tanto aflorantes como no aflorantes, por una parte (valores medidos próximos a 0 S.I.), y las volcanitas jurásicas, por la otra (valores medidos de 50 a 80 x 10⁻⁵ S.I.).

La interpretación de los datos aeromagnéticos de la región del río Seco-Puesto Salado, provincia de Santa Cruz (Figs. 1, 2 y 3), ha sido realizada sobre la base de: a) el análisis de los datos digitales del levantamiento aeromagnético del Macizo del Deseado (SEGEMAR, 1998), b) la medición de la susceptibilidad magnética de los principales tipos rocosos aflorantes en la región y c) la definición de relaciones entre el levantamiento aeromagnético y las unidades litológicas determinadas regionalmente en la Hoja Geológica Tres Cerros (Panza, 1994). Una interpretación preliminar de los datos aeromagnéticos de las calderas del Puesto Salado fue presentada por Chernicoff y Salani (2002) donde fueron mencionadas referenciándolas a la región del río Seco (i.e. poco al norte del Puesto Salado).

La Figura 3 corresponde a la señal analítica (gradiente total) de la intensidad del campo magnético total, sobre la cual se han trazado dos estructuras anulares (1 y 2, en Fig. 3), que interpretamos como dos calderas centradas en 48°53'S/ 68°29'O y 48°52'S/68°02'O, respectivamente, separadas por una distancia de 7km.

También se ha detectado un grupo de pequeñas anomalías de alto gradiente que, en el marco geológico local, interpretamos como centros eruptivos intra y extracaldera (3 y 4, respectivamente, en Fig. 3).

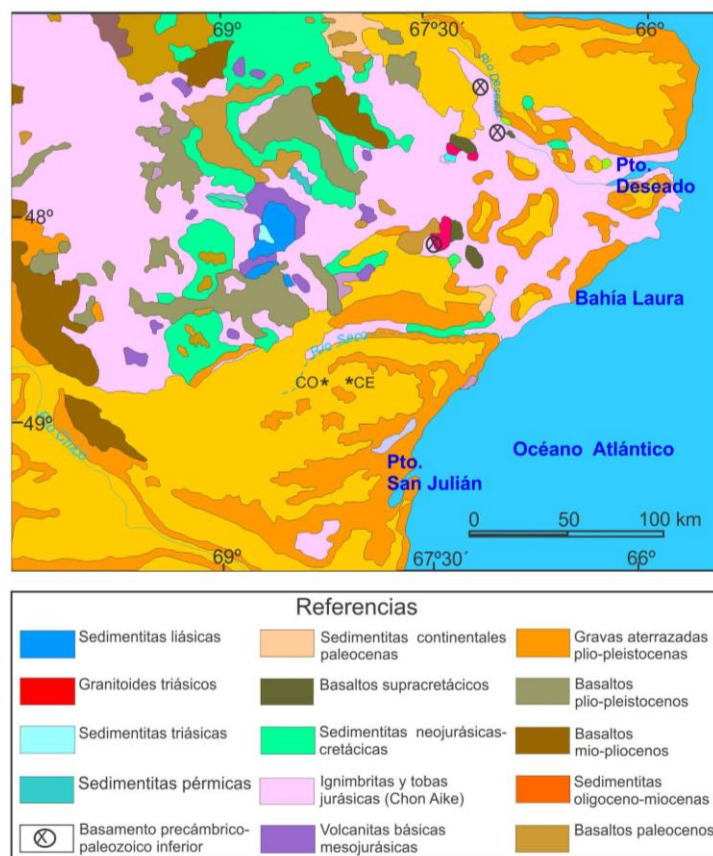


Figura 2. Marco geológico regional de la zona de estudio. *CO= Caldera Puesto Salado Occidental *CE= Caldera Puesto Salado Oriental.

Figure 2. Regional geological framework of the study area. *CO= Western Puesto Salado Caldera *CE= Eastern Puesto Salado Caldera.

La caldera oriental es una estructura de 30km de diámetro máximo. El borde coincide con fracturas anulares (2a, en Fig. 3) y está definido por domos que se alinean según un patrón circular; en su interior se halla una estructura de 14km de diámetro (2b, en Fig. 3) con cuerpos ígneos que ocupan la depresión central (3, en Fig. 3). Dos de ellos son cuerpos menores, de planta circular, de aproximadamente 600m de diámetro, destacándose también, por sus dimensiones, un cuerpo elongado de orientación NE-SO con una longitud de 5km (centrado en aproximadamente 48°53'S / 68°O). Entre los cuerpos dómicos que definen los bordes de caldera (4, en Fig. 3) predominan dos dimensiones: 3,5km y 1km.

El patrón de fracturas sugiere que la caldera oriental corresponde a dos estructuras anidadas que no se intersectan. No se cuenta con evidencia para discernir la temporalidad de las estructuras y determinar si serían el resultado de dos eventos distintos de colapso, o bien si el par de calderas representaría el producto de un único evento (Martí et al., 1994; Acocella et al., 2001) consistente con un estadio 4 de la evolución de una caldera en el esquema propuesto por Acocella (2006).

La caldera occidental (1, en Fig. 3), de 23km de diámetro, presenta menor complejidad y en su interior se reconocen cuerpos eruptivos de entre 1 y 2km (3, en Fig. 3) y uno sólo en el borde sudeste de la estructura, de aproximadamente 2 km de diámetro.

El gradiente magnético total asociado a estos centros eruptivos es de un orden de magnitud superior (0.1 a 0.2) al valor medio de la región (0,03). En la Fig. 3 no se han trazado otras posibles estructuras, como por ejemplo probables fracturas radiales, fallas detectables en el mapa aeromagnético, con el objeto de mantener la interpretación lo más simple posible y destacar las calderas y centros eruptivos menores asociados.

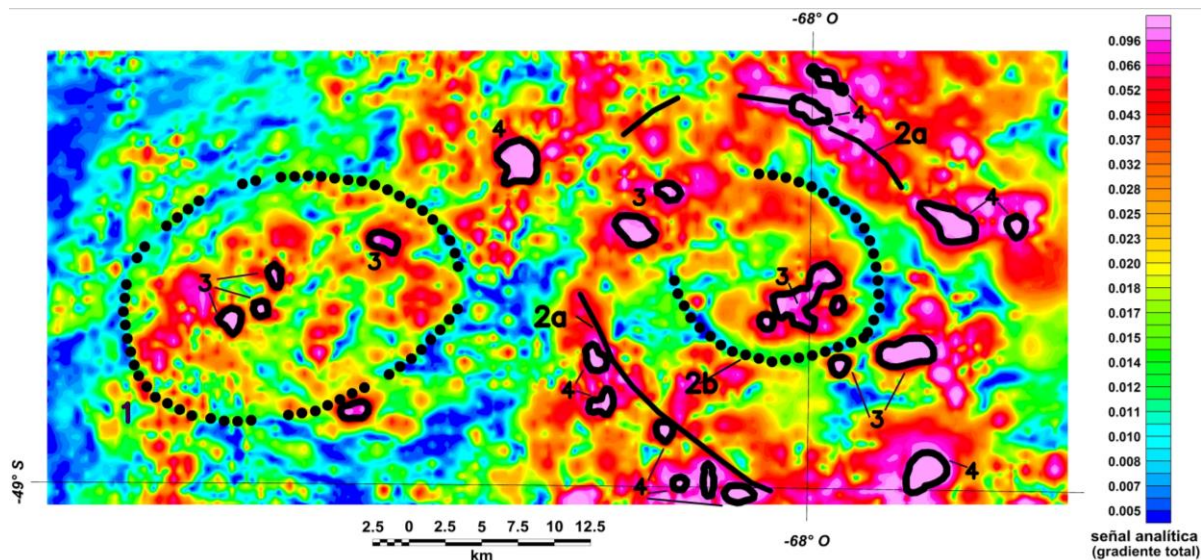


Figura 3. Mapa de la señal analítica (gradiente total) del campo magnético total de la zona de estudio. 1- caldera occidental; 2- caldera oriental: 2a fracturas anulares coincidentes con borde de caldera, 2b estructura interna; 3 y 4: centros eruptivos intra- y extracaldera, respectivamente. Gradiente promedio: 0.03; gradiente de los centros eruptivos: 0.1 a 0.2.

Figure 3. Analytic signal (total gradient) of the total magnetic field of the study zone. 1- western caldera; 2- eastern caldera: 2a annular fractures coincide with caldera borders, 2b inner structure; 3 and 4 : intra- and extra-caldera eruptive centres, respectively. Average gradient: 0.03; gradient of the eruptive centres; 0.1 to 0.2.

La profundidad estimada de las fuentes magnéticas de interés (fundamentalmente los techos de los centros eruptivos en el interior y bordes de caldera) ha sido obtenida a partir del método de la deconvolución de Euler (Thompson, 1982; Reid et al., 1990; Lascano y Chernicoff, 2000) y está en el rango de los 350 a 550m, dependiendo del índice estructural utilizado (parámetro relacionado con la geometría de las fuentes magnéticas).

En la tabla 1 se presentan las características principales de las calderas de Puesto Salado, incluyéndose también, a modo de comparación, las otras estructuras caldéricas identificadas en el sector extrandino de la provincia de Santa Cruz asociadas al vulcanismo de la Formación Chon Aike.

Teniendo en cuenta que existe una relación estrecha entre la dimensión de las calderas y el volumen de ignimbritas emitido (Cas y Wrigth, 1987), en la figura 4 estimamos el volumen de piroclastitas asociadas a las calderas del Puesto Salado planteando sus diámetros máximos. Los valores obtenidos están en el orden de los 1000km³ para la caldera oriental (30km de diámetro) y los 200Km³ para la caldera occidental (23km de diámetro).

Las calderas del Puesto Salado-río Seco se encuentran controladas por lineamientos regionales NNE-SSO y ENE-OSO como se observa en el mapa de lineamientos magnéticos del Macizo del Deseado (Chernicoff y Vargas, 1998). No descartamos que el mismo patrón estructural se repita localmente, originando un bloque de fallamiento transtensional con las orientaciones NNE-SSO y ENE-OSO, que pudieran controlar la posible dilatancia asociada a las calderas aquí identificadas, tal como ocurre en otros casos análogos del vulcanismo jurásico del oeste de la provincia de Santa Cruz (véase Figura 7 en Sruoga et al., 2010, y Sruoga et al., 2008, 2014). Cabe mencionar que el probable carácter transtensional se basa en la configuración geométrica y la relación angular del fallamiento contemporáneo con las volcanitas Chon Aike en el área de estudio.

Observaciones en áreas volcánicas vecinas

La metodología utilizada en este trabajo ha sido aplicada anteriormente en estudios de superficie referidos a calderas asociadas al vulcanismo jurásico de Río Negro (Aragón et al., 2009) complementando los relevamientos de campo. El levantamiento aeromagnético sobre la base del cual, en el presente trabajo hemos identificado las calderas del Puesto Salado-río Seco es de carácter regional y cubre por tanto un área significativamente más extensa que la del Puesto Salado-río Seco (i.e. la mayor parte del Macizo del Deseado). Por este motivo, con fines comparativos, también hemos hecho algunas observaciones acerca de las firmas magnéticas

de dos áreas análogas por su común pertenencia a la secuencia volcánica-piroclástica jurásica de la Fm. Chon Aike, (área El Dorado-Montserrat y área La Josefina), quedando el análisis pormenorizado sobre estas dos áreas para un trabajo en preparación de los presentes autores.

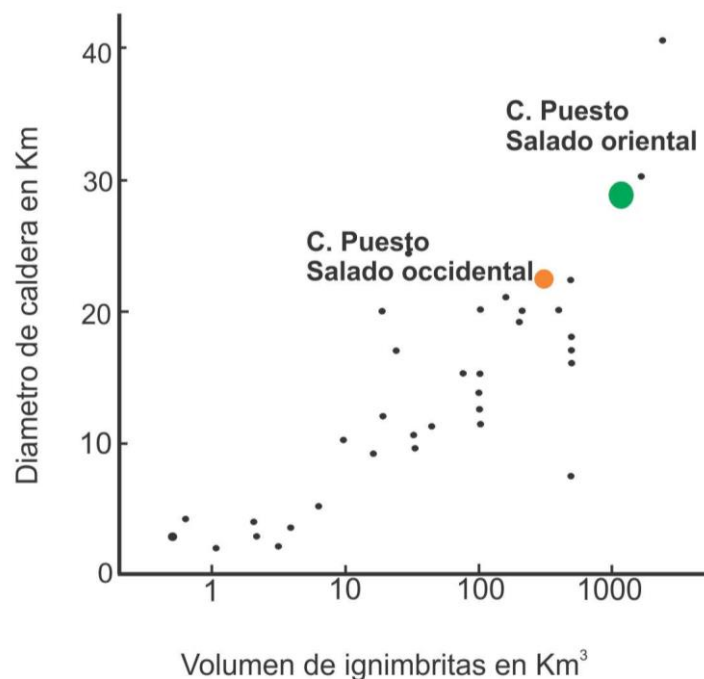


Figura 4. Relación entre volumen de ignimbritas erupcionadas y dimensiones de las calderas. Modificado de Cas y Wrigth (1987).

Figure 4. Relationship between volume of ignimbrites and size of associated caldera. Modified after Cas and Wrigth (1987).

Caldera	Latitud y longitudud	Dimensiones	Domos asociados	Referencias
Puesto Salado oriental	48° 52'S 68°02'O	Caldera 1: 30 km	Domos de borde de caldera	este trabajo
Puesto Salado occidental	48° 53'S 68°29'O	Caldera 2: 14 km 23 km	Domos intracaldera	este trabajo
Cerro Torta	48°15' S 66°30'O	6,5 a 7 km	Domos de borde de caldera	Guido (2004)
La Josefina	47°49'S 69°27'O	12 km E-O; 7 km N-S	Domos de borde de caldera	Fernández et al. (1996); este trabajo
El Dorado-Monserrat	48°26'S 68°36'O	6 km	Domos de borde de caldera	Echavarría et al. 2005
Cerro 1° de Abril	48° 42'S 69°42'O	12 km	Domos extracaldera	Ruiz et al. 2008 y 2011

Tabla 1. Características principales de las estructuras caldéricas identificadas en el sector extrandino de la provincia de Santa Cruz, (incluidas las calderas de Puesto Salado, este trabajo) asociadas al vulcanismo de la Formación Chon Aike.

Table 1. Main features of the caldera structures identified in the extrandine sector of the province of Santa Cruz, (including the Salado calderas, this work) associated with the volcanism of the Chon Aike Formation.

En cuanto al área El Dorado-Montserrat, podemos señalar que con los datos de magnetometría

aérea queda claramente evidenciada una fractura anular, cuya ocurrencia había sido inferida también por Echavarría et al. (2005), aunque exclusivamente sobre la base de relevamientos de campo. El presente análisis de datos, sugiere una mayor dimensión de la fracturación subcircular del borde septentrional de la caldera mencionada por estos autores y, asimismo, también queda sugerido el carácter complejo de dicha caldera, puesto que la magnetometría aérea revela dos estructuras circulares “anidadas” para ese sector.

Inicialmente un análisis de los datos aeromagnéticos del área de La Josefina fue llevado a cabo por Peñalva et al., (2005) sólo con el objetivo de relacionar las manifestaciones epitermales con la estructuración de la zona. Moreira et al. (2010) estudiaron un conjunto de domos asociados a una caldera aunque sin definir la geometría de la misma. En este trabajo se identifica la caldera y se indican su forma oval y sus dimensiones de aproximadamente 12km de diámetro mayor (orientación E-O) por 7km de diámetro menor, centrada en 47°50'S / 69°25'O (Tabla 1), lo cual avanza en el conocimiento respecto de los aportes previos. Característicamente, el interior de la caldera de La Josefina tiene un gradiente magnético marcadamente bajo respecto de su entorno con un gradiente magnético alto; precisamente, el deslinde entre estas dos firmas magnéticas contrastantes delinea la estructura caldérica.

Es pertinente mencionar que en todos estos casos -i.e. tanto las áreas El Dorado-Montserrat y La Josefina, como el sector de Puesto Salado/río Seco-, debido a la antigüedad de las unidades volcánicas-piroclásticas involucradas, es difícil encontrar bien preservadas y expuestas sus estructuras asociadas en contraposición a las estructuras caldéricas modernas.

CONCLUSIONES

Santa Cruz, juntamente con mediciones de susceptibilidad magnética en los principales tipos rocosos aflorantes en el área y la definición de relaciones entre el levantamiento aeromagnético y las unidades litológicas regionales, ha permitido interpretar la presencia de dos calderas de 30 y 23km de diámetro, separadas por una distancia de 7km, centradas en 48°52'S / 68°02'O y 48°53'S./ 68°29'O., respectivamente, en el subsuelo de la región. Estructuras caldéricas de esa magnitud habrían generado un gran volumen de material volcánico, en el orden de 1000km³ para la caldera Puesto Salado oriental y de aproximadamente 200km³ para la caldera Puesto Salado occidental, una pequeña parte del cual está representado por las Formaciones Chon Aike y La Matilde aflorantes en proximidades del Puesto Salado, al sur del valle del río Seco.

Las calderas analizadas, pertenecientes al volcanismo Chon Aike, constituyen las primeras identificadas en el subsuelo del Macizo del Deseado, y son consideradas como estructuras análogas a aquéllas asociadas a unidades volcánicas aflorantes y equivalentes de la Patagonia. La profundidad estimada a la que se encuentran las estructuras caldéricas y centros eruptivos en la región de estudio está en el rango de 350 a 550m.

Las calderas del Puesto Salado-río Seco se destacan por sus dimensiones (caldera occidental 30km, caldera oriental 23km), significativamente mayores comparadas con otras estructuras asociadas a las volcánicas Chon Aike (entre 6 y 12km). De este modo, los volúmenes eruptados (en el orden de los 1000km³ y los 200km³) por las calderas aquí identificadas, deberían ser mayores a aquéllos emitidos por el resto las calderas conocidas del magmatismo Chon Aike.

La metodología utilizada en el presente trabajo puede ser aplicada para la localización de otras calderas no expuestas, que junto a las que se dan a conocer en este trabajo podrían haber integrado un campo de calderas responsable, en parte, de los grandes volúmenes ignimbríticos de la provincia volcánica Chon Aike de la Patagonia. Por otra parte, puede ser aplicada como complemento en estudios de superficie en áreas en las que el intenso y recurrente volcanismo, cubre las estructuras caldéricas originales.

Agradecimientos: Los autores desean expresar su agradecimiento al Servicio Geológico-Minero Argentino por el permiso de utilización de los datos digitales correspondientes al levantamiento del Macizo del Deseado. Como así también agradecer a los árbitros que contribuyeron a un enriquecimiento del contenido de este manuscrito. La presente investigación ha sido realizada con el apoyo de un subsidio UBACYT 20020130100650BA y PIP Conicet 112 201301 00579 CO.

REFERENCIAS

- Acocella, V., F. Cifelli, R. Funicello, (2001). Formation and architecture of nested collapse calderas: insights from analogue models. *Terra Nova*, 13: 58–63.
- Acocella, V., (2006). Caldera types: how end-members relate to evolutionary stages of collapse. *Geophysical Research Letter*, 33, L18314, doi: 10.1029/2006GL0274340.
- Aragón, E., A. Iñiguez Rodríguez, A. Benialgo, (1996). A calderas field at the Marifil Formation, new volcanogenic interpretation, Norhpatagonian Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 9 (5-6): 321-328.
- Aragón, E., L. Pinotti, F.J. D'Eramo, D. Gómez-Ortiz, R. Tejero, J.M. Tubia, C.E. Cavarozzi, Y.E. Aguilera, A.M. Ribot, J. Gianibelli, C.J. Chernicoff, (2009). Anomalías magnéticas en la caldera Piedra Parada, Patagonia, Argentina, *Revista de la Sociedad Geológica de España* 22 (3-4): 137-144.
- Cas, R.A.F. and J.V. Wright, (1987). *Volcanic Successions. Modern and Ancient*, London, Boston, Sydney, Wellington: Allen & Unwin. 528.
- Chernicoff, C.J. y D. Vargas, (1998). Levantamiento Geofísico Aéreo (Magnetometría y Espectrometría de rayos gamma) del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, República Argentina: presentación de datos. Servicio Geológico-Minero Argentino (SEGEMAR). Serie Contribuciones Técnicas: Geofísica (Banco de Datos): (II). Buenos Aires.
- Chernicoff, C.J. y F.M. Salani, (2002). Identificación de calderas asociadas a las volcanitas de la Formación Chon-Aike en la región del Río Seco, provincia de Santa Cruz. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 23-28, Calafate.
- Chernicoff, C.J., J. Richards, E. Zappettini, (2002). Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: Geological, geophysical, and remote sensing evidence. *Ore Geology Reviews, Special Issue: Deep Crustal Controls on Mineral Trends*, 21 (3-4): 127-155.
- Drenth, B.J. and C.A. Finn, (2007). Aeromagnetic mapping of the structure of Pine Canyon caldera and Chisos Mountains intrusion, Big Bend National Park, Texas. *GSA Bulletin*, 119(11-12): 1521–1534.
- Echavarría, L.E., I.B. Schalamuk, R.O. Etcheverry, (2005). Geologic and tectonic setting of the Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Montserrat. *Journal South American Earth Sciences*, 19: 415–432.
- Fernández, R.R., H. Echeveste, I. Echavarría, I.B. Schalamuk, (1996). Control volcánico y tectónico de la mineralización epitermal del área de La Josefina, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. *Actas del XIII Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de exploración de Hidrocarburos*, 3: 41–54.
- Féraud, G., B. Alric, M. Fornari, H. Bertrand, M. Haller, (1999). ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letter*, 172: 83-96.
- George, O., J. McIlrath, A. Farrell, E. Gallant, S. Kinman, A. Marshall, C. McNiff, M. Njoroge, J. Wilson, C.B. Connor, L.J. Connor, S. Kruse, (2015). High-Resolution Ground-Based Magnetic Survey of a Buried Volcano: Anomaly B, Amargosa Desert, NV. *Statistics in Volcanology*, 1: 1 – 23.
- Guido, D., (2004). Subdivisión litofacial e interpretación del volcanismo jurásico (Grupo Bahía Laura) en el este del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (4): 727–742.
- Gust, D., K. Biddle, D. Phelps, M. Uliana, (1985). Associated Middle to Late Jurassic volcanism and extension in southern South America. *Tectonophysics*, 116: 223-253.
- Jovic, S.M., Guido, D.M., Páez, G.N., López, R.G., I.B. Schalamuk, (2006). Marco estructural de las mineralizaciones polimetálicas del área del anticlinal El Tranquilo, Macizo del Deseado, Santa Cruz. 13° Reunión de Tectónica, Actas en CD.
- Jovic, S.M., D.M. Guido, J.C. Melgarejo, G.N. Páez, R. Ruiz, I.B. Schalamuk, (2011). The indium-bearing minerals of the Pingüino polymetallic vein system, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. *The Canadian Mineralogist*, 49: 931-946.
- Kay, S. M., V.A. Ramos, C. Mpodozis, P. Sruoga, (1989). Late Paleozoic to Jurassic silic magmatism at the gondwana margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America?. *Geology*, 17: 325-328.
- Lascano, M.E. y C.J. Chernicoff, (2000). Optimización del uso de la deconvolución de Euler para la estimación de las profundidades de las fuentes de anomalías magnéticas. 9° Congreso Geológico Chileno, Actas 2, Simposio Nacional, 5: 448-453.
- Marti, J., G.J. Ably, L.T. Redshaw, R.S.J. Sparks, (1994). Experimental studies of collapse calderas. *Journal Geological Society London*, 15: 919–929.

- Moreira, P., R., Fernández, R., Etcheverry, I.A. Shalamuk, (2010). Complejos de domos jurásicos (~150 ma) La Josefina y María Esther, sector central del Macizo del Deseado, Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66 (3): 335-348.
- Pankhurst, R.J and C.W. Rapela, (1995). Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters* 134: 23-36.
- Pankhurst, R.J., P.T. Leat, P. Sruoga, C.W. Rapela, M. Márquez, B.C. Storey, T.R. Riley, (1998). The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: A silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.
- Pankhurst, R.J., C.W. Rapela, C.M. Fanning, M. Márquez, (2006). Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews*, 76: 235-257
- Panza, J.L., (1994). Hoja Geológica 4969 II Tres Cerros, escala 1:250.000, Servicio Geológico-Minero Argentino, Boletín 213: 1-103.
- Peñalva, G.A., P. Moreira, C.J. Chernicoff, (2005). Área La Josefina, macizo del Deseado, Prov. de Santa Cruz: Nuevas evidencias geofísicas y geoquímicas. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 807-814, La Plata.
- Prima, A.O.D., T. Yosida, (2010). Delineation of Late Miocene to Pleistocene caldera rims from gravity and aeromagnetic data. 6th WSEAS International Conference on Remote Sensing: 238-243.
- Prima, A. O.D., T. Yosida, T. Kudo, S. Nonaka, (2012). Delineation of caldera rims from gravity data. *Theory and Applications of GIS*, 20 (2): 83-93.
- Reid, A.B., J.M. Allsop, H. Granser, A.J. Millet, I.W. Somerton, (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, 55: 80-91.
- Ruiz, R., G.N. Páez, D.M. Guido, I.B. Schalamuk, (2008). Ambiente volcánico y mineralizaciones del área Cerro 1° de Abril, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 3 Actas del XVII Congreso Geológico Argentino: 897-898. Jujuy.
- Ruiz, R., G.N. Páez, D.M. Guido, S.M. Jovic, I.B. Schalamuk, (2011). La caldera Cerro 1° de Abril: evolución geológica e implicancias en el estilo eruptivo del volcanismo Jurásico del Macizo del Deseado. XVIII Congreso Geológico Argentino. Actas (CD-ROM). Neuquén, Argentina.
- SEGEMAR, (1998). Levantamiento geofísico aéreo (magnetometría y espectrometría de rayos gamma) Bloque Macizo del Deseado. Datos digitales. Servicio Geológico-Minero Argentino.
- Sruoga, P., A. Busteros, R. Giacosa, H. Martínez, L. Kleiman, S. Japas, A. Maloberti, M. R. Gayone, (2008). Análisis litofacial y estructural del Complejo Volcánico Bahía Laura en el área el Dorado-Monserrat, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63(4): 653-66
- Sruoga, P., M.S. Japas, F.M. Salani, L.E. Kleiman, N.A. Rubinstein, (2010). Caldera La Peligrosa (47°15'S, 71°40'O): Un Evento Clave en La Provincia Silicea Chon Aike. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66 (3): 368-379.
- Sruoga, P., M.S. Japas, F.M. Salani, L. Kleiman, (2014). La Peligrosa caldera (47° 15'S, 71° 40'W): a key event during the Jurassic ignimbrite flare-up in Southern Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 269: 44-56.
- Thompson. D.T., (1982). EULDPH - A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, 47: 31-37.
- Yosida, T., O.D.A. Prima, T. Kudo, (2012). Relationships between the late Cenozoic caldera distribution, gravity and aeromagnetic data, in the NE Honshu arc, Japan. 4th International Workshop on Collapse Calderas ABSTRACT_BOOK 45. Bolsena.

Recibido: Mayo, 2017.

Aceptado: Febrero, 2018