



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN GEOLOGÍA

**“CÁLCULO DE LA RESERVA ACTUAL DE LA SALINA GRANDE DE
HIDALGO, MACACHÍN, LA PAMPA”**

Ramiro Oscar UBEJA

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2013

PREFACIO

Esta tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Licenciado en Geología de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en dependencias del Departamento de Geología durante el periodo comprendido entre el 29 de junio de 2012 y el 24 de julio de 2013, bajo la dirección del Dr. Gustavo Walter Bertotto y la codirección de la Dra. Viviana Alejandra Martínez.

Agradecimientos:

A la UNLPam por brindarme educación pública y gratuita;

A mi director Walter Bertotto por su tiempo y dedicación;

A mi codirectora Viviana Martínez por su tiempo y dedicación;

A Eduardo Mariño y Carlos Camilletti por las sugerencias aportadas como jurados de esta tesina.

A Salinas Grandes de Macachín (CIBA S.A.), por la ayuda brindada, tanto en el ingreso a la salina como por los análisis realizados;

A mi familia por estar siempre presente;

A Laura, por apoyarme siempre en todo momento de la vida;

A los padres de Laura.

Por último dedicarle este trabajo a una persona muy especial, como fue mi papá, que hoy no se encuentra físicamente conmigo.

Julio 2013

Ramiro Oscar Ubeja

Departamento de Geología

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Resumen

La salina Grande de Hidalgo se encuentra en el sector centro-oriental de la Provincia de La Pampa, próxima a la localidad de Macachín. Está contenida dentro de uno de los valles transversales del este de La Pampa, denominado lineamiento Utracán-Vallimanca. Esta depresión se interna en la provincia de Buenos Aires y está rellena con material sedimentario terciario-cuaternario. La salina es alargada en sentido NE-SO y ocupa una superficie total de 3.900 hectáreas. Constituye desde el punto de vista industrial, una salina de cosecha, método por el cual es explotada desde el año 1909.

Si bien la salina es aprovechada desde hace mucho más de 100 años, existen escasos trabajos referidos a la reserva de sal y a las texturas de cristalización, hecho que motivó el presente trabajo.

Mediante la extracción y análisis químicos de muestras de agua y sal se realizaron los cálculos de reserva de NaCl en la capa temporaria y en la salmuera. Los valores obtenidos fueron de 301.554 y 1.588.541 toneladas en la zona de cosecha y de 387.713 y 1.612.429 toneladas en la zona no cosechable. Estos valores se corresponden con una concentración promedio de NaCl de 99,49 % para la capa temporaria y de 98,83 % para la salmuera, obtenidos en las muestras colectadas durante este trabajo.

A partir del análisis bajo la lupa de muestras de sal cristalizada en la capa temporaria se identificaron las texturas; en tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron), cubo macizo, tolva cúbica y tolva (pirámide *hopper*). Estas texturas indican cristalización en al menos dos etapas, la primera bajo condiciones de sobresaturación en la superficie del agua y la segunda en el piso de la salina.

Abstract

The Salina Grande de Hidalgo is a continental sabkha located in the central-eastern part of the province of La Pampa, next to the town of Macachín. It is contained in one of the eastern transverse valleys of La Pampa, called Utracán-Vallimanca lineament. This depression goes into the province of Buenos Aires and is filled with Tertiary-Quaternary sedimentary material. The salt pan is elongated in NE-SW direction and occupies a total area of 3,900 hectares. Since 1909 salt is harvested for foodstuff and industrial use.

While salt is extracted for well over 100 years, there are few studies related to the reserve of salt and crystallization textures, a fact that motivated the present work.

By sampling and chemical analysis of brine and crystallized salt, calculations of NaCl reserve were made in temporary salt layer and in the brine. The values obtained were 301,554 and 1,588,541 tons in the harvest area and 387,713 and 1,612,429 tons in the non-harvest zone. These values correspond to an average concentration of 99.49% NaCl for temporary layer and 98.83% for the brine, obtained in the samples collected during this work.

From microscope analysis of crystallized samples from temporary salt layer, were identified the halite textures: cubic hopper (trihedral pyramid, crystal chevron), solid cube, cube hopper and hopper (hopper pyramid). These textures indicate crystallization in at least two stages, the first under conditions of oversaturation in the water surface and the second stage in the floor of the lake.

ÍNDICE

Prefacio.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	4
Introducción.....	6
Objetivos.....	7
Ubicación del Área de Trabajo.....	7
Característica del Área de Estudio.....	7
• Clima.....	8
• Precipitaciones.....	8
Marco Geológico.....	10
• Cuenca de Macachín.....	10
• Valles transversales - Lineamiento Utracán-Vallimanca.....	11
• Unidades litoestratigráficas del este de La Pampa y oeste de Buenos Aires..	12
• Técnica de Cosecha.....	14
Métodos de Trabajo.....	15
• Trabajo de Gabinete.....	15
• Trabajo de Campo.....	15
• Trabajo de Laboratorio.....	16
Descripción de los Sitios Relevados.....	16
Descripción Textural.....	21
Análisis Químicos.....	26
Cálculo de Reserva.....	26
Conclusiones.....	28
Bibliografía.....	29

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de los yacimientos minerales, una salina se puede definir como una cuenca en la que se ha acumulado cloruro de sodio en cantidades explotables, pudiéndose extraer la sal por medio de labores a cielo abierto (Cordini, 1967).

Las salinas continentales y marinas marginales se incluyen dentro del ambiente de Sabkhas. Las Sabkhas son de relieve suave con pisos en los que se presenta una acumulación de evaporitas causada por precipitación. El término Sabkha fue utilizado originalmente para describir las planicies salinas en ambientes desérticos (Evans *et al*, 1964; Purser y Evans, 1973), actualmente se amplió su uso para describir las salinas del interior de los continentes, las que también se conocen como cuencas de playa. La sedimentación de las Sabkhas implica interacciones entre los procesos eólicos y químicos (precipitados) generando una variedad de láminas onduladas y rizadas que a menudo son perturbadas por las estructuras de crecimiento de la sal. La precipitación de sal en las Sabkhas requiere de humedad periódica y la posterior desecación de la superficie, controlada a menudo por los cambios del nivel freático (Mountney, 2006). Según Hanford (1981) las Sabkhas continentales se encuentran en dos sub-ambientes: las playas o cuencas endorreicas en las que las sales se asocian con depósitos fluviales y lacustres someros, y las interdunas en las que las evaporitas están asociadas con arenas eólicas y depósitos pelíticos de decantación suspensiva. Las salinas y sulfateras de La Pampa y Buenos Aires son sabkhas de tipo continental. Además, son las más importantes como productoras de sal común y sulfato de sodio en Argentina (Figura 1).

Las salinas de La Pampa y Buenos Aires muestran características morfológicas similares. Esta similitud no es casual, sino que obedece a un origen similar; ambas son concentraciones de evaporitas ubicadas en una depresión limitada por fallas que no sólo las modelaron sino que también hicieron posible el ascenso de las aguas portadoras de sales (Cordini, 1967).

La salina Grande de Hidalgo, objeto de estudio de esta tesina, está ubicada en una depresión rellena con material sedimentario terciario-cuaternario. Es alargada en sentido SSO-NNE, ocupa una superficie de 3.900 hectáreas, se encuentra a 4 m bajo el nivel del mar en su parte más baja y constituye desde el punto de vista industrial, una salina de cosecha clorurado-sulfatada (Cordini, 1967). Esta salina no constituye una depresión aislada, sino que forma parte de una extensa fosa tectónica de rumbo aproximado este-oeste. Es posible que se halle conectada subterráneamente con la

laguna La Amarga ubicada a 15 km al oeste, siendo el cuerpo de agua más próximo (Schalamuk *et al.*, 1999). El sedimento que compone los bordes de la fosa es loessoide, fino, mal seleccionado y con bajo contenido de sales. El yacimiento está constituido en la parte superior por una capa de cloruro de sodio (NaCl) casi puro de 3 a 11 cm de espesor; en la parte media por una alternancia de sales y limos en descomposición y, en la inferior por una capa de sales poco solubles (Cordini, 1967). Schalamuck *et al.* (1999) estimaron que la reserva de sal es de aproximadamente de 34.760.748 toneladas con un 99,5% NaCl. Estos autores indicaron que la reserva apoya sobre un estrato con abundante glauberita ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$).

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio comprende la descripción y determinación de la reserva actual, tanto de la salmuera como de la sal cristalizada en suelo (capa temporaria) de la salina Grande de Hidalgo. A partir del desarrollo del trabajo se espera obtener un valor de base que sea de utilidad para posteriores controles sobre la evolución de la salina. Con el valor obtenido, se podrá intentar testear, en el futuro y repitiendo la metodología de trabajo, la evolución de la reserva de sal en la salmuera y en la capa temporaria.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

La salina Grande de Hidalgo se encuentra ubicada en el centro de la República Argentina, en el Departamento Atreucó, sección B, lotes 23 y 24, provincia de La Pampa, a unos 15 kilómetros en línea recta del límite con la provincia de Buenos Aires (Figura 1).

CARACTERÍSTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Según el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano *et al.*, 1980) el área de estudio se encuentra ubicada en la *Región*

Fisiográfica Oriental. Esta región se describe como de clima subhúmedo a seco y un paisaje de mesetas, valles, colinas y planicie, donde predomina el suelo Molisol. Este suelo se presenta evolucionado, permitiendo una diferenciación de horizontes y la vegetación de cultivos, pastizales bajos, sammófilos y bosques caducifolios.

Dentro de este ámbito la salina Grande de Hidalgo puede incluirse dentro de la *Subregión de las Mesetas y Valles*.

Clima

La superficie que abarca la Región Fisiográfica Oriental es muy grande, encontrándose diferencias climáticas dentro de la misma. Los valores absolutos de temperatura mínima alcanzan en invierno a $-14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es de destacar que se han registrado valores bastantes bajos aún en noviembre ($-4,1^{\circ}\text{C}$) y heladas de hasta $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en febrero. Esto da una idea del riesgo que existe con la variabilidad de las heladas que en ciertos casos pueden ocurrir aún en el mes de febrero. El período medio libre de heladas de 160 días, es un factor limitante de la producción agrícola en la cuña que se introduce hacia el oeste de la provincia llegando hasta Chacharramendi. Hacia el sudeste y por influencia del Océano Atlántico, aumenta a 180-185 días siendo por lo tanto ésa zona térmicamente más favorable para la producción agrícola. Las precipitaciones van de 600 mm en el borde nororiental a 450 mm en el sudoeste, constituyéndose este parámetro meteorológico en unos de los factores limitantes más importantes en el comportamiento de la vegetación en ambas zonas. La velocidad del viento en promedio anual es de 10-11 km/h, teniendo importancia en su acción erosiva desde agosto a diciembre. En la época estival contribuye al aumento de la deficiencia hídrica pues aumenta la evapotranspiración. Las direcciones prevalecientes son N-NE y S-SO, aunque se nota un accionar de los vientos de O-NO, respondiendo a la circulación general de la atmósfera (Cano *et al.*, 1980). En consecuencia las mejores condiciones climáticas para un buen aprovechamiento del cuerpo de agua en cuanto a la precipitación de NaCl son: inviernos fríos, primaveras lluviosas y veranos cálidos y secos (Malán *et al.*, 2004).

Precipitaciones

Los registros de lluvias (datos de <http://www.apa.lapampa.gov.ar> y CIBA S.A.), desde 1922 a 2012 indican valores desde 281,5 mm ocurrido en el año 2009 a 1.638 mm en el año 2001 (Figura 2). El promedio desde 1922 a 2012 es de 669,5 mm. Se destacan

los años 1991, 1992, 1999 y 2001 con valores por encima de los 1.100 mm. Cabe mencionar que la salina permaneció inundada y sin la posibilidad de cosechar entre los años 1997 y 2007. La distribución mensual, indica que las mayores precipitaciones ocurren en primavera y verano, desde el mes de octubre a marzo (Figura 3).

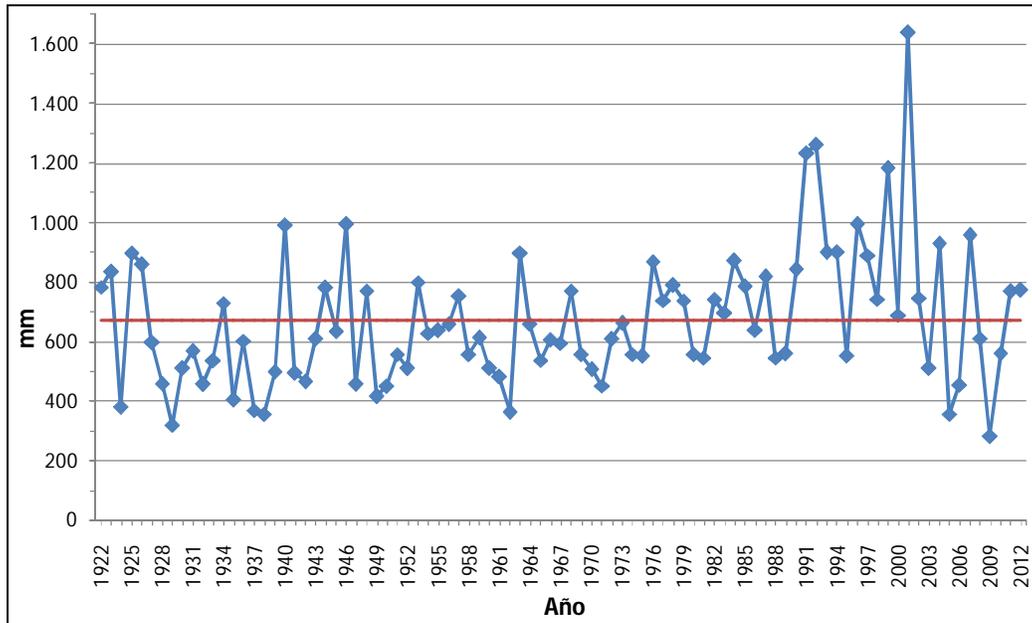


Figura 2. Precipitación anual entre 1922-2012 y promedio (línea roja).

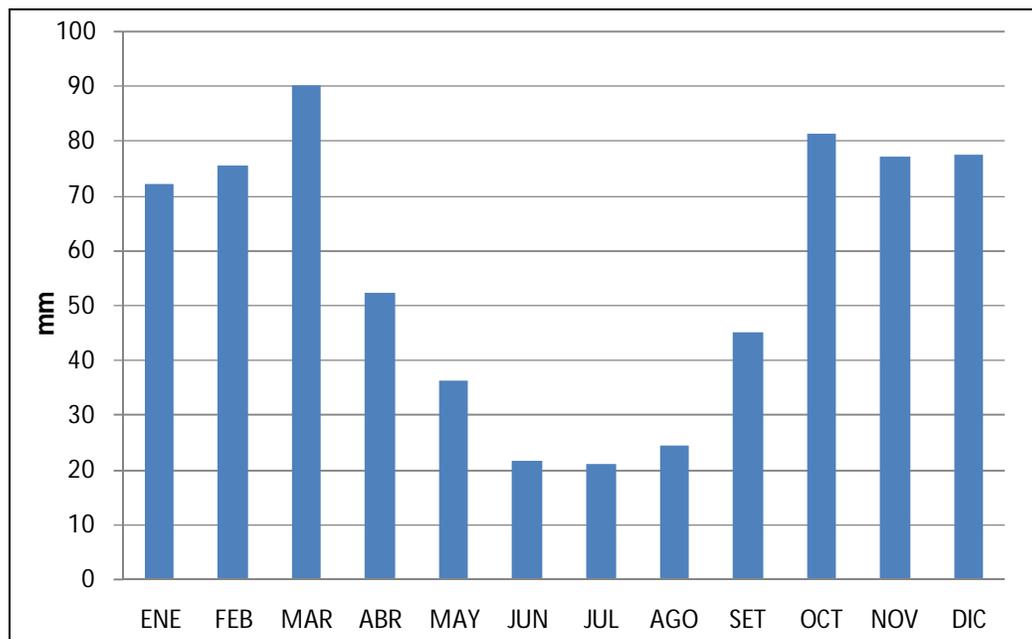


Figura 3. Promedio mensual entre 1922-2012

MARCO GEOLÓGICO

El sector centro-este de la provincia de La Pampa y el oeste de la provincia de Buenos Aires comprenden varias provincias geológicas: Cuenca de Macachín, Llanura Chaco-Pampeana, Cuenca del Colorado y la continuación, en profundidad, de las Sierras Pampeanas (Linares *et al.*, 1980). A nivel de la geología superficial de las mismas, se registran sólo pequeñas diferencias en la cubierta del Terciario superior y Cuaternario. La salina Grande de Hidalgo, se encuentra geográficamente dentro de la Cuenca de Macachín y en el valle transversal denominado lineamiento Vallimanca, por lo que se describirán a continuación las características generales de los mismos, junto con las unidades litoestratigráficas del este de la provincia de La Pampa y oeste de Buenos Aires.

Cuenca de Macachín

La cuenca de Macachín se localiza en la parte oriental de la Provincia de La Pampa, internándose marginalmente en el occidente de la provincia de Buenos Aires. Geográficamente se encuentra ubicada aproximadamente entre los paralelos 35° 30' y 38° de latitud sur y los meridianos de 63° y 64° de longitud oeste. Presenta un rumbo NNO-SSE y una morfología de larga y estrecha depresión en el basamento, motivo que impulsó a Yrigoyen (1975) a denominarla "Fosa de Macachín".

En relación a la génesis de la cuenca, Salso (1966) infirió que se habría formado por un hundimiento diferencial de bloques; cuyos desniveles fueron constatados mediante perforaciones y perfiles sísmicos. Zambrano (1972) señaló que la cuenca se habría formado por el accionar de fallas inversas, asociándolo a un estilo estructural semejante al de las Sierras Pampeanas. Además, el mismo autor (Zambrano, 1974) sugirió que el fallamiento pudo haberse producido por fuerzas compresionales relacionadas a los movimientos Andinos. Por su parte, Yrigoyen (1975) sostuvo que la cuenca se habría formado por efecto de fallas de desplazamiento de rumbo. Posteriormente, De Elorriaga y Camiletti (1999) interpretaron la Cuenca de Macachín como un hemigraben formado por fallas normales de alto ángulo inclinando al este. Según estos autores, la orientación del sistema de fallas es NNW-SSE con dos estadios principales de actividad. El primero relacionado con la formación de la cuenca a lo largo de fallas normales de alto ángulo como resultado de los movimientos extensionales generados por la apertura del océano Atlántico. El segundo estadio se

debió a movimientos compresionales de la orogenia andina que produjo la inversión tectónica a lo largo de las fallas, que en algunos casos llegaron hasta la base de los depósitos cuaternarios.

Valles transversales - Lineamiento Utracán-Vallimanca

Los valles transversales son depresiones longitudinales de hasta 100 m de profundidad que abarcan el sector centro-este de la provincia de La Pampa y el centro-oeste de Buenos Aires. Muestran una topografía escalonada parcialmente enterrada por sistemas de dunas. El lineamiento Utracán-Vallimanca se extiende entre la localidad de Daireaux (Buenos Aires) y la de General Acha en La Pampa, en esta provincia se le conoce también como Valle Argentino.

El origen de estas geformas es todavía discutido y se ha atribuido tanto a la erosión como al fallamiento. Tapia (1935) interpretó que los valles fueron el resultado de un antiguo sistema de drenaje fluvial, mientras que Cordini (1967) manifestó que estas depresiones se debieron a la formación de fosas generadas por la acción de fallas directas. En la provincia de Buenos Aires, Zambrano (1972), describió la depresión de Guaminí-Vallimanca también como una fosa originada por fallas directas. Sin embargo, Linares *et al.* (1980) le atribuyeron una importancia preponderante a fallas de desplazamiento de rumbo. Estos autores indicaron que la magnitud del rechazo no es posible de determinar, pero el hecho de atravesar transversalmente la cuenca de Macachín y de no existir un rechazo vertical manifiesto, permite suponer que es de escasa magnitud. La edad de este sistema de fracturación es posterior a la de la Formación Cerro Azul y es posible que estos movimientos puedan corresponder a una reactivación de fracturas más antiguas (Linares *et al.* 1980). Sellés Martínez (1987) realizó un análisis de los antecedentes referidos a las propuestas de génesis de la depresión que contiene las lagunas “encadenadas” en el oeste de la provincia de Buenos Aires y el este de La Pampa. Sellés Martínez (1987) en base a la información geofísica y de salinidad de las aguas concluyó que: 1) si existiesen fracturas en las cuales se alinean las lagunas, estas no tendrían rechazos importantes; 2) estas fracturas no tendrían influencias en el diagrama de circulación de las aguas subterráneas, y 3) se debería utilizar el término “lineamiento de Utracán-Vallimanca” para identificar el rasgo geomorfológico que contiene las lagunas encadenadas del oeste de la provincia de Buenos Aires y este de la provincia de La Pampa. Posteriormente Kostadinoff *et al.* (2001) llevaron a cabo un estudio de geofísica regional, en el cual no han sido

encontradas anomalías magnetométricas ni gravimétricas como para apoyar un control estructural de los valles longitudinales.

Unidades litoestratigráficas del este de La Pampa y oeste de Buenos Aires

En el noreste de La Pampa y noroeste de Buenos Aires, existe un registro de unidades geológicas que abarca desde el Precámbrico al Holoceno (Tabla 1). Las rocas más antiguas (filitas y esquistos cristalinos) corresponden a la prolongación de la provincia geológica Sierras Pampeanas hacia el sur y son intruidas por granitos del Devónico inferior, mientras que sedimentos de edad Cretácica y posteriores se presentan en el subsuelo de la Cuenca de Macachín (Schalamuk *et al.*, 1999). La unidad aflorante más antigua del Cenozoico, corresponde al Pampiano (Frenguelli, 1950) o Formación Pampa (Terraza *et al.*, 1981) en sentido amplio (Mioceno-Plioceno). Localmente han sido identificados en esta área diversos afloramientos, donde se han determinado edades desde Santacrusense-Friasense a Huayqueriense (Mioceno superior) sobre la base de restos fósiles de mamíferos (Pascual, 1965). Dentro de esta secuencia, la unidad más antigua, aflorante en La Pampa, corresponde a la Formación Barranca Final identificada por Parras *et al.* (2000) en las localidades de Puesto Iriarte y El Surgente (Departamento Caleu Caleu) y por De Elorriaga y Visconti (2005) en los márgenes de varias lagunas del sudeste de La Pampa. Estas sedimentitas son de origen marino marginal y están compuestas por intercalaciones de calizas con ondulaciones simétricas, evaporitas, areniscas finas a medias con estratificación entrecruzada planar y pelitas laminadas. Parras *et al.* (2000), a partir de la presencia del foraminífero *Protelphidium tuberculatum*, indicaron una edad Mioceno medio a superior para estas rocas. Posteriormente, en el Mioceno superior, se depositaron las sedimentitas de la Formación Arroyo Chasicó, identificada en la estancia La Chola por Linares *et al.* (1980) y en el área de Salinas Chicas y Laguna Chasicó (Fidalgo *et al.*, 1987). Esta Formación está constituida por limos arenosos castaño rojizos, con escasa estratificación (Fidalgo *et al.*, 1987). Sobre la Formación Arroyo Chasicó se encuentra la Formación Río Negro (Andreis, 1965), compuesta por areniscas de tonalidad gris azulada, con marcada laminación entrecruzada, de origen fluvio-eólico, de edad Mioceno superior-Plioceno inferior. La Formación Río Negro se encuentra interdigitada con la Formación Cerro Azul (Llambías, 1975) y se considera que ambas formaciones serían lateralmente equivalentes, constituyendo un cambio de facies eólicas (loess) con desarrollo de paleosuelos (Formación Cerro Azul) a otras fluvio-eólicas (Formación Río Negro)

(Folguera y Zárate 2008, 2009; Visconti *et al.*, 2010). La Formación Cerro Azul aflora en todo el ámbito de la provincia de La Pampa. La misma, está constituida por limos arenosos pardo-rosados a rojizos sin estratificación interna o muy poco visible, los cuales, en el sector superior, están reemplazados por tosca. La Formación Cerro Azul fue incluida en el Mioceno superior por Verzi y Montalvo (2008) y Verzi *et al.* (2008). Se destaca también la Formación Epecuén (Pascual, 1965) identificada inicialmente en las nacientes del arroyo Vallimanca y posteriormente en varias barrancas que rodean a los cuerpos salinos (Lagunas Epecuén y Chasilauquen y Salinas Grandes de Hidalgo) equivalente a los términos medio-superiores de la Formación Cerro Azul.

Sobre las unidades mencionadas se disponen los Rodados Patagónicos, cuya extensión areal es semejante a la de la Formación Río Negro. Los mismos están compuestos por rodados de volcanitas de composición ácida a intermedia, que se encuentran circunscriptos a las depresiones (Schalamuck *et al.*, 1999). En parte serían equivalentes a los términos superiores de la denominada Formación El Sauzal (Linares *et al.*, 1980), compuesta por areniscas gruesas, friables, con intercalaciones de limos arenosos y lentes conglomerádicas, asignables a antiguos cauces del Río Colorado (Schalamuck *et al.*, 1999). Por último, se presentan, en forma muy extendida, sedimentos limo-arenosos, eólicos, designados por Fidalgo *et al.* (1987) como Formación Estancia La Aurora, para el área de Laguna Chasicó-Salinas Chicas. Estos sedimentos son muy similares a los que se encuentran rellenando los valles del oriente pampeano, bajo la forma de médanos semifijos a móviles (Schalamuck *et al.*, 1999).

Tabla 1. Unidades litoestratigráficas para el Cenozoico del este de La Pampa y oeste de Buenos Aires.

Épocas	Unidades Litoestratigráficas
Holoceno	Formación Estancia La Aurora
Pleistoceno	Rodados Patagónicos
Plioceno	Formación Río Negro
Mioceno	Formación Barranca Final - Formación Arroyo Chasicó - Formación Cerro Azul - Formación Río Negro

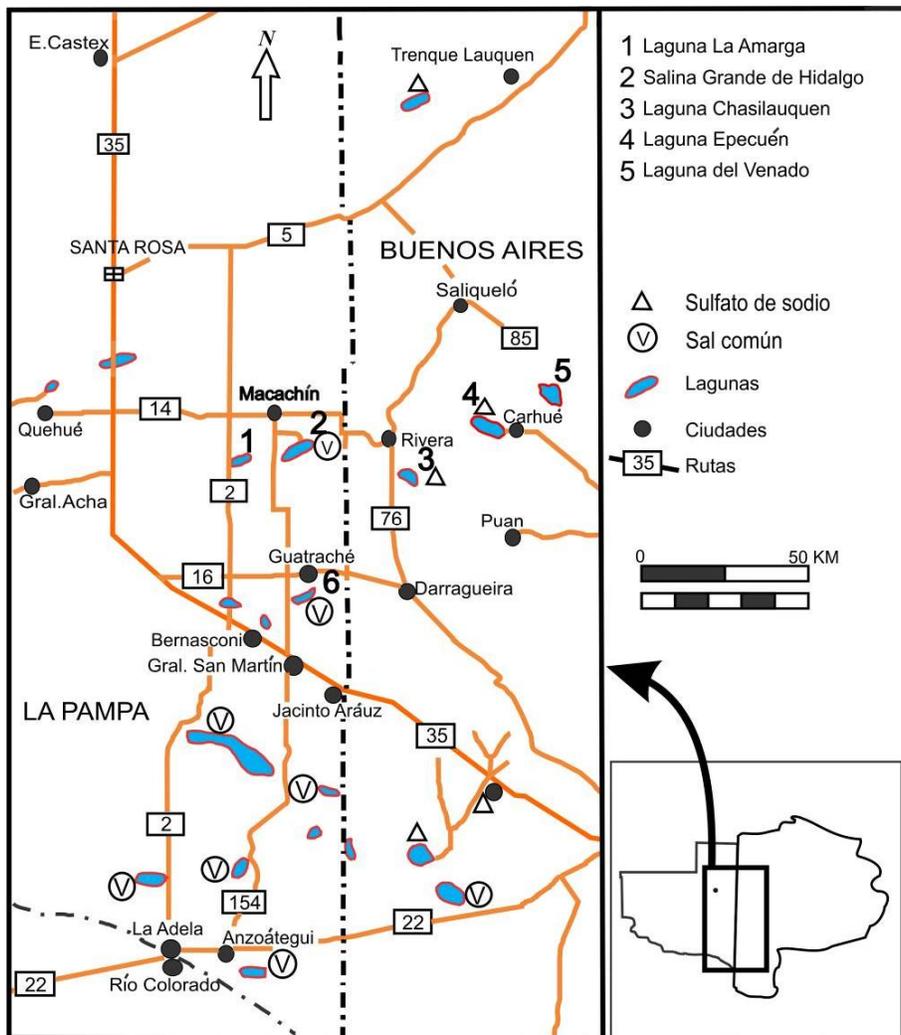


Figura 1. Mapa de ubicación de las principales salinas y sulfateras de la Región Pampeana. Simplificado de Angelelli *et al.* (1976).

Técnica de cosecha

La técnica más difundida para la explotación de las salinas es la de cosecha. Esta técnica depende de las condiciones climáticas. El proceso comienza cuando el agua de una o varias lluvias, disuelve parte de la sal que, mezclada con sedimentos en el fondo de la salina, forma la denominada capa madre. De ese modo la laguna se llena con agua salada o salmuera. Durante la temporada en que la evaporación (causada por vientos y altas temperaturas) supera el aporte de agua por lluvias, la concentración de la sal aumenta hasta su punto de saturación. A partir de ese momento la sal comienza a cristalizar y precipita en el fondo de la laguna, formando una costra de sal pura, cuyo espesor dependerá de la cantidad de agua y sal disuelta que hubo esa temporada en la

laguna. Esa costra de sal se denomina capa temporaria, suele alcanzar un espesor de 1 a 5 cm y es la que anualmente se extrae. El proceso de explotación consiste en el raspado de esa costra utilizando una máquina conocida como cortadora, posteriormente otra máquina denominada mariposa dispone la sal en largos cordones que son cargados por una cosechadora (Beninato, 1999). Ésta posee molinetes mecánicos que vierten la sal en camiones colectores, encargados de transportarla hasta las grandes acumulaciones ubicadas en las playas (parvas). Las parvas no tienen ningún tipo de protección más que la cáscara que se forma por acción del agua, el viento y el sol, normalmente el tiempo necesario para que se produzca esta cáscara es de alrededor de un año o dos. De este modo se produce una purificación natural, lo que posibilita la eliminación de otras sales (principalmente sulfatos de sodio), impurezas minerales y materia orgánica que fueron tomadas durante la extracción (Beninato, 1999).

MÉTODOS DE TRABAJO

Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete se realizó en el Pabellón de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. El mismo consistió en la recopilación y estudio de los antecedentes de la zona de trabajo, referidos fundamentalmente a las salinas y su entorno, con el fin de obtener un mayor conocimiento tanto geológico como estructural de las mismas.

Para la realización del presente trabajo se utilizaron también, imágenes satelitales Landsat, disponibles a través de Google Earth y flashearth.com, con el fin de georeferenciar los puntos de muestreo y delimitar las áreas de cálculo.

Posteriormente mediante el análisis conjunto de los datos de campo y de las concentraciones obtenidas en laboratorio se realizaron los cálculos de volúmenes.

Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en dos etapas, la primera entre el 19 y 20 de octubre y la segunda el 6 de noviembre del 2012.

La metodología consistió en:

- La realización de calicatas de unos 20-30 cm en la zona periférica de la salina y de menor profundidad en el sector inundado.

- Toma de muestras de la salmuera para realizar los análisis químicos.
- Toma de muestras en el suelo de la salina de la sal cristalizada para su posterior observación en lupa.

Los sitios relevados fueron georeferenciados mediante GPS marca Garmin modelo eTrexLeyend H. Además, se tomaron fotografías de las calicatas y de diversos sectores de la salina.

Trabajo de laboratorio

Las muestras de sales cristalizadas obtenidas en campaña se observaron con lupa binocular para identificar texturas. La descripción textural se basó en las definiciones de Yubero de Mateo (2008).

Durante el trabajo de laboratorio fueron analizadas dos muestras de salmuera y dos de sal cristalizada. Las determinaciones iónicas de calcio (Ca^{++}); magnesio (Mg^{++}) y sulfatos (SO_4^-) fueron realizadas mediante titulación por personal del Laboratorio de CIBA S.A. situado en la planta industrial de Macachín. A partir de estas determinaciones se calculó, por diferencia, el contenido de cloruro de sodio (NaCl).

DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS RELEVADOS

La salina permaneció inundada buena parte del año 2012, por lo que se realizaron 26 puntos de control de la profundidad del agua, y de la costra salina (Figura 4). De estos puntos, 3 fueron calicatas y los restantes fueron controles realizados en la zona inundada (Tabla 2).

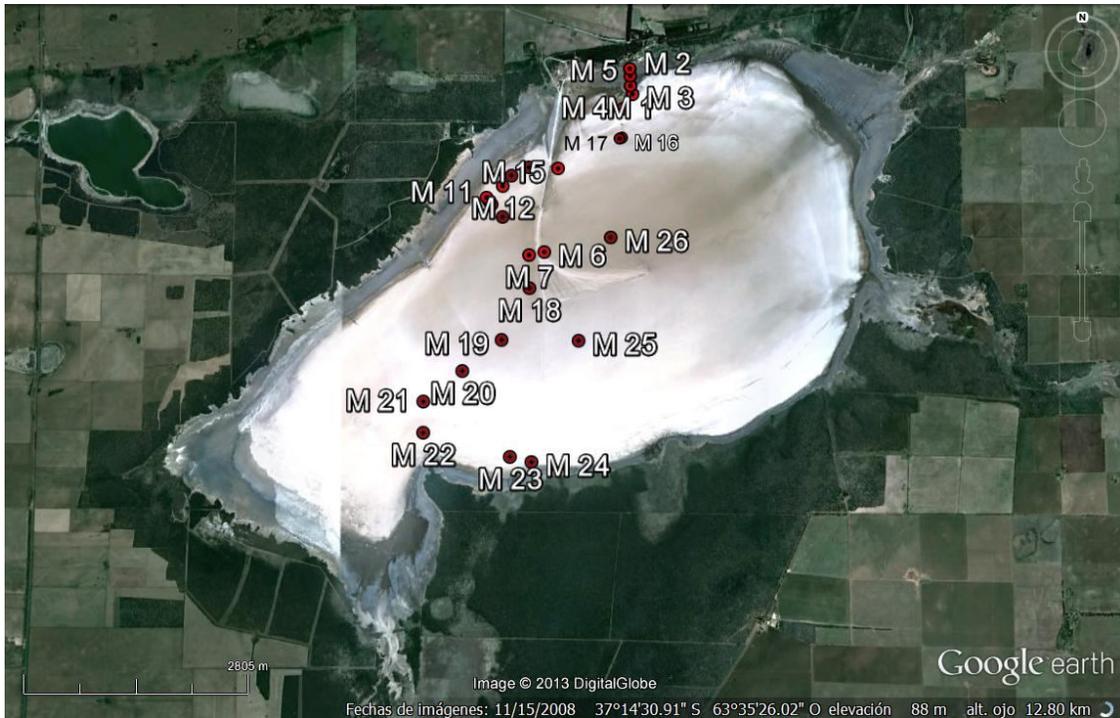


Figura 4. Imagen satelital de la Salina Grande de Hidalgo, con indicación de los sitios relevados.

Calicata 1 (M1), desde la superficie:

A) Capa de 3 mm de arena muy fina a limo con cristales de halita y contacto neto con la capa inferior. B) Capa de 4 cm de fango negro y contacto transicional con la capa inferior. C) Capa de 40 cm (mínimo) de fango pardo muy oscuro (Figura 5).

En la superficie de la delgada capa de agua presente, se observó la formación de cristales de halita en forma de grumos (Figura 6). El piso no tiene buen soporte ya que se hunde por el peso de una persona.

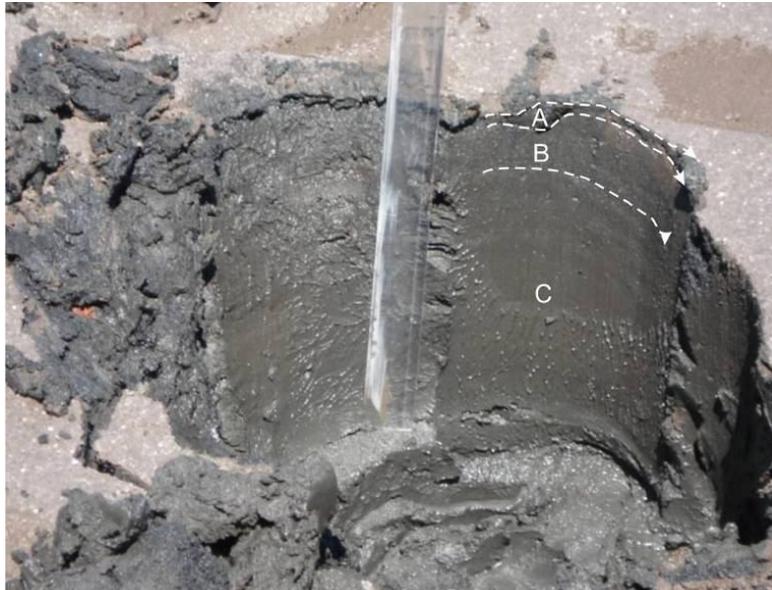


Figura 5. Calicata 1. Se observan los niveles descritos en el texto

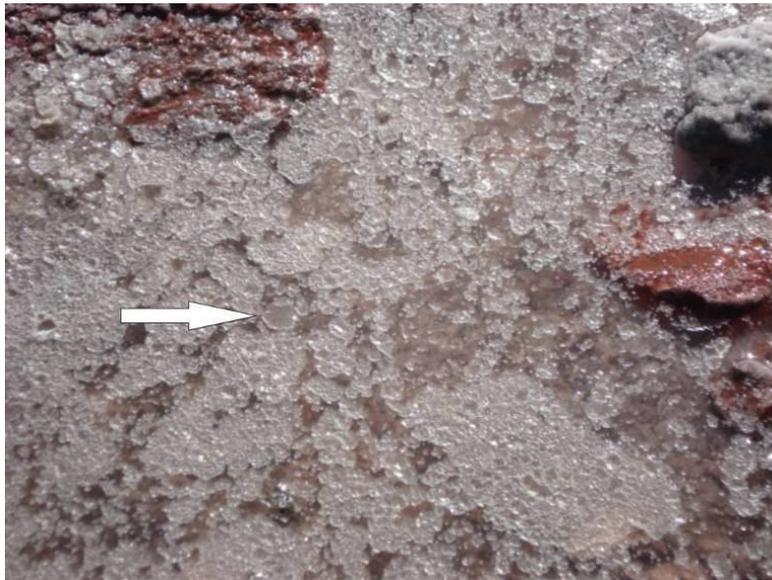


Figura 6. Grupos de cristales de halita formándose en la superficie de la playa.

Calicata 2 (M2), desde la superficie:

A) Capa de arena de 2-4 mm de espesor. B) Capa de fango negro de 6 cm de espesor. C) Capa de arena de 4-5 cm de espesor. D) Capa de fango negro de 4 cm de espesor. E) Capa de 5 cm de arena, con finas laminaciones de fango pardo muy oscuro de 3-4 mm de espesor. F) Capa de fango grisáceo de 7 cm de potencia (Figura 7).

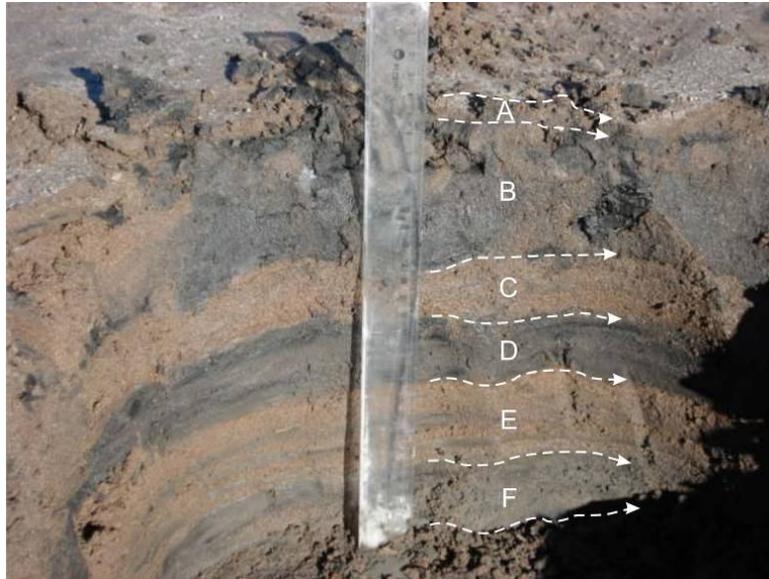


Figura 7. Calicata 2. Se indican los niveles descritos en el texto.

Calicata 3 (M3), desde la superficie:

A) Capa de arena de 4 mm de espesor. B) Capa de fango negro de 2 cm de espesor. C) Capa de arena de 2 cm de espesor. D) Capa de entre 30 a 35 cm de fango grisáceo con finas intercalaciones de arena (Figura 8).

Se observaron ondulaciones de la costra salina en la playa, las que fueron formadas por la evaporación del agua favorecida por el viento que desplazó el delgado nivel de agua (Figura 9). El piso no tiene buen soporte ya que se hunde por el peso de una persona.

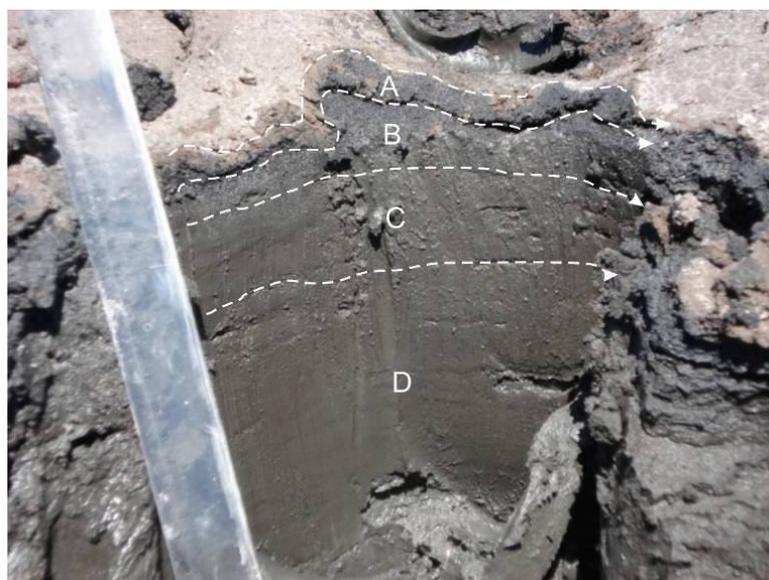


Figura 8. Calicata 3. Se indican los niveles descritos en el texto.



Figura 9. Se observan ondulaciones de la costra de sal en la playa al retirarse el agua por acción del viento (flecha). Nótese el hundimiento causado por el peso de una persona.

Tabla 2. Valores relevados en la zona inundada de la salina. La ubicación de los sitios está graficada en la figura.

Sitio	Profundidad del agua (cm)	Espesor de la capa de sal temporaria (cm)	Soporte	Coordenada	Muestra
M3	2,5	No tiene	Apenas el peso de una persona	S 37°12'37" O 63°34'50,2"	
M4	0	0	Apenas el peso de una persona	S 37°12'43,2" O 63°34'55,2"	
M6	26	2	Resistente	S 37°13'44,4" O 63°35'36,7"	RA7 (sal) RA1 (salmuera)
M7	26	2	Resistente	S 37°13'45,7" O 63°35'44,7"	RA2 (salmuera)
M8	17,5 cm	2 cm	Resistente	S 37° 13' 29,6" O 63°35'58,6"	
M9	16 cm	2 cm	Resistente	S 37°13'24,3" O 63°36'04,7"	RA8A y RA8B (sal)
M10	16,5 Cm	1 Cm	Resistente	S 37°13'23" O 63°36'06"	RA9 (sal)
M11	15,5 Cm	1,8 Cm	Apenas el peso de una persona	S 37°13'21,4" O 63°36'07,4"	
M12	15 Cm	4 Cm	Resistente	S 37°13'16,6" O 63°35'58,8"	RA10 (sal)

M13	13,5 Cm	1,5 Cm	Apenas el peso de una persona	S 37°13'12,2" O 63°35'54,2"	
M14	14,5 Cm	No tiene	Apenas el peso de una persona	S 37°13'08,6" O 63°35'45,1"	
M15	21,5 Cm	1,5 Cm	Apenas el peso de una persona	S 37°13'09,0" O 63°35'29,6"	RA11 de (sal)
M16	18 Cm	No tiene	Apenas el peso de una persona	S 37°12'55,6" O 63°34'55,8"	
M17	17 Cm	No tiene	Apenas el peso de una persona	S 37°12'56,0" O 63°34'57,1"	
M18	24 Cm	2	Resistente	S 37°13'59,7" O 63°35'44,4"	RA12-RA13 (sal) y RA12 (salmuera)
M19	18 Cm	2	Resistente	S 37°14'21,5" O 63°35'58,9"	
M20	15 Cm	2	Resistente	S 37°14'34,6" O 63°36'19,4°	
M21	11 Cm	2	Resistente	S 37°14'47,4" O 63°36'39,7"	
M22	10 Cm	2	Resistente	S 37°15'00,4" O 63°36'39,6"	
M23	9 Cm	2	Resistente	S 37°15'10,3" O 63°35'54,1"	
M24	11 Cm	0	Apenas el peso de una persona	S 37°15'12,4" O 63°35'42,8"	
M25	12 Cm	2	Resistente	S 37°14'21,7" O 63°35'18,4"	
M26	21 Cm	2	Resistente	S 37°13'38,1" O 63°35'01,6"	

DESCRIPCIÓN TEXTURAL

Para la descripción de las texturas se tuvo en cuenta la morfología que desarrollan los cristales de halita de crecimiento libre indicadas en Yubero de Mateo (2008) (Figura 10).

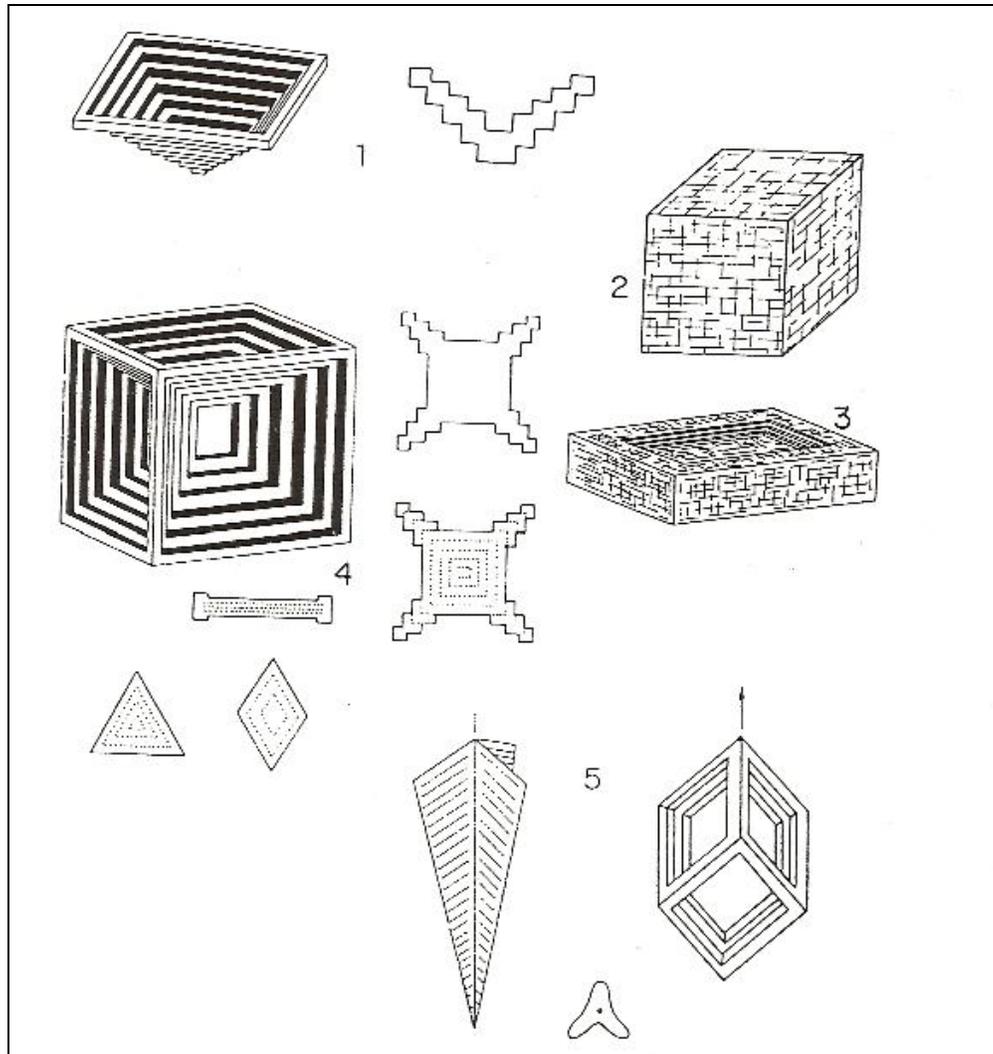


Figura10: Morfología de los cristales de halita de crecimiento libre. 1) Tolva (pirámide *hopper*) y sección, 2) cubo (macizo) 3) Tabular (tabular *hopper*) 4) Tolva cúbica y secciones. 5) Tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron). Tomado de Yubero de Mateo (2008).

Las texturas identificadas bajo la lupa fueron:

-Tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron). Cristales de 0,2 – 0,5 cm, con aspecto traslúcido (Figura 11A y 11G).

-Cubo (macizo). Cristales de 0,2 – 1 cm, con aspecto traslúcido y/o con algunas impurezas (Figura 11B1 y 11C2).

-Tolva cúbica y secciones. Cristales de 0,5 – 1,3 cm, con aspecto traslúcido y/o con algunas impurezas (Figura 11B2, 11C1, 11E1, 11E2 Y 11F).

-Tolva (pirámide *hopper*). Cristales de 0,8 cm, con aspecto traslúcido y abundantes impurezas de tonalidad rosada (Figura 11D).

Estas texturas son típicas de salinas continentales, donde las formas de cristalización dependen fundamentalmente del grado de sobresaturación de la solución salina y del lugar de crecimiento en el seno de la salmuera (Yubero de Mateo, 2008). Con bajas sobresaturaciones, durante los períodos en los que domina el clima seco, la cristalización es lenta, formando *cubos macizos* idiomórficos y transparentes, con caras ligeramente deprimidas. En las interfaces entre la salmuera y el aire, o entre salmueras con diferentes concentraciones, se hallan las mayores sobresaturaciones del sistema acuoso. En estas condiciones el crecimiento sobre los vértices y las aristas del cubo es más rápido que en la superficie de las caras, por lo que se generan cubos con caras deprimidas y escalonadas *cristales hopper* (traslúcidos por la presencia de inclusiones fluidas). Otra morfología muy frecuente es la *tolva* con cristales de pequeñas dimensiones, originalmente tabulares, cuya forma se asemeja a una pirámide invertida (Yubero de Mateo, 2008).

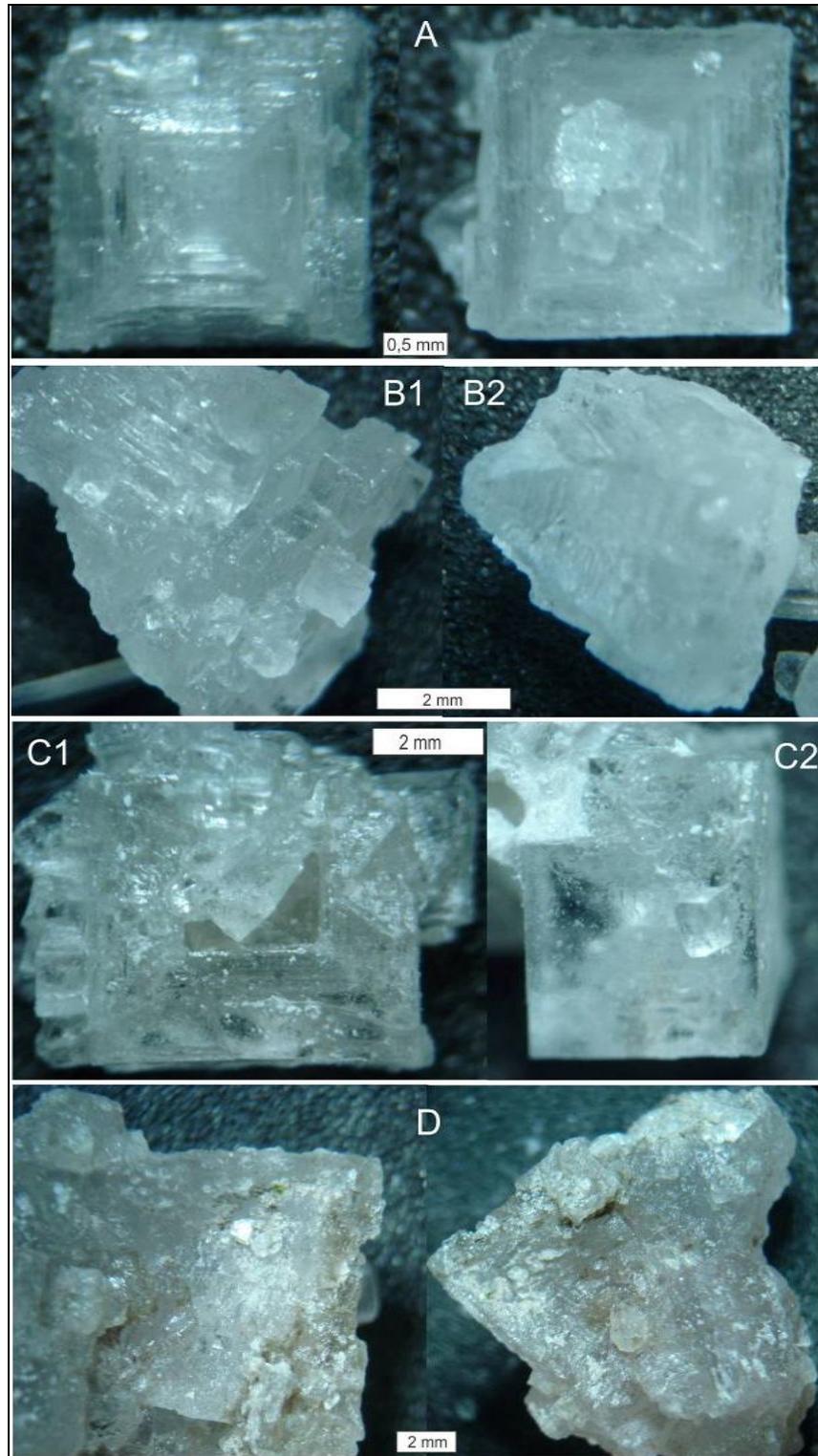


Figura 11. Morfologías de halita observadas en la Salina grande de Hidalgo. A) Halita en tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron) (Muestra RA6). B1) Cubo (macizo), B2) tolva cúbica (Muestra RA7). C1) En tolva cúbica, C2) en cubo (macizo) (Muestra RA8). D) En tolva (pirámide *hopper*) (Muestra RA8B).

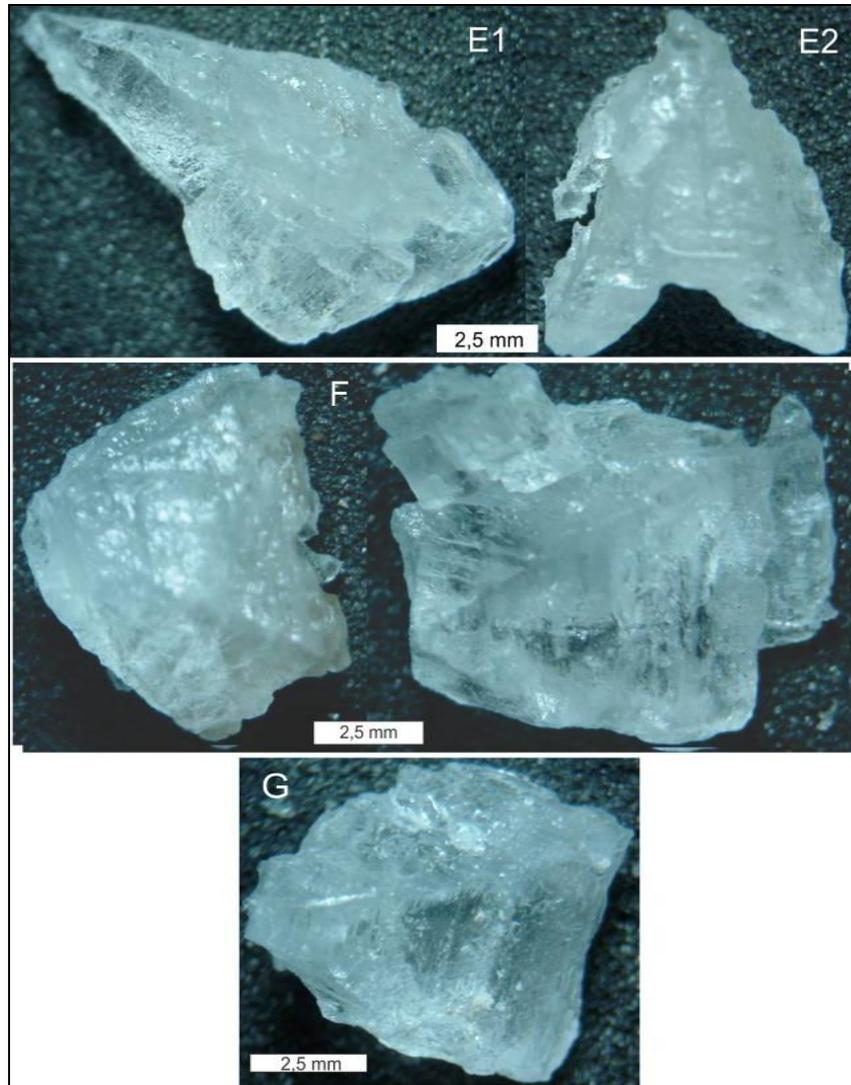


Figura 11 (cont.). E) Halita en tolva cúbica, E1) de 1,3 cm y E2) de 0,8 cm (Muestra RA9). F) En tolva cúbica (Muestra RA10). G) En tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron) (Muestra RA11).

Para desarrollar la textura en tolva (*hopper*) (Figura 11D, muestra RA8B) el crecimiento de la halita comienza en la superficie de la salmuera sobresaturada, donde los cristales se nuclean y crecen con la evaporación, presentando importantes inclusiones fluidas (dando un aspecto traslúcido), orientadas según las caras del cubo. En condiciones de no agitación los cristales en tolva se unen entre sí, dando lugar a placas flotantes como las observadas en la playa (Figura 6) antes de caer al fondo. En el fondo de la salmuera y en condiciones de baja sobresaturación, la halita adquiere la textura denominada en cubo (macizo) (Figura 11B1, muestra RA7) con cristales transparentes (pobres en inclusiones fluidas) o con las caras ligeramente cóncavas, por la cristalización lenta en invierno y primavera.

ANÁLISIS QUÍMICOS

Se analizaron dos muestras de salmuera (RA1 y RA2) y dos muestras de sal extraída de la costra temporaria (RA7 y RA9). Los valores obtenidos indican un alto porcentaje de NaCl (Tabla 3).

Tabla 3. Composición química de la sal cristalizada (RA7 y RA9) y salmuera (RA1 y RA2).

	Ca%	Mg%	SO4%	Insoluble	NaCl%	Total	Aspecto	Color
RA7	0,06	0,002	0,3	0,098	99,54	100	Grano mediano a chico	Rosado
RA9	0,0552	0,02	0,39	0,09	99,44	100	Grano mediano a chico	Rosado
RA1	0,0712	0,114	1,04	0	98,77	100		
RA2	0,072	0,091	0,96	0	98,88	100		

CÁLCULO DE LA RESERVA

Se calcularon dos tonelajes de cloruro de sodio para la capa temporaria y dos para la salmuera (Tabla 4). Para realizar estos cálculos se determinaron previamente:

- los valores de áreas mediante imágenes de Google Earth (Figura 12);
- las alturas de agua y de la sal a partir del promedio de las medidas obtenidas en campo;
- la ley de NaCl promediando los dos análisis de salmuera y los dos de sal cristalizada (costra temporaria).

Para el cálculo de los tonelajes en la salmuera se utilizó una densidad de 1.209 kg/m³ obtenida a partir de la fórmula: Densidad (lb/ft³)= a3 - (a2*temperatura (°F)), donde los valores de a3 y a2 son 77,8 y 0,03 (Dittman, 1977), esta densidad es similar a la indicada (1.200 kg/m³) por Custodio y Llamas (1983) para salmueras concentradas. Los valores obtenidos fueron de 301.554 toneladas de NaCl en la capa temporaria de cosecha y 1.588.541 toneladas de sal en la salmuera, se destaca que el primer valor representa un mínimo de la sal cosechable en las condiciones de la laguna en el momento de muestreo. El valor de sal en la salmuera representa un tonelaje hipotético de sal que precipitaría si se evaporase toda el agua.

Los valores de 387.713 y 1.612.429 toneladas fueron calculados en un área perimetral a la zona de cosecha, donde el piso no es resistente para el tránsito de las maquinarias (Figura 12).

Previamente Cordini (1967) realizó cálculos de reserva de la costra permanente, e indicó un valor de 2.772.672 toneladas de NaCl diluidos en la salmuera de 30 cm de altura que cubría toda la salina. La diferencia principal entre estos valores responde a la mayor área considerada en el cálculo de Cordini (1967).

Tabla 4. Valores utilizados en los cálculos de reservas.

	Zona cosechable		Zona inaccesible para maquinaria	
	Capa de sal temporaria	salmuera	Capa de sal temporaria	salmuera
Área (ha)	700	700	900 (1.600-700)	1.600
Área (m ²)	7.000.000	7.000.000	9.000.000	9.000.000
Altura (m) de agua o sal	0,02	0,19	0,02	0,15
Volumen (m ³)	140.000	1.330.000	180.000	1.350.000
Densidad (kg/m ³)	2.165	1.209	2.165	1.209
Peso (kg)	303.100.000	1.607.428.771	389.700.000	1.631.600.632
Peso (Ton)	303.100	1.607.429	389.700	1.631.601
Ley (% NaCl)	0,99	0,99	0,99	0,99
Peso (Ton) de sal (NaCl)	301.554	1.588.541	387.713	1.612.429

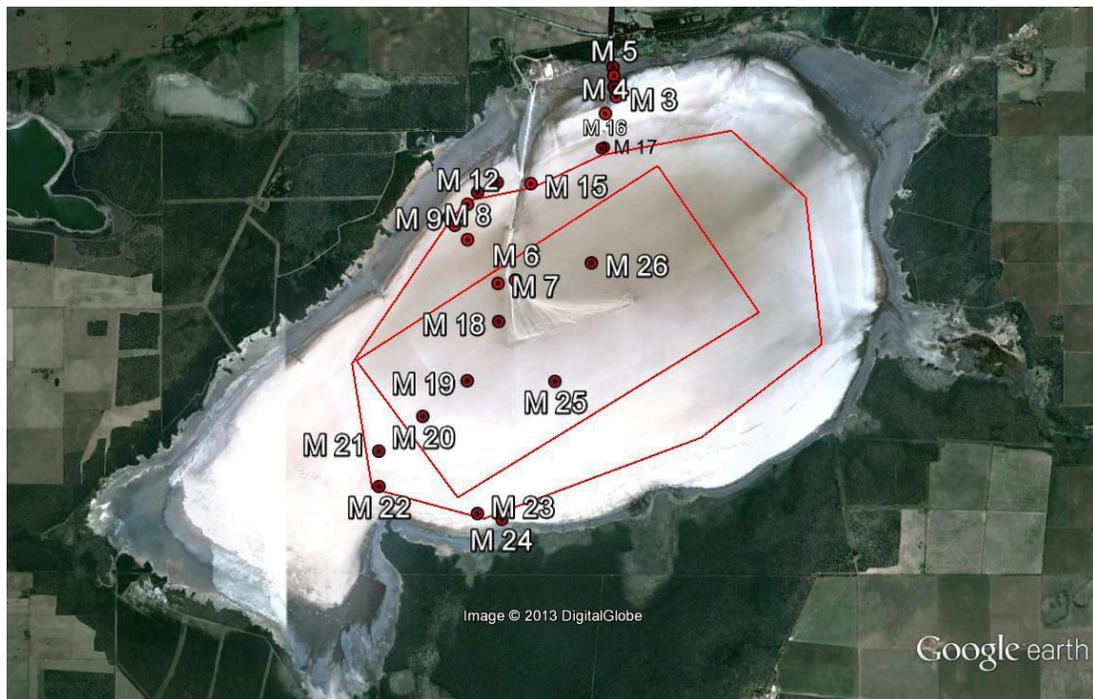


Figura 12. Diseño de las superficies utilizadas en los cálculos de reserva. El rectángulo interior se corresponde aproximadamente con la zona de cosecha anual.

CONCLUSIONES

Las texturas indican las formas en que la halita va cristalizando en una salmuera natural, dependiendo fundamentalmente del grado de sobresaturación de la solución salina y del lugar de crecimiento en el seno de la salmuera. A partir de las texturas encontradas, se puede inferir que la mayoría de los cristales observados cristalizaron en al menos dos etapas, primero bajo condiciones de sobresaturación en la superficie del agua y luego en el piso de la salina (muestras RA6, 7, 8, 8B, 9, 10 y 11). En cambio los cristales cúbicos presentes en las muestras RA7 y RA8 sugieren cristalización en profundidad.

El cálculo de la reserva indicó valores de sal recuperable de 301.554 toneladas en la capa temporaria de cosecha y 1.588.541 toneladas de sal (hipotética) en la salmuera. Los valores de 387.713 y 1.612.429 toneladas de sal fueron calculados en un área perimetral a la zona de cosecha, donde el piso no es resistente para el tránsito de las maquinarias y podrán ser eventualmente recuperados mediante una técnica alternativa.

BIBLIOGRAFÍA

- Andreis, R., 1965. Petrografía y paleocorrientes de la formación Río Negro: Revista Museo La Plata, 5 (Geología), v. 36, p. 245-310.
- Angelelli, V., 1973. Recursos minerales y rocas de aplicación de la provincia de Buenos Aires. LEMIT Anales, 2. La Plata.
- Beninato, M. A., 1999. Salinas del Bebedero, San Luis. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1939-1942, Buenos Aires.
- Cangioli, G., 1971. Manifestaciones saliníferas de la provincia de La Pampa (Salitral Negro, Salitral Colorado). 1° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas, 1: 205- 212, San Juan.
- Cano, E., G. Casagrande, H. A. Conti, B. Fernandez, R. Hevia, J. C. Lea Plaza, D. Maldonado Pinedo, H. Martínez, M. A. Montes y C. A. Peña Zubiato, 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. INTA-Gobierno de La Pampa-UNLPam, 493 p, Santa Rosa.
- Cordini, R., 1967. Reservas Salinas de Argentina. Instituto Nacional de Geología y Minería. Anales nº 13. Buenos Aires.
- Custodio E. y Llamas M. R., 1983. Hidrología Subterránea. Omega (2 Vol.) 2359 pp.
- De Elorriaga, E. E., y Camilletti, C. M., 1999, La Cuenca de Macachín entre Anguil y Catriló, La Pampa, Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 227-230, Salta.
- De Elorriaga, E. E. y Visconti, G., 2005. Estratigrafía de la Cuenca del Colorado en la provincia de La Pampa. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas: 351-358, La Plata.
- Dittman, L., 1977. Calculation of Brine Properties. Lawrence Livermore Laboratories. Livermore CA. Disponible en <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/7111583-19lvkU/native/7111583.pdf>
- Evans, G., Kendall, C. G., y Skipwith, P., 1964. Origin of coastal flats, the sabkha of the Trucial Coast, Persian Gulf. Nature, 202: 759-761.
- Fidalgo, F., Tonni, E., Porro, N. y Laza, J. H., 1987. Geología de la Laguna Chasicó (P. de Villarino, Bs. As.) y aspectos bioestratigráficos relacionados. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42 (3-4): 407-416.
- Folguera, A. y Zárate, M., 2008. Reinterpretación estratigráfica del neógeno continental en el área extra andina de Argentina central. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 1010-1011, San Salvador de Jujuy.
- Folguera, A. y Zárate, M., 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. Revista de la Asociación Geológica Argentina 64: 692-712.
- Frenguelli, M., 1950. Rasgos generales de la morfología y geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, serie 2: 33. La Plata.
- Hanford, C. R., 1981. A process-sedimentary framework for characterizing recent and ancient sabkhas: Sedimentary Geology, 30: 255-265.

- Kostadinoff, J., Llambías, E., Raniolo, L. A. y Álvarez, G. T., 2001. Interpretación de geológica de la información geofísica de la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (4): 481-493.
- Linares, E., Llambías, E. J. y Latorre, C. O., 1980. Geología de la provincia de la Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35 (1): 87-146.
- Llambías, E. J., 1975. El "Plateau" riolítico de la provincia de La Pampa, República Argentina. II° Congreso Iberoamericano de Geología Económica 1: 99-114, Buenos Aires.
- Malán, J. M., Boeris, M. S. y Camiña J. M., 2004. Informe sobre la situación actual del depósito salino ubicado en la Laguna La Colorada Grande, Departamento de Caleu-Caleu. Provincia de La Pampa. Informe inédito VALUVEAL S.A. - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNLPam), 42 p. Santa Rosa.
- Mountney, N. P., 2006. Eolian facies models. En *Facies Models Revisited* H. W. Posamentier and R. G. Walker, Editors. SEPM Special Publication No. 84 p. 19-83.
- Parras, A., Malumián, N., Camilletti, C., De Elorriaga, E., Visconti, G. y Fernández, M., 2000. Invertebrados marinos del Neógeno en el sureste de la provincia de La Pampa, Argentina. Reunión anual de comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina. *Ameghiniana* 37 (4) Suplemento. Resúmenes.
- Pascual, R., 1965. Las edades del cenozoico Mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. *CIC, Anales* 6: 165-193.
- Purser, B. H. y Evans, G., 1973. Regional sedimentation along the Trucial Coast, Persian Gulf, *in* Purser, B. H., ed., *The Persian Gulf*. Berlin, Springer, p. 211-231.
- Salso, M., 1966. La Cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Nota preliminar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 21 (2): 107-117.
- Schalamuk, I., Del Blanco, M., Marchionni, D., Romero, S. y Cabana, M., 1999. Salinas y sulfateras de la región pampeana. En: *Recursos Minerales de la R. Argentina* (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, *Anales* 35: 1947-1962. Buenos Aires.
- Sellés Martínez, J., 1987. La lineación Utracán-Vallimanca, provincias de La Pampa y Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 42 (1-2): 213-217.
- Tapia, A., 1935. Pilcomayo. Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas: Buenos Aires, *Boletín Dirección de Minas y Geología*, n. 40, p. 5-124.
- Terraza, J., Cruz, C. y Sbrocco, J., 1981. Geología de los valles de Utracán, Quehué y Chapalcó, provincia de La Pampa. 8° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 3: 183-192. Neuquén.
- Verzi, D. H. y Montalvo, C. I., 2008. The oldest south American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 267: 284-291.
- Verzi, D. H., Montalvo, C. I. y Deschamps, C. M., 2008. Biochronology and biostratigraphy of the Upper Miocene of central Argentina: evidence from rodents and taphonomy. *Geobios*, 41: 145-155.

- Visconti, G., Melchor, R. N., Montalvo, C. I., Umazano, A. M. y De Elorriaga, E. E., 2010. Análisis litoestratigráfico de la Formación Cerro Azul (Mioceno superior) en la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (2): 257-265.
- Yrigoyen, M. R., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. 6° Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 139-168. Bahía Blanca.
- Yubero de Mateo, M. T., 2008. Análisis del proceso de compactación en una escombrera de sal. Tesina de Especialidad, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 190p.
- Zambrano, J., 1972. Comarca de la cuenca Cretácica del Colorado. *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias*, 2: 1033-1070. Córdoba.
- Zambrano, J., 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 24 (4): 443-469.