

Universidad de Buenos Aires
ARGENTINA



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires



CEGM

Carrera de Especialización en Geología Minera



Carrera de Especialización en Geología Minera

CEGM

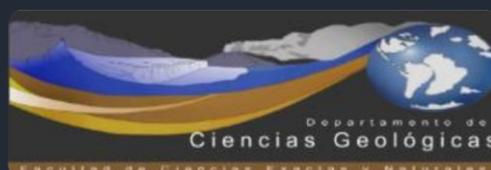
TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Título: Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña. Importancia socio-económica para la comunidad de Jama

Autor: Geol. Alba Ramírez

Director: Dra. Liliana Castro

2023



RESUMEN

En este trabajo se analiza el potencial de recursos de boratos de las lagunas Mucar, Xilón y Agnia, próximas al salar de Jama. El objetivo es contribuir a la determinación de nuevas áreas con potencial exploratorio y profundizar en el conocimiento sobre las evaporitas cenozoicas de la Puna jujeña. Los trabajos de campo complementados con las tareas de gabinete y laboratorio, han determinado la presencia de ulexita tanto en barrad como en papas de gran pureza. El estudio de muestras de agua permitió establecer la presencia de Li en las salmueras. Las evapofacies presentes, desde el borde hasta el centro de las cuencas, están representadas por carbonatos (mayormente travertinos de origen hidrotermal y eflorescencias de carbonatos de sodio), sulfatos (yeso, mirabilita, thenardita), boratos (ulexita, tincal) y cloruros (halita). Las facies de boratos, sulfato de sodio y cloruro de sodio tienen valor económico como minerales industriales, aunque sólo se explotan actualmente los boratos y la sal. En la provincia de Jujuy además, existen importantes reservorios de otras sales muy poco estudiadas. Para cumplimentar el análisis integral, se plantean las etapas de un proyecto minero, los potenciales impactos ambientales y las posibles tareas de restauración. Se incluyen los aspectos sociales y legales a considerar y se enumeran los posibles usos y mercado. Esta información podrá ser transferida a la comunidad de Jama, a empresas privadas u organismos oficiales, a los fines de su aprovechamiento en programas de exploración y/o explotación. Actualmente, son diversas las empresas interesadas en los depósitos evaporíticos.

ABSTRACT

The borate potential resource of the Mucar, Xilón and Agnia lagoons, close to the salar of Jama, is analyzed. The objective is to contribute to the knowledge of new potential exploratory areas and extend the understanding about the Cenozoic evaporites of the Puna, in the province of Jujuy. Through field and laboratory analysis, the presence of ulexite in bars hosted in massive mantiform layers and purity white "Cotton Balls" ulexite are found. Water samples analyses establish the presence of Li in the brines. The evapofacies present, from the edge up to the center of the basins: incipient carbonates (mainly travertines of thermal origin and sodium carbonate efflorescences), sulfates (gypsum, mirabilite, thenardite), borates (ulexite, tincal) and chlorides (halite). Borates, sodium sulfate and sodium chloride have economic importance as industrial minerals, although only borates and salt are currently exploited. The province of Jujuy occupies a privileged place as a producer of borates and contains important reserves. In addition, there are important reservoirs of sodium chloride and other salts that have been little studied. To complete the comprehensive analysis, the stages of a mining project, the potential environmental impacts and possible restoration tasks are incorporated. The social and legal aspects to be considered are included and the possible uses and market are listed. The generated information may be transferred to the Jama community, to private companies and/or official organizations related to the mining activity, for the purpose of using it in exploration and/or exploitation programs. Currently, there are various companies interested in evaporative deposits.

INDICE

CAPÍTULO 1:	
INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Las evaporitas en la Puna Jujeña.....	9
1.2. Antecedentes.....	11
1.3. Aspectos geográficos.....	11
1.3.1. Clima.....	14
1.3.2. Flora.....	15
1.3.3. Fauna.....	16
1.3.4. Reserva provincial – área protegida.....	
CAPÍTULO 2:	
OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo General..	18
2.2. Objetivos Específicos..	18
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Tareas de campo.....	19
3.2. Tareas de gabinete y laboratorio.....	19
CAPÍTULO 4: LOS AMBIENTES EVAPORÍTICOS Y LOS BORATOS	22
4.1. Las evaporitas.....	22
4.1.1. Caracterización de evaporitas continentales	22
4.2. El boro.....	25
4.2.1. Características generales.....	25
4.2.2. Tipos de depósitos.....	27
4.2.3. Geoquímica.....	29
4.2.4. El boro en el ambiente y en los seres vivos.....	29
CAPÍTULO 5: LOS DEPÓSITOS DE BORATOS MUNDIALES Y EN LA REPÚBLICA ARGENTINA.....	32
5.1. Introducción..	32
5.1.1. Provincia boratífera de Anatolia (Turquía)	33
5.1.2. Provincia boratífera norteamericana.....	34
5.1.3. Provincia boratífera tibetana	35
5.1.4. Provincia boratífera centroandina.....	36
CAPÍTULO 6: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE LOS DEPÓSITOS DE BORATOS DE LA PROVINCIA DE JUJUY.....	50
6.1. Geología regional.....	50
6.1.1. Ordovícico.....	50
6.1.2. Cretácico – Paleógeno.....	53
6.1.3. Neógeno.....	54
6.1.4. Pleistoceno – Holoceno.....	59
6.2. Geomorfología.....	61

CAPITULO 7: EVAPOFACIES DE LAS LAGUNAS MUCAR, XILÓN Y AGNIA.....	63
7.1. Tareas de Campo.....	63
7.1.1. La Laguna Mucar	64
7.1.2. Laguna Agnia (Benito):.....	65
7. 1.3.La Laguna Xilon.....	67
7.1.4. Perfiles realizados.....	68
7.2. Tareas de gabinete.....	68
7.2.1. Mineralogía.....	68
7.2.2.Difractogramas.....	70
7.2.3. Muestras de agua y salmuera.....	
CAPÍTULO 8: EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO.....	71
8.1 Características generales de la explotación.....	71
8.2. Métodos de tratamiento.....	74
CAPÍTULO 9: ASPECTOS LEGALES.....	75
CAPÍTULO 10: ASPECTOS AMBIENTALES	77
10.1 Introducción.....	77
10.2. Impacto ambiental y presentación del informe de impacto ambiental.....	77
10.3.Plan de manejo ambiental	82
10.4. Restauración.....	82
CAPÍTULO 11: LICENCIA SOCIAL Y LA RELACIÓN CON LAS COMUNIDADES.....	85
CAPÍTULO 12: ASPECTOS ECONÓMICOS	89
12.1. Introducción.....	89
12.1.1. Estructura de la demanda	89
12.1.2. Las distintas industrias y sus usos.....	89
12.1.3. Sustitutos	93
12.2. Mercado.....	93
12.2.1.Mercado mundial.....	94
12.2.2 Potencial minero en la República Argentina.....	94
12.2.3. Cadena de valor	99
CAPÍTULO 13: CONCLUSIONES.....	100
CAPÍTULO 14: REFLEXIONES FINALES.....	103
CAPÍTULO 15: AGRADECIMIENTOS.....	104
CAPÍTULO 16: BIBLIOGRAFÍA.....	105

FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación.....	9
Figura 2: Variación de la temperatura a lo largo del año.....	11
Figura 3. Velocidad del viento en el sector de estudio.....	12
Figura 4. Mapa de isohietas de la provincia de Jujuy.....	14
Figura 5: a. Estepa arbustiva al este del salar de Jama y b. Asociación de varias especies.....	15
Figura 6a. Vicuñas y 6b. Patos a orilla de un ojo de agua.....	16
Figura 7: Áreas Naturales Protegidas, de la provincia de Jujuy	17
Figura 8. Grado de evaporación para la precipitación de la sal.....	21
Figura 9: Esquema de distribución de sub – ambientes deposicionales en sistemas evaporíticos.....	22
Figura 10: Corte esquemático de los ambientes deposicionales en una cuenca continental con desarrollo de una Playa Lake.....	24
Figura 11: Zonación en ambientes en cuencas evaporíticas continentales.....	24
Figura 12: Principales depósitos a nivel mundial.....	32
Figura 13: Yacimiento de Kirka.....	33
Figura 14: Yacimiento de Emet.....	34
Figura 15: Death Valley, Estados Unidos.....	35
Figura 16: Yacimiento Tincalayu.....	39
Figura 17: Yacimiento Sijes.....	40
Figura 18: Ulexita.....	40
Figura 19: Salar de Antofalla.....	41
Figura 20: Yacimiento Loma Blanca	41
Figura 21. Salar de Cauchari.....	43
Figura 22. Salar de Olaroz.....	44
Figura 23: Salar de Jama	48
Figura 24: Mapa geológico regional.....	49
Figura 25: Afloramiento del Complejo Volcánico Puna, norte de Laguna Mucar.....	51
Figura 26: Volcán Jama, base lava dacítico y parte superior lava andesítica.....	52
Figura 27: Afloramiento de la Ignimbrita de Atana.....	58
Figura 28. Conos de volcanes monogenéticos de basaltos.....	60
Figura 29: Banco de travertinos, Laguna Agnia.....	61
Figura 30. Mapa de Ubicación de la Laguna Mucar.....	64
Figura 31a- Margen de la laguna y b, detalle de la costra salina con ampollas de sal, Laguna Mucar.....	65
Figura 32. Mapa de Ubicación de la Laguna Agnia.....	65
Figura 33 .a Fragmentos de bloques de Ónix, encontrado en los alrededores del campamento minero Benito, Laguna Agnia. c. Parva de Ulexita abandonada en Mina Benito, Laguna Agnia.....	66
Figura 34: Mapa de ubicación de la Laguna Xilon	67
Figura 35: Laguna Xilon.....	67
Figura 36a: Pozo en la margen O de la laguna Xilon.b. Niveles blanquecinos de Ulexita.....	68
Figura 37. Perfiles esquemáticos de pozos.....	68
Figura 38. Perfiles de pozos.....	69
Figura 39 a. Pozo 274. Diagramas de muestras analizadas por difracción de DFX.....	70
Figura 39 b. Pozo 292. Diagramas de muestras analizadas por difracción de DFX.....	71
Figura 39 c. Pozo 296. Diagramas de muestras analizadas por difracción de DFX.....	71
Figura 39 d. Pozo 333. Diagramas de muestras analizadas por difracción de DFX.....	72
Figura 39 e. Pozo 351 Diagramas de muestras analizadas por difracción de DFX.....	72
Figura 40: Mina Tincalayu. Explotación a cielo abierto.....	72
Figura 41: Diagrama del proceso tradicional de producción de ácido bórico.....	73
	74

**Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama**

Figura 40: Paso de Jama.....	75
Figuras 41 a, b y c. Pedidos de cateos.....	80
Figura 42. Estructura de la demanda.....	81
Figura 43: Producción mundial de boro (USGS, 2022).....	83
Figura 44: Reservas mundiales de boro (USGS, 2022).....	89
Figura 45: Producción de boratos en Argentina.....	90
Figura 46: Producción de minerales industriales en la provincia de Jujuy.....	91
Figura 47: Exportaciones provinciales 2021-2022 en precios.....	91
Figura 48: Exportaciones 2021-2022 en precios FOB.....	92
Figura 49 a y b: Principales destinos de exportación y origen de importación.....	96
Figura 50: Propuesta de cadena de valor... ..	99

CUADROS

Cuadro 1: Reserva provincial Chinchillas.....	16
Cuadro 2: Cronograma de tareas.....	21
Cuadro 3: Los minerales de boro.....	26
Cuadro 4: Zonación mineralógica.....	26
Cuadro 5: Factores de formación.....	27
Cuadro 6: Tipos de depósitos.....	28
Cuadro 7: Clasificación de boratos.....	28
Cuadro 8: Concentraciones media de boro.....	29
Cuadro 9: Diferentes tipos de costras (6) en el salar de Cauchari.....	49
Cuadro10: Diferentes tipos de costras (5) en el salar de Olaroz.....	51
Cuadro 11: Resultados de los análisis de aguas.....	72
Cuadro 12: Items que se consideran en los informes de impactos.....	81
Cuadro 13: Prácticas para la restauración de un área minera.....	83

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.3. Las evaporitas en la Puna Jujeña.

La provincia de Jujuy tiene un historial minero relevante y, en el caso particular de las evaporitas, se destacan explotaciones tradicionales de cloruro de sodio y otras sales y en particular boratos, cuyos antecedentes de antiguas operaciones se remontan al siglo XIX pudiendo observarse aún relictos históricos de viejas instalaciones en algunos lugares de la Puna.

Cabe destacar que hoy la Puna argentina contiene la tercera reserva a nivel mundial de esas sustancias. La provincia de Jujuy ocupa un lugar de privilegio como productora de boratos y contiene importantes reservas. Además, existen importantes reservorios de cloruro de sodio y otras sales muy poco estudiadas y conocidas.

Durante el Cenozoico, en los terrenos que hoy conforman la Puna Jujeña, se desarrolló una importante actividad volcánica que marcó la configuración morfológica de la región, a tal punto que los volcanes y salares conforman hoy sus elementos característicos (Solís y Ramírez, 2008).

El estudio de los depósitos evaporíticos en los Andes Centrales y otras regiones del planeta ha logrado importantes avances en los últimos años, habiendo alcanzado en la actualidad un interesante grado de conocimiento (Alonso et al. 1984; Alonso, 1986).

En el caso particular de los boratos, éstos aparecen asociados a otras diversas sales, tanto miocenas como cuaternarias. En las últimas décadas, la exploración llevada a cabo por empresas privadas ha logrado importantes descubrimientos en ese rubro económico, situación que alienta las perspectivas de potenciales nuevos hallazgos (Alonso, 1986).

La Puna de Jujuy se extiende aproximadamente entre el Lineamiento Calama-Olacapato-Toro al sur y el límite con Bolivia al norte. Contiene depósitos evaporíticos en los ambientes miocenos y en los salares cuaternarios. Las cuencas se desarrollaron mayormente en el Mioceno, contemporáneas al arco volcánico cenozoico, en ambientes áridos a semiáridos, de tipo fluvio-lacustre-evaporíticos, y tienen un relleno sedimentario de coloración rojiza a verdosa, de naturaleza clástica (por la erosión de formaciones ordovícicas, cretácicas y paleocenas), piroclástica (por las tobas, cenizas, tufitas e ignimbritas del arco volcánico) y evaporítica (carbonatos, sulfatos, boratos y cloruros, por la concurrencia de un drenaje cerrado, termalismo y clima árido). Son cuencas endorreicas, continentales, volcaniclásticas lacustres, evaporíticas, de intra-arco/intra-plateau. De los depocentros miocenos evaporíticos, reviste importancia económica el yacimiento de Loma Blanca (tincal, ulexita, inyoita como minerales de mena), mientras

que los demás depocentros merecen en el futuro ser explorados en subsuelo mediante sondeos profundos. Las facies boratíferas de la Puna jujeña se encuentran en el rango cronológico de 5 y 10 millones de años de antigüedad (Solís y Ramírez, 2008).

Los depocentros terciarios de la Puna jujeña son más someros que los equivalentes de la Puna salteña y esto limita la potencialidad de los futuros yacimientos (Alonso, 1986).

Los ambientes evaporíticos actuales comprenden lagunas, salinas y salares, más secos al sur y oeste y más húmedos al norte y este. Su relleno superficial está representado desde los relieves serranos hasta los depocentros evaporíticos, por facies de abanicos aluviales (*aluvial fan*), llanuras arenosas (*sand flat*), llanuras fangosas (*mud flat*) hasta las llanuras salinas (*saltflat*).

En general, las evapofacies presentes, desde el borde hasta el centro de las cuencas, están representadas por carbonatos incipientes (mayormente travertinos de origen termal y eflorescencias de carbonatos de sodio), sulfatos (yeso, mirabilita, thenardita), boratos (ulexita, tincal) y cloruros (halita). Las facies de boratos, sulfato de sodio y cloruro de sodio tienen valor económico, aunque sólo se explotan actualmente los boratos y la sal, que constituyen un importante renglón en la producción de minerales industriales (de los Hoyos, 1982).

Las evaporitas en sí, tienen además un valor sustancial en las interpretaciones de la evolución paleoclimática cenozoica de los Andes Centrales del Sur (Alonso, 2006; Strecker et al., 2007).

Las lagunas Mucar, Xilón y Agnia son tres pequeñas depresiones que se desarrollan sobre la planicie aluvial y están estrechamente relacionadas al ambiente volcánico del lugar. En todas ellas hay reducidos depósitos de ulexita de unos pocos centenares de toneladas. Han sido objeto de algunas explotaciones incipientes y saltuarias (Fig. 1).

En este trabajo se analiza el potencial de recursos de boratos de las lagunas **Mucar, Xilón y Agnia** que se ubican en inmediaciones del salar de Jama, próximas al camino que une el salar Olaroz con paso de Jama en el límite con Chile que puedan contribuir a la determinación de nuevas áreas de potencial exploratorio.

Evapofacias en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama

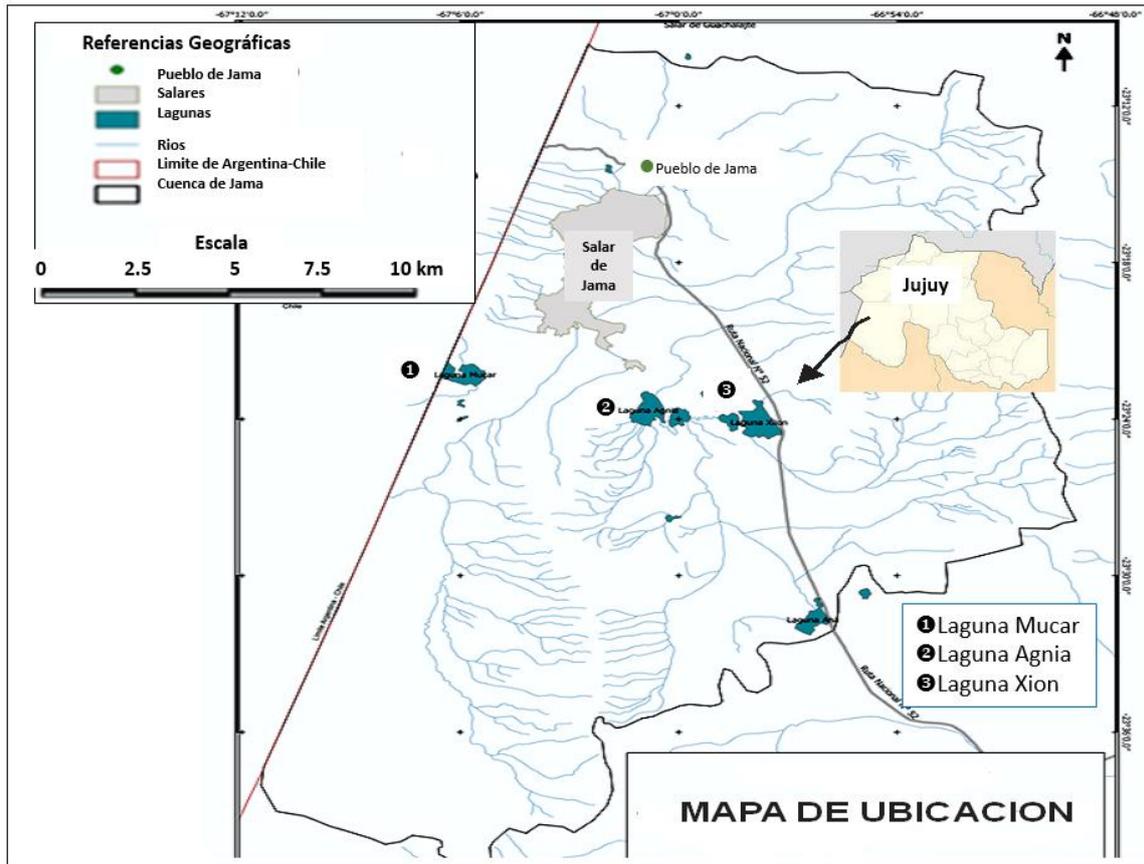


Figura 1: Mapa de ubicación

1.4. Antecedentes

Las lagunas Agnia, Xilón y Mucar se encuentran en la Subprovincia Geológica de la Puna Septentrional o Puna Jujeña, donde se describen la presencia de minerales no metalíferos como ulexita, mirabilita, thenardita, yeso y halita. Las principales menciones realizadas sobre esta salina estuvieron vinculados a la presencia de los minerales evaporíticos, principalmente boratos y el contenido de elementos tales como Litio (Li) y Potasio (K) en las salmueras (Alonso, 1999; Argañaraz, 1999; Guillou y Cabrera, 2008).

Los diversos trabajos realizados son principalmente de carácter regional, que incluyen menciones del salar de Jama (Coira y Nullo, 1989; Seggiaro et al., 2015).

La investigación realizada por Catalano (1926; 1930), en su itinerario del recorrido para llegar a la Boratera Coyahuaima, realiza comentarios sobre la fisiografía, geología y geomorfología de la Cuenca Olalena - salar de Jama.

A continuación, se detallan los antecedentes que se sucedieron cronológicamente y que ocupan diferentes aspectos (minero, estructural, estratigráfico, otros) de los boratos y salmueras de Li en general.

Catalano entre 1923-1930, introduce un gran adelanto al conocimiento de la geología de la Puna. Este autor elaboró varios informes, vinculados con la temática del boro, para la antigua Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. En sus estudios incluye datos específicos sobre la génesis, mineralogía, concentraciones, etc., de los boratos en diversos salares y salinas de la Puna (Sureda *et al.*, 1986; Lavandaio, y Catalano, 2004).

En 1926, Catalano realizó un importante y detallado estudio geológico – económico de los minerales evaporíticos, haciendo principal hincapié en los boratos del salar de Cauchari. Además, efectuó el primer trabajo exploratorio a los fines de determinar la ubicación y reserva de boratos en dicho salar (Catalano, 1926).

Ahlfeld y Angelelli (1948), publicaron el libro “Especies Minerales de la República Argentina”, donde exponen las características mineralógicas de los boratos conocidos hasta ese momento, dando a conocer además algunas nuevas especies para la región.

Catalano (1964), advirtió sobre el litio como una nueva fuente de energía.

Turner estudio gran parte de la Puna y reconoció el régimen compresivo dominante, por cuyas acciones se elevan bloques positivos mediante fallamiento inverso (Turner, 1970, 1972; Turner et al. 1979).

Aristarain y Hurlbut (1972) realizaron unas series de investigaciones mineralógicas sistemáticas y detalladas de los yacimientos boratíferos de la Puna, hallando nuevas especies minerales, tales como la rivadavita, ameghinita, teruggita y aristarainita.

Schalamuck *et al.* (1983) elaboraron un estudio detallado sobre el estado de la minería en el noroeste argentino, aportando información geológica y económica sobre las borateras del área de estudio.

Igarzabal (1984) contribuyó con numerosos estudios geomorfológicos en todo el ámbito de la Puna. En particular, el autor realizó un trabajo sobre el origen y evolución morfológica de las cuencas evaporitas cuaternaria de la Puna argentina.

Alonso *et al.* (1984) propusieron la subdivisión de la provincia geológica de la Puna en dos Subprovincia denominadas Puna Austral y Puna Septentrional. El límite entre ambas estaría dado por el lineamiento Calama–Olcapato–El Toro (COT).

Alonso y Gutierrez (1984) llevaron a cabo una investigación relacionada a la zonación de ulexita en los salares de la Puna. En el mismo año, Alonso et al., (1984) estudiaron la génesis del litio en los salares de la Puna argentina.

Alonso (1986) en su trabajo de tesis doctoral denominada “Ocurrencia, posición estratigráfica y génesis de los depósitos de boratos de la Puna Argentina”, brindó múltiples datos sobre la geología de la Puna y abordó detalladamente todas las manifestaciones de boratos conocidas.

Coira y Nullo (1989) describieron las secuencias piroclástico–sedimentaria pertenecientes al ordovícico en el sector sur de la salar de Jama.

Igarzabal (1984) estudio las evaporitas cuaternarias de la Puna donde abarca diferentes aspectos, entre ellos geológico, sedimentológico y mineralógico.

Aniel *et al.*, (1989) realizaron un estudio genético del yacimiento uraníferos Aguiliri en la Puna Argentina, donde se detalla la geología del sector noreste de la salar de Jama.

Krallman (1994) estudió las volcanitas básicas asociadas al lineamiento Calama–Olacapato–El Toro.

Gozalvez *et al.* (2004) realizan en el contexto de su libro *Minerales Industriales de la República Argentina*, la ubicación, nombre de la mina, manifestación o indicio, una síntesis descriptiva general de los boratos, el modelo de depósito, leyes, reservas, morfología del cuerpo mineralizado, edad de la mineralización y unidad y edad de la roca de caja.

1.3. Aspectos geográficos

1.3.1. Clima

La Puna está comprendida dentro de la región de clima continental y según la clasificación de Davis (1910), corresponde a la región Andina. El clima es semidesértico con un índice de humedad ínfimo, muy frío en invierno con mínimas de -25°C y medias de 5°C , y en verano máximas de 30°C y medias de 15°C a 20°C . Las precipitaciones comienzan en noviembre y terminan a mediados de marzo. Las condiciones son rigurosas, con fuertes variaciones de la temperatura. Los vientos soplan permanentemente, aunque son más notorios en horas de la tarde. El exceso de agua es nulo durante todo el año y por las características del régimen de precipitación y temperatura, la evapotranspiración real y potencial alcanza sus valores máximos en verano (<https://inta.gob.ar/documentos/isohietas-anales-del-noroeste-argentino>), (Fig.2).

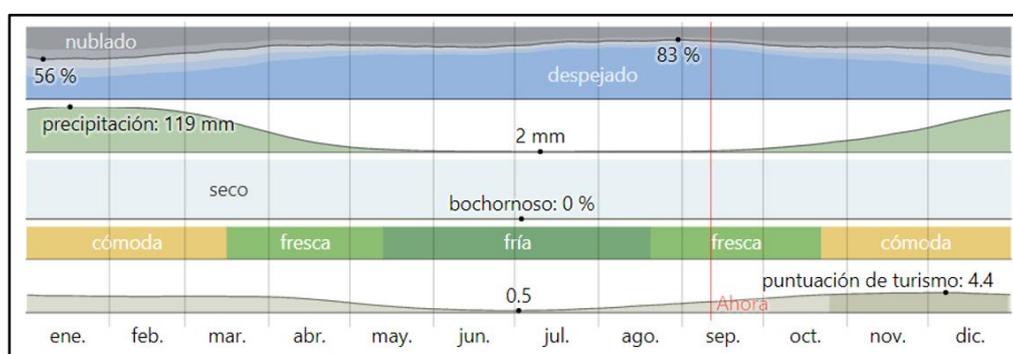


Figura 2. Variación de la temperatura a lo largo del año

El viento juega un papel importante en el movimiento de materiales sueltos, particularmente en algunos relieves desprovistos de vegetación. Tal vez su acción más notable sea el trabajo que realiza sobre las ignimbritas y otras rocas volcánicas a las cuales erosiona más fuertemente que en aquellas rocas correspondientes al Ordovícico. A lo largo del curso principal del río Toro se observan depósitos eólicos en sectores más anchos de la playa del río y en las márgenes con bajas pendientes (Bianchi y Yáñez, 1992).

Los vientos dominantes de la región corren desde el cuadrante noroeste y tienen su mayor intensidad a partir del mediodía con influencia durante todo el año. Los meses más ventosos son los correspondientes al invierno y principios de primavera, siendo los de mayor intensidad aquellos que se registran en el mes de agosto (Fig. 3).

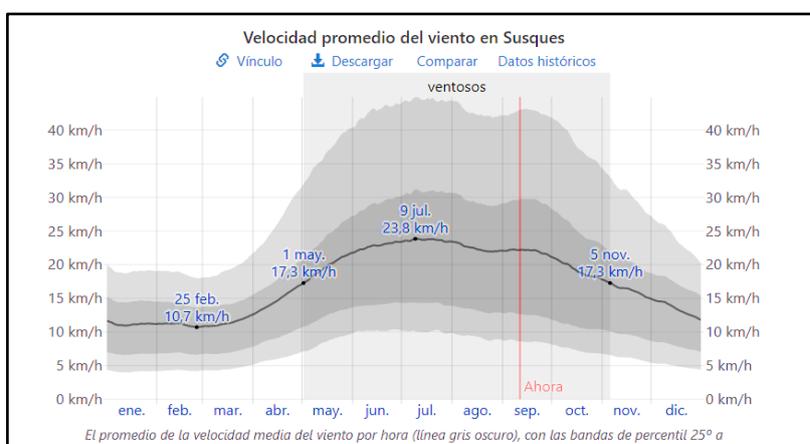


Figura 3. Velocidad del viento en el sector de estudio

Debido principalmente a efectos de la topografía, la Puna actúa como una aislada superficie de considerable calentamiento en gran altura (utilizando prácticamente toda la radiación neta disponible, dado que la evaporación es insignificante), y que desarrolla un fuerte ascenso de aire caliente en la atmósfera. Este, a su vez, es compensado por aire más frío procedente no solo de la atmósfera libre vecina, sino también de los pronunciados valles que bajan desde el borde oriental de la Puna. Los procesos antes mencionados también afectan en gran medida a la distribución de precipitaciones, régimen de heladas y otros parámetros climáticos (Solís y Ramírez, 2008).

Las precipitaciones anuales para la Puna en esta región muestran niveles promedio de entre 250-300 mm. La explicación de este fenómeno está dada por el hecho de que los vientos húmedos provenientes del Atlántico, han descargado la mayoría de la humedad en la Sierra de Santa Victoria, Yala, etc. y al superar estos picos, llegan con poca humedad a la Puna. La circulación del Pacífico solamente se hace notar en los picos que superan los 5.000 m.s.n.m. a través de las cumbres nevadas, particularmente en la Cordillera (Bianchi y Yáñez, 1992).

Si bien la Puna se encuentra ubicada en la zona de alta presión dentro de la circulación general de la atmósfera, donde se originan vientos con dirección predominante sudoeste, por su altitud sobre el nivel del mar, se genera un centro de baja presión con predominio de viento típico local.

Las velocidades máximas de los vientos se registran en los meses de primavera. A partir del mes de septiembre, se incrementa notablemente el goce de radiación neta; la amplitud térmica es elevada (20, 2°C para septiembre) y la humedad atmosférica se mantiene en esta época con valores mínimos. Los valores medios mensuales registrados en primavera oscilan entre los 10-12 m/s y el resto del año 6 m/s medidos a 10 m de altura.

La presión atmosférica alcanza valores máximos en los meses de Junio-Julio y valores mínimos en Diciembre-Enero. La humedad relativa anual estimada es de 47%. Si bien en los meses de verano la heliofanía efectiva sufre una ligera disminución, es casi constante el alto porcentaje de heliofanía. A medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, el peligro de heladas se hace más severo.

La región también se caracteriza por una deficiencia de agua en el suelo durante los meses de otoño, invierno y primavera. Esta deficiencia se manifiesta más en esta zona del departamento de Susques; durante 10 meses al año se producen insuficiencias y sólo en los meses de enero y febrero se logra una situación de equilibrio

Con respecto a la presión atmosférica, esta varía en función de la altura. En la zona de estudio, para una altura de 4.200, la presión media anual es de 550 hPa.

En la comarca donde se enmarca este trabajo, específicamente no existen datos meteorológicos, por lo que estos parámetros deben ser extrapolados de estaciones de medición cercanas que disponen de registros. En este caso, Susques (185 mm) y San Antonio de los Cobres (115 mm); por lo tanto, en el área de estudio se consideran entre 100 y 200 mm anuales, siendo el período más lluvioso el comprendido entre enero y marzo (Fig.4).

La temperatura media anual es de 8,6°C. El periodo de mayor calor corresponde a los meses de noviembre a febrero, con temperaturas medias mensuales del orden de los 12°C, mientras que el mes más frío es julio con 2,2°C. Las temperaturas máximas y mínimas medias son 16,4°C y -2,1°C, respectivamente. La temperatura máxima absoluta del periodo fue de 27°C, registrada en diciembre y la mínima absoluta -16°C en Julio.

En la región de la Puna el aire se encuentra enrarecido en función de la altura con una deficiencia de oxígeno y durante los momentos ventosos se encuentran con una alta carga de polvo en suspensión. El resto del año, el aire es limpio, transparente y se alcanza una gran visibilidad horizontal. En los tiempos secos hay alta electricidad atmosférica (Cabrera, 1958).

Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña. Importancia socio-económica para la comunidad de Jama

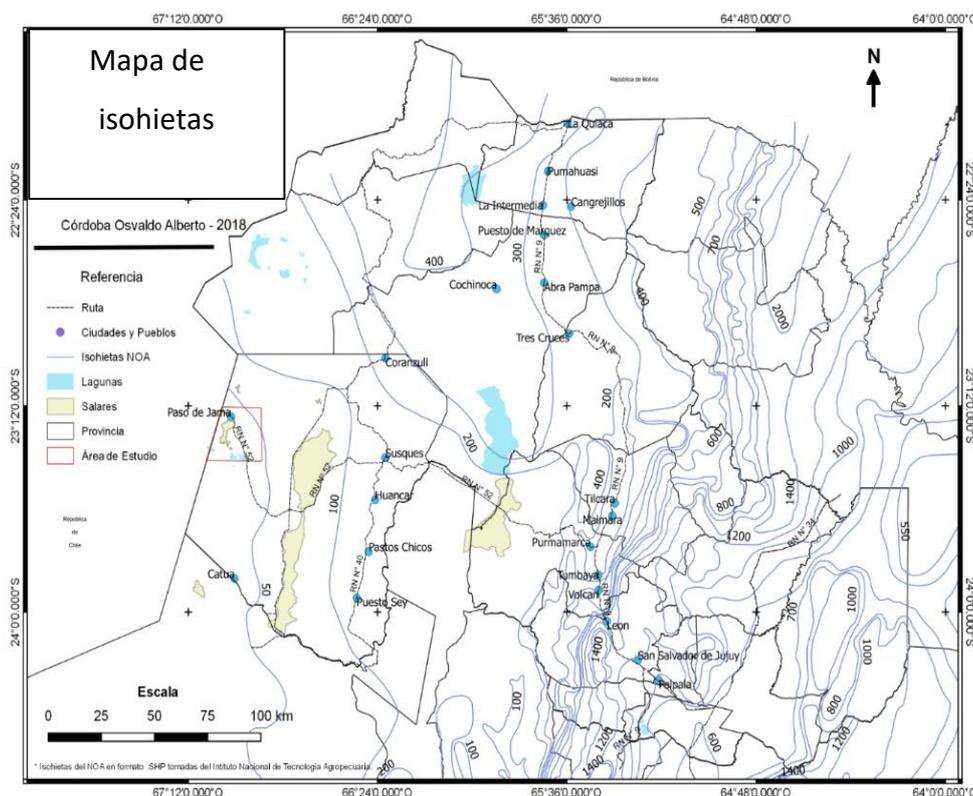


Figura 4. Mapa de isohietas de la provincia de Jujuy. Tomado de <https://inta.gob.ar/documentos/isohietas-anales-del-noroeste-argentino->

1.3.2. Flora

El área de estudio se encuentra dentro de la *Provincia Fisiográfica Altoandina* que tiene su límite inferior alrededor de los 4100 msnm. Comprende sobre todo las vertientes y cumbres de los grandes macizos, presentando tres comunidades principales de fisonomía diferente (Cabrera y Willink, 1980).

La Provincia Puneña se presenta como una vasta estepa de arbustos xerófilos que cubren las faldas suaves de las llanuras de piedemonte, interrumpida únicamente por algunos pastizales y por las comunidades asociadas a los ríos y lagunas (Cabrera, 1958, Cabrera, 1971; Cabrera y Willink, 1980).

En esta zona se debe destacar que las condiciones extremas del clima, la inexistencia de suelo y el recubrimiento de sales en superficie, solamente permite el desarrollo de algunas especies vegetales en las zonas de borde hacia fuera de la salina. Las presentes aunque muy escasa son de tipo xerófila y halófila, representada por arbustos bajos, plantas en cojín, hojas menudas, presencia de espinas, sistemas reticulares poderosos y profundos o superficiales expandidos, en el borde de la salina y hacia el pie de monte de las elevaciones ubicadas al este de la misma.

La Estepa Arbustiva formada por matas de hasta 40 cm de altura, como ser: estepas de Tolas, estepa de Tolilla, Añagüa, Surillanta, cojines de Yareta, pajonales de gramíneas duras. En las vegas que se encuentran en la margen oeste del de salar de Jama tiene bastantes pastos: iru, chillagua, cienego y gramíneas, leña de tola, añagua, tolilla, suriyanta y yareta (Fig.5a y b).

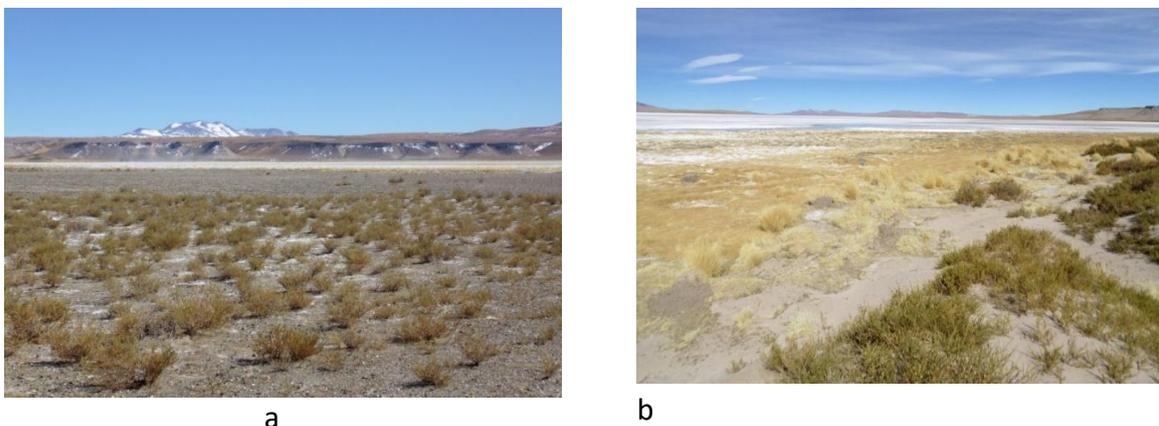


Figura 5: a. Vista de la estepa arbustiva al este de la salar de Jama y b. Asociación de varias especies

1.3.3. Fauna

En la mayor parte de la salina, la fauna se encuentra ausente restringiéndose solo a los bordes. Las especies citadas para la Puna son: a) mamíferos: vicuñas llamas, pumas, zorros, ratas, ratones, chinchillas, chinchillones, cuises y armadillos, b) Aves: ñandú petiso, perdices, queu y palomas, lechuzas y halcones y c) reptiles: lagartijas (Fig.6a).

Esta fauna está caracterizada por su adaptación a las condiciones extremas de vida, consecuencia de la gran aridez, la intensa radiación solar durante el día y las bajas temperaturas por la noche. Debido a esto, muchos animales son de hábito diurno, de noche se protegen debajo de las piedras y grietas, se entierran o adquieren ciertas condiciones fisiológicas que les permiten resistir el ambiente riguroso en el que se desarrollan (Cabrera, 1971).

En los bordes de las salinas se observan extensas áreas carentes de vegetación que presenta una gran cantidad de orificios en la tierra denominados ocultos (o tojos), desarrollada por unos pequeños roedores, lo que provoca múltiples inconvenientes, por ejemplo, destrucción de huellas de caminos que son poco transitables y la formación de verdaderos “peladares” de vegetación, dificultando las caminatas de reconocimiento de ciertos lugares.

En las vegas, ojos de agua y lagunas de los alrededores, son frecuentados por patos, flamencos (parinas), culi-culi, quevo y huayatas, entre otras. (Fig 6b).



Figura 6a. Vicuñas y 6b. Patos a orilla de un ojo de agua.

1.3.4. Reserva provincial – área protegida

Las lagunas de estudio junto con la Salina de Jama se encuentran dentro del Área de la Reserva Provincial Altoandina de la Chinchilla (Cuadro 1, Fig. 7), creada en el año 1992. Se encuentra localizada al oeste de la provincia de Jujuy, sobre una faja norte - sur, adosada al límite con la República de Chile. La Reserva cuenta con diecisiete centros localizados en la zona en los que se trabaja en la recuperación de la *chinchilla brevicaudata* en vías de extinción (SIB, 2013).

Cuadro 1: Reserva Provincial Altoandina de la Chinchilla	
Norma Legal	Decreto Provincial N° 2213 – E – 1992.
Ubicación	Provincia de Jujuy, Dpto. Susques y Rinconada.
Categoría	Área Protegida con Recursos Manejados.
Tenencia de Tierra	Fiscal Provincial.
Superficie	119.730 Ha.
Objetivo de su creación	Preservación de especies y diversidad genética. Conservación y recuperación de la Chinchilla (<i>Eriomis brevicaudata</i>). Protección de vicuña (<i>Vicugna vicugna</i>), y numerosas aves.

Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
 Importancia socio-económica para la comunidad de Jama

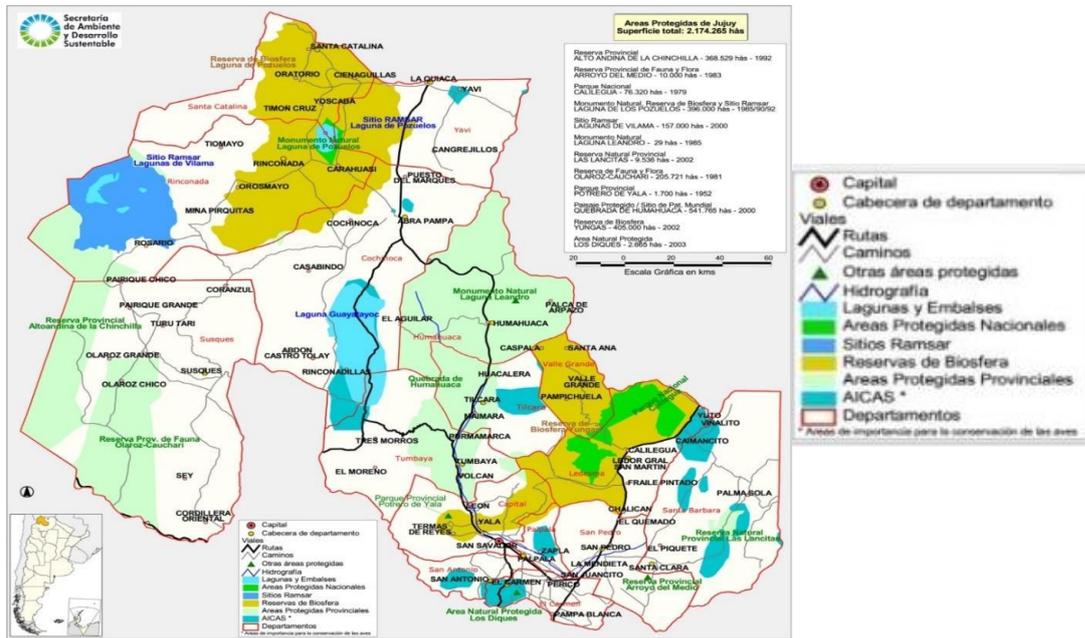


Figura 7: Mapa de Áreas Naturales Protegidas, de la Provincia de Jujuy (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable).

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- ✓ Describir y caracterizar los recursos de boratos de las lagunas **Mucar, Xilón y Agnia** que se ubican en inmediaciones del salar de Jama, que puedan contribuir a la determinación de nuevas áreas de potencial exploratorio.
- ✓ Profundizar en el conocimiento sobre las evaporitas cenozoicas de la Puna, en la provincia de Jujuy y su interés económico como minerales industriales.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Sintetizar el marco geológico de la zona de estudio: estratigrafía de las secuencias cenozoicas con manifestaciones evaporíticas de las provincias geológicas (Puna y Cordillera Oriental, fundamentalmente) en Jujuy.
- ✓ Determinar elementos que pudieran sumar a la factibilizar económica.
- ✓ Identificar el ambiente y condiciones de formación de las facies evaporíticas en ambientes salinos modernos, sumado a los aspectos metalogénicos, que permitan su utilización como guías de prospección y exploración de nuevos cuerpos potencialmente ocultos en el subsuelo del territorio puneño.
- ✓ Individualizar los posibles impactos ambientales en las distintas etapas de un proyecto minero desde la prospección al cierre de minas, posibles tareas de restauración.
- ✓ Encuadrar en el marco legal vigente.
- ✓ Analizar aspectos sociales y su impacto en la comunidad de Jama.
- ✓ Caracterizar el mercado. Enumerar sus usos y plantea posibles mercados.

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos que se realizaron para alcanzar los objetivos de este TFI fueron desarrollados en campaña, laboratorio y gabinete. La metodología será la clásica de los estudios de las Ciencias de La Tierra, en los aspectos estratigráficos, mineralógicos, geológico-económicos, como así también históricos, entre otros tópicos del método.

3.1. Tareas de campo

- ✓ Se realizaron los relevamientos de las lagunas **Mucar, Xilón y Agnia**, Puna jujeña con levantamientos geológico - mineros de semi-detalle y detalle de distintos depósitos, manifestaciones y yacimientos minerales de sectores mineros seleccionados.
- ✓ Se analizaron en forma detallada las manifestaciones minerales y estructuras favorables, caracterización de facies evaporíticas, tipos de rocas alojantes, análisis químico y prospección geoquímica de semi-detalle y detalle en sectores de interés, los que permitirán, en su conjunto alcanzar una caracterización y cuantificación integrados del recurso bajo un enfoque metalogenético.
- ✓ Se enfatizó el análisis relacionado a: Estructuras regionales – mineralizaciones de evaporitas, evaluando las vinculaciones espacio - temporales de los mismos.

3.2. Tareas de gabinete y laboratorio

Se describen las tareas realizadas:

- ✓ Recopilación de la información disponible y realización de perfiles, mapas geológicos, mapas temáticos y gráficos, en áreas objeto de la prospección. En el caso de yacimientos que han sido objeto de explotación se aplicó la misma metodología, a una escala de detalle.
- ✓ Estudios mineralógicos (observación de muestras de mano bajo lupa binocular y difracción de RX*),
- ✓ Análisis químico de las aguas recolectadas**.
- ✓ Descripción de los métodos de explotación y tratamiento más adecuados, como así también las tareas de eventuales de restauración y remediación.
- ✓ Planteo de los aspectos sociales y legales para tener en cuenta y se analizaron posibles mercados.

-Descripción de las técnicas

*** Los análisis de Difracción de Rayos X**

Se realizaron en el Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) en la ciudad de la Plata, en muestras de costras salinas. La técnica analítica de difracción de rayos X se utiliza para identificar y/o cuantificar las fases cristalinas. La identificación de una fase cristalina por este método se basa en el hecho de que cada sustancia en estado cristalino tiene un diagrama de rayos X que le es característico.

Estos diagramas están coleccionados en fichas, agrupados en índices de compuestos orgánicos, inorgánicos y minerales. Con el equipamiento adecuado se obtiene un diagrama de la muestra a determinar y se la compara con la base de datos para identificar los picos de cada sustancia cristalina que la compone. Se realizaron análisis de DRX de la roca total y de la fracción arcilla para caracterizar la composición mineralógica del material y en detalle los minerales de arcilla.

Las muestras se desagregaron y pulverizaron en un mortero de ágata siguiendo los métodos clásicos. Los minerales de arcilla se obtuvieron a partir del pipeteo de la fracción <2 micrones en una suspensión con agua destilada siguiendo la Ley de Stokes.

Se prepararon tres muestras según el método de los portaobjetos de vidrio: a) natural, muestra secada al aire en el laboratorio a temperatura ambiente; b) glicolada, muestra expuesta a los vapores de una solución de etilenglicol por lo menos durante 24 h; c) calcinada, muestra llevada a 550°C durante 2 horas.

Se utilizó un sistema de difracción de rayos X marca PANalytical, modelo X'Pert PRO con lámpara de Cu ($k\alpha=1.5403 \text{ \AA}$) que operó a 40 mA y 40 kV en el Centro de Investigaciones Geológicas (La Plata). Se escanearon ángulos 2θ de 4 a 37° para las muestras de roca total, 2 a 32° para las muestras naturales de la fracción arcilla, 2 a 27° para las muestras glicoladas de esa misma fracción, y 3 a 15 para las muestras calcinadas, con una velocidad de escaneo de 0.04°/s.

Se utiliza para la identificación los dos elementos: las fichas ICDD y el software, lo que hacemos es que se complementen entre sí. El software es el que viene con el equipo, es el X'Pert HighScore Plus.

**** Los análisis de muestras de agua**

Las muestras con distintos contenido salinos se tomaron en botellas de 1,5 litro de volumen, en los ojos de agua y en los pozos ejecutado hasta que se sobrepasó el nivel freático aproximadamente 48 cm. de profundidad y laguna. La toma de muestras se ubica en las márgenes de las lagunas y los ojos de agua, en consecuencia no es representativa de

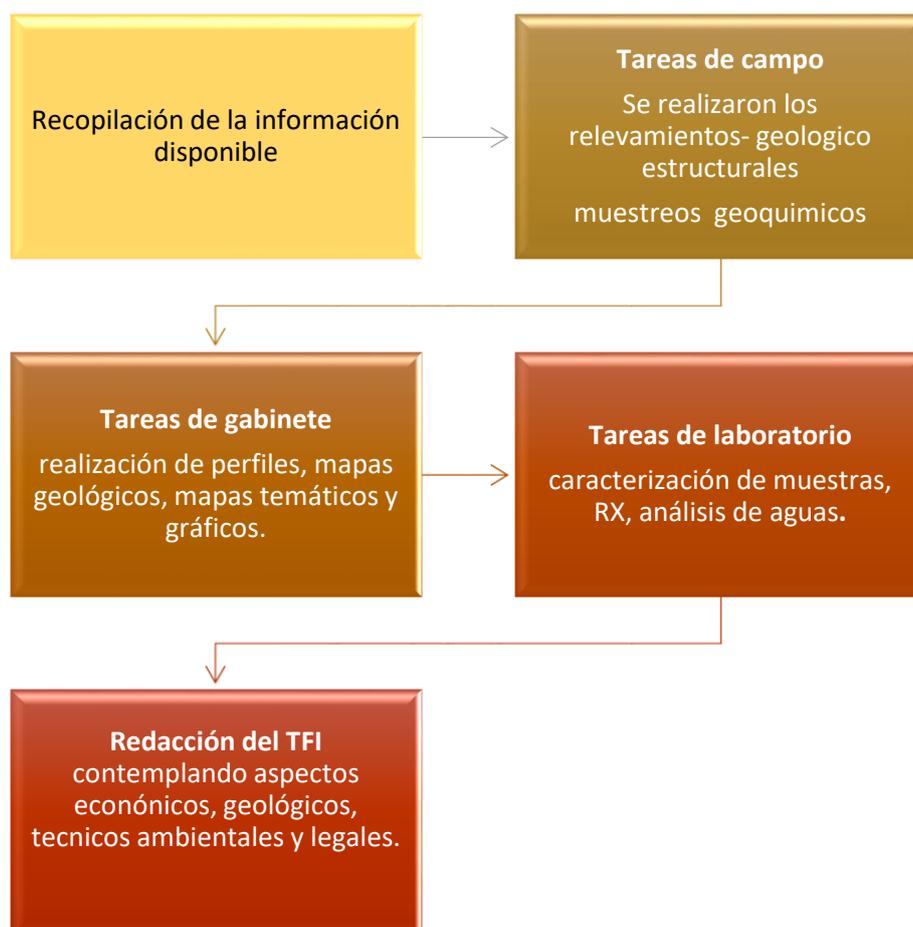
la composición global del contenido salino de las salmueras de la salina, pero brinda una valiosa información sobre el posible contenido de Li, K, Na y B₃ en disolución.

Las muestras de aguas fueron analizadas por Alex Stewart NOA S.A. donde cuentan con un laboratorio para análisis de litio, potasio y otros elementos por el Método ICP - OES.

Esta técnica analítica del plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES. En esta técnica, la introducción continua de la muestra líquida y un sistema de nebulización forma un aerosol que es transportado por el Argón a la antorcha del plasma, acoplado inductivamente por radiofrecuencia. En el plasma, debido a las altas temperaturas generadas, los analitos son atomizados e ionizados generándose los espectros de emisión atómica de líneas características. Los espectros son dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir las intensidades de las líneas. La información es procesada por el sistema informático.

En el Cuadro 2 se sintetizan las etapas seguidas en este TFI.

Cuadro 2: Etapas del trabajo



CAPÍTULO 4: LOS AMBIENTES EVAPORÍTICOS

4.1. Las evaporitas

Las evaporitas son las principales rocas sedimentarias químicas formadas por precipitación química directa de los componentes minerales presentes en una mezcla sobresaturada de sales (Warren, 1999). Su principal fuente de formación es el agua de mar, aunque también existen evaporitas continentales, formadas en lagos salados o en regiones desérticas que se inundan esporádicamente (SEGEMAR-UNSAM, 2005). Para que se formen es esencial que el ritmo de evaporación exceda al de los aportes de aguas manteniendo los niveles de sobresaturación (Warren, 2006). Existe un orden de precipitación relacionado con el grado de evaporación (Fig. 8). Para que precipiten los boratos el grado de evaporación debe ser extremo.

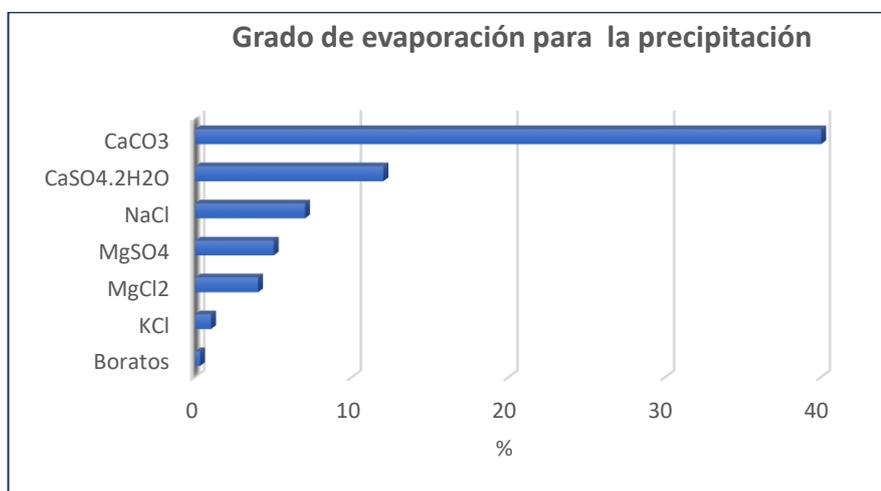


Figura 8. Grado de evaporación para la precipitación de la sal.

4.1.1. Caracterización de evaporitas continentales

Warren (2010), propone un modelo para evaporitas continentales es el de una cuenca cerrada con un nivel somero de agua subterránea y un ambiente de *playa-lake* con una topografía prácticamente horizontal y plana, con una distribución concéntrica. La vegetación es escasa a ausente y sus registros fósiles son muy pobres debido a la capacidad química disolvente.

Las variaciones al modelo facial están dadas por el clima, la composición y origen de las aguas subterráneas y el marco geológico. Ello también determina el tipo, cantidad y distribución de las minerales evaporíticos en los ambientes continentales (Kendall, 1992).

En las cuencas intermontanas estos depósitos evaporíticos presentan un perfil característico en los siguientes subambientes:

1) Abanicos aluviales y llanuras arenosas, corresponden a los depósitos ubicados adyacentemente a la cordillera, los cuales están compuestos principalmente por los sedimentos más gruesos que van decreciendo a medida que se acerca más a la cuenca, la llanura arenosa cuenta con la formación de dunas y otras formas de acumulaciones eólicas;

2) Planicies fangosas, esta zona de la salina se caracteriza por componerse de material mucho más fino como limos o arcillas, la pendiente de esta zona es casi nula y está ubicada más próxima a la parte central;

3) Planicie limo-arcillosa salina, comprende la parte más externa de la playa desecada donde se dan de manera ocasional cuerpos salinos lacustres someros o intersticiales ya que es el agua subterránea la que por bombeo precipita principalmente las sales de baja concentración y

4) Lago salino, es la zona más deprimida de la playa, puede encontrarse seco o con una lámina de agua mantenida por el flujo de agua subterránea y es allí donde se da la mayor precipitación de halita.

La figura 9 muestra un esquema de distribución de subambientes deposicionales en sistemas evaporíticos continentales (Eugster y Hardie, 1978).

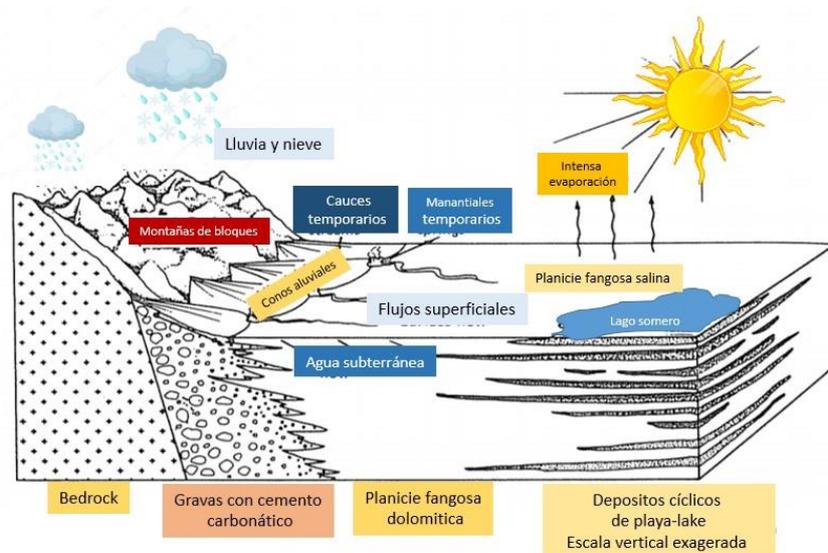


Figura 9. Esquema de distribución de subambientes deposicionales en sistemas evaporíticos (Modificado de Eugster y Hardie, 1978).

Un corte esquemático de los ambientes deposicionales en una cuenca continental con desarrollo de una *Playa Lake* se muestra en la figura 10 (modificada de Hardie et al., 1978).

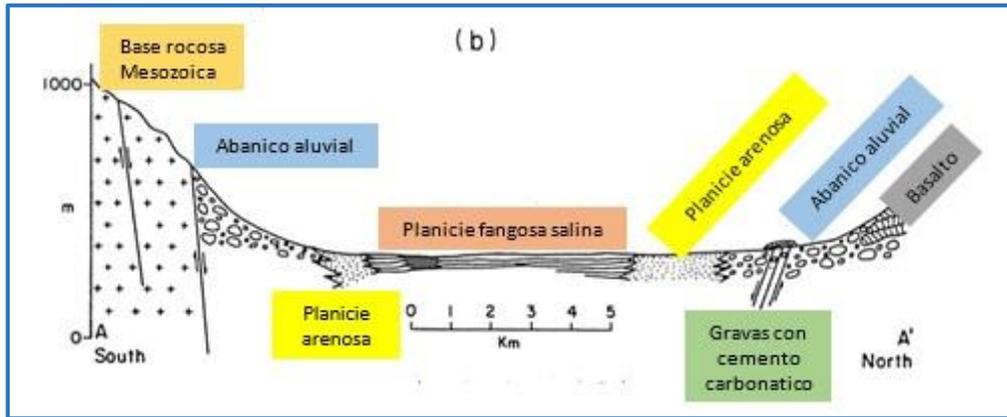


Figura 10. Muestra un corte esquemático de los ambientes deposicionales en una cuenca continental con desarrollo de una Playa Lake (Hardie, et al., 1978).

Dentro de los ambientes continentales se incluyen los denominados Salares. Cordini (1967) define un salar como una cuenca endorreica en la que se han acumulado sales con mayor diversidad composicional que las aguas marinas (trona, mirabilita, bórax, entre otros). La figura 11 muestra la zonación de ambientes en cuencas evaporíticas continentales.

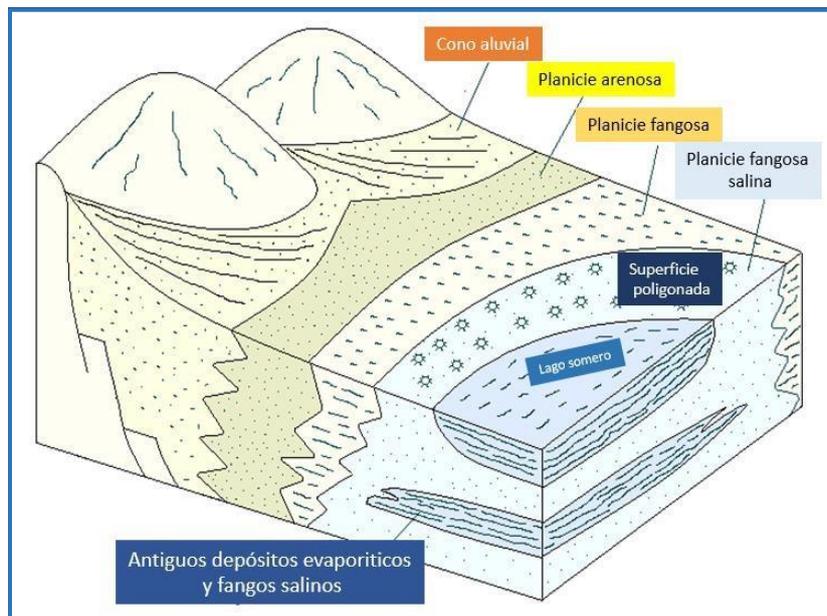


Figura 11. Zonación en ambientes en cuencas evaporíticas continentales (modificado de Eugster y Hardie, 1978).

La intensa evaporación en los salares hace que la salinidad de estas aguas sea muy superior a la de las aguas del mar, en algunas ocasiones llega a ser un 30% mayor. El balance entre zonación de ambientes en cuencas evaporíticas continentales (modificado

de Eugster y Hardie, 1978) la tasa de evaporación y el aporte de agua, condiciona la evolución del yacimiento.

Los cambios en las condiciones deposicionales puede ser rápidos, profundos, y comúnmente resultan en facies superimpuestas, haciendo dificultoso el reconocimiento del ambiente.

Las evaporitas son susceptibles de cambios completos post deposicionales que pueden remover los rasgos primarios. Así, después de su depositación, las evaporitas están sujetas a procesos diagenéticos tempranos que alteran la mineralogía original y los rasgos sedimentarios hasta llegar a la obliteración de las características originales, y llevan a una completa remoción por disolución. De esta manera muchas evaporitas no son estrictamente precipitados primarios. Ellas son minerales diagenéticos (neocristales) emplazados dentro de otros sedimentos o son reemplazos diagenéticos de verdaderos precipitados primarios.

4.2. El boro

4.2.1. Características generales

El boro se indica en la tabla periódica con el símbolo B, número atómico 5 y masa atómica 10,81. El boro elemental, que tiene propiedades semimetálicas y semiconductoras se encuentra en el Grupo 3A en la tabla periódica [BORAX ARGENTINA S.A.](#)

El boro existe en la naturaleza como dos isótopos – B10 y B11. En general, los boratos se encuentran en la naturaleza como el isótopo B10 entre el 19,1-20,3 % del tiempo y el isótopo B11 entre el 79-80,9 % del tiempo.

El boro elemental, que no se encuentra en la naturaleza, forma enlaces con varios elementos metálicos y no metálicos para producir compuestos con propiedades diferentes. Por lo tanto, los compuestos de borato pueden usarse en muchas industrias diferentes dependiendo de los diversos químicos de enlace. Se clasifica como metaloide y es el único elemento no metálico con menos de cuatro electrones en la capa externa. La forma cristalina es un sólido quebradizo, muy duro. La forma amorfa es menos densa que la cristalina.

El inglés Humphry Davy (1778-1829) aisló boro en pequeños granos oscuros y duros. Además en 1808 descubrió el magnesio. Por su parte los químicos franceses Louis-Jacques Thenard (1777-1857) y Louis-Joseph Gay-Lussac (1778-1850), aislaron por su cuenta el boro también en 1808. La ciencia los reconoció conjuntamente a Davy, Thenard y Gay-Lussac como los descubridores oficiales del elemento boro.

Se conocen cien minerales de boro. Los principales boratos se enumeran en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Minerales de boro

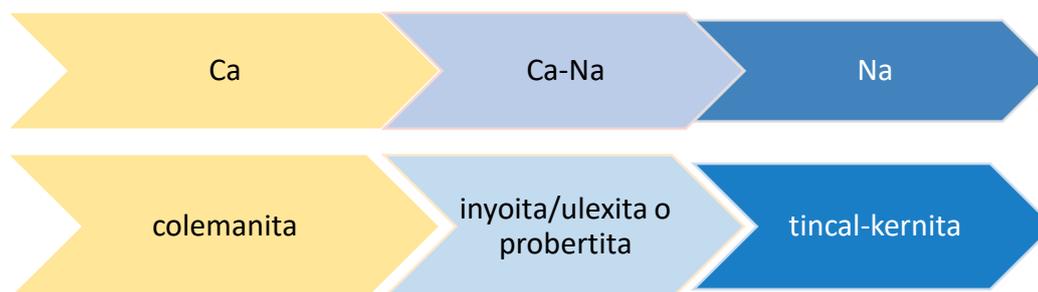
MINERAL	Fórmula Química	% B ₂ O ₃
Tincal (bórax)	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .10 H ₂ O	36,5
Tincalconita	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .5 H ₂ O	47,8
Kernita	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .4 H ₂ O	51,0
Colemanita	2CaO. 3B ₂ O ₃ .5 H ₂ O	50,8
Ulexita	Na ₂ O.2CaO.5B ₂ O ₃ .16 H ₂ O	43,0
Probertita	Na ₂ O.2CaO. 5B ₂ O ₃ .10 H ₂ O	49,6
Priceita	2CaO. 5B ₂ O ₃ .7 H ₂ O	49,8
Sassolita	B(OH) ₃	41,4
Szaibelyita	2MgO.B ₂ O ₃ .H ₂ O	56,4
Hidroboraquita	CaO. MgO. 3B ₂ O ₃ .6 H ₂ O	50,5
Boracita	Mg ₇ Cl ₂ B ₁₆ O ₃₀)	54,67

El borato más conocido es el bórax, que se forma por evaporación de lagos salados y como eflorescencias en la zona superficial de algunas pocas regiones volcánicas y áridas del mundo. Generalmente en cuencas cerradas o lagos secos Los cuatro más abundantes en la naturaleza son tincal, ulexita, colemanita y kernatita.

✓ **Zonación.**

Los boratos tienden a formar sistemas evaporíticos tipo “bull-eye”, con una zonación química y mineralógica que gradan desde los bordes hacia el centro de la cuenca en el siguiente orden químico (Cuadro 10):

Cuadro 4: Zonación mineralógica



Sólo cuatro yacimientos a nivel mundial tienen la secuencia completa: Kirka, Boron, Tincalayu y Loma Blanca. El resto de los depósitos neógenos puede tener representadas las facies de boratos de Ca y/o Ca-Na y de Ulexita secundaria. La presencia de este borato puede ser una guía directa.

La ulexita es el borato más ampliamente distribuido y aparece en toda clase de depósitos, por ser el más estable en condiciones atmosféricas y por formarse de la alteración de otros boratos, puede ser un indicador directo de mineralización subsuperficial.

Los minerales dominantes son bórax o tincal (Loma Blanca), inyoita (Loma Blanca). Ulexita está presente en todos los depósitos neógenos y cuaternarios. Los boratos cuaternarios se han formado en salares activos al menos desde el Pleistoceno medio hasta la actualidad. Los depósitos cuaternarios más antiguos corresponden a la Formación Blanca Lila (0,3 Ma) en el salar de Pastos Grandes con presencia de inyoita y ulexita.

Los demás depósitos de boratos en salares se han estado formando al menos en los últimos 100 ka. Las especies boratíferas en salares corresponden mayormente a ulexita de amplia distribución y en menor medida a bórax o tincal (Cauchari, Turi Lari, Lina Lari) e inyoita (Lagunita, Jujuy).

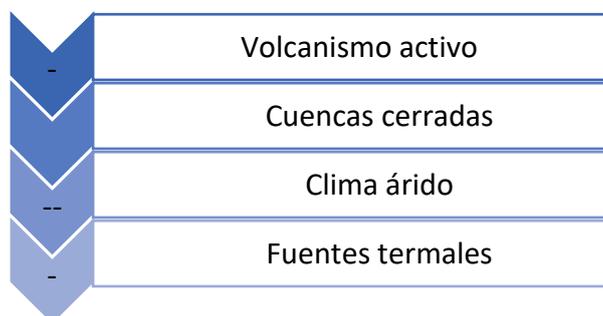
También tiene importancia la presencia de géiseres y manantiales boratíferos, activos y extinguidos, que han derramado soluciones boratíferas (Chillicolpa, Tacna, Perú; Arituzar, Jujuy, Antuco, Salta). Para mayor referencia véase Alonso (1986), Alonso y Viramonte (1987), Alonso et al. (1985, 1987, 1990), Viramonte et al., 1984, Alonso y Viramonte (1996); Alonso y Ruiz, (1997); Alonso et al. (2016) y los trabajos allí citados (Alonso, 2000).

En salar de Jama: predomina ulexita, y en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia, ulexita.

4.2.2. Tipos de depósitos

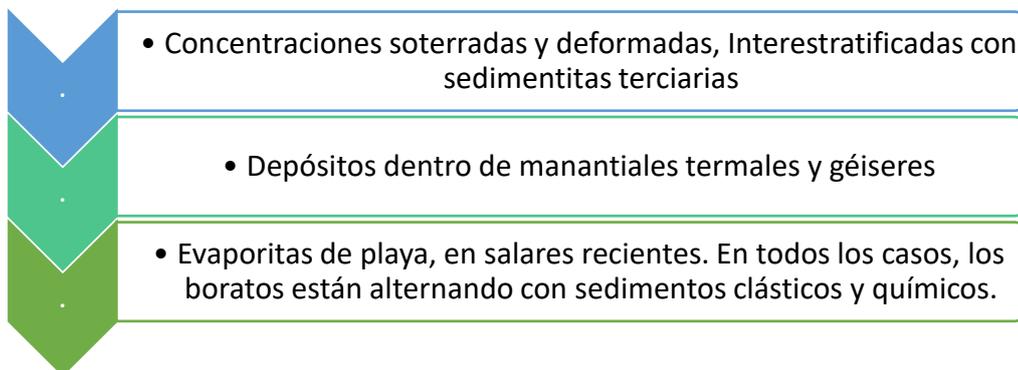
Los depósitos y yacimientos de interés económico están relacionados con la concurrencia de varios factores asociados como son los presentados en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Factores de formación



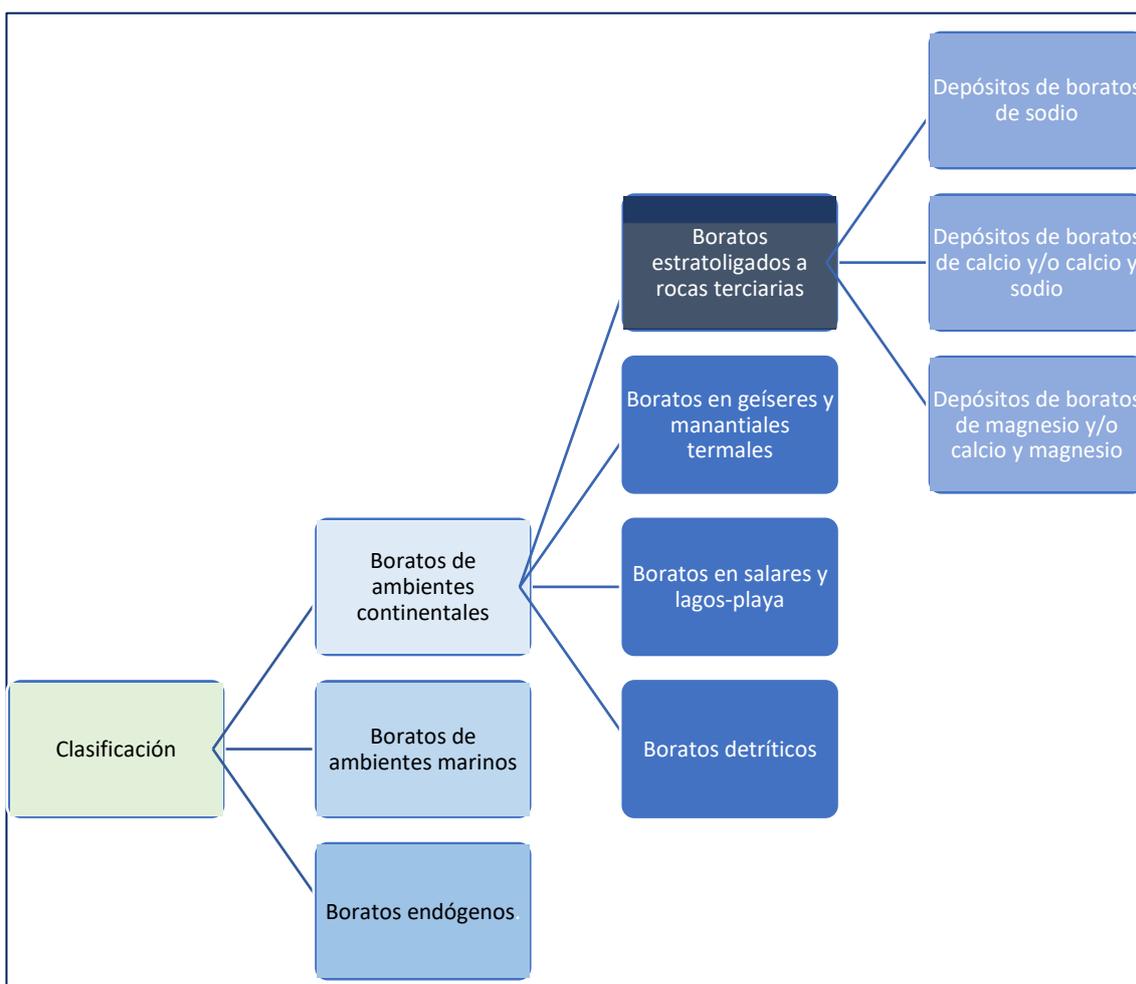
Los tres tipos principales de depósitos son los enunciados en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Tipos de depósitos



Alonso y Ruíz (1997), establecen una clasificación tentativa de los depósitos de boratos siguiendo criterios geológicos, genéticos, mineralógicos y químicos (Cuadro 7).

Cuadro 7: Clasificación de boratos según (Alonso y Ruíz, 1997)



4.2.3. Geoquímica

Las evaporitas fósiles y actuales pueden proveer información sobre el tipo de agua en que se formaron, la temperatura y salinidad de las salmueras así como el grado de aislamiento de la cuenca.

Goldschmidt y Peters (1932), descubrieron que el boro se concentra preferentemente en sedimentos marinos. A partir de la década de los cincuenta, numerosos investigadores han estudiado el comportamiento geoquímico de este elemento, sobre todo en sedimentos arcillosos, y su posible utilización como indicador de paleosalinidad.

El boro constituye el 0,001% en la corteza terrestre. No se ha encontrado libre. Está también presente en el agua de mar en 4,6 ppm y en aguas continentales 0,1 ppm. Existe en pequeñas cantidades en la mayoría de los suelos (450ppm) y es un constituyente esencial de varios silicatos tales como la turmalina y la datolita. (Anovitz y Grew, 2018).

Asociado a los depósitos de boratos se han encontrado con frecuencia mineralizaciones de sulfuro de arsénico (rejalgar, oropimente), sulfato de estroncio (celestina), arcillas con litio (hectorita, Muessig, 1966), óxidos de hierro y manganeso relacionados a los travertinos, sulfuro de antimonio (antimonita), entre otros.

Las anomalías geoquímicas de arsénico, estroncio y litio pueden tomarse como guías útiles positivas en la búsqueda de evapofacies boratíferas [Argentina Mining 2000 \(ciencias.org.ar\)](http://ciencias.org.ar).

4.2.4. El boro en el ambiente y en los seres vivos

⊕ En el ambiente

El boro puede ser liberado al aire, al agua o al suelo como consecuencia de la meteorización de suelos y rocas. El boro se encuentra ampliamente distribuido en agua de superficie y en agua subterránea. El Cuadro 8 muestra las concentraciones media de boro en según [Resumen de Salud Pública: Boro \(Boron\) | PHS | ATSDR \(cdc.gov\)](https://www.cdc.gov/atsdr/toxology/monographs/monograph10.pdf),

Cuadro 8. Concentraciones media de boro

agua de superficie	•0,1 mg por litro (mg/L)
agua subterránea	•hasta 300 mg/L en áreas con depósitos naturales ricos en boro
agua potable	•hasta 0,4 mg/L
suelo	•26 y 33 mg por kilogramo (mg/kg).
aire	•0,00005 mg de boro por (mg boro/m ³).
El aire del lugar de trabajo	•polvo en el aire han oscilado entre aproximadamente 0,5 y 3 mg boro/m ³

*Manufacturas vidrio, plantas de energía en base al carbón, fundiciones de cobre.

⊕ En la agricultura

La presencia de boro en cantidades muy pequeñas parece ser necesaria en casi todas las plantas, pero en grandes concentraciones es muy tóxico para la vegetación. (Nable et al. 1997). La nutrición adecuada con boro es fundamental para lograr altos rendimientos y calidad de los cultivos. Las deficiencias de boro provocan muchos cambios anatómicos, bioquímicos y fisiológicos en las plantas. Las principales funciones del boro se relacionan con el desarrollo y la resistencia de las paredes celulares, la división celular, el desarrollo del fruto y las semillas, el transporte de azúcares y el desarrollo de las hormonas.

Algunas de las funciones del boro se interrelacionan con las del nitrógeno, el fósforo, el potasio y el calcio en las plantas. Una nutrición equilibrada es esencial para un óptimo crecimiento del cultivo

La determinación de las funciones del boro en la nutrición de las plantas fue el objetivo de numerosas investigaciones durante varios años. El conocimiento de las funciones atribuidas al boro aún es limitado porque muchas de las funciones del boro, aparentemente, tienen efectos secundarios en la nutrición de las plantas. Actualmente, se cree que los efectos fisiológicos más importantes del boro en las plantas son un rol relacionado con la estructura de las paredes celulares, un rol en cuanto al funcionamiento de las membranas, y una estimulación o inhibición de vías metabólicas específicas. (Bingham, 1973; Hua et al., 2021. [Funciones del boro en la nutrición de las plantas | U.S. Borax](#)).

El boro participa, junto con el calcio (Ca), en la estructura de las paredes celulares. El boro está involucrado en el movimiento del Ca en la planta y en la nutrición normal de Ca en las plantas y los animales. Existe una similitud entre el desarrollo de los huesos en los animales y el desarrollo de las paredes celulares en las plantas. Por ejemplo, el problema del “corazón hueco” en el cacahuete puede producirse cuando una escasez de boro limita el movimiento del calcio, el desarrollo normal de las paredes y de la división celular.

⊕ En el ser humano

El boro puede entrar al cuerpo cuando a través de los alimentos (frutas y hortalizas), el agua, el polvo o la piel entra en contacto con esta sustancia. (Murray, 1995).

Según el National Institutes of Health (NIH), el boro es un mineral que se encuentra en muchos alimentos: Frutas y jugos de frutas, como uvas pasas, duraznos y ciruelas, y jugos de uva, palta, papas, legumbres, como maní, frijoles y guisantes verdes, café, leche, sidra, vino y cerveza, entre otros. El boro está presente en los suplementos dietéticos en una variedad de formas. Estas formas incluyen aspartato de boro, citrato de boro, gluconato de boro, glicinato de boro y fructoborato de calcio.

Algunos estudios han tratado de determinar si el boro reduce los síntomas de la osteoartritis, quizás al reducir la inflamación. Otros estudios han tratado de determinar si el boro ayuda a mantener los huesos sanos. Por otro lado, se está estudiando si el boro podría ayudar a reducir los riesgos de cáncer.

El boro en alimentos y bebidas no es nocivo. Sin embargo, puede ser perjudicial si una persona ingiere accidentalmente productos de limpieza o pesticidas que contienen ciertas formas de boro, como el bórax (borato de sodio) o el ácido bórico. Los síntomas de exceso de boro incluyen náuseas, vómito, diarrea, erupciones cutáneas, dolor de cabeza y convulsiones. [Boro - Datos en español \(nih.gov\)](#).

La mayor parte del boro abandona el cuerpo en la orina. Más de la mitad del boro que se ingiere se puede encontrar en la orina en 24 horas y la otra mitad se puede detectar en la orina por hasta 4 días.

⊕ En los animales

Los estudios en perros, ratas y ratones indican que los órganos reproductivos de los machos, son afectados por la ingestión breve o prolongada de cantidades altas de boro. ([Resumen de Salud Pública: Boro \(Boron\) | PHS | ATSDR \(cdc.gov\)](#)). En un estudio en ratas y ratones a los que se administró de por vida ácido bórico en la dieta no se observó evidencia de cáncer.

CAPÍTULO 5: LOS DEPÓSITOS DE BORATOS MUNDIALES Y EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

5.1. Introducción

La Puna argentina, junto a los Andes Centrales de Chile, Bolivia y Perú, forma parte de una de las cuatro regiones en el mundo que contienen depósitos de boratos. Las otras tres son la meseta de Anatolia en Turquía., el suroeste de los Estados Unidos (California, Nevada) y el plateau del Tíbet.

La evolución geológica de esas regiones fue similar pero no idéntica. Sin embargo, predominaron condiciones geológicas y climáticas donde la concurrencia del volcanismo, las aguas termales, las cuencas cerradas con drenaje endorreico y el clima árido crearon el marco adecuado para la precipitación química de las sales de boro en viejos lagos salados o en salares.

Se presenta aquí una síntesis de los trabajos de Helvacı y Alonso (2000). Alonso (2017), Helvacı et al., (2012) y Helvacı, (2017).

La figura 12 muestra la ubicación de los principales depósitos en el mundo



Figura 12: Principales depósitos a nivel mundial

5.1.1. Provincia boratífera de Anatolia (Turquía)

Contiene los mayores depósitos de boratos del mundo

✓ Ubicación: Hacia el noroeste de Anatolia. La región está enmarcada por los montes Póntides en el norte (sobre el Mar Negro) y los montes Táurides en el sur (sobre el Mar Mediterráneo).

✓ Edad: Sólo se presentan boratos de edad Neógeno, mientras que los salares están ausentes dado el clima mediterráneo de la región. Durante el Mioceno inferior (entre 19 y 17 Ma), la región de Anatolia albergó lagos en un ambiente volcánico activo con aportes de aguas termales ricas en boro

✓ Mineralogía: Boratos sódicos (tincal), calco-sódicos (ulexita) y cálcicos (colemanita). Las evaporitas convencionales, halita y yeso, están ausentes salvo en un depósito con capas de yeso (Sultancahir).

✓ Estratigrafía; Las secuencias que albergan secciones boratíferas son de naturaleza volcaniclástica, lacustres, verdosas con importantes intercalaciones de travertinos en base y techo.

✓ Yacimientos más notables: Kirka, Emet, Bigadic y Kestelek.

☼ Kirka es el depósito más grande del mundo de boratos de sodio (Fig.13). La secuencia boratífera muestra una zonación química y mineralógica con el siguiente orden de base a techo: colemanita (Ca), ulexita (Ca-Na), tincal (Na), ulexita (Ca-Na), colemanita (Ca). El tincal se presenta en ritmitas finas milimétricas formadas por capas de tincal separadas por una película de arcillas hectoríticas (Li).



Figura 13. Yacimiento de Kirka Tomado de [DJI_0019.jpg \(1300x795\) \(etimineusa.com\)](#)

☼ Emet es el yacimiento más grande de colemanita. La secuencia es similar a la de Kirka pero sin la facies boratada sódica (Fig.14). El mineral dominante es colemanita que está acompañada por grandes cantidades de sulfuros de

arsénico (rejalgar, oropimente). La colemanita ocurre en forma nodular donde los nódulos alcanzan desde pocos centímetros hasta un metro de diámetro.



Figura 14. Yacimiento de Emet. [emet_6.jpg \(1300x883\) \(etimineusa.com\)](#)

5.1.5. Provincia boratífera norteamericana

Alonso (2017) indica que los depósitos de boratos en América del Norte se encuentran en el SW de los Estados Unidos (California, Nevada) y norte de México (Sonora). Forman parte de la provincia morfotectónica del “Basin and Range”, un área extensional al nivel del mar. Se conocen depósitos neógenos y cuaternarios. Los neógenos tienen rangos de edades entre 24 y 6 Ma, estando los más antiguos en el norte de México en el desierto de Sonora (Tubutama, Magdalena). Los depósitos cuaternarios corresponden a playas, playas-lake o salinas (salt pan), donde el mayor ejemplo es el Valle de la Muerte (Death Valley, Harmony Borax), (Fig.15).

El principal depósito Neógeno es Boron (o Kramer) en el desierto de Mojave. Se trata del mayor productor de boratos a nivel mundial (US Borax). La columna estratigráfica está formada por una colada basáltica (F. Saddleback) sobre la que se apoya una sección volcániclastica, lacustre, boratífera, verdosa, con una edad de 18 Ma, integrada de base a techo por colemanita/ulexita/tincal-kernita/ulexita/colemanita. El bórax se presenta en ritmitas centimétricas y se formó en un lago alcalino poco profundo como lo demuestra la presencia de icnitas de aves (Anatidae). En discordancia se apoyan areniscas arcósicas de edad NALMA Hemigfordiano (Mioceno superior).



Figura 15: Death Valley, Estados Unidos

En los laterales del Death Valley se encuentra la Formación Furnace Creek, de 6 Ma, que alberga una sección boratífera formada principalmente por facies boratadas cálcicas y calco-sódicas (colemanita, probertita y ulexita). Actualmente es un parque nacional. Los depósitos históricos de boratos son Ryan, Sigma, White Monster, Cerro Blanco, Widow, y fuera del valle, Billie, Terry, Shoshone, Amargosa, Three Kids, entre otros.

En Nevada se encuentra Anniversary, con una secuencia lacustre acompañada de travertinos que conservan las paleo bocas termales y abundantes pisadas de aves. La mineralización dominante allí es colemanita. Referencias sobre los depósitos norteamericanos corresponde a Smith (1985), Barker y Lefond (1985), Alonso (1986), Kistler y Helvacı (1994), Smith y Medrano (1996), Garret (1998), Helvacı et al (2012), entre otros.

5.1.3. Provincia boratífera tibetana

La provincia boratífera del Tíbet se encuentran en un marco geodinámico completamente diferente al resto de los depósitos de boratos, ya que el alto Plateau del Tíbet es consecuencia de la convergencia de dos placas continentales; India y Asia. Con alturas entre 4000 y 5000 m sobre el nivel del mar, alberga salares boratíferos magnesianos, formados por el aporte de aguas termales y la evaporación del ambiente árido. No se conocen depósitos neógenos al presente. Los salares albergan especialmente ulexita y boratos de magnesio, eventualmente tincal, y las salmueras tienen contenidos en litio.

China produce minerales de borato y compuestos de depósitos en las provincias de Liaoning, Xizang (Tíbet) y Qinghai. Los minerales son boratos de magnesio, szaibelyita

(ascharita), con ludwigita y suanita asociada a magnesita, magnetita y tierras raras. Los minerales ocurren como vetas en Proterozoico temprano (2300 Ma). Los cuerpos minerales están estrechamente relacionados con los granitos Liaoji. Las leyes son bajas para los estándares occidentales, 5 a 18% B₂O. ,

La producción de Qinghai proviene de tres depósitos tipo playa lake en la Cuenca Tsaidam del centro-sur de China. Los principales boratos son la ulexita, la pinnoita, la hidroboracita y el bórax. Informes recientes indican que las costras superficiales de principalmente la ulexita y la pinnoita y que la mayor parte de la producción. (Helvacı, 2017).

5.1.4. Provincia boratífera centroandina

La Provincia boratífera Centroandina (o sudamericana) se encuentra localizada entre la Cordillera de la Costa en Chile y el borde oriental del Altiplano-Puna. Comprende depósitos de boratos neógenos y cuaternarios, formados en los últimos 7 Ma.

Según Alonso (2006), el segmento centroandino contiene el arco volcánico principal que en algunos tramos sirve de divisoria a los países de la región. De dicho arco, nacen cadenas transversales que se dirigen hacia el este y que están claramente identificadas en la Puna argentina Coira et al ,1982)

El plateau altoandino, está cerrado como una sola gran cuenca precisamente entre el arco volcánico principal y una cadena tectónica que lo acompaña paralelamente en su flanco oriental. Esta cuenca de primer orden está a su vez dividida en otras cuencas menores que se endorreizan ya sea por las cadenas volcánicas transversales, volcanes saltuarios o bloques tectónicos elevados internos.

El clima es propio de una región a más de 3700 m.s.n.m., limitada por una barrera orográfica que frena la entrada de los vientos húmedos, más precisamente los vientos húmedos atlánticos. Los vientos descargan gran parte de su humedad en las montañas orientales y pasan secos a la región altoandina que se convierte así en un desierto a la sombra de las lluvias. Las precipitaciones pluviales y nivales, alcanzan para generar una semiaridez con agua suficiente para alimentar fuentes termales y cuerpos de tipo “playa-lake”.

Las fuentes termales ubicadas en los bordes de los salares o en quebradas de los bloques montañosos laterales han sido las encargadas de transportar el boro, dando incluso lugar a ejemplos espectaculares de manantiales boratíferos (Coyahuaima, Arituzar Alumbrio, otros) incluso en algunos casos activos como ocurre con la fuente termal de Antuco (Olcapato, Salta) o el géiser de Chilicolpa (Tacna, Perú) (Muessig, 1966; Alonso, 1986; Alonso, 1999, entre otros).

Los boratos neógenos yacen en serranías sobre el flanco de algunos salares mayores como Antofalla, Hombre Muerto (Tincalayu), Pastos Grandes (Sijes) y Cauchari, o bien en depocentros aislados (Loma Blanca, Morro Blanco). Todos ellos responden a secuencias volcanoclásticas, lacustres, evaporíticas, formadas en un ambiente de volcanismo activo, cuencas cerradas, termalismo hídrico y clima árido. Los minerales dominantes según (Aristarain y Hurlbut (1972) y Aristarain (1992), son bórax o tincal (Tincalayu, Loma Blanca), hidroboracita y colemanita (Sijes), inyoita (Sijes, Loma Blanca).

La ulexita está presente en todos los depósitos neógenos y cuaternarios. Los boratos cuaternarios se han formado en salares activos al menos desde el Pleistoceno medio hasta la actualidad. Los depósitos cuaternarios más antiguos corresponden a la Formación Blanca Lila (0,3 Ma) en el salar de Pastos Grandes con presencia de inyoita y ulexita. Los demás depósitos de boratos en salares se han estado formando al menos en los últimos 100 ka.

Las especies boratíferas en salares corresponden mayormente a ulexita de amplia distribución y en menor medida a bórax o tincal (Cauchari, Turi Lari, Lina Lari) e inyoita (Laguna Salinas, Perú; Lagunita, Jujuy). También tiene importancia la presencia de géiseres y manantiales boratíferos, activos y extinguidos, que han derramado soluciones boratíferas (Chillicolpa, Tacna, Perú; Arituzar, Jujuy, Antuco, Salta).

El orógeno centroandino constituyen el principal orógeno no colisional a escala planetaria y contienen el segundo plateau de importancia mundial luego del Tíbet (Isacks, 1988. Se formó por la convergencia y subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana. Es interesante destacar que la zona donde se desarrolla el arco volcánico es la misma que contiene al plateau del Altiplano-Puna y coincide con una subducción considerada normal de 30°E. Al norte y sur del segmento centroandino, esto es donde termina el arco volcánico aproximadamente a los 15° N y 28° S se extienden segmentos de subducción somera conocidos como "flat slab regions" (Jordan et al., 1983; Kay et al. 1995 ; Allmendinger et al. 1997).

La provincia volcánica centroandina (CVZ), coincidente con la "subducción normal" acompaña al plateau Altiplano-Puna y es la portadora de una anomalía planetaria en boro y otros elementos volcanogénicos. La concurrencia de numerosos factores asociados dio lugar a la formación de yacimientos económicos tanto miocenos como cuaternarios.

La génesis de estas particulares sales de boro, asociadas con otras evaporitas continentales, es consecuencia de múltiples parámetros geológicos que actúan en conjunto y que reflejan las singularidades del edificio andino.

Entre ellas se destacan las siguientes mencionadas, tomadas aproximadamente en la misma latitud:

- 1) Los Andes Centrales contienen el mayor relieve a escala planetaria, dado por la fosa de Atacama de 8 km de profundidad y las alturas del arco volcánico que rozan los 7

km, generando así una diferencia de relieve del orden de los 15 km en una distancia vertical menor a 300 kilómetros;

2) El espesor de corteza continental que supera los 70 km y que tiene su mejor expresión en la región del punto tripartito Bolivia, Argentina, Chile;

3) Las precipitaciones pluviales que superan los 3000 mm/a sobre el borde oriental y valores de sequedad extrema en el hiperárido desierto de Atacama;

4) Las temperaturas que se aproximan a los 50°C en la llanura chaqueña y temperaturas invernales por debajo de -30°C en la región de la Puna. A su vez, la región altiplánicopuneña se caracteriza por su sequedad, altura a más de 3800 msnm, alta heliofanía, grandes amplitudes térmicas diarias, vientos constantes, fuertes diferencias de albedo entre los salares y su marco geológico, escasez de vegetación, alta evaporación, y otras características geológicas y meteorológicas que favorecen la génesis de evaporitas y entre ellas las de los boratos.

Por otro lado, las cámaras magmáticas generaban suficiente temperatura como para calentar las aguas meteóricas y que lixiviar los elementos químicos de las rocas que luego se concentraban en los lagos alcalinos de las cuencas cerradas con drenaje centrípeto. El aporte de líquidos y gases volcánicos, sumado al lavado de las rocas, aumentaron la carga de iones en las aguas las que al evaporarse dejaron un precipitado de sales diversas del grupo de los carbonatos, sulfatos, boratos y cloruros. Así se formaron travertinos, yeso, boratos y sal gema que se fueron intercalando con arcillas, limos y arenas provenientes de la erosión de las rocas emergidas y con las cenizas que expulsaban los volcanes y caían dentro de las cuencas de sedimentación Alonso (2020).

En la República Argentina, los boratos están presentes en:

✓ **Tincalayu**

Se ubica en una península del interior del salar del Hombre Muerto en el límite de las provincias de Salta y Catamarca, Departamento de Los Andes, provincia de Salta, a 4100 msnm y 370 km de distancia de Campo Quijano.

Se trata de un depósito de tincal que se apoya sobre un basamento de sal de roca y está cubierto por sedimentitas pelíticas rojas. Todo el conjunto está deformado disarmónicamente.

El tincal extraído, luego de una primera concentración se ingresa a la Planta para producir bórax decahidratado como producto final, o como producto intermedio para la producción de bórax pentahidratado (Fig.16). (BORAX ARGENTINA S.A.).



Figura 16: Yacimiento Tincalayu

Es el único yacimiento de tincal de los cuatro que se conocen en el mundo que está relacionado con halita.

La mina Tincalayu se explota en forma continua desde la década de 1950. Se presenta en capas macizas, vítreas y transparentes cuando está fresco, ya que al quedar expuesto pierde cinco moléculas de agua y se transforma en tincalconita.

Existen facies de yeso-anhidritas hacia el este que serían cambios laterales del tincal asociadas a la evolución del volcán Ratones, un complejo estratovolcánico mioceno muy erodado que se encuentra algunos kilómetros al noreste. Coladas de basalto pleistocenas lo cubren en su flanco occidental.

El bórax está acompañado por kernita y otras 15 especies de boratos, entre las que se destacan algunas nuevas para la ciencia como ezcurrita, ameghinita, rivadavita y aristarainita. También se encontraron boratos como inderita y kurnakovita. (Alonso, 2020), La datación de una toba tomada en el cuerpo de tincal dio una edad de 5.86 ± 0.14 Ma.

✓ *Distrito de Sijes*

Se encuentra en el salar de Santa Rosa de los Pastos Grandes, Departamento de Los Andes, provincia de Salta, a 3870 msnm y 320 km de distancia de Campo Quijano. De allí se extraen minerales como hidroboraquita, colemanita y ulexita. El yacimiento cuenta con una planta de concentración magnética para la producción de minerales, que se presentan triturados y en polvo (Fig. 17).

La hidroboraquita se comercializa como producto final, y también se utiliza para la fabricación de ácido bórico. Las reservas de este mineral en el yacimiento Sijes son las de mayor volumen de las conocidas actualmente en todo el mundo.

Sijes se ubica en la Puna salteña, en el interior del salar de Pastos Grandes. Se trata de un distrito con varios depósitos y manifestaciones, que afloran a lo largo de una sierra

de 30 km de longitud y que representa la mayor acumulación de boratos terciarios de América del Sur. Se presentan dos formaciones estratigráficas con numerosos miembros y que cubren un lapso cronológico entre 7 y 5 millones de años. Sus reservas se encuentran en el orden de las 7.500.000 de t de anhídrido bórico.



Figura 17: Yacimiento Sijes

El distrito boratífero se conoce desde hace más de un siglo y se mencionan explotaciones puntuales de ulexita desde fines del siglo XIX.

En el distrito minero Sijes los boratos más importantes son hidroboracita y colemanita que se presentan formando capas o mantos dentro de una espesa secuencia sedimentaria. La hidroboracita es un borato hidratado de calcio y magnesio cuya ocurrencia es en mantos o estratos continuos, macizos, blanquecinos amarillentos, que alcanzan desde unos pocos centímetros hasta 2 m de espesor. Se presenta en la parte inferior y superior de la Formación Sijes, en los miembros Monte Amarillo y Esperanza.

La colemanita, un borato de calcio hidratado, también se presenta en forma de mantos o estratos, es abundante en la parte media de la formación y aparece profusamente acompañada por inyoita.

La ulexita en cambio es un mineral ubicuo y se encuentra distribuido a lo largo y ancho de la formación sedimentaria. Si bien se han encontrado en la serranía de Sijes otras especies de boratos raros e incluso nuevos para la ciencia, Los cuatro minerales dominantes son hidroboracita, colemanita, inyoita y ulexita. No hay allí presencia de bórax o tincal.

El borato principal es ulexita o boronatocalcita, llamado “borato común”. Los mineros distinguen dos tipos principales: en nódulos o “papas” o “cotton ball” (Fig.18) y en mantos o “barra”. Yace principalmente cerca de los bordes de los salares y en la mayoría de los casos está en la superficie o a solo algunos decímetros de profundidad.



Figura 18. Ulexita

La ulexita de salar se explota desde la década de 1870 y se utiliza mayormente para la fabricación de ácido bórico. En los últimos años se comenzó a producir con ulexita numerosos productos para el agro en forma de micronutrientes. Los boratos se han explotado de manera continua desde hace 150 años y esto constituye una de las actividades mineras más longevas de la Puna Argentina.

✓ **Salar de Antofalla**

Se encuentra en el sector de la Puna de Atacama correspondiente a la provincia de Catamarca, departamento Antofagasta de la Sierra. Alcanza una altitud media de 3900 m s. n. m. y se extiende en dirección sur-suroeste a nor-noreste. Tiene una forma muy estrecha y alargada, Tiene una longitud de más de 150 km y su superficie es de 500 km² (Fig. 19).

El borde oriental del salar presenta extensos afloramientos de rocas neógenas que alcanzan su mejor expresión en la zona central y sur. Las litologías evaporíticas dominantes son halita y yeso. Se ha mencionado la presencia de ulexita (Alonso y González Barry 2008).



Figura 19: Salar de Antofalla

Los salares actuales se encuentran alineados mayormente en sentido meridiano, ocupando el interior de las nuevas fosas tectónicas generadas en los últimos movimientos andinos. Son un pálido reflejo de los salares que hubo hacia finales del Mioceno, unos 7 millones de años atrás. El relleno evaporítico en el centro de las cuencas modernas está formado mayormente por sal gema (halita), seguido por yeso, boratos, travertinos, sulfato de sodio (mirabilita) y en menor medida carbonato de sodio.

✓ **Loma Blanca**

Es un depósito que se formó en un antiguo lago que existió en las faldas del volcán Coranzulí ubicado a unos 10 km al sudoeste del pueblo de Coranzulí localizado en el departamento Susques, Jujuy (23° 03' S y 66° 27' O) y a 4.150 m.s.n.m. Hace 7 millones de años en ese lago convergieron aguas termales ricas en boro, que en función del clima árido dominante se evaporaron para dar lugar a la precipitación de los boratos. Las sales de boro crecieron como evapocristales aislados, en prismas monoclinicos cortos, en un fango volcánico verde que se fue enterrando lentamente con el correr de miles de años.

De acuerdo con la diferente solubilidad de los elementos químicos se formaron distintos tipos de boratos desde el borde hacia el centro del lago: primero los boratos de calcio (colemánita e inyoíta), luego el borato de calcio y sodio (ulexita) y por último el borato de sodio (bórax o tinca) (Fig.20). Este último es el más valioso ya que es soluble en agua caliente y no en ácidos como los demás. Por ello su proceso de concentración y beneficio es económico y alcanza buen precio en los mercados internacionales. Se aprovecha en las industrias de la cerámica, vidriería, farmacéutica, química, fertilizante y un sinfín de otras aplicaciones.

Las fuerzas orogénicas que deformaron los Andes, y las coladas lávicas arrojadas por los volcanes de la región, sepultaron el yacimiento. El mineral se encuentra en algunos puntos a más de 50 m de profundidad y para lograr su explotación fue necesario abrir una mina a cielo abierto (Alonso, 2012).

Los minerales de boratos aparecen como nódulos o cristales crecidos singenéticamente en el depósito fangolítico. Una toba en la base de la secuencia con boratos arrojó una edad K-Ar de 6,99 Ma. Las facies lacustres madres se extienden unos 2 km y luego gradúan lateralmente a facies fluviales. Puede reconocerse en el depósito una zonación mineralógica.

Las capas de boratos están intercaladas en sedimentitas que se correlacionan con la Fm. Sijes, la cual es la unidad litoestratigráfica portadora de boratos en la Puna. La secuencia boratífera se presenta en facies lacustres, de tufitas finas, verde a grisáceas, de unos 30 m de espesor. En ellas ocurren unas 10 capas de boratos de 1 a 3 m de potencia.



Figura 20: Yacimiento Loma Blanca

El tincal se presenta en cristales de unos pocos centímetros de largo crecidos en un antiguo fango volcánico verde, rico en materia orgánica y en sulfuro de arsénico. Está acompañado de inyoita, que también se presenta en cristales grandes; y de ulexita, en forma de nódulos o en mantos. Un mineral nuevo para la ciencia, un boroarseniato de calcio y magnesio fue encontrado en Loma Blanca y recibió el nombre de teruggita. (Alonso, 2020).

Sobre la base de unos 5.000 m de sondajes pudo calcularse reservas globales de boratos del orden de los 20 millones de toneladas con una ley de 15% de anhídrido bórico. Se explota a cielo abierto.

✓ ***Morro Blanco***

Se trata de afloramientos terciarios extensos que se encuentran a lo largo del río Grande de Coranzulí y al oeste del yacimiento de tincal de Loma Blanca. En un sector conocido como Punta Corral se encontraron niveles de colemanita nodular de alta ley. Están protegidos legalmente como mina Narciso de S.R. Minerals (Barbados) Ltd. Salares

✓ ***Salar de Cauchari***

El salar se encuentra en una depresión alargada en sentido N-S, de más de 50 km de largo por 3 a 5 km de ancho (Fig.21) El borde oriental lo conforman una serie de serranías formadas por rocas sedimentarias y volcánicas de edades cretácicas y terciarias, entre las que se destacan los cerros Negro, Trinchera, Cacha, Carancho y otros.

En el borde occidental predominan rocas sedimentarias y volcánicas ordovícicas. Cubriendo un buen porcentaje de la superficie de la cuenca, existen numerosas pertenencias mineras, algunas de ellas a la fecha en actividad. Las minas El Porvenir, La Inundada y Mascota están entre las más importantes y de mayor producción (Seggiaro et al. 2015).

La margen oriental del salar Cauchari está integrado por afloramientos de la Fm. Trinchera, principalmente limoarcilitas, areniscas y tufitas, de colores claros hasta rojizos, los cuales están cubiertos en discordancia angular por vulcanitas básicas. En la ladera occidental de la serranía se observaron potentes bancos de travertinos interestratificados. Algunos metros por encima de los travertinos se presenta una manifestación boratífera integrada por capas rítmicas de ulexita y finos niveles de colemanita. La ulexita se intercala rítmicamente con limolitas en capas de 3 a 5 cm. La colemanita aparece junto con calcita, en agregados radiales o como pequeños cristales. Un análisis químico dio 48,36% de anhídrido bórico. El espesor de la zona mineralizada es de 1 a 1,5 m y la extensión longitudinal de unos 10 metros. Se trata de una manifestación lenticular en superficie. Los mejores cristales de bórax provienen de la vieja mina Inundada en el salar de Cauchari.



Figura 21: Salar de Cauchari

✓ ***El Porvenir***

Se encuentra en la parte centro-occidental del salar de Cauchari con acceso por la ruta 70 que une el paraje de Cauchari con el camino internacional a Jama. a 4100 msnm y a 241 Km de distancia de Campo Quijano. El yacimiento está formado por una capa de ulexita en sedimentos limo-arenosos, que hacia el centro de la cuenca alcanza potencias medias de 0,70 - 0,80 m, llegando a valores máximos de 1,20 m, mientras que hacia el borde del salar se adelgaza hasta 0,30 m de espesor. La ulexita aparece en nódulos («papas») de 10 a 15 cm de diámetro y ocasionalmente llegan hasta 40 centímetros. Por debajo de este nivel se menciona

un manto de ulexita maciza acompañada de cantidades menores de tincal, hidroboracita y colemanita (Alonso, 1999).

En el yacimiento El Porvenir se registran las siguientes costras salinas (Cuadro 9):

Cuadro 9: Diferentes tipos de costras en el salar de Cauchari

Costra limo-arcillosa con eflorescencias salinas

- Es el tipo de superficie con mayor distribución en el salar, ocupa un área de 158 km² y se distribuye en gran parte del sector norte y sur del salar y de manera aislada entre Casa Siberia y el campamento minero El Carmen (Esteban, 2005).

Costras y mantos travertínicos

- Las superficies calcáreas ocupan un área de 44 km² y se distribuyen a lo largo de gran parte del borde occidental del salar, la misma cubierta calcárea se extiende en subsuelo hacia el este
- Se observan al norte del Cerro Cauchari, en las inmediaciones de Medanitos, entre Casa Siberia y el campamento El Carmen y al norte de Porvenir. Estos terrenos superficiales fueron originados por paleofuentes termales, que condujeron hasta la superficie soluciones mineralizadas a través de la fractura que limita el salar por el occidente (falla Cauchari).
- Según Catalano (1927) dichas áreas fueron cementadas por los elementos que llevaban en disolución las aguas termales (carbonáticas), localizándose en superficies extensas o reducidas, dispuestas a lo largo de fracturas o conos de efusión de aguas termales. En una etapa posterior la descomposición química de estos terrenos originó $(CO_3)_2H_2Ca$ soluble, el cual fue cementando los terrenos de su curso, sea superficialmente o internamente originando sedimentos calcáreos epigenéticos con relación a los anteriores o finalmente diferenciándose en el subsuelo, en forma de nódulos calcáreos (Catalano, 1927)

Costra limo-arcillosa sin eflorescencias salinas

- Se presenta en el sector central del salar entre Casa Siberia y el paraje Medanitos, (área ~ 40 km²).
- Ausencia de eflorescencias, siendo solo arcillas, mezcladas con limo y en algunos casos arena de color rojizo por lo general secas y algo endurecidas.
- Pueden presentarse figuras poligonales caprichosas sin alguna distribución preferencial. En algunos casos estas superficies pueden estar cubiertas por unas pátinas blanquecinas probablemente generadas por el ascenso capilar de las sales contenidas en los poros, durante la época seca (Fig.29).
- Hacia el sur de esta área pueden presentarse sectores muy saturados en agua o parcialmente inundados (mina La Inundada) donde la arcilla se presenta muy plástica y de un color rojizo característico. Esta superficie es recorrida internamente por un curso fluvial, alrededor del cual pueden presentarse algunas eflorescencias salinas puntuales.

Costra salina

- Cubre un área aproximada de 35 km², se extiende en el sector norte del salar (al este del Cerro Pailas) y representa el gran bajo inundable hacia donde escurren los cursos fluviales internos del salar. A simple vista se presenta en forma de una delgada costra de cloruro de sodio, de aspecto especular e intenso color blanco. Más detalladamente se pueden reconocer costras lisas y rugosas

Costra areno-pelítica:

- Ocupa el borde oriental del salar en forma de una faja alargada, abarcando un área de 13 km². Se trata de arenas mezcladas en algunos casos con pelitas, que se forman por la interdigitación de los planos aluviales con el piso salino.
- Las arenas de colores pardos, se muestran hendibles, desagregadas y uniformes; en algunos casos aglomeradas con sales y levemente endurecidas.

✓ **Salar de Olaroz:**

Características de la superficie salina:

Así como desde el punto de vista geomorfológico se diferencian diversas unidades clásticas en el entorno al salar, también es posible definir diferentes unidades químicas dentro del cuerpo salino (Ramírez y Barry, en prensa).

En el interior del salar algunos autores distinguen unidades que tienen que ver con las características de la costra salina superficial y que se describen más abajo.

La corteza salina está compuesta principalmente por cloruro de sodio y se extiende sobre la superficie ocupando alrededor del 80% del salar (Fig.22).

Los diferentes tipos de cortezas (costras) de sal se describen brevemente a continuación (Cuadro 10).

Cuadro 10: Diferentes Tipos de costras en el salar de Olaroz

Costra salina poligonada:	<ul style="list-style-type: none">•Se desarrolla sobre áreas donde la corteza de sal tiene más de 80 cm de espesor.•La morfología de los polígonos es irregular y tienen entre 10 a 12 metros de ancho. Los bordes de estos polígonos actúan como canales debido al nivel freático y el sector central es rugoso.
Costra salina rugosa poligonada	<ul style="list-style-type: none">•Constituye una estructura poligonada muy deformada, de carácter perenne y localizada en el centro del salar, Esta corteza tiene alrededor de 30 cm de alto. Se forma por capilaridad y evaporación de salmuera a partir de un nivel freático superficial
Costra salina lisa:	<ul style="list-style-type: none">•Se desarrolla en un área homogénea sin polígonos. Esta es más notoria cerca del borde occidental del salar. La lámina de agua en esta área está casi al nivel de superficie.
Círculos de costra salina	<ul style="list-style-type: none">•Se observan a casi 600 m del borde oeste del salar y corresponden a una faja paralela al borde de no mas de 100 metros de ancho.•Estos "círculos" tienen alrededor de 30 cm de diámetro y de 2 a 3 cm de espesor. Esta costra está edificada sobre una corteza de sal de casi 3 cm de espesor, debajo hay arcillas y otros materiales de origen aluvial.
Paleoborde lineal de la corteza salina	<ul style="list-style-type: none">•Comprende fajas paralelas sobre el borde del salar. Cada faja no excede los 30 metros de ancho, pero tres de ellas pueden ser identificadas dentro de un ancho máximo de 120 m. Se trata de una corteza de sal rugosa.
Líneas paralelas de corteza	<ul style="list-style-type: none">•En algunos sectores se presenta una corteza dura, de espesor variable (15 a 45 cm), con eflorescencias de carbonato de calcio y cloruro de sodio. Esta corteza desaparece en el sector central del salar.



Figura 22. Salar de Olaroz

✓ ***Salar de Jama***

Se encuentra ubicada en el centro del área de estudio, es el cuerpo salino más importante por su dimensión, posee una forma irregular elongada N-S, con una superficie de unos 29 km² y un perímetro de 49 km (Fig.23).

El depósito salino se desarrolló en la cuenca endorreica más occidental de la provincia de Jujuy, en donde la tasa de evaporación supera más o menos a los aportes de aguas a la cuenca, con precipitaciones inferiores a los 100 mm anuales y restringidos en los meses de noviembre a marzo. La continua evaporación de las aguas acumuladas en estas, genera un paulatino enriquecimiento iónico hasta transformarlo en salmuera de las cuales precipitan las diversas sales a medida que alcanzan sus respectivos productos de solubilidades. En los capítulos siguientes se aportara información relacionada a los recursos evaporíticos.



Figura 23: Salar de Jama

✓ Turi Lari y Celti

Se trata de una cuenca centrípeta reducida, ubicada en el rincón NO de la depresión que ocupa el salar de Olaroz, unos 12 km antes de llegar a la localidad de El Toro. Dentro de un ambiente de tufitas y areniscas tobáceas de edad terciaria aparece un pequeño salar con un cuerpo de agua en su parte central. Por debajo de una costra salina de aspecto rugoso se ubica una secuencia de niveles arcillosos y arenosos, donde se reconocieron, en un espesor total de 1,15 metros, varias capas con ulexita en forma de nódulos de hasta 15 cm de diámetro y en forma maciza con 0,40 m de potencia que disminuye hacia los bordes. Se presentan niveles arcillosos color verde, que incluyen evapocristales de tincal de 1 a 3 cm de largo. Según Péndola (1954, en Schalamuk et al., 1983) se determinó la presencia de 11.089 t de tincal con ley de 29,8% de $B_2 O_3$ y 4239 t de ulexita con el 20% de $B_2 O_3$. Unos 6 km al SSO de Turi Lari existe una pequeña depresión de 2 km de largo conocida como Celti, en un ambiente similar al de la manifestación anterior, donde se mencionó la presencia de niveles reducidos de ulexita que fueron aprovechados esporádicamente (Alonso, 1999b).

✓ Lina Lari e Iglesia

Cercanas al camino que une El Toro con el paso de Jama, a unos 35 km de aquella localidad, existen varias manifestaciones de boratos ubicadas en pequeñas depresiones salinas, tales como las minas Norma Isabel, Rafael Ignacio e Iglesia, y algo más al oeste, en la laguna de

Guachalajte, la manifestación Lina Lari. Se trata de niveles de ulexita intercalados con capas arenosas y arcillosas; estas últimas suelen presentar susques 89 sentar pequeños cristales anhedrales de tincal de 1 a 2 cm de largo.

✓ Otros Salares

La Puna Argentina tiene importantes depósitos de ulexita en sus ambientes de salares, tomados estos últimos en sentido amplio ya que incluyen a numerosos sistemas de cuencas formados en un régimen endorreico. La ulexita se presenta en el relleno superficial de los salares, en mantos macizos ("barra") o formados por nódulos conocidos como "papas". El espesor del mineral varía entre 0,10 cm hasta 1,50 m y su explotación se realiza en forma manual hasta semimecanizada. Se utiliza principalmente para la fabricación de ácido bórico y también como ulexita fundida conocidas comercialmente como "boroglass" y "fritabor".

Los Salares del Hombre Muerto, Diablillos, Ratones, Centenario, Pastos Grandes, Pozuelos, Cauchari, Olaroz, Salinas Grandes y Guayatayoc son también los salares más ricos en salmueras de litio.

CAPÍTULO 6: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE LOS DEPÓSITOS DE BORATOS DE LA PROVINCIA DE JUJUY

6.1 Geología regional

La columna estratigráfica del área de estudio comienza en el Ordovícico (Fig.24).

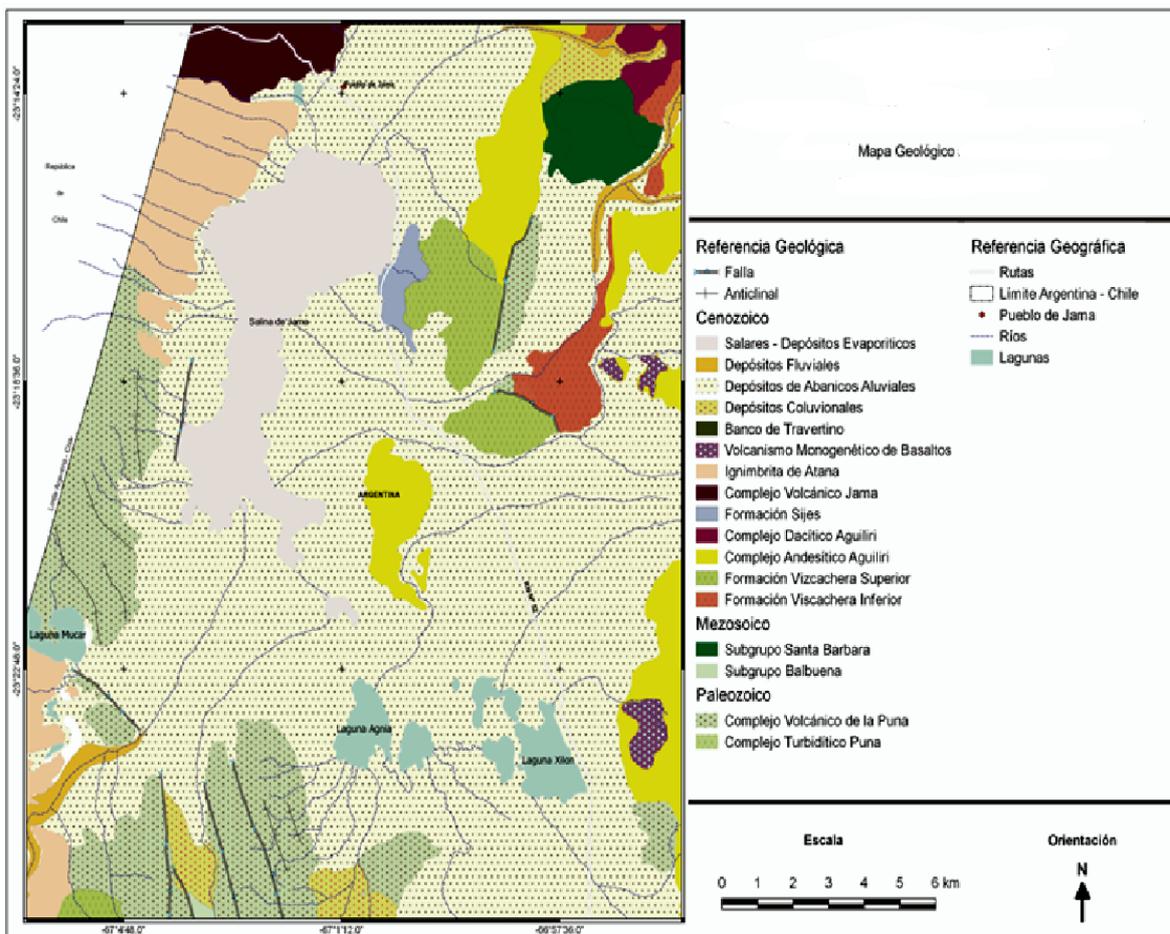


Figura 24. Mapa Geológico Regional

6.1.1. Ordovícico

Las unidades ordovícicas en el área presentan una diversidad litológica caracterizada por la presencia de sedimentitas intercaladas con depósitos volcanoclásticos y leptometamorfitas.

En base a la formaciones mapeadas en la hoja geológica de Susques 2366-III para las rocas ordovícicas, según Bahlburg (1990), quien define una asociación de ciclos turbidíticos denominados Complejo turbidíticos de la Puna (CTP) y una secuencia Volcano – Sedimentaria llamada Complejo Volcánico Puna (CVP), para designar las unidades litológicas ordovícicas de la puna. A continuación se describen estas dos unidades aflorantes en el área de estudio.

-Complejo Volcánico de la Puna

Fue definido por Bahlburg (1990). Está formada por rocas volcanoclásticas félsicas y menores volúmenes de lavas máficas.

Los afloramientos se extienden a lo largo de una franja de rumbo meridional, en el Cordón de Pircas, al sur de la Salina de Jama.

El Complejo Volcánico Puna está constituido generalmente por turbiditas volcanoclásticas y depósitos detríticos con niveles de lavas basálticas y andesíticas de afinidad de Arco volcánico en la parte inferior (Schwab, 1973; Coira y Barber, 1987; Bahlburg, 1990). Hacia el tope predominan turbiditas volcanoclásticas félsicas, con niveles de tobas medianas retrabajadas (Bahlburg y Zimmermann, 1999) (Fig. 25).



Figura 25: Afloramiento del Complejo Volcánico Puna, norte de Laguna Mucar

Coira y Nullo (1989), describen unas secuencias de piroclásticas - sedimentarias de edad Arenigiano-Llanvirniano en los alrededores de la Salina de Jama y la laguna Mucar incluyéndolas en la Formación Acoite. A continuación se realiza un breve resumen de la descripción de estos afloramientos.

Laguna Mucar: en esta zona se observan dos secciones claramente diferenciables, la inferior exclusivamente piroclásticas, está representada por tobas cristalinas en parte brechosa con estratificación grosera. Por encima se disponen alternadamente pelitas y tobas vítreas finas a chonitas en forma subordinadas (Coira *et al.*, 1996).

Laguna Agnia: el sureste de la laguna conformando el ala sur de un sinclinal se reconoce una secuencia esencialmente piroclásticas alternantes con pelitas y reducidos niveles psamíticos finos. Los niveles inferiores están caracterizados por un predominio de materiales piroclásticos se evidencian a través de estructuras gradadas de granos decreciente y finas laminaciones. Así se reconocen niveles de tobas vítreas que gradan a

chonitas y tobas cristalino-lítica en la base que pasan a tobas normales a tobas vítreas finas – chonitas hacia el techo.

Las secuencias de la laguna Mucar dada sus estructuras sedimentarias y sus asociaciones litológicas pelítico – psamítica fina, permiten reconocer un ambiente de depositación marino de baja energía, en el que ha predominado el transporte en suspensión.

El vulcanismo asociado está representado por piroclásticas finas, laminadas, con estructuras gradadas, las que se repiten a lo largo de la columna estratigráfica. Estas pudieron originarse como resultados de sucesivos flujos piroclásticos. Los centros de erupción parecen haber tenido una posición algo alejada, dada la ausencia de manifestaciones lávicas como de importantes espesores piroclásticos (en esta zona) que caracterizan a las facies proximales de arco (Coira y Knox, 1989).

Las secuencias volcánicas de la laguna Mucar de composición dacítico – riolítico corresponderían a representantes calcoalcalinos, en sus expresiones distales, acompañante de etapas evolucionadas de un vulcanismo de arco (Coira *et al.*, 1989).

La edad de la base del complejo está indicada por trilobites del Tremadociano inferior (Zona de *Parabolina (Neoparabolina) frequens* y de *Kainella meridionalis*) de la Formación La Vicuña al sur del salar del Rincón (Moya *et al.*, 1993). La edad de la mayor parte de la sucesión está definida en base a graptolites hallados en la zona de Huaytiquina y es del Arenigiano, pudiendo llegar en algunos casos al Llanvirniano inferior (García *et al.*, 1962; Schwab, 1973)

Esta unidad constituye el basamento del área de estudio. La relación del techo al igual que con el resto de las unidades ordovícicas es discordante con extensos mantos ignimbríticos, sedimentitas cretácicas, terciarias y la cobertura de abanico aluvial cuaternario.

-Complejo Turbidíticos Puna

La asociación de ciclos turbidíticos de la parte central de la Puna septentrional fue propuesta por Bahlburg (1990). Las sedimentitas que integran el Complejo Turbidíticos de la Puna que afloran al este de la Salina de Jama, integrando la sierra de Lina.

El Complejo Turbidítico de la Puna tiene espesores de 3.500 m, son sucesiones turbidíticas alternantes granocreciente y granodecreciente de edad ordovícica media, que comprenden las formaciones Coquena y el Grupo Calalaste, depositados desde el Llanvirniano hasta el Caradociano inferior (Schwab, 1973; Bahlburg, 1990; Bahlburg y Zimmerman, 1999).

En la Puna septentrional, la presencia de unas lutitas pelágicas en el límite Llanvirniano- Llandeiliano divide este complejo en un sistema inferior y otro superior. El sistema turbidíticos inferior es parcialmente equivalente a la Formación Coquena (Schwab, 1973), mientras que el sistema turbidíticos superior es equivalente a las Formación Falda Ciénaga y Lina del Grupo Calalaste (Aceñolaza y Toselli, 1981).

Las secuencias turbidíticas están formadas por areniscas conglomerádicas, areniscas medianas en la parte inferior, y arenisca de grano fino y pelitas dispuestas en ciclos alternantes granodecrecientes y granocreciente en la parte superior (Bahlburg, 1990).

Más detalladamente las secuencias están integradas por pelitas verdes micáceas, con estratificación laminar fina, intercalados con bancos de areniscas gruesas mal seleccionada con abundante feldespato y cuarzo. Los bancos arenosos se encuentran aislados en potentes espesores de pelitas y no presentan continuidad lateral pasando a pelitas en forma gradual (Seggiaro *et al.*, 2015).

La edad fue definida en base a graptofauna e indicarían edades que van desde el Arenigiano tardío hasta Llanvirniano (Bahlburg, 1990).

6.1.2. Cretácico – Paleógeno

Grupo Salta

Comprende los Subgrupo Pirgua, Balbuena y Santa Bárbara, sus afloramientos se exhiben principalmente en dos sectores: en el NE, zona conocida como Aguiliri y al sur de la salina.

El Grupo Salta está compuesto por un complejo sedimentario continental y marino de agua somera (Blasco *et. al.*, 1996), por razones de escala se identificó esta unidad como grupo, aunque como se sabe, está compuesto por tres subgrupos y varias formaciones.

A continuación se describen algunas características de los dos subgrupos que afloran en el área de estudio.

Subgrupo Balbuena: Al pie de la ladera oriental del Cordón del Borde de Pircas se observa una secuencia de pelitas lutíticas de color rojo oscuro intercalado con bancos delgados de arenisca finas bien cementadas; el cemento carbonático. Los bancos más competentes tienen 10 a 30 cm de espesor, son muy continuos y tabulares y están compuestas areniscas finas limosas con intraclastos de pelitas; uno de ellos es depósitos de caída más o menos proximal, formado por lapillis. Hay grietas de desecación y presencia de yeso secundario que invade gran parte de la roca.

Subgrupo Santa Bárbara–Formación Casa Grande: En los alrededores de Aguiliri, esta unidad está compuesta por secuencias de areniscas medianas con matriz limosa, de color rojo ladrillo dispuestas en estratificación fina a mediana con estructura interna entrecruzada y base plana, interpretadas como barras de arena. Se intercalan bancos lutíticos que varían de 40 cm a 2 m de espesor. Las barras de arena tienen formas sigmoides, se acuñan lateralmente, están amalgamados por sectores y son granocrecientes. La estratificación entrecruzada es asintótica y de bajo ángulo. Las barras con niveles de decantación podrían corresponder a un sistema fluvial deltaico. Los niveles pelíticos son muy continuos lateralmente. La base de la secuencia tiene 300 m de espesor, observándose dominios de pelitas y bancos continuos de areniscas de poca potencia. Hacia la parte superior de la columna aflora 400 m de estratos más arenosos, en los que son frecuentes las barras de arena apiladas como en una pirámide invertida, que parecerían corresponder a un sistema fluvial con canales que avanzan sobre la llanura de inundación.

6.1.3. Neógeno

Formación Vizcachera: Miembro Inferior

Esta unidad es equiparable a las formaciones Log Log y Pozuelos descritas por Schwab (1973). Estos materiales afloran al este y noreste de la salina de Jama en la zona de Aguiliri. Corresponden a depósitos llanura de inundación dentro de un ambiente fluvial. Estas secuencias continentales atribuidas al Mioceno inferior a medio pueden alcanzar los 2.000 m de espesor.

Al sur del intrusivo dacítico de Aguiliri, esta formación presenta una potencia de 1647 m, la misma subdividida en tres miembros, en la base un conjunto de pelitas muy finas, seguido de unos niveles donde los granos son más gruesos y culmina con areniscas cuyos elementos constitutivos alcanzan los 180–200 m. (Aniel *et al.*, 1989). Ninguna traza de niveles tobáceos ha sido puesta en evidencia en estos sedimentos.

El miembro inferior (653 m), es una fangolita de color rojizo con minerales pesados de la misma composición, decolorados, también se observan algunas intercalaciones de areniscas finas blanquecina (Aniel *et al.*, 1989).

El miembro medio (450 m), constituido por areniscas finas de coloración rojizas con intercalaciones de areniscas blanquecinas. Estas areniscas están compuestas por granos de cuarzo, plagioclasas, ortosa, moscovita y accesoriamente zircón sumergidos en una matriz calcítica más o menos asociada con óxidos de hierro (Aniel *et al.*, 1989).

El miembro superior (544 m), está constituido por alternancias de bancos de areniscas pelíticas rojas con bancos de areniscas finas de estratificación entrecruzada (Aniel *et al.*, 1989).

Debido a la ausencia de dataciones y controles paleontológicos o estratigráficos en el ámbito de la hoja, se considera para esta unidad una edad Miocena inferior, sobre la base de dataciones consideradas en la Hoja Paso San Francisco (Seggiaro, 2006).

-Formación Vizcachera: Miembro Superior

La unidad aflora al este y sur de la Salina de Jama. Es equivalente a la Formación Trinchera (Schwab, 1973).

Litológicamente los afloramientos están conformados por una secuencia que se inicia con facies conglomerádicas mediana a gruesas en la base, formadas por clastos subredondeados de sedimentitas y granitoides ordovícicos y de cuarzos redondeados. La matriz está integrada por areniscas limosas roja pardusca. La sección trasversal de estos bancos tienen geometría plana en la base y convexa en el techo, característica que podría corresponder a depósitos de abanicos aluviales amalgamados lateralmente.

En la parte media de la secuencia se intercalan niveles finos limosos con bancos arenosos que presentan estructuras internas entrecruzadas. Las barras son de areniscas medianas a gruesas con matriz limosas, tienen geometría sigmoidea de poca longitud y se acuñan lateralmente. Hacia el techo dominan sedimentitas fluviales de granulometría fina. El conjunto corresponde a un sistema de abanicos aluviales en la parte superior grano y estratocreciente.

Próxima al techo de esta secuencia se intercalan depósitos piroclásticos de colores rojiza a pardusca y verde claro. Tienen estructuras bandeadas a laminadas y la granulometría de mediana a fina. Se distinguen bancos delgados ricos en pómez amarillenta con intercalaciones de bancos de tobas y depósitos volcánicoclásticos.

A esta formación que infrayace a ignimbritas del Mioceno superior, se asigna al Mioceno medio sobre la base de una datación Ar/Ar sobre una biotita de una roca piroclástica intercalada en areniscas, que dio como resultado 14,8 Ma.

-Complejo Volcánico Aguiliri

El complejo se emplaza al este y noreste de las lagunas. Gorustovich et al. (1985) describió la geología de la región de Aguiliri con énfasis en los domos dacíticos y la mineralización de Uranio asociado.

El complejo volcánico Aguiliri está conformado por un cuerpo dómico subvolcánicos de composición dacítica, mientras que la facie lávica de composición andesítica tiene una mayor distribución areal.

El Intrusivo Dacítico Aguiliri es una roca subvolcánica porfírica, compuesta por fenocristales de cuarzo, plagioclasas, biotita, hornblenda, contiene también xenolitos de diorita con textura granular (Gorustovich et al., 1985). El Cuerpos Andesíticos Aguiliri son

unos cuerpos andesíticos, tienen mayor proporción de horblenda y bajo contenido en cuarzo y biotita, llegando a estar ausente en algunos cuerpos.

Los cuerpos subvolcánicos y las lavas que integran el complejo volcánico Aguiliri intruyen sedimentitas ordovícicas y terciarias, en el primer caso y se apoyan en discordancia en el segundo. Según Aniel et. al. (1989), la edad de unos cuerpos intrusivos subvolcánicos de composición riódacítica – andesíticos tales como Aguiliri, Galán, Huaira Huasi, Pan de Azúcar, son del Mioceno medio - tardío (15 – 10 Ma.).

-Formación Sijes

La Formación Sijes fue establecida por Turner (1961, 1964) y constituye la sección superior del Grupo Pastos Grandes, en la Subprovincia Geológica de la Puna Septentrional estudios realizados por Alonso (1986) describió la secuencia de Loma Blanca y la asignó a la Formación Sijes. Chaves (1988) examinó una columna tipo en dicha áreas y los depósitos de boratos (bórax, ulexita y inyoita) intercalados con sucesiones volcanoclásticas y evaporítica.

Esta formación mapeada al este, está constituida por areniscas medianas, tufitas y depósitos volcanoclásticos de color blanco a gris blanquecino con abundante contenido en biotita. Se intercalan con bancos de tobas, surges y depósitos de caídas. Los depósitos volcanoclásticos están levemente retrabajados. La estratificación es plano paralela, con estructura interna laminar y en algunos casos entrecruzada, de posibles bancos eólicos.

Se apoya discordantemente en ángulo suave sobre la Formación Vizcachera superior. La secuencia volcanoclástica en el área de Loma Blanca fue datada en 6.99 ± 0.18 Ma. (Watson, en Alonso, 1986).

-Complejo Volcánico Jama

El Complejo Volcánico Jama se encuentra ubicado al noroeste, se encuentra al norte del paso que lleva su nombre y por su cumbre pasa el límite con República de Chile. Las lavas se extienden en mantos continuos tanto en territorio argentino como chileno.

Las lavas dacíticas constituyen la unidad basal del aparato volcánico de Jama. Son porfíricas, de color pardo oscuro, con fenocristales de plagioclasas, minerales ferromagnesianos y escaso cuarzo. Presentan estructuras de flujo, con base brechosa separadas en bloques hasta de 50 cm de diámetro (Medina, 2003).

La unidad superior está integrada por lava andesítica de coloración verde grisáceo oscura con decoloraciones rojizas, compuesta por plagioclasa (oligoclasa) y vidrio, e hipersteno, minerales opacos y fragmentos líticos como accesorios. La textura es homogénea vitrofírica con rasgos de desvitrificación en la pasta.

Una datación radiométrica K/Ar en biotita, de $5,8 \pm 4$ Ma, obtenida por Medina (2003) en la unidad superior, permite asignar el complejo volcánico Jama al Mioceno superior - Plioceno (Fig.26).



Figura 26: Volcán Jama, base lava dacítico y parte superior lava andesítica, fondo a la derecha Volcán Poquis.

-Ignimbrita de Atana

Estos materiales ignimbríticos, se extienden en forma de manto cubriendo la planicies entre las altas cumbres que forman el límite argentino – chileno, su mayor extensión se encuentra en el lado chileno y penetra en el territorio argentino hasta el oeste de la salina de Jama, emitidos desde la caldera La Pacana, en Chile con un volumen aproximado de 1200 km^3 .

Gardeweg y Ramírez (1987) determinaron que las ignimbritas de Atana son de composición riodacítica con al menos 4 unidades mayores de flujos, que pueden estar separados por delgados depósitos de caídas y oleadas piroclásticas (Fig.27). Esta ignimbrita es rica en cristales, aproximadamente un 45 %, tiene una composición homogénea y corresponde a una dacita rica en K, tiene carácter metaluminoso y con una relación relativamente baja de La/Yb (Coira *et al.*, 1996).

El manto ignimbrítico cubre discordantemente a rocas ordovícicas y lavas del volcán Jama. La ignimbrita fue datada por Gardeweg y Ramírez (1987), los resultados obtenidos fueron de $4,0 \pm 0,3$ Ma. y 4,5 a 3,8 Ma., correspondiente al Plioceno.



Figura 27: Afloramiento de la Ignimbrita de Atana.

-Andesitas y basaltos de volcanes monogenéticos

Varios centros máficos monogenéticos recientes de la puna septentrional (Esquina del Rincón, Huaytiquina, Cerro Negro de la Salina de Jama y Laguna Ana, Cerro Negro del Salar de Olaroz, Casa el Porvenir en Salar de Cauchari) han sido estudiados por Krallman (1994), quien realizó mapas generales y estudios petrográficos y geoquímicos. Coira y Caffè (1999) describieron características petrográficas y geoquímicas de los centros máficos próximos a la salar de Jama (Fig.28).

Los centros monogenéticos que se encuentran al este y sudeste de la salar de Jama, están constituidos por conos de escorias y coladas andesítico basáltica. Son rocas afáníticas a porfíricas con 3 a 5 % de fenocristales de piroxeno (clinopiroxeno, ortopiroxeno) y plagioclasa, inmerso en una matriz hialopilitica a pilotácica (Coira y Caffè, 1999).

Las proporciones de SiO_2 varían entre 52 y 58 %, son rocas calcoalcalinas con alto contenido en K y relaciones $\text{Ba/Ta} = 11 - 13$ y $\text{La/Ta} = 30 - 36$. Estas características corresponden al grupo geoquímico de magmas calcoalcalinos ricos en K.

Esta unidad consiste en conos de escoria y coladas de lava edificados por erupciones explosivas estrombolianas concomitantes con erupciones efusivas (Fig.24). La textura es afírica a microporfírica esqueletal. La asociación mineral está dominada por microfenocristales de olivina y/u ortopiroxeno y sugieren etapas cortas o inexistentes de almacenamiento en cámaras magmáticas supracorticales, así como una temperatura de los magmas superior a los 1000 °C y condiciones próximas a las de saturación en agua. Las rocas volcánicas de Jama tienen composición andesítica basáltica a andesítica / traquiandesítica y pertenecen a la serie calcoalcalina con alto K (Maro y Caffè, 2012).

Los conos de escorias y coladas andesíticas se apoyan en discordancia sobre lavas andesíticas del Complejo Aguiliri y rocas sedimentarias de edad ordovícicas.

Los centros monogénicos mencionados han sido correlacionados por Coira y Caffè (1999) con el volcanismo máfico de los cerros Tuzgle, Chorrillos y San Jerónimo de edad Pleistocena media a superior ($0,5 \pm 0,2$ Ma, $0,2 \pm 0,15$ Ma y $0,78 \pm 0,1$ Ma respectivamente).



Figura 28. Conos de volcanes monogenéticos de basaltos

6.1.4. Pleistoceno – Holoceno

Banco de travertinos: Mapeados por primera vez en este trabajo resultan de particular interés, su presencia en el sur de las lagunas, son de gran importancia para la cuenca, a pesar de no observarse un gran espesor, porque estos bancos están estrechamente vinculados al origen de los depósitos evaporíticos, asociados a géiser o manantiales termales, siendo estos la fuente aportante de litio, potasio y boro. Estas rocas se las vincula con geiseres que aportaron fluidos hidrotermales ricos en elementos químicos en solución.

Si bien los espesores del material travertinos de origen hidrotermal, es reducido, se considera que la magnitud de los flujos termales derramados y su quimismo, adquieren singular importancia, acompañando a la sedimentación evaporítica y a la actividad volcánica durante el Cuaternario.

Los travertinos están localizados en dos sectores, no reconocidos por imágenes satelitales, pero si observados y registrados en la campaña de campo. El primero ubicado al sur de la salina de Jama, corresponde a un banco de travertinos de unos 50 cm de espesor, que se extendió por unos 900 m, parcialmente soterrados por los depósitos aluvionales.

El segundo afloramiento de travertinos aflora en cercanía de la laguna Agnia, con un espesor de 60 cm, y solo se puede observar lateralmente por 10 metros, se encuentra completamente soterrado por los depósitos coluviales (Fig. 29).

En la laguna Agnia, se emplazaba la mina denominada Benito, que hasta fines de 2008 se explotaron los depósitos de ulexita. Las edificación del campamentos minero (habitaciones, almacén, etc.) fue construida con materiales del banco de travertinos.

En los alrededores del campamento también se encontró un montículo de unos 15 bloques de mármol ónix de color verdoso, blanquecino, rojizo y marrón, que se desconoce la ubicación del afloramiento de estos materiales.



Figura 29: Banco de travertinos, Laguna Agnia.

-Depósitos de abanicos aluviales

Los piedemontes se ubican en la parte inferior de la ladera occidental de la Sierra de Lina y de la ladera norte de la Sierra de Pirca. Todos estos depósitos marginan perimetralmente, junto con los piedemontes situados al norte y oeste a la Salina de Jama.

Los abanicos forman potentes acumulaciones sedimentarias con capas interestratificadas de grava y arena, hacia los sectores distales pasan a limo y evaporitas.

-Depósitos lacustres evaporíticos

Estos depósitos ocupan las depresiones de tipo tectónicas de la salina de Jama. Se trata de depósitos químicos que forman la salina. Esta cuenca endorreica ya se había conformado durante el Terciario superior, por lo que se considera que la acumulación de sales habría comenzado durante el Plioceno, continuando hasta la actualidad. Igarzabal (1991), considera para las cuencas salinas, un origen primario lacustre de agua dulce durante el Pleistoceno, los cuales se salinizan y desecan durante el Holoceno.

La composición evaporítica de los mismos revela que las soluciones emanadas de fuentes termales volcánicas principalmente, como así también de la meteorización de las rocas volcánica y de los fluidos hidrotermales han sido las fuentes de solutos de la puna (Alonso, 1999).

Estos depósitos están compuestos por materiales clásticos, recubierto por costras salina y niveles de minerales evaporíticos intercalados con sedimentos clásticos arenoso – limoso. Los minerales evaporíticos más comunes son: bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrita (CaSO_4), ulexita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9(\text{OH})_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), thenardita (Na_2SO_4) y halita (NaCl).

-Depósitos fluviales

Estos depósitos se encuentran hacia las zonas bajas de los valles fluviales y se distribuyen en ambas márgenes constituyendo relleno importante a lo largo de la Quebrada de Toranao (Pircas), al suroeste.

Los depósitos están integrados por materiales clásticos de tamaño que varían entre arena y cantos rodados con participación de fino, a lo que pueden agregar materiales provenientes de la meteorización de la ignimbrita de Atana.

Estos materiales se encuentran en un arreglo horizontal, cubriendo en forma discordante al anterior relieve.

6.2. Geomorfología

La Puna es una altiplanicie que supera los 3500 metros con un basamento stratigráfico ordovícico y cuencas intermontanas de rumbo meridiano que posteriormente recibió el voluminoso volcanismo que ocurrió en los Andes Centrales durante el Terciario concentrado en el Mioceno superior, dejando gigantescos centros caldericos, en el sector que va desde los 20 ° S a los 23 ° S.

Los centros volcánicos más importantes son el Complejo Panizos, Vilama – Coruto, Coranzulí, Pairique, Rachaite, Tuzgle, Jama y Poquis. Las características morfoestructurales de la Puna responden a la tectónica cenozoica (Rubiola, 1997).

En la Puna las cuencas son de características endorreicas y exorreicas, entre las primera se tiene los sistemas de los ríos Rosario de Coyahuaima, Cincel, Santa Catalina, Grande, Miraflores, Pastos Chicos, Las Burras, Toranao o Pircas que drenan sus aguas a las depresiones de Olaroz-Cauchari, Pozuelos, Guayatayoc, Salinas Grandes y Salina de Jama respectivamente (Solís y Ramírez, 2008).

El principal agente geomorfológico que actuó en esta región es el agua a través de los pequeños ríos y escurrimiento mantiforme que drenan el área. Así, la dinámica fluvial juega un papel importante al remover los materiales preparados por la meteorización y trasladarlos hacia las laderas o las depresiones. Otro agente importante de erosión en la región es el viento que transporta grandes volúmenes de sedimentos finos.

La meteorización es de tipo mecánica o física, y entre los fenómenos de desagregado de las rocas se cuenta el termoclastia (favorecido por las notables amplitudes térmicas como consecuencia de las temperaturas diurnas y nocturnas), y el crioclastismo (por el congelamiento del agua en las microfisuras de las rocas).

En el paisaje de la Puna es posible diferenciar regionalmente las siguientes unidades morfológicas: depresiones lacustres y salina, cordones montañosos dispuestos en fajas meridiana a submeridianas, mesetas ignimbríticas, valles intermontanos y abanicos aluviales y bajadas (Solís y Ramírez, 2008).

En el área de estudio de la cuenca de Jama, hay varios sectores que se comportan como depocentros de sedimentación y confluencia de los drenajes de los cordones montañosos circundantes, estos son: la Salina de Jama y las lagunas: Mucar, Agnia, Xilón (Cilón), las cuales serán descritas en el Capítulo 7.

CAPITULO 7: EVAPOFACIES DE LAS LAGUNAS MUCAR, XILÓN Y AGNIA

Se describen en este capítulo los resultados de campo y gabinete llevados a cabo las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia, objeto principal de este Trabajo Final integrador.

7.1. Tareas de Campo

7.1.1. La Laguna Mucar

Se encuentra ubicado al SO de la Salina de Jama a una altura de 4.105 msnm, es uno de los cuerpos lacustres que se encuentra en el área de estudio. El lago tiene una forma irregular, posee una superficie de unos 9 km². (Fig.30).

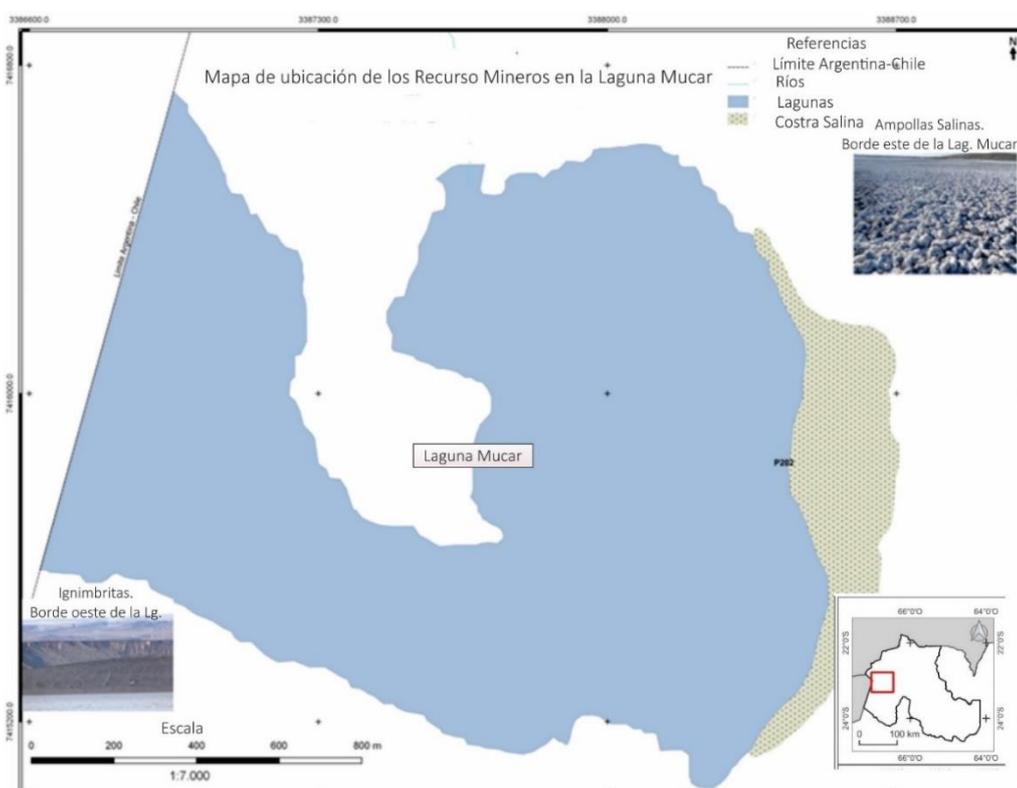


Figura 30. Mapa de Ubicación de la Laguna Mucar

En la margen este del cuerpo lacustres, se encuentran presente contras salinas con ampollas de sal, el espesor de la costra promedio es de 3 cm, sobre un substrato arenoso-limoso, por debajo a unos 20 cm se observa un banco de ulexita de 2-3 cm de espesor (Fig. 31a y b). También la laguna se encuentra rodeada por depósitos ignimbríticos, estos depósitos volcánicos son importantes fuentes de aporte de litio y potasio.



a b
Figura 31a- Margen de la laguna y b, detalle de la costra salina con ampollas de sal, Laguna Mucar.

7.1.2. Laguna Agnia (Benito):

Se encuentra ubicada al S de la Salina de Jama. La laguna tiene una forma aproximadamente circular y tiene una superficie de unos 2,5 km² (Fig. 32). La última actividad minera en la zona data de finales del 2008 se explotaron esporádicamente los depósitos de ulexitas.

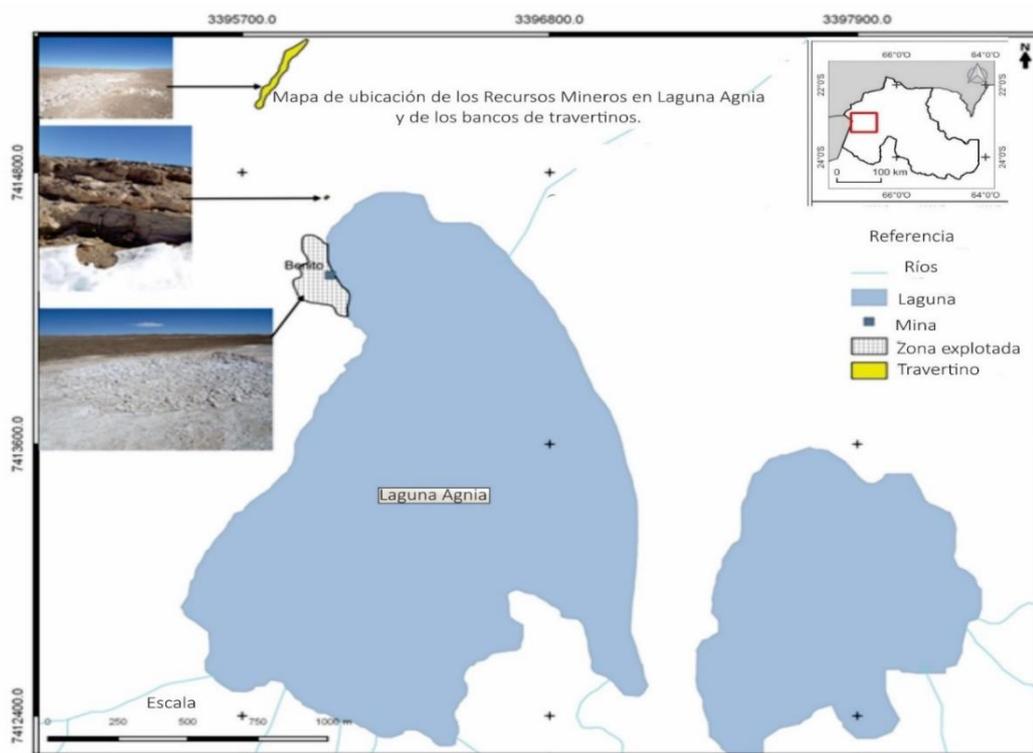
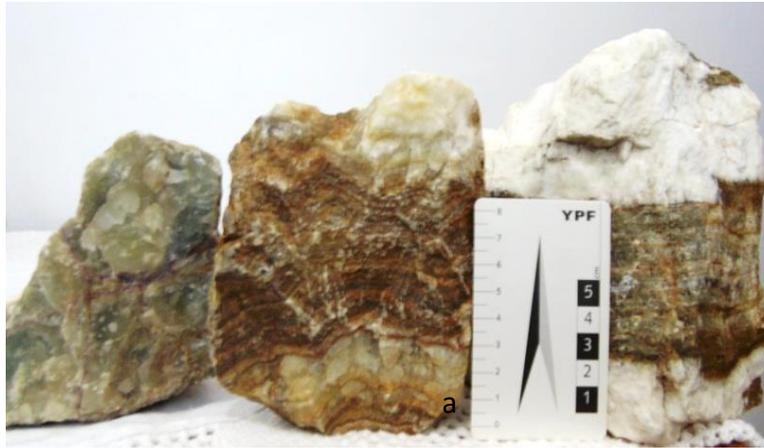


Figura 32. Mapa de Ubicación de la Laguna Agnia

Actualmente se puede observar un banco superficial de ulexita, recurso minero importante presente en los bordes de la laguna. Al caminar por los alrededores del campamento, se observó un banco de travertinos cubierto por depósitos coluviales.

Se encontraron pequeños bloques de travertino variedad onix (Fig 33a), sin identificar la ubicación del yacimiento. Como relictos de la actividad minera pasada se observan parvas de ulexitas dispuestas para su secado (Fig 33b). En los márgenes de la laguna presenta costras salinas con pequeñas ampollas de sal. (Fig33c.).



a



Figura 33 .aFragmentos de bloques de Ónix, encontrado en los alrededores del campamento minero Benito, Laguna Agnia. c. Parva de Ulexita abandonada en Mina Benito, Laguna Agnia.

7. 1.3. La Laguna Xilon

Se encuentra ubicada al SE de la Salina de Jama. Este cuerpo lacustre tiene una superficie de unos 3,1 km². En los márgenes de la laguna presenta costras salinas con ampollas de sal, sobre un substrato arenoso-limoso y una capa de 3 cm de ulexita (Fig. 34).

**Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama**



Figura 34. Mapa de Ubicación de la Laguna Xilon

Los recursos boratíferos de la laguna Xilon (cilón) fueron explotados esporádicamente en la década del 1990 (Fig.35). La explotación se concentró en la ulexita.

En el borde de la laguna se realizaron dos pozos para describir el material litológico presente: 1 – costra superficial; 2 – Substrato arenoso limoso con una capa de ulexita en barra de 3 cm de espesor (Figs. 36a y b).



Figura 35. Laguna de Xilon



Figura 36a: Pozo en la margen O de la laguna Xilon.b. Niveles blanquecinos de Ulexita.

7.1.4. Perfiles realizados

Las lagunas Mucar, Agnia y Xilon, tienen la potencialidad de contener elementos económicamente importantes como el litio y potasio en solución, recursos importantes que indicarían que la cuenca de Olalena - Jama, sea desde el punto de vista económico, es un área con interesantes recursos minerales estratégicos para la provincia. La figura 37 esquematiza dos perfiles y en la figura 38 se ilustran cuatro pozos.

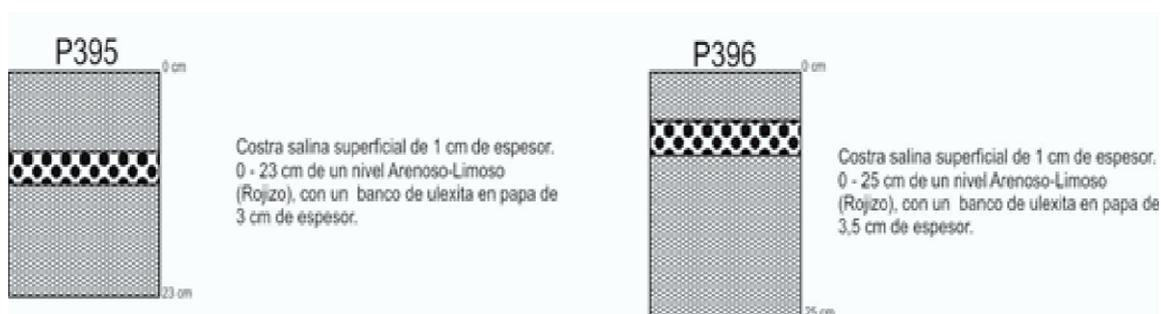


Figura 37. Perfiles esquemáticos

P274



P292



P296



P333



Figura 38. Perfiles de pozos

Se tomaron muestras de las costras salinas en distintos pozos las cuales fueron analizadas posteriormente por difracción de Rayos X en CIG en la ciudad de la Plata (ver Capítulo 3).

Con la finalidad de conocer el contenido de elementos, se realizó muestreo de aguas – salmueras, que se tomaron en el sector norte, centro de la salina y una muestra en laguna ubicada al noroeste (ver Capítulo 3).

7.2. Tareas de gabinete

7.2.1. Mineralogía

Los minerales útiles presentes en los distintos depósitos evaporíticos en la zona de estudio están bajo dos morfologías estructurales típicas:

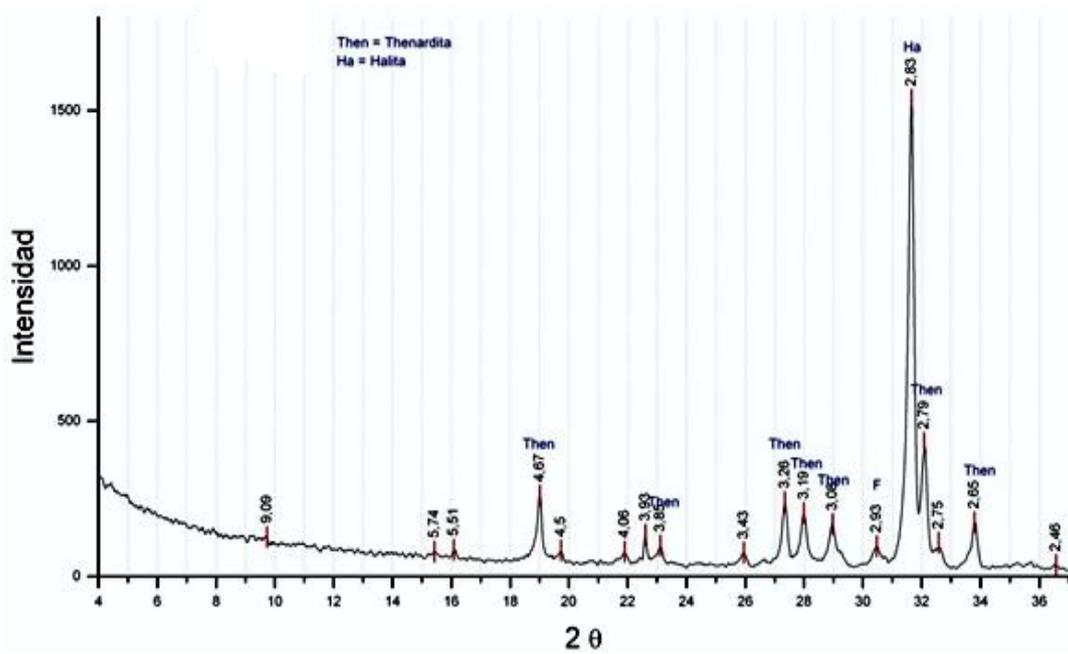
1. Ulexita en barra o plancha: corresponden a capas mantiformes maciza.
2. Ulexita en papas o "Cotton Balls": corresponden a nódulos crecidos en medios arenosos – limosos que oscila en tamaño desde 5 a 20 cm, estos nódulos son de gran pureza y blancura interior.

7.2.2. Difractogramas

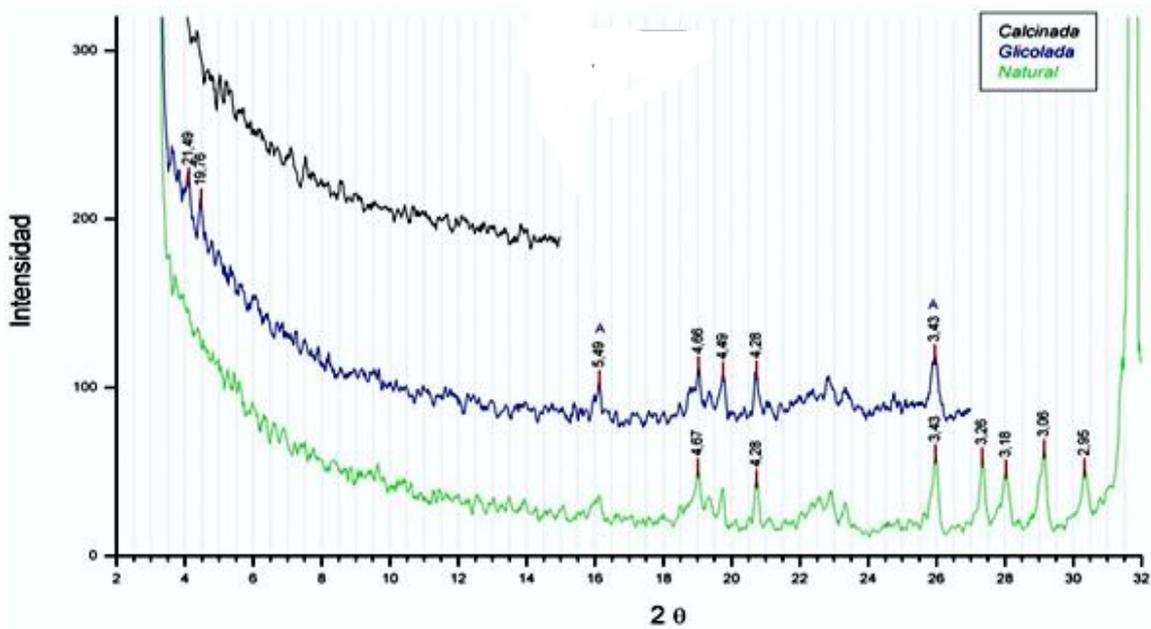
El resultado de la DRX de la figura 39a correspondiente al Pozo 274 mostró que las fases minerales existentes son: thenardita, halita, cuarzo, feldespato y arcilla. Solo se pudieron especificar las arcillas en el diagrama correspondiente al Pozo 292 (Fig.39b).

En el difractograma correspondiente al Pozo 296 se identificaron las fases minerales de calcita, feldespato arcilla, halita y cuarzo. (Fig.39c). En el Pozo 333 se detectaron las fases minerales: ulexita y halita (Fig. 39d), mientras que en la figura 39e

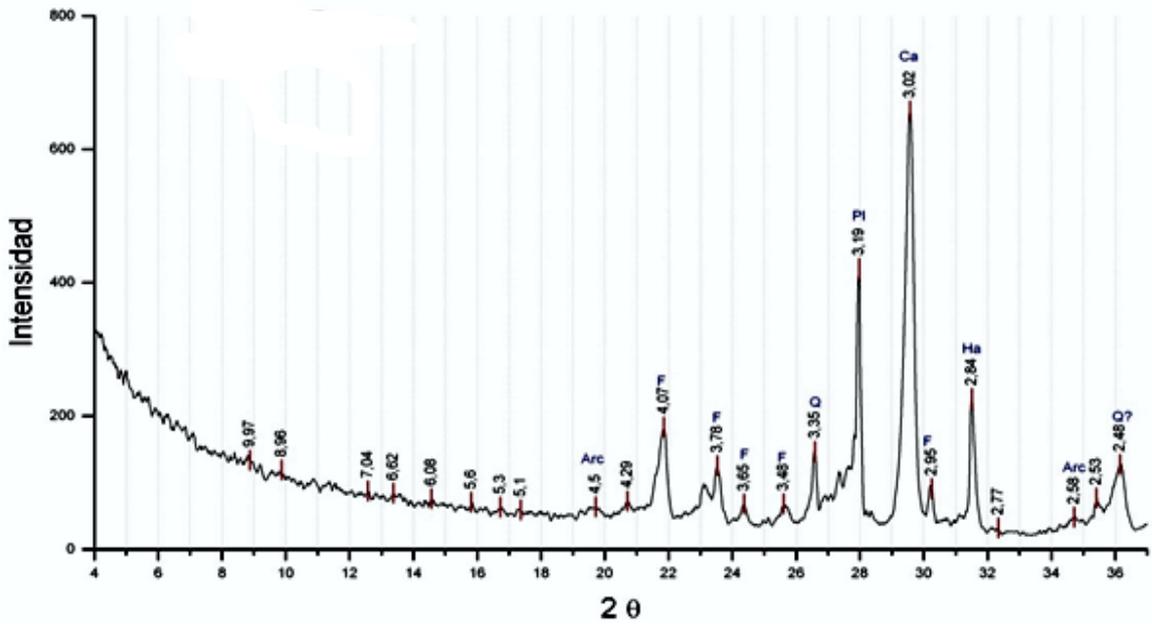
correspondiente al Pozo 351 se informaron minerales de arcilla no determinados y ulexita.



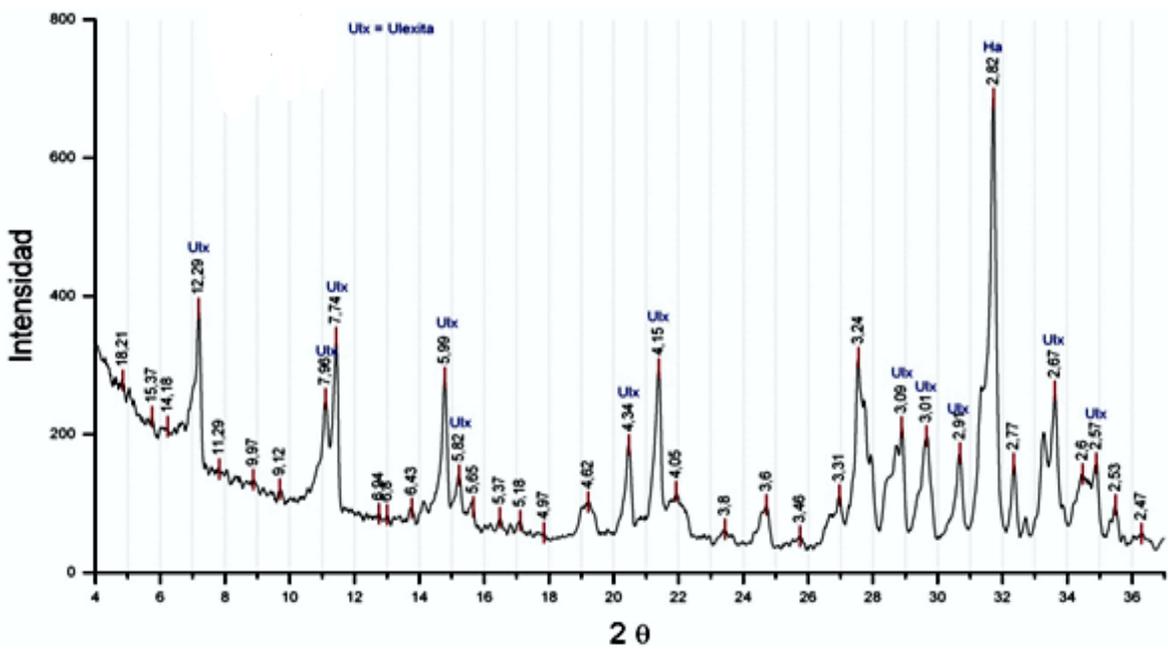
a .Pozo 274: Difractograma, fases minerales existentes son las siguientes: thenardita, halita, cuarzo, feldespato y arcilla.



b .Pozo 292: Difractograma, minerales de arcilla no determinados.

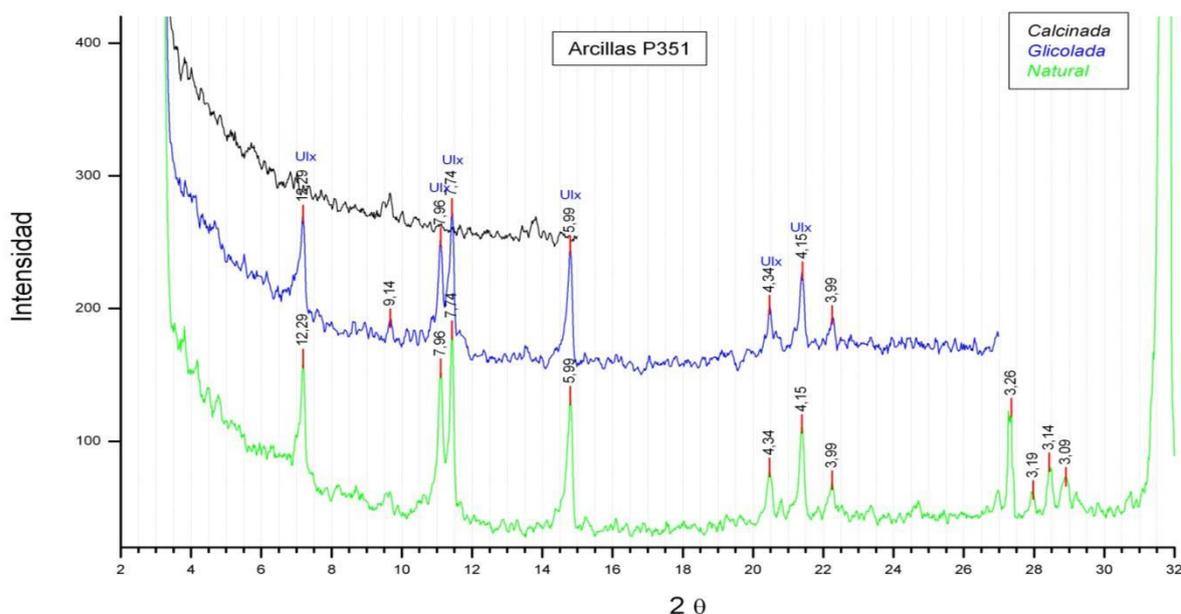


c- Pozo 296: Difractograma, fases minerales existentes son las siguientes: calcita, feldespato arcilla, halita y cuarzo.



d. Pozo 333: Difractograma, fases minerales existentes son las siguientes: ulexita y halita.

Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama



e. Pozo 351: Diffractograma, minerales de arcilla no determinados. Ulexita

Figura 38 a, b, c, d, e. Diagramas de muestras analizadas por difracción de DFX

7.2.3 Muestras de agua y salmuera

El cuadro 11 detalla la información de las muestras de aguas – salmueras, que se tomaron en el sector norte, centro de la Salina y una muestra en laguna ubicada al Noroeste.

Cuadro 11: Resultados de los análisis de las muestras de agua y salmueras				
Muestra	Ubicación	Observaciones	Litio (mg/l)	Potasio (mg/l)
P173	Agnia	Tomada de un Pozo, de 48 cm de Profundidad.	401	5707
P178	Laguna	Tomada en una laguna al NO de la Salina.	< 0,5	54
P240	Xilon	Tomada de un Ojo de agua.	16	235
P303	Ojo de agua	Tomada de un Ojo de agua.	17	383
P361	Mucar	Tomada de un Ojo de agua.	104	1833
P389	Ojo de agua	Tomada de un Ojo de agua.	24	593

CAPÍTULO 8: EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO

8.1 Características generales de la explotación

Los depósitos de boratos de Argentina se explotan a cielo abierto por diferentes métodos según sean terciarios o cuaternarios.

Los yacimientos terciarios se explotan por métodos de canteras, open pit o banqueo debido a la gran dimensión y forma de los cuerpos. (Fig. 39).

Los yacimientos cuaternarios se explotan por métodos manuales (pala y pico) y/o mecánicos al ser depósitos superficiales, de poco espesor y con encape menor al metro. Además, tienen un gran desarrollo areal pero con concentraciones económicas de boratos en forma errática.

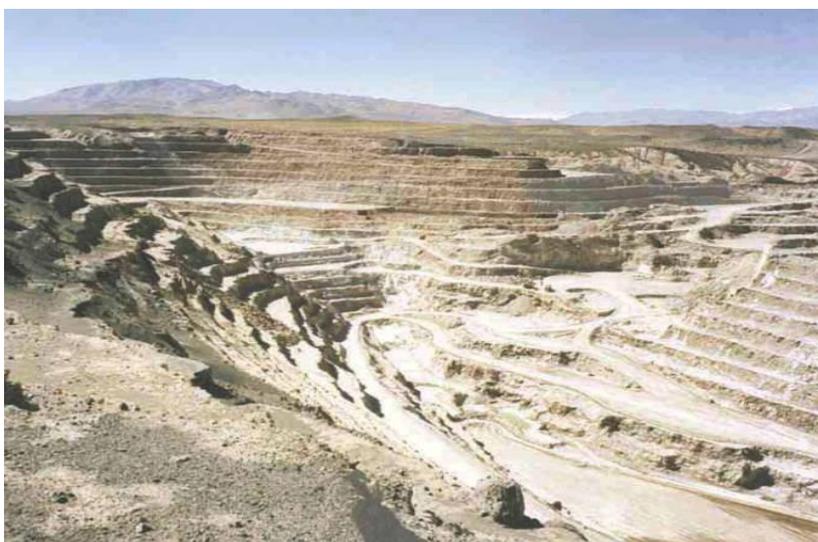


Figura 40: Mina Tincalayu. Explotación a cielo abierto

✓ Ejemplo Mina Cilón/Xilón

Actualmente la **Mina Cilón/ Xilón** de ulexita o boronatrocalcita (borato de playa) finalizó las tareas prospectivas y de exploración por cuenta de su propietario, se ubica en proximidades al paraje Laguna de Mucar (camino al Paso de Jama) en el departamento de Susques.

En el proyecto de reactivación minera la extracción del mineral útil (ulexita) en el orden de 600 t/mes, se realizará a cielo abierto utilizando métodos manuales y mecanizados. Consiste en abordar el frente mineralizado seleccionado en base a potencia y ley útil en B_2O_3 , previa limpieza de la superficie para eliminar la capa estéril.

El manto de mineral está cubierto por una costra estéril de 5 a 15 centímetros de potencia.

Básicamente se cumplirán las siguientes tareas:

- a) Extracción manual de la capa de estéril con técnicas manuales y uso de carretillas;
- b) Arranque del manto útil de ulexita, a pala y pico.
- c) El mineral cuidadosamente arrancado será transportado en carretillas a las playas internas de secado y preparación, ubicadas cerca de las cicatrices de arranque.
- d) El resto del mineral con la humedad natural será cargado en acoplados bajos, en forma manual, los cuales serán arrastrados por tractores hasta las playas de secado.
- e) El mineral se acordonará en forma de parvas de 3 a 5 m de largo por 1 m de ancho y 30 o 40 cm de alto y se fragmentará con herramientas de mano a tamaños no mayores de 10 cm con el fin de conseguir una mayor superficie expuesta al secado, que debido al viento y a las temperaturas del día contribuyen a acelerar la velocidad de evaporación, siendo factible obtener una humedad final del mineral de un 4 a 5 % facilitando el desprendimiento de las arcillas y otros insolubles detríticos.

Durante el proceso de "Secado" se realizará "el horquillado" por medio del cual el mineral se lanza al aire para activar el mecanismo convencional del desprendimiento de detritos secos que quedaron adheridas durante la extracción manual. El producto final en la playa de secado, se clasificará en calidad clase A y B, pudiendo ser despachado en bolsones tipo "big-bag" de 1 tn, bolsas de 50 kg o granel.

f) La ulexita, limpia y seca en casos muy puntuales (ley mayor al 28 % de B_2O_3), será embolsado en sacos de polipropileno de 40 Kg de capacidad promedio y luego se realizará la costura de la bolsa.

g) El material embolsado será cargado en forma manual a equipos; camión con chasis y acoplado de 30 toneladas de capacidad, para su transporte desde el yacimiento a la Planta ubicada en el Arenal (San Salvador de Jujuy).

En proximidades al yacimiento se ejecutan inversiones en infraestructura mínima (accesos internos y montaje de campamento minero) y necesaria para el normal desarrollo de las actividades.

a) El campamento a construir dispondrá de habitaciones fijas y modulares, equipadas con cocina - comedor, y una pieza con baño.

b) El taller para mantenimiento y reparaciones será en el propio campamento para lo cual se dispondrá en forma mínima de herramientas sencillas.

La zona no se encuentra conectada a redes de energía, por lo que se debe generar la energía necesaria, para lo cual se prevé incorporar un grupo generador.

Los combustibles (cisternas de 2.000 litros), lubricantes, repuestos, envases para productos, víveres secos y frescos, medicamentos y otros insumos deberán ser transportados desde la ciudad de San Salvador de Jujuy.

8.2. Métodos de tratamiento

Desde el punto de vista tecnológico, el bórax y el ácido bórico son los principales productos refinados del boro, tanto por su aplicación (usos) como por su empleo como materia prima para la obtención de otros productos: anhídrido bórico, tetra y pentaborato de amonio, perborato, pentaborato y octaborato de sodio, boratos de cinc y otros (Marcus, 1997).

El ácido bórico tradicionalmente se obtiene por la reacción de un ácido mineral con un mineral de borato, siendo la más difundida la reacción del ácido sulfúrico con un mineral de ulexita, debido a su abundancia en la Puna Salteña (Alonso, 1998), según se indica en la reacción (1):



Esta reacción se realiza a una temperatura entre 70 y 80°C, a los efectos de solubilizar el H_3BO_3 producido, debido a que su solubilidad disminuye fuertemente con la temperatura. En el proceso tradicional, por enfriamiento, se logra la cristalización del mismo. En la figura 38 se muestra el proceso tradicional para la obtención de ácido bórico que utilizan las plantas actuales que operan en Argentina (Fig.40).

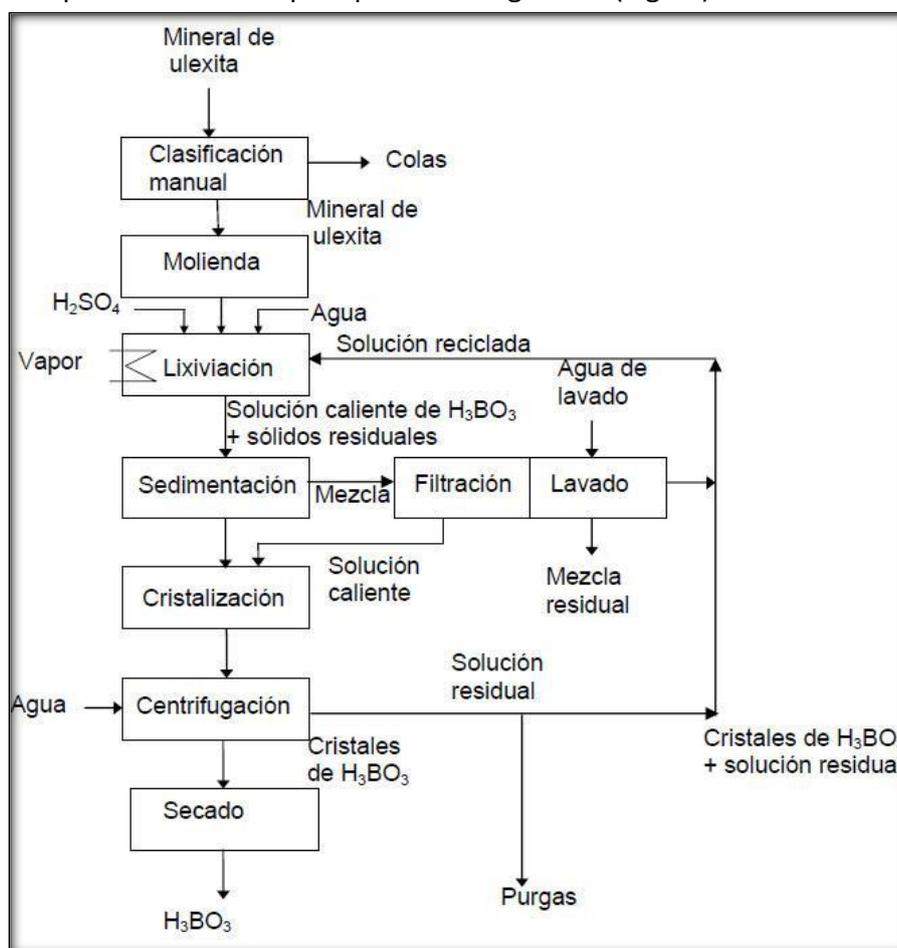


Figura 40. Diagrama del proceso tradicional de producción de ácido bórico.

CAPÍTULO 9: ASPECTOS LEGALES

La República Argentina cuenta con larga tradición en el sector minero. El Artículo 124 de la Constitución Nacional, que establece que "... Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio". Por ello los recursos naturales poseen carácter público y pertenecen a la soberanía del Estado, de acuerdo al lugar donde se encuentren ubicados. Por ende, son las provincias las que cuentan con la capacidad para regular su uso y su disposición en beneficio de la sociedad, contando con la potestad para otorgar concesiones sobre las pertenencias mineras de sus territorios. Parcialmente adaptado ([informe litio - octubre 2021.pdf](#))

Por otro lado, el Código de Minería (Ley 24.585) regula los derechos, obligaciones y procedimientos referentes a la adquisición, explotación y aprovechamiento de las sustancias minerales, aludiendo a las minas como una institución jurídica de individualidad propia. Asimismo, el Código de Minería clasifica las minas conforme las sustancias minerales que contienen, y en el caso de los minerales metálicos, solo podrán explotarse en virtud de concesión legal.

Los boratos fueron incorporados a la primera categoría por la ley la 25.225. Se incluyen en la primera categoría según el Código de Minería aquellas minas en las que el suelo es un accesorio, que pertenecen exclusivamente al Estado y que solo pueden explotarse en virtud de concesión legal otorgada por autoridad competente. El Estado es el dueño originario de las minas, reconoce en virtud de una disposición imperativa de la ley un derecho de explotación sobre una zona de su patrimonio minero a favor de los particulares mediante el cumplimiento por parte de éstos de las condiciones que le son inherentes.

La ley 24.585, incorporó en la Sección Segunda del Título XIII al Código de Minería para regular la protección ambiental para la actividad.

En el caso de Jujuy, la Ley 5063/1998 (Ley general del medio ambiente de Jujuy) introduce la evaluación de impacto ambiental. Sin embargo, esta ley recién se reglamenta en 2010 mediante el decreto 5772. Según este decreto, la Unidad de Gestión Ambiental Minera Provincial (UGAMP) deberá asesorar a la Autoridad de Aplicación Minera sobre la aprobación, rechazo o ampliación del Informe de Impacto Ambiental que deben presentar los titulares de derechos mineros.

A partir de este decreto, uno de los quince miembros de esta comisión será un Delegado de las Comunidades Indígenas de la zona del Proyecto Minero. Además, la reglamentación prevé que, en todos los casos, el trámite del Informe de Impacto Ambiental contemple una instancia de participación ciudadana y, en el caso de existir propietarios superficarios individuales o comunitarios, debe acreditarse la notificación

formal y la realización de reuniones informativas participativas efectuadas en forma previa a la presentación del informe

En Jujuy está en vigencia la Ley Nacional N° 24.585 de Protección Ambiental para la Actividad Minera y la Ley Nacional N° 24.051 sobre Residuos peligrosos, que en su decreto reglamentario N° 831/93 considera al boro un residuo peligroso señalando un valor límite de 2 µg/g peso seco para suelos de uso agrícola. No existe ningún valor límite para las categorías de suelos de uso residencial y uso industrial. El mismo decreto establece como niveles guía de calidad de agua para consumo humano de 1000 µg/l, para irrigación de 500 µg/l y para bebida de ganado 5000 µg/l. Estos datos son sorprendentes, ya que podría pensarse que el nivel máximo permisible para consumo humano debería ser menor que el permitido para irrigación. Sería interesante conocer los criterios que se han empleado para establecer estos valores guía (Albarracín Franco, 2008).

A la actividad minera le son aplicables las mismas disposiciones del Régimen Tributario General, con las modificaciones que establece la Ley de Inversiones Mineras (Ley 24.196), que otorga determinados beneficios tributarios para su promoción y cuya Autoridad de Aplicación es la Secretaría de Minería de la Nación. Dicha ley se complementa con su decreto reglamentario N° 2686/93 y la normativa reglamentaria que dicta en su consecuencia la Autoridad de Aplicación. ([informe litio - octubre 2021.pdf](#))

Entre los beneficios, se mencionan el otorgamiento de estabilidad fiscal sujeto a la expedición del certificado respectivo y cuyo efecto operará a partir del momento de presentación de la factibilidad técnico-económica del proyecto (o ampliación de uno existente) por 30 años. La mencionada estabilidad abarca impuestos directos, tasas y contribuciones impositivas, derechos, aranceles u otros gravámenes a la importación o exportación del ámbito nacional, provincial o municipal. Es dable mencionar que el beneficio de estabilidad fiscal no abarca a los procesos industriales.

La ley N° 24.196 beneficia a los sujetos mencionados en su artículo 2, con la posibilidad de deducir del impuesto a las Ganancias los gastos de inversión en prospección y exploración, sin perjuicio del tratamiento que como gasto o inversión tenga el régimen general del tributo. También cuenta con la posibilidad de solicitar la devolución del impuesto al valor agregado originado por la compra de bienes y/o servicios destinados a la exploración; posee un régimen optativo de amortización acelerada, exención de tributos, tasas y aranceles para la importación de bienes de capital e insumos; previsión especial para cuidado del ambiente, deducible hasta el 5% de los costos operativos y de beneficio, entre los incentivos tributarios más importantes. . Tomado de ([informe litio - octubre 2021.pdf](#)).

CAPÍTULO 10: ASPECTOS AMBIENTALES

10.1 Introducción

El medio físico y medio biótico son los más afectados por las actividades mineras. El objetivo principal es minimizar los impactos ambientales negativos y potenciar los positivos que pudieran generarse durante la realización de las actividades de exploración, explotación y cierre de la mina.

En cada proyecto se deben plantear las medidas para disminuir y/o mitigar el impacto ambiental que tendrán las diferentes acciones sobre los elementos socio-ambientales del área de la mina: el aire, agua, el suelo, la flora, la fauna, la geomorfología y el ámbito socio cultural.

10.2. Impacto ambiental y presentación del informe de impacto ambiental

El compromiso debe ser minimizar los impactos ambientales negativos y potenciar los positivos que pudieran generarse en el área de la mina durante todas las actividades del proyecto. Para ello, todas las medidas de protección ambiental deberán ser conocidas y respetadas por el personal interviniente, como así también por todos los empleados de empresas contratistas que estén incorporados al proyecto.

Para ejemplificar se utilizará las pautas que aplicará en la Mina Cilón o Xilón (Valero, 2008) y recomendaciones adicionales propuestas en este TFI.

Para la prospección de ulexita o boronatrocalcita (borato de playa) se empleará herramientas manuales (pala, pico), aptas para ejecutar pozos de profundidad somera. Las muestras se embolsarán e identificarán. Para las muestras de salmuera, se colectarán con botellas plásticas con capacidad de un litro.

No se tiene previsto instalar ningún campamento en la zona de trabajo, por cuanto la base operativa estará en la localidad de Susques. Para los traslados se emplearán una camioneta tipo 4 x 4, la cual cubrió los movimientos y logística del equipo de campo.

En general, las actividades prospectivas, cuando son llevadas a cabo en forma adecuada, son relativamente inocuas o poco significativas para el ambiente.

Por lo tanto, no se esperan impactos ambientales apreciables por los trabajos programados para esta etapa.

Los relevamientos geológicos, mapeos preliminares, muestreos geoquímicos de superficie, no implicarán daños apreciables al medio físico. Además, en todos los casos en que se efectúe algún pozo manual, sea para el muestreo correspondiente u obtención de

datos geológico-mineros, se tomará la precaución de remover el menor volumen posible de materiales. Una vez cumplida su función, serán convenientemente tapados o rellenados a los efectos de su mitigación-

De todos modos, los potenciales impactos que podrían producirse sobre el medio físico, biológico y socio-cultural, se describen a continuación:

✓ **Impacto sobre medio físico**

Para el movimiento operativo dentro de la superficie del pedimento minero, se aprovecharán huellas y/o sendas preexistentes. Se evitará remover en forma innecesaria la escasa vegetación existente.

En la zona, en general, los suelos son mayormente esqueléticos, por lo que la aptitud para su posible aprovechamiento económico es escasa a nula. Las tareas previstas a llevar a cabo no producirán impactos apreciables teniendo en cuenta sus características edafológicas.

Los impactos por la ejecución de pozos manuales suelen revestir generalmente un carácter puntual o muy localizado. De todos modos, serán convenientemente tapados o rellenados a los efectos de su mitigación. Cabe aclarar que el muestreo es necesario a los fines de obtener datos de contenidos minerales que pudieran justificar mayores estudios y, por ende, más inversiones como para determinar la potencialidad de la manifestación minera.

Con respecto al uso del agua, el personal dispondrá de agua envasada para su consumo personal. Además, las diferentes tareas (recorridos de reconocimiento, relevamiento de información, muestreos), son todas acciones en las que no se emplearán sustancias químicas. Además, las muestras que pudieran obtenerse se ensayarán en laboratorios específicos y lejos del pedimento minero.

✓ **Impacto sobre la atmósfera**

Se debe disminuir la velocidad de tránsito en los caminos de tierra. Además, se recomienda rociar los caminos con agua periódicamente.

La maquinaria y los vehículos deberán estar en buen estado mecánico y de carburación, de manera que se queme el mínimo necesario de combustible, reduciendo así las emisiones atmosféricas.

Se debe evitar la sobrecarga de los camiones de carga para evitar la dispersión y caída del material.

✓ **Impacto sobre la flora y fauna**

Los muestreos por lo general se realizan en sectores salinos, donde por lo general no crece vegetación. De allí que no se esperan impactos en ese sentido.

Con respecto a la fauna, los trabajos en la zona podrán alejar temporalmente algunos representantes de la fauna local, por la simple presencia humana y los ruidos que podría generar el movimiento. El responsable del proyecto tiene que ser consciente del valor ecológico de la biodiversidad. De allí que se lo deberá concientizar a él y a su personal sobre la necesidad de proteger las especies autóctonas

Para proteger los recursos naturales se deben considerar:

a) La prohibición la toma de cualquier elemento faunístico (huevos, crías, nidos) como así también la introducción de animales domésticos (perros, gatos, etc.) o animales exóticos.

b) La recomendación de no remover la vegetación innecesariamente.

c) La prohibición de la utilización de la vegetación natural del lugar como material combustible.

d) La disminución de la velocidad ante presencia de comunidades de animales en los caminos.

✓ **Impacto sobre el medio antrópico**

Se debe buscar obtener una convivencia equilibrada, transparente, respetuosa y proactiva con los pobladores aledaños al área del proyecto.

Se debe priorizar la capacitación y contratación de mano de obra local, para las actividades operativas de campo y de la planta de tratamiento.

Se debe maximizar la compra de productos y la contratación de servicios, necesarios para el desarrollo del proyecto, a proveedores ubicados en el área de influencia.

✓ **Impacto sobre el ambiente cultural (hallazgo arqueológico)**

Ante el descubrimiento de un resto presumiblemente arqueológico, paleontológico y/o histórico se deberán suspender los trabajos en dicho sitio, enmarcarlo y dar aviso a la Autoridad de aplicación o lugar que ésta disponga.

✓ Impacto sobre el ámbito socio-cultural

La zona donde se emplaza el proyecto es de una gran depresión social y poblacional por las características rigurosas propias de la altura y clima extremo de la Puna.

Además, el área cubierta por los cateo se encuentran alejada de centros urbanos y donde no existen mayores asentamientos humanos que pudieran ser afectados por los trabajos previstos en esta etapa operativa.

El impacto en el ámbito socio-cultural de la comarca podría tener connotaciones más bien favorables, ya que en el entorno regional donde se emplaza la propiedad minera escasean las posibilidades de trabajo. De allí que la posibilidad de que se instale un nuevo emprendimiento en la zona podría posibilitar a la gente local el acercamiento de otras potenciales fuentes laborales. Por tal motivo, se considera que dicho impacto puede llegar a ser positivo.

Por otra parte, si bien las tareas de prospección geológico-minera a llevar a cabo no producirán residuos apreciables, el responsable del proyecto capacitará a su personal para el tratamiento adecuado de los mismos y la práctica de buenos hábitos. En ese sentido, y a los fines de mantener la higiene, los residuos domésticos se acondicionarán en bolsas plásticas para evitar la dispersión de basura y, al final de cada jornada se hará su disposición final en Susques.

En general, se estima que las actividades previstas a llevar a cabo no causarán impactos negativos en el ámbito socio-cultural de la escasa población del entorno regional. No obstante ello, se tomarán los recaudos necesarios para evitar la generación de impactos. Además, con las precauciones comentadas se propenderá al cuidado del medio ambiente en sus condiciones naturales.

10.2.1. Presentación del del informe de impacto ambiental para la reactivacion de la actividad extractiva de ulexita o borato común de la Mina Cilón/Xilón

El informe de impacto ambiental presentado consta de los siguientes ítems, describiendo cada uno de ellos e indicando si serán afectados los distintos indicadores como se detalla en el Cuadro 11 de acuerdo al informe de Valero (2008).

Cuadro 11: Items que se consideran en los informes de impactos

Impactos sobre la Geomorfología	<ul style="list-style-type: none">•Alteraciones de la topografía, escombreras, diques de cola, hundimientos, colapsos y subsidencia fuera y dentro de la planta•Incremento o modificación de los procesos erosivos.• Incremento o modificación del riesgo de inundación•Modificación paisajista general
Impacto sobre las aguas	<ul style="list-style-type: none">•Modificación del caudal y calidad de aguas superficiales y subterráneas•Impactos sobre la calidad del agua en función de su uso actual y potencial•Alteración de la escorrentía o de la red de drenaje, depresión del acuífero
Impacto sobre el suelo	<ul style="list-style-type: none">•Grado de afectación del uso actual y potencial•Contaminación.•Modificación de la calidad del suelo•Impactos irreversibles de la actividad•Impacto visual
- Impacto sobre las condiciones atmosféricas.	<ul style="list-style-type: none">•Contaminación con gases y partículas en suspensión•Vehículos en operación continua se producirán emisiones gaseosas producto de la combustión del gasoil en el motor.• Contaminación sónica propia del uso de maquinarias viales y tracción de vehículos livianos y pesados al igual que la generación de corriente eléctrica.
Impacto sobre la flora y la fauna.	<ul style="list-style-type: none">•Grado de la afectación de la flora•Grado de la afectación de la fauna
Impacto sobre proceso ecológicos	<ul style="list-style-type: none">•Modificaciones estructurales y dinámicas

**Impacto sobre el ámbito
sociocultural.**

- Impacto sobre la población.
- Impacto sobre la infraestructura vial, edilicia y de bienes comunitarios.
- Impacto sobre la salud y la educación de la población
- Impactos sobre el patrimonio histórico, cultural, arqueológico y paleontológico
- Impacto sobre la economía local y regional.

El proyecto en líneas generales contribuirá al crecimiento y bienestar de las comunidades lugareñas ya que el proyecto en marcha, en general es fuente generadora de mano de obra y de ingreso de divisas en concepto de regalías al municipio local. A esto se le agrega la capacitación laboral.

10.3. Plan de manejo ambiental

Las medidas y acciones de prevención y mitigación del impacto ambiental, rehabilitación y restauración del medio alterado según correspondiere están relacionadas con

- a) Geomorfología
- b) Programas de monitoreo (variables controladas: calidad del aire, calidad de las aguas-superficiales, suterráneas, potable).
- c) Manejo de desmontes
- d) Manejo de efluentes líquidos
- e) Manejo de desechos sólidos
- f) Manejo de aguas servidas
- g) Manejo de reactivos
- h) Higiene y salud ocupacional
- i) Seguridad y prevención de riesgos
- j) Medidas de Abandono
- k) Instalaciones
- l) Desechos

La provincia define medidas de mitigación enfocadas en prevenir los impactos, pero no contempla medidas de compensación o reparación.

La extracción de boratos tiene impactos ambientales más leves respecto de la extracción de minerales convencionales, pero no se tiene certeza del impacto general de todo el proceso. Especialmente hay dudas respecto al equilibrio hidrológico y a la generación de residuos. Las actividades que generan mayores impactos, son el bombeo de salmuera, la extracción de agua fresca y la reinyección.

En Salta existen estudios de la presencia perjudicial del B en el agua debido a las explotaciones mineras, pero en Jujuy no se hicieron este tipo de estudios y análisis.

El tratamiento actual que se realiza para disminuir la contaminación ambiental producida por el beneficio y la industrialización de productos de boro, se orienta a la disposición de residuos in situ, reciclado de corrientes de proceso, reutilización de desechos y reingeniería de operaciones y procesos.

Así, se emplean diferentes métodos por un lado para disminuir la contaminación con polvo y por otro, para el tratamiento de los efluentes (intercambio iónico, extracción con solventes orgánicos, adsorción sobre hidróxidos metálicos, precipitación alcalina, procesos con membranas y otros) con el objeto de evitar los efectos nocivos de presentes y futuras explotaciones (Flores, 2004).

Una técnica para descontaminar suelos es la fitorremediación que se basa en la capacidad de algunas especies de absorber, transformar, secuestrar o degradar directa o indirectamente algunos contaminantes que se encuentran en la zona radicular (EPA, 2000; Cunningham y Ow, 1996; Raskin, 1996). Una ventaja de la fitorremediación comparada con otras técnicas es que restituye las propiedades funcionales y estructurales del suelo, promueve la actividad de los microorganismos de la rizósfera y es de menor costo comparativo (Trapp y Karlson, 2001). Albarracin Franco et al. (2007); Albarracin Franco (2008), evaluó el potencial de especies nativas en la remediación de suelos contaminados con boro.

Sin embargo, es necesario destacar que esto implica un proceso a largo plazo y que los sitios, si se encuentran en el radio urbano, no pueden ser utilizados en otras actividades relacionadas especialmente con la urbanización, que es el más redituable.

10.4. Restauración

La restauración consiste en dar un uso más favorable al espacio minero teniendo en cuenta los aspectos sociales, económicos y ambientales. Es fundamental el diálogo con los pobladores del lugar, con los entes locales, y con todas las instituciones que estén dispuestas a aportar contribuciones de interés.

La remediación se aplica a dar estabilidad física química del área a largo plazo. Para eso se realizan monitoreos post cierre. Una manera de restaurar el lugar sería como lo muestra la Cuadro 12, según Mola et al. (2018).

Cuadro 11: Prácticas para la restauración de un área minera.



Prácticas Edáficas	<ul style="list-style-type: none">• Manejo y protección del suelo, recuperación de áreas dañadas
Prácticas Geomorfológicas	<ul style="list-style-type: none">• Restablecer condiciones geomorfológicas similares a las que tenía antes de la extracción de minerales
Prácticas Geotécnicas	<ul style="list-style-type: none">• Lograr la estabilidad física de las laderas
Prácticas Hidricas	<ul style="list-style-type: none">• Conservar en estado óptimo las aguas superficiales y subterráneas
Prácticas Ecológicas	<ul style="list-style-type: none">• Reestablecer a la fauna y flora del lugar

Cuando finalice el cierre de la mina, se prevé la pérdida de los puestos de trabajo de la comunidad local. Para mitigar dicho pasivo socioeconómico, se establece como medida de mitigación la capacitación de personas para insertarlas en nuevas fuentes de trabajo, para lo cual se realizará un cronograma de encuentros para llevar a cabo dicha capacitación.

CAPÍTULO 11: LICENCIA SOCIAL Y LA RELACIÓN CON LAS COMUNIDADES

La comunidad del área de estudio es el Pueblo de Jama. Aquí se ubica el Paso de Jama permite una vinculación carretera fluida en la región norte de ambos países (Argentina y Chile) y se constituye en un sector estratégico del Corredor Bioceánico que une a puertos del Atlántico con los del Pacífico (Fig. 41). La aduana entre ambos países, se tramita en altura, a 4200 msnm, lo que dificulta la respiración por falta de oxígeno.



Figura 41. Paso de Jama

Las comunidades rechazaron una reciente licitación de la empresa estatal JEMSE para proyectos mineras en Salinas Grandes, Laguna de Guayatayoc y Salar de Jama. El gobierno provincial inicialmente suspendió la convocatoria por las protestas, pero luego la prorrogó para los primeros días de marzo.

La autora cuando hizo los trabajos de campo mostró el proyecto a la comunidad y se los presentó hablando de que sería enriquecedor para la comunidad conocer el potencial minero de esas lagunas. Lo que más rechazan es la explotación de litio, sin embargo estuvieron de acuerdo con que hiciera el trabajo.

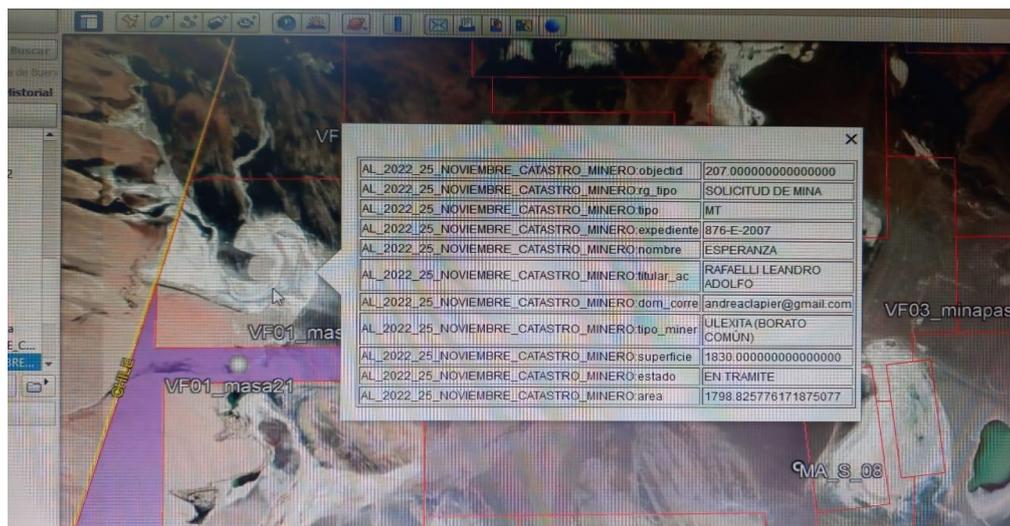
La comprensión de las diferentes respuestas frente a los proyectos de explotación de litio y boratos requiere reconstruir el contexto de negociación que se establece entre las empresas y las comunidades, identificando los roles asumidos por el Estado, ONG y otros actores. Es en este contexto en el que las comunidades construyen distintos encuadres y activan diferentes demandas que resultan en respuestas divergentes.

**Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama**

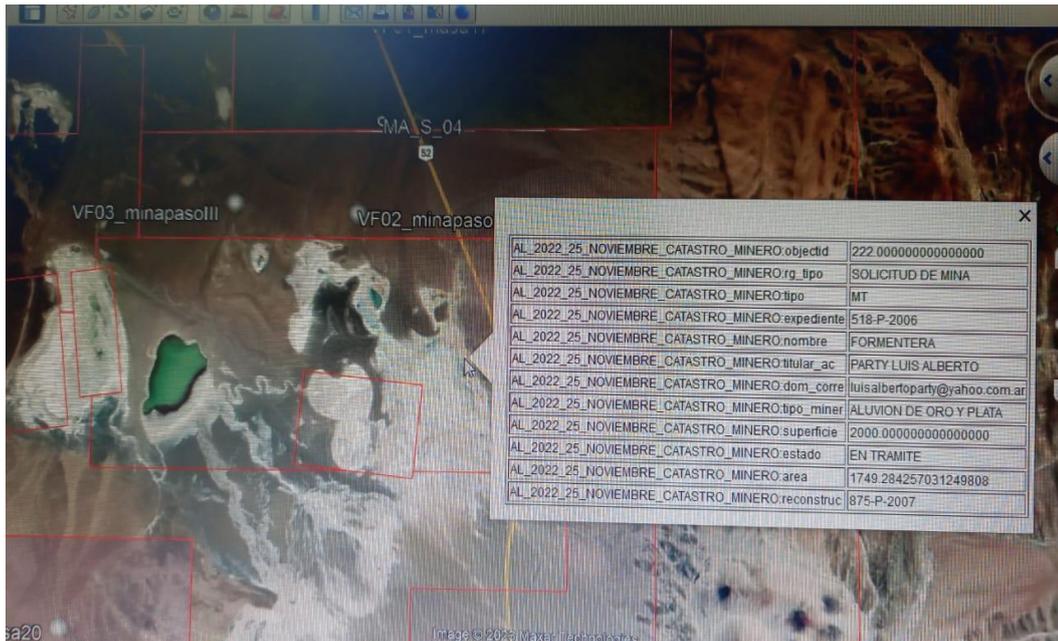
Sales de Jujuy en su Proyecto de Olaroz ha conseguido la aceptación de las comunidades, han trabajado equipo de sociólogos y antropólogos y la empresa ha facilitado que dichas comunidades sumen su trabajo al proyecto, generando una mejor economía para esas comunidades.

Por ello es importante trabajar con la comunidad haciéndola participar en las distintas etapas de la minería hasta la explotación.

En la actualidad hay pedidos de las minas por la empresa Patagonia Lithiun (Fig.42 a, b y c). Esta Empresa ha presentado Informes de Impacto Ambiental para realizar las tareas de prospección y exploración.



Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama



Figuras 42 a, b y c Pedidos de cateos

CAPÍTULO 12: ASPECTOS ECONÓMICOS

12.1. Introducción

El consumo de productos de boro mundial fue de 3,1 millones de toneladas en 2000, aumentó a 4,3 Mt en 2014, 3,8 Mt en 2015 y 3,77 Mt de toneladas en 2016, 3,20 Mt en 2022.

12.1.1. Estructura de la demanda

Aunque los boratos se utilizaron en más de 300 aplicaciones, más de las tres cuartas partes del consumo mundial se utilizó en cerámica, detergentes, fertilizantes y vidrio como fundente (Fig. 43).

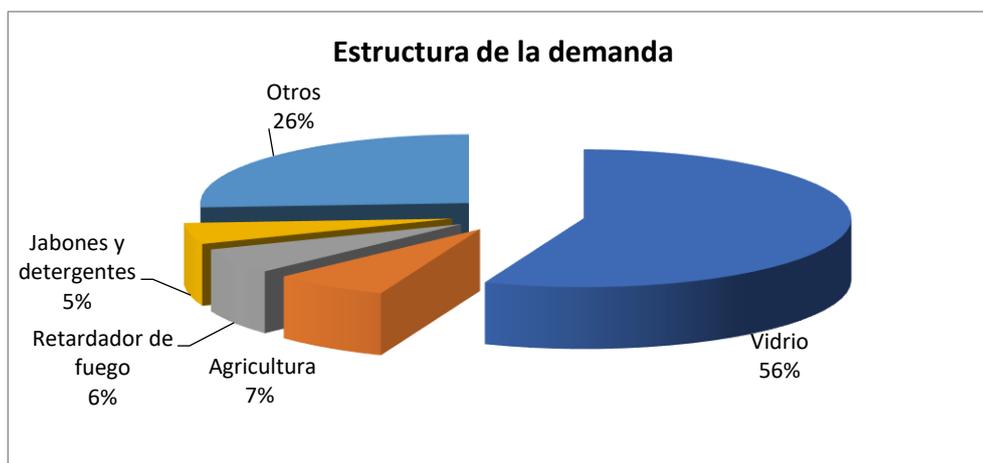


Figura 43. Estructura de la demanda

11.1.2. Las distintas industrias y sus usos.

Los principales usos se sintetizan de acuerdo a la página [ETIMINE USA INC. - ETIMINE USA INC.](#)

Industria del vidrio

Los materiales de vidrio enriquecidos con boro se transforman en productos que son resistentes, tanto al calor como a los productos químicos. Se prevé que el uso de boro en productos de vidrio aumente, El vidrio borosilicatado se produce mediante materiales de boro y es ampliamente usado en diversos campos en productos de cristalería. Estos productos comprenden desde herramientas simples de cocina, como bandejas de vidrio, recipientes de almacenamiento, teteras y cafeteras hasta vidrios

técnicamente complicados, como pantallas de dispositivos electrónicos, sistemas de energía solar y lentes de cámaras.

El vidrio borosilicatado también se utiliza en la industria médica para el envasado de antibióticos y píldoras vitamínicas, como también en envases de vidrio utilizados en los laboratorios de investigación científica.

La lana de vidrio, que se produce a partir de fibras de vidrio licuadas por calor y se transforman en estructuras ergonómicas, es un material sólido y duradero cuando es enriquecido con óxido de boro durante su fase de producción. La lana de vidrio es efectivamente usada como aislamiento térmico y acústico y se produce en diversas formas, tales como mantas, sábanas, tubos y piezas de fundición. Comúnmente se usa en las superficies internas de paredes y el hormigón; en madera, metal y accesorios a presión; en aires acondicionados y mantas de techo; y en los sistemas de calefacción central. La lana de vidrio es antifúngica, anti-corrosiva y evita el deterioro y además, es resistente a la temperatura y a la humedad. Tampoco puede ser deformada por plagas y microorganismos.

La fibra de vidrio reforzada, otro producto de vidrio formado con la adición de boro, es un material industrial producido a bajo costo, es altamente extensible y resistente a las reacciones químicas y los impactos.

En particular, los materiales y compuestos reforzados se usan en embarcaciones marítimas, equipos de esquí, tanques de combustible, buques, vagones de trenes, materiales para techo, paneles de circuitos electrónicos, parachoques, guardabarros y asientos y paneles frontales de automóviles. También desempeñan un rol activo en la producción de paneles eólicos para el sector de “energía verde”.

✓ **Agromineral**

La incorporación de boro como micronutrientes ayuda a las plantas a crecer y aumenta claramente la calidad del rendimiento. Por su desempeño ecológico y eficaz en el crecimiento de las plantas. Las dosis incorrectas de boro y su aplicación errónea pueden derivar en consecuencias ambientales no deseables y en daño a las plantas. En la aplicación y la dosificación adecuadas, el boro ayuda a producir la mejor calidad posible de productos agrícolas. También puede usarse como pesticida para insectos, ya que protege los materiales de madera de organismos nocivos, como los hongos.

✓ Detergentes

Los materiales más utilizados en la composición de los detergentes como fuentes de oxígeno activo son el perborato de sodio y el percarbonato de sodio. La fuente principal de cloro es el hipoclorito de sodio.

Los compuestos de bórax han sido utilizados como agentes de limpieza natural a partir del 1800. Los minerales no tienen que someterse a ningún cambio químico. Los boratos tienen un papel importante en el sector de limpieza debido a sus propiedades que ayudan a facilitar la remoción de manchas y el blanqueamiento, a estabilizar las enzimas, con la amortiguación alcalina, el ablandamiento de agua y a mejorar el desempeño de los surfactantes. El bórax constituye un sustituto natural de los derivados del petróleo, que son perjudiciales para la salud humana y la salud ambiental. Los boratos se usan en muchas formas diferentes de detergentes para ropa, limpiadores domésticos o tipo industrial y productos de cuidado personal. Las ventajas que los boratos y perboratos tienen en los detergentes incluyen:

- ✓ amortiguación alcalina y control de pH,
- ✓ ablandamiento de agua (producción de un compuesto de calcio soluble complejo),
- ✓ mejoramiento del desempeño de los agentes tensoactivos,
- ✓ prevención de la adherencia de suciedad a la superficie de las telas,
- ✓ propiedades de blanqueamiento,
- ✓ estabilización de enzima,
- ✓ prevención de la reproducción de bacterias y hongos en productos de cuidado personal.

✓ Metalurgia

La escoria es un material que deriva de la fusión de sustancias pulverizadas de las minas de hierro y de materiales desechados para su uso en la industria del acero y del hierro. Se permite el uso de escoria, pero existen problemas con el transporte y el almacenamiento, debido a su gran volumen. Los boratos son especialmente importantes en el desarrollo de acero. Se usa en el proceso de boronizado a través de la aplicación de un recubrimiento electrolítico, lo que otorga superficies resistentes a la abrasión.

La combinación de hierro con boratos durante el proceso de soldadura mejora los resultados de la producción siderúrgica. Los aceites industriales desarrollados con boratos a través de varios procesos físicos y químicos reducen la fricción y el desgaste en máquinas industriales y vehículos. Estos aceites de boro resistentes a las elevadas temperaturas ayudan a extender la vida útil de las máquinas y reducen la generación de ruido y contaminación mediante la mejora de abrasiones existentes.

El boro se emplea en todas las industrias espaciales y aeroespaciales para aplicaciones en alerones de alta velocidad mediante el diseño y el desarrollo de organismos resistentes a altas temperatura.

✓ **Cerámica**

Las cerámicas producidas con adición de boro son más resistentes a los impactos físicos y a los químicos en comparación con otras cerámicas desarrolladas sin boratos.

Aproximadamente el 13 % del consumo de boro mundial se usa para aplicaciones en cerámica, específicamente para esmaltados y vidriados de cerámica. Generalmente, se prefieren los esmaltados con boratos para revestir productos con aleaciones de metal.

Los productos de cerámica, como la vajilla de las cocinas y los azulejos de los baños, tienen una estructura más delgada y más vidriada cuando se esmaltan con boratos.

Los boratos también son útiles para los productos de cerámica desarrollados para superficies amplias, como los azulejos para pared. El boro es más económico y más sencillo de procesar que otros productos similares como la sílice y la alúmina, que pueden formar vidriados cuando se calientan a altas temperaturas pero a través de procesos costosos y técnicamente difíciles. Debido a sus bajas temperaturas de fusión en la fase de cerámica, los boratos demuestran ser sustitutos importantes para muchos otros materiales a la hora de modelar vidriados. Mediante la estetización de la cerámica, los boratos ayudan a obtener colores vívidos y brillantes al garantizar una mejor adhesión de la pintura. Las cerámicas enriquecidas con borato, que son resistentes a rayaduras, roturas y aplastamiento, se fusionan y adhieren a temperaturas más bajas.

✓ **Protección de la madera**

Los productos para la protección de la madera con borato han comenzado a reemplazar muchos productos químicos utilizados para la preservación de la madera. Los compuestos de borato permiten la impregnación de la madera sin técnicas costosas mediante sistemas de sumersión, inmersión, cepillado, aspersion, aspiración o presurización en el interior de la madera. Los compuestos de boro transforman la madera en un material fuerte y duradero, prolongando su vida y ahorrando costos.

✓ **Material aislante**

Los materiales aislantes ayudan a proteger contra el calor, el sonido, y los incendios. Los aislantes formados a partir de mezclas de boratos y celulosa, son productos resistentes y de larga duración. Estos materiales ayudan a conservar la energía y reducir los costos energéticos. Estos aislantes no son perjudiciales para la salud y son fácilmente aplicables en muchas superficies.

Los boratos también son importantes materias primas en el aislamiento acústico, en áreas tales como estudios de música y centros de rendimiento

Además del aislamiento térmico y acústico, estos materiales también proporcionan aislamiento contra incendios, ya que retrasan la formación de llamas y así evitan que el espacio entre en contacto con el oxígeno en posibles situaciones de incendios. Reducen la emisión de humo a un nivel mínimo y retardan la liberación de gases que amenazan la salud de los seres humanos. Son también aceptados en la industria textil, se utilizan en muchos sectores relacionados con productos que tienen riesgo de sufrir quemaduras y explosiones.

✓ Boro como la energía renovable del futuro

La tendencia en la disminución en el uso de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, está causando la búsqueda de fuentes de energía alternativas. La continuidad de los avances tecnológicos y la población mundial en constante crecimiento lleva a la necesidad de cantidades excesivas de energía. Las necesidades de energías renovables y sostenibles deben incluir al boro.

El boro, permite que se utilice con alta eficiencia la energía de hidrógeno, como es el desarrollo de células de combustible de borohidruro de sodio. Además, el borohidruro de sodio es ampliamente utilizado en la depuración de químicos, el blanqueamiento celulósico, la limpieza de superficies metálicas, la recuperación de metales preciosos en el tratamiento de superficies metálicas y la limpieza de metales pesados de aguas residuales.

En síntesis,

Los boratos se usan en la industria de la construcción y como aislante para reducir la transmisión de calor. Se usan para fabricar productos livianos y de bajo costo.

Dentro de las aplicaciones nucleares, los reactores atómicos usan aceros al boro, carburos de boro y aleaciones de titanio y boro. Se utiliza como un absorbente neutrónico a través del acero enriquecido con boro, el cual es muy resistente a la oxidación. Los boratos también se usan para el sistema de control de reactores atómicos y piletas de refrigeración y en el cierre de las alarmas de los reactores. La colemanita también se utiliza para el almacenamiento de los desechos nucleares.

En la industria automotriz, el boro se usa para producir airbags y anticongelantes. En los airbags, se usa para garantizar la inflación inmediata. Al momento del impacto, la mezcla de boro elemental y nitrato de potasio se activa mediante un sensor electrónico. Una vez que el sistema está activado; el tiempo total que los airbags deben estar en movimiento es de 40 milisegundos. También se usa como anticongelante y en los sistemas hidráulicos en automóviles.

Los boratos se utilizan ampliamente en misiles y combustibles para aviación. En aplicaciones especiales, se utiliza como material aditivo para combustibles.

Con respecto a los combustibles, los estudios en I&D sobre la producción de energía a partir de borohidruro de sodio están en curso. El hidrógeno está presente en los enlaces químicos de borohidruro de sodio y el catalizador libera el hidrógeno. El hidrógeno producido a partir de esta reacción puede ser introducido directamente en los motores de combustión internos o también puede usarse en las células de combustibles.

Además, los productos de boro son elegidos en una serie de campos, tales como fibra óptica, cosméticos, industrias del hule y el plástico, fotografía, fuegos artificiales y sustancias explosivas similares, pinturas al óleo, arenas y abrasivos, materiales compuestos, dispositivos magnéticos, tecnología de avanzada, investigaciones y momificación.

12.1.3. Sustitutos

La sustitución del boro por otros materiales es posible en detergentes, esmaltes, aislantes y jabones. El percarbonato de sodio puede reemplazar a los boratos en los detergentes y requiere temperaturas más bajas para someterse a hidrólisis, que es una consideración ambiental. Algunos esmaltes pueden utilizar otras sustancias productoras de vidrio, como fosfatos. Los sustitutos como aislante incluyen celulosa, espumas y lanas minerales. En jabones, sales de sodio y potasio de ácidos grasos pueden actuar como agentes limpiadores y emulsionantes.

12.2. Mercado

12.2. 1.Mercado mundial

Los compuestos de boro, principalmente los boratos, son comercialmente importante; por lo tanto, los productos de boro tienen un precio y se venden en función de su contenido de óxido bórico (B_2O_3), variando por el tipo de mineral y por la ausencia o presencia de calcio y sodio.

China, India, Países Bajos, Malasia e Indonesia, en orden decreciente de tonelaje, son los países que importan las mayores cantidades de boratos refinados. Se espera que la inversión continua en nuevas refinerías de borato y el continuo

aumento de la demanda impulsaran el crecimiento en producción mundial para los próximos años.

Alrededor del 70% de los depósitos que principalmente contienen colemanita, se encuentran en Turquía. Este mineral se utiliza principalmente en la producción de vidrio resistente al calor. A los niveles actuales de consumo, los recursos mundiales son adecuados para el futuro previsible. (Fig.44, USGS, 2022).

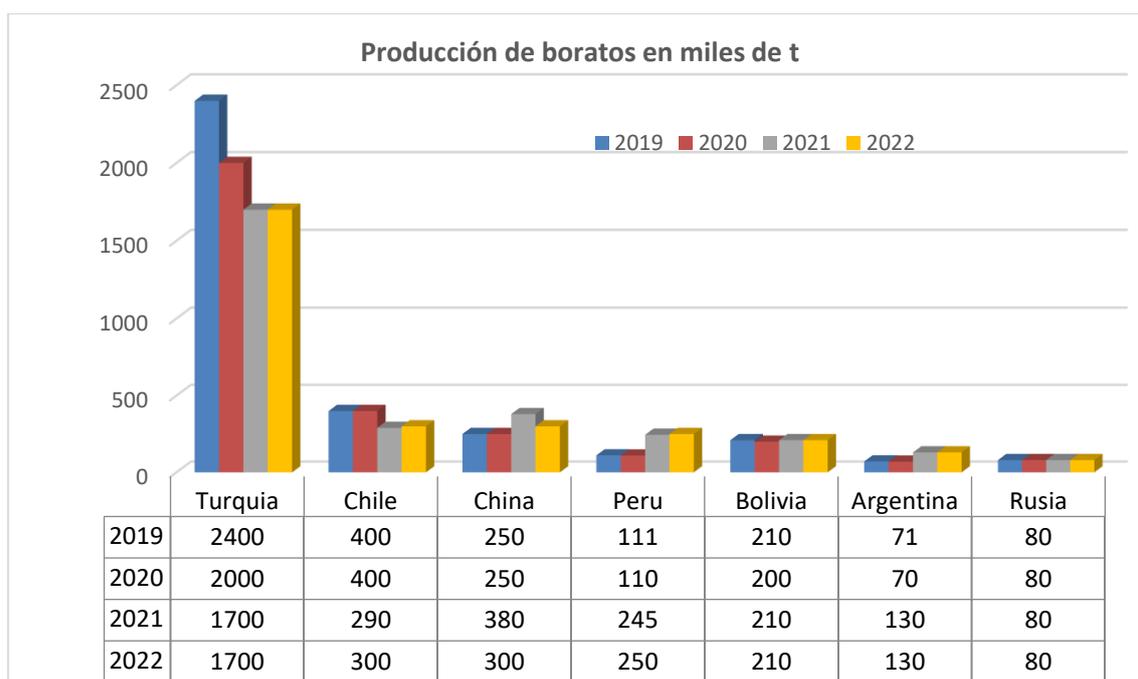


Figura 44: Producción mundial de boro (USGS, 2022).

En 2022, Turquía presenta las mayores reservas de boro a nivel mundial con reservas estimadas de 1200 millones de toneladas. Estados Unidos y Rusia compartieron las segundas mayores reservas de boro con solo 40 millones de toneladas. No se cuenta datos sobre reservas de Argentina (Fig.44). [Mineral commodity summaries 2023 | U.S. Geological Survey \(usgs.gov\)](https://www.usgs.gov/minerals/mineral-commodity-summaries-2023)



Figura 45: Reservas de Boro

12.2.2 Potencial minero en la República Argentina

En la Argentina, se lo extrajo por primera vez a fines del siglo XIX, cuando en Jujuy se instaló la compañía "La Belga". A principios del siglo XX la Compañía Internacional de Borax adquiere los derechos de explotación de "La Belga". Años más tarde adquiere los derechos de explotación de otra empresa minera, "Cuevitas Trading", propietaria de Tincalayu, Diablillos, parte de Sijes y Salinas Grandes, entre otras. En 1956 se inician las actividades extractivas en mina Tincalayu y desde 1958 Borax Argentina, se constituye como empresa ([BORAX ARGENTINA S.A.](#)).

En la actualidad Salta, Jujuy y Catamarca aparecen como las provincias productoras (Fig.46).

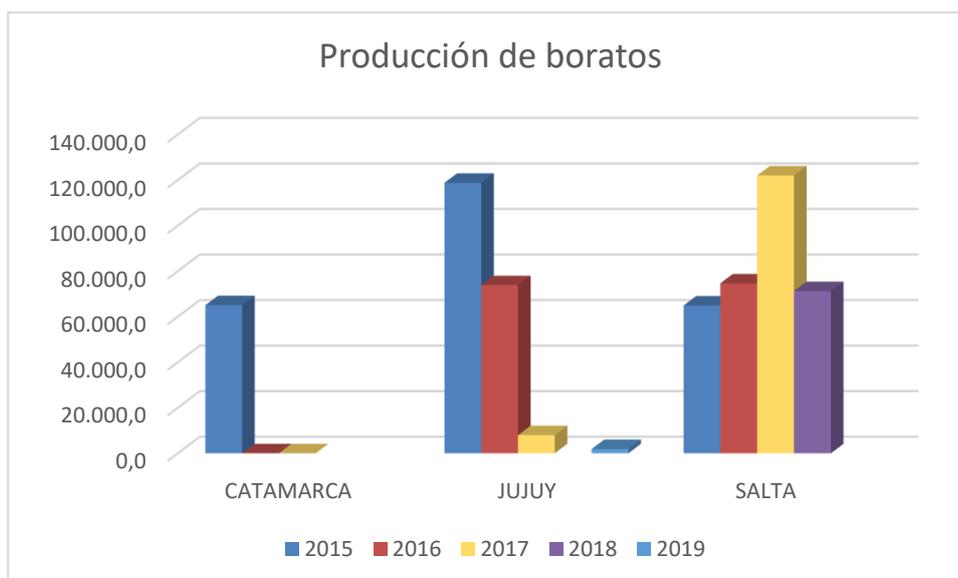


Figura 46. Producción de boratos en la República Argentina 2015-2019.

Respecto a la producción de boratos en la provincia de Jujuy, la Procesadora de Boratos S.A., se abastece de un yacimiento sedimentario ubicado en Loma Blanca (Departamento de Rinconada), aunque procesa su producción en la planta que tiene en el departamento de Palpalá. Cuenta con cerca de 100 empleados y la mayor parte de su producción se exporta, mientras que localmente solo abastece a una fundición. Los productos propios son calcinados de ulexita, boratos de sodio, boratos de calcio (colemanita) y boro granulado [Impacto económico de la Actividad Minera - Pcia de Jujuy - Nov19 \(argentina.gob.ar\)](http://argentina.gob.ar)

En la figura 47 se destaca la producción de boratos que en su pico cuadruplicó los volúmenes actuales de la producción de otros no metalíferos. Esto da cuenta de la incidencia del costo logístico y la disponibilidad de infraestructura en la competitividad de los minerales que poseen un menor valor por tonelada que los metales base (plomo o zinc) o preciosos (plata)

**Evapofacías en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama**

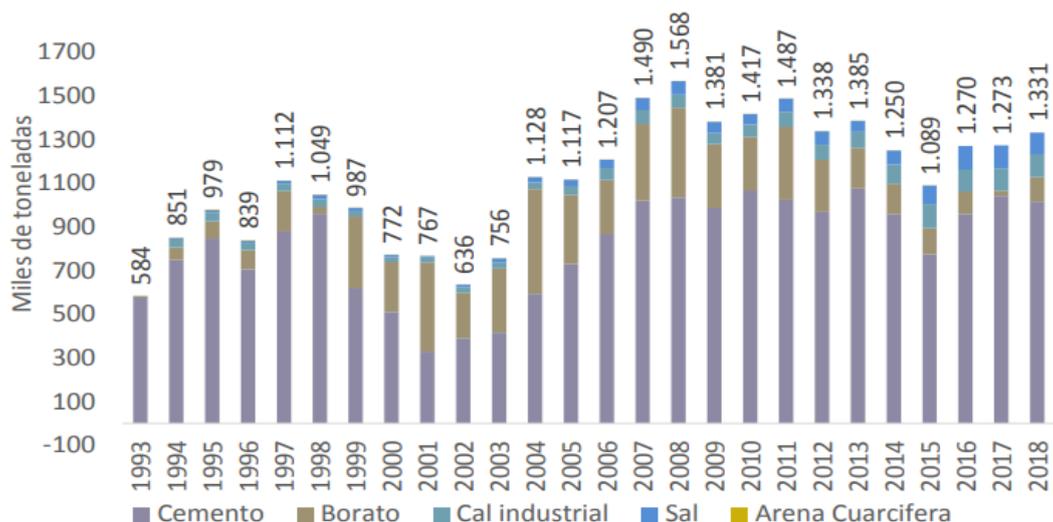


Figura 47: Producción de minerales industriales en la provincia de Jujuy [Impacto económico de la Actividad Minera - Pcia de Jujuy - Nov19 \(argentina.gob.ar\)](https://www.argentina.gob.ar/actividad-minera)

Observando los productos mineros exportados por provincia (Fig. 48), se presentan de la siguiente forma: el oro (60,5%) y la plata (39,2%) representan casi la totalidad de las exportaciones mineras de la provincia de Santa Cruz. El oro (96,5%) es el principal producto minero exportado por la provincia de San Juan, seguido por las cales (2,9%). Para las provincias del noroeste argentino (Catamarca, Jujuy, y Salta), su canasta exportadora minera tiene como principales productos el litio (29,5%), la plata (28,6%), el oro (28,4%) y los boratos (7,4%).



Figura 48: Exportaciones 2021.2022 en precios FOB. Tomado de Microsoft Power BI – Exportaciones mineras del Ministerio de Desarrollo Productivo Argentina

Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama

En 2021, Argentina exportó \$26,6M en bórax, convirtiéndolo en el exportador número 3 de Bórax en el mundo. En el mismo año, bórax fue el producto número 165 más exportado.

Los principales destinos de las exportaciones son: Brasil (U\$S21,8M), Estados Unidos (U\$S1,53M), India (U\$S1,02M), Perú (U\$S653k), y Egipto (U\$S495k)

[Bórax en Argentina | OEC - The Observatory of Economic Complexity](#)

El principal importador de boratos de Jujuy en 2022 fue Brasil (U\$S 8. 565.00), Los boratos ocupan el segundo lugar de las exportaciones no metalíferas de esa provincia como de muestra en la figura 49.

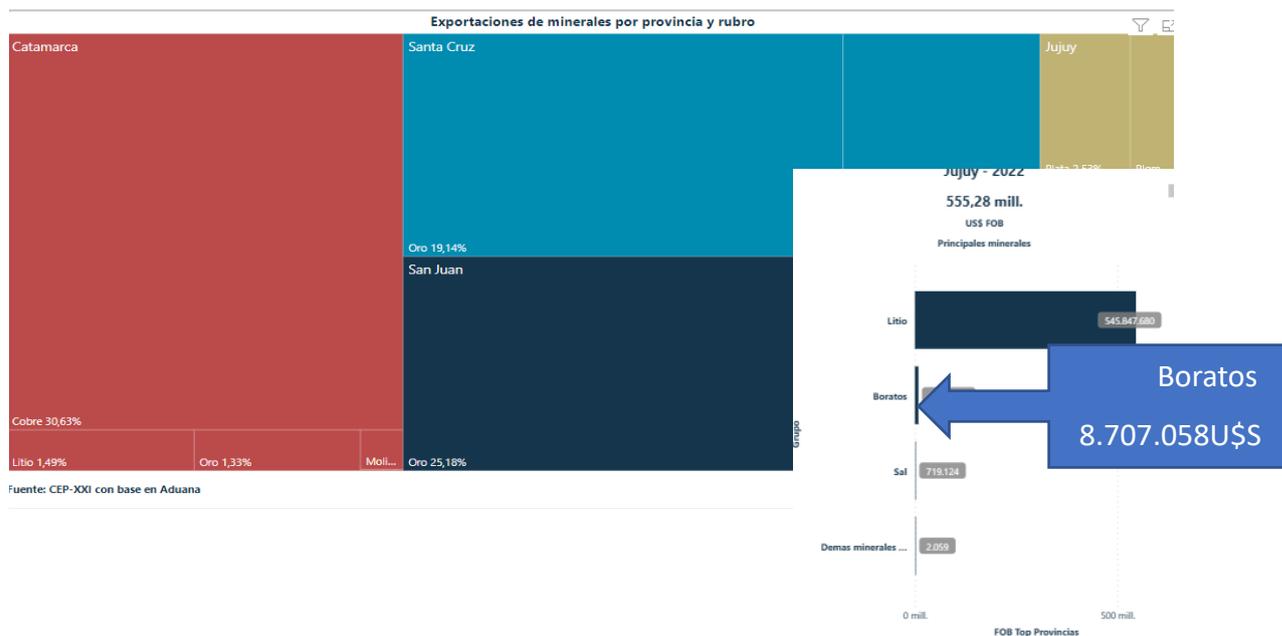


Figura 49: Exportaciones de boratos correspondientes a la provincia de Jujuy. Tomado de Microsoft Power BI – Exportaciones mineras del Ministerio de Desarrollo Productivo Argentina

En 2021, Argentina importó \$855k en bórax, convirtiéndose en el importador número 36 de bórax en el mundo. En el mismo año, el bórax fue el producto número 888 más importado en Argentina. Argentina importó bórax de: Estados Unidos 159.000 U\$S; mostrando claramente un balance positivo.

La figura 50 a y b muestran los principales destinos de exportación y origen de importación para el 2021. ([Bórax en Argentina | OEC - The Observatory of Economic Complexity](#))

**Evapofacies en las Lagunas Mucar, Xilón y Agnia. Puna Jujeña.
Importancia socio-económica para la comunidad de Jama**

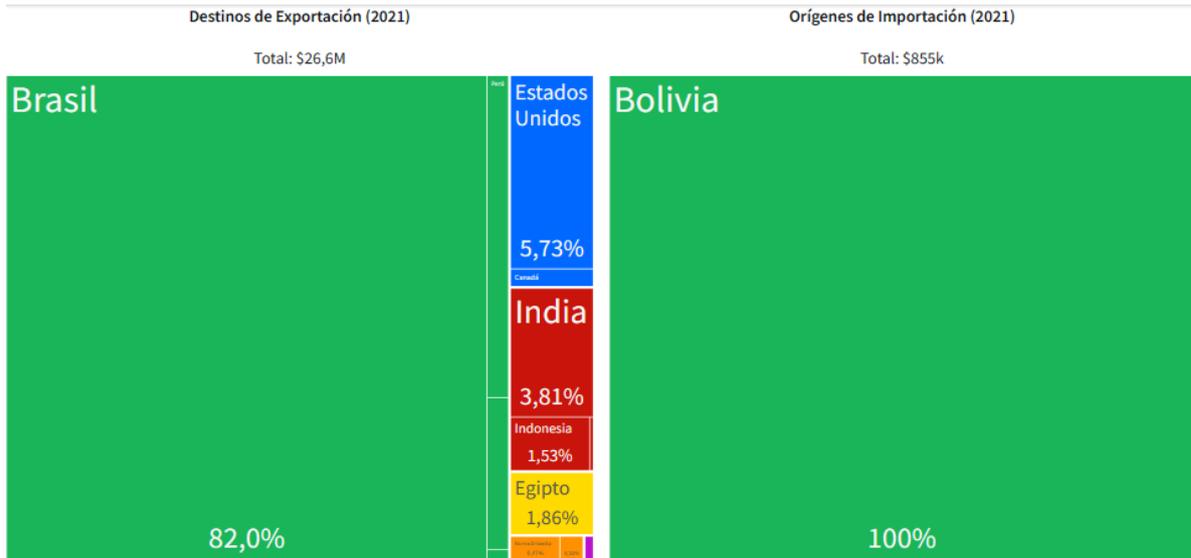


Figura 50 a y b. Principales destinos de exportación y origen de importación ([Bórax en Argentina | OEC - The Observatory of Economic Complexity](#))

12.2.3. Cadena de valor

Se propone una cadena de valor desde la prospección al mercado (Fig.51).

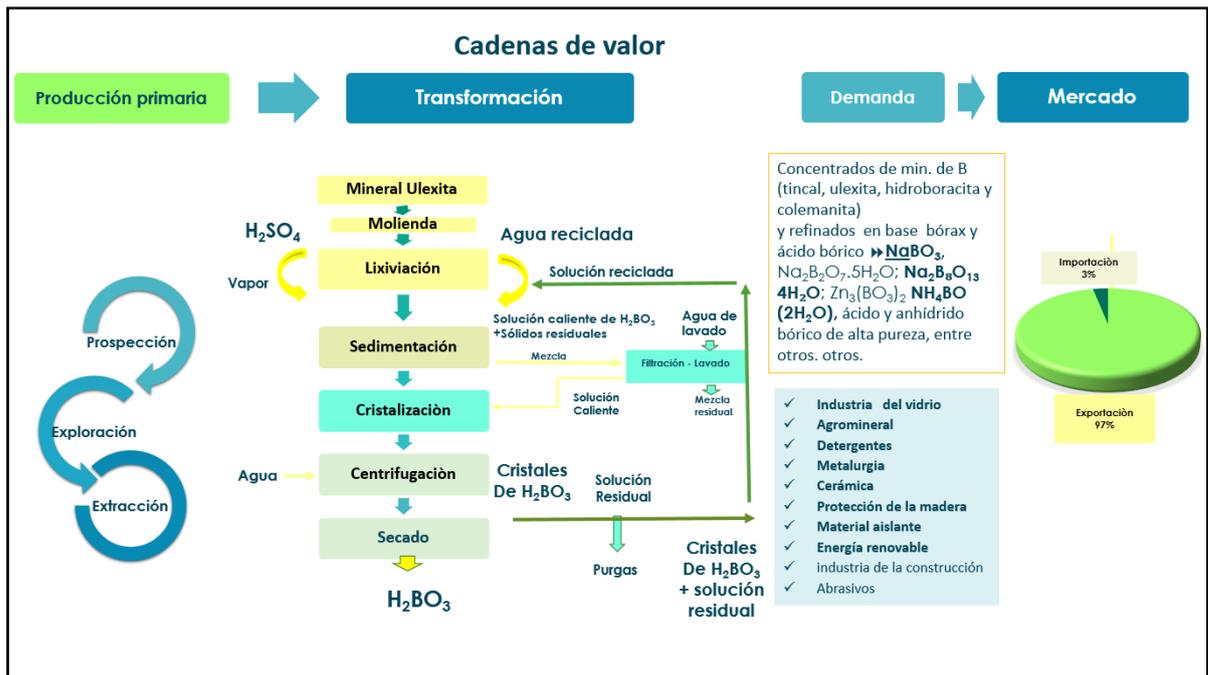


Figura 51. Propuesta de cadena de valor (tomado de Castro, 2023)

CAPÍTULO 13: CONCLUSIONES

La Provincia Boratífera Centoandina es una de las cuatro principales provincias boratíferas del mundo (Andes, Anatolia, California, Tibet). Las yacencias de boratos se encuentran ya sea en rocas neógenas o bien en depósitos cuaternarios tales como salares o fuentes termales (Alonso y Zappettini (1999), Alonso (2016).

Las lagunas Mucar, Xilón y Agnia son tres pequeñas depresiones que se desarrollan sobre la planicie aluvial y están estrechamente relacionadas al ambiente volcánico del lugar.

El desarrollo del trabajo permitió caracterizar con mayor precisión diversos aspectos geológicos de aquellas evaporitas presentes en secuencias del Cenozoico en particular en las lagunas de Mucar, Xilón y Agnia, ubicadas en la Subprovincia Geológica de la Puna Septentrional o Puna Jujeña, donde se describen la presencia de minerales de génesis evaporítica como ulexita, mirabilita, thenardita, yeso y halita.

El vínculo de la estratigrafía con la utilidad constituye un método práctico y expeditivo de prospección.

Entre los factores que deben considerarse para la prospección se tiene:

- ✓ Espacio. La prospección de boratos en América del Sur se limita a la Provincia Boratífera Centroandina cuyos límites han sido establecidos por Alonso y Viramonte (1985). La distribución de las rocas neógenas y la evolución de las cuencas andinas fue sintetizada por Jordan et al. (1983).
- ✓ Edad. Los boratos de la Puna argentina se encuentran estrechamente acotados en un rango de edad que va entre 7 y 5 millones de años atrás. Por lo tanto y al menos en la Puna Argentina, rocas sedimentarias con esa edad pueden considerarse de interés prospectivo.
- ✓ Distribución: Los yacimientos de la Puna Argentina son más antiguos a medida que se avanza hacia el norte, exactamente al revés de lo que ocurre en Estados Unidos donde los yacimientos son más antiguos en dirección sur; al punto que los más antiguos se encuentran en territorio mexicano (desierto de Sonora, depósitos del Mioceno inferior de Magdalena y Tubutama). De confirmarse esta tendencia, cabría esperar boratos neógenos más antiguos se localizan en Bolivia y todavía más antiguos en Perú (Mioceno inferior a medio). Todo ello está ligado a la evolución del volcanismo por un lado y de las cuencas por otro como ha sido sintetizado por Allmendinger et al. (1997). La reflexión sobre este

punto es que no necesariamente debe tomarse como absoluto el “timing” de generación de boratos de la Puna argentina para extrapolarlo al resto del edificio centroandino.

✓ Facies sedimentarias: deben considerarse varios elementos tales como:

a) Presencia de evaporitas. La experiencia indica que, en la mayor parte de los yacimientos y manifestaciones descubiertos en la Puna argentina, los boratos están acompañados de otras minerales evaporíticos tales como yeso y halita ya sea en facies basales, cuspidales o laterales. El yacimiento Loma Blanca constituye una excepción ya que muestra únicamente facies boratíferas. Sin embargo, la presencia de evaporitas integradas en el contexto más amplio es un indicio valioso.

b) Episodios lacustres. Los boratos son sales formadas en ambientes ácueos y cerrados del tipo salares o playa-lakes. La presencia de capas verdes, arcillosas, volcaniclásticas, es otro de los indicios favorables, más aun cuando aparecen asociadas con evaporitas. La presencia de huellas de aves tal el caso de Sijes (Salta), Boron (California), Anniversary (Nevada), puede ser de interés (Alonso, 2012),

c) Tobas. Prácticamente todos los yacimientos de boratos conocidos a escala planetaria están asociados con cenizas volcánicas que indican un volcanismo explosivo sincrónico. En muchos casos la matriz de los boratos es volcaniclástica tobácea o tufítica;

d) Travertinos. Los boratos se han formado por aguas termales que han surgido en los planos de fallas asociados a las cuencas y que han depositado mantos de travertinos. La presencia de facies travertínicas en un contexto más amplio de capas lacustres, evaporitas y cenizas volcánicas, es otra guía valiosa a la exploración de los boratos;

e) Diatomitas. La presencia de capas de diatomitas asociadas a boratos es otra guía indirecta.

✓ Zonación: Los boratos tienden a formar sistemas evaporíticos tipo “bull-eye”, con una zonación química y mineralógica que grada desde los bordes hacia el centro de la cuenca en el siguiente orden químico: por carbonatos incipientes (mayormente travertinos de origen termal y eflorescencias de carbonatos de sodio), sulfatos (yeso, mirabilita, thenardita), boratos (ulexita, tincal) y cloruros (halita).

✓ Anomalías geoquímicas de arsénico, estroncio y litio pueden tomarse como guías útiles positivas en la búsqueda de evapofacies boratíferas. El estudio de muestras de agua ha permitido establecer la presencia de Li en las salmueras.

- ✓ Mineralogía: A través de análisis en campo y laboratorio se ha determinado la presencia de ulexita en barra o plancha: corresponden a capas mantiformes maciza y de ulexita en papas o "Cotton Balls": corresponden a nódulos crecidos en medios arenosos – limosos que oscila en tamaño desde 5 a 20 cm, estos nódulos son de gran pureza y blancura interior.

- ✓ Mercado: Se destaca que la producción de boratos cuadruplicó los volúmenes actuales de la producción de otros no metalíferos. La provincia de Jujuy ocupa un lugar de privilegio como productora de boratos y contiene importantes reservas. Además, existen importantes reservorios de cloruro de sodio y otras sales muy poco estudiadas. Cabe recordar que Argentina se ubica en los primeros lugares en la producción de boratos detrás de Turquía, Chile, China, Perú y Bolivia.

- ✓ Aspectos Sociales: La comprensión de la comunidad local frente a los proyectos de explotación de litio y boratos requiere reconstruir el contexto de negociación que se establece entre las empresas y las comunidades, identificando los roles asumidos por el Estado, ONG y otros actores. El trabajo interdisciplinario (geólogos, sociólogos y antropólogos) puede facilitar que las comunidades sumen su trabajo al proyecto, generando sinergia Empresa- comunidad- Estado.

La información generada podrá ser transferida a la comunidad de Jama como parte de los aspectos sociales, empresas privadas u organismos oficiales relacionados a la actividad minera, a los fines de su aprovechamiento en programas de exploración y/o explotación. Actualmente, son diversas las empresas interesadas en los depósitos evaporíticos.

CAPÍTULO 14: REFLEXIONES FINALES

La importancia de los resultados radica en un conocimiento más profundo de los aspectos estratigráficos, mineralógicos, genéticos, geológico-económicos e inclusive históricos de depósitos evaporíticos presentes en la geografía jujeña.

Los proyectos mineros, en particular, requieren de la participación de una variedad de actores estatales en distintos niveles jurisdiccionales con competencias concurrentes en los territorios a explotar.

Si bien la ley marco que regula la actividad es el Código de Minería, la Constitución Argentina consagra la propiedad provincial sobre los recursos naturales, estableciendo que el dominio originario de estos últimos corresponde a las provincias (Art. 124) (Gutiérrez y Isuani, 2014). De esta manera, cada provincia tiene una ley minera propia que regula la aplicación del Código Minero, estableciendo los derechos y las obligaciones en torno de la propiedad, exploración y explotación de los recursos mineros.

La comprensión de la comunidad local frente a los proyectos de explotación de litio y boratos requiere reconstruir el contexto de negociación que se establece entre las empresas y las comunidades, identificando los roles asumidos por el Estado, ONG y otros actores.

El trabajo interdisciplinario (geólogos, sociólogos y antropólogos) puede facilitar que las comunidades sumen su trabajo al proyecto, generando sinergia Empresa-comunidad- Estado. Es por ello que se debe trabajar con la comunidad e integrarla a los posibles Proyectos Mineros para equilibra los tres componentes del desarrollo sostenible.

CAPÍTULO 15: AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy, quien propicio mi licencia para poder asistir a los Módulos de la Especialización.

También a los docentes de la carrera especialmente a Diana Mutti, Ana María Celada y Liliana Castro.

Principalmente a la Dra. Liliana Castro quien dirigió este trabajo, sus aportes y minuciosas correcciones enriquecieron el mismo: Gracias!!

Finalmente, a los jurados el Dres. Martin Gozálvez y Eduardo Rossello por su tiempo en la evaluación y sugerencias que enriquecieron el manuscrito.

CAPÍTULO 16: BIBLIOGRAFÍA

Aceñolaza, F. y Toselli, A. 1981. Geología del Noroeste Argentino. Publicación especial Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. 212 p. Tucumán.

Ahlfeld, F. y Angelelli, V. 1948. Las especies minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Minería. Universidad de Tucumán, Instituto de Geología y Minería, Publicación 458, 304 pp., Jujuy.

Albarracin Franco, S., de Viana M y Flores H., 2007. Germinación y supervivencia de dos especies vegetales en altas concentraciones de boro. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 11: 49 – 56.

Albarracin, F. S. 2008. Fitorremediación: evaluación del potencial de especies nativas en la remediación de suelos contaminados con boro. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Allmendinger, R., Jordan, T., Kay, S., Isacks, B., 1997. The evolution of the Altiplano–Puna plateau. Annual Review Earth Planetary 25, 139–174.

Alonso, R., 1986. Ocurrencia, posición estratigráfica y génesis de los depósitos de boratos de la Puna Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales, 196 p. Inédito. Salta.

Alonso, R. N., 1999. Los Salares de la Puna y sus recursos Evaporíticos, Jujuy, Salta y Catamarca. En: Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Segemar, Anales 35, 1907-1921.

Alonso, R. N. 2006. Ambientes evaporíticos continentales de Argentina INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 21, 155-170. Tucumán.

Alonso, R. N. 2017. Los salares de la puna argentina y su recurso minero. In Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Relatorio del 20 Congreso Geológico Argentino, 1018-1038.

Alonso, R.N. 2020. Los boratos de la Puna argentina disponible en [Escribe Alonso: Los boratos de la Puna argentina - Mining Press](#)

Alonso, R.N. y Gutiérrez, R., 1984. Zonación de ulexita en los salares de la Puna Argentina. Asociación Geológica Argentina, Revista, 39 (1-2): 52-57. Buenos Aires.

Alonso, R. N. y Zappettini, E., 1999. Boratos terciarios de la Puna, Jujuy, Salta y Catamarca. En: Recursos Minerales de la República Argentina: Anales 35, 1779-1826.

Alonso, R. N. y Viramonte, J. G. 1987. Geología y Metalogenia de la Puna. Estudios geológicos, 43(5-6) : 393-407.

Alonso, R. N, y González Barry, C. E. 2008. Evaporitas, salares y boratos del neógeno y cuaternario de la puna de Jujuy. En Geología y recursos naturales de la provincia de Jujuy, Relatorio del 17 Congreso Geológico Argentino, 368-375.

Alonso R.N. y Ruiz, T. 1997. Asociaciones minerales en depósitos de boratos. En: Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada 16, 237-248. Coord. Joan Carles Melgarejo. Ediciones de la Universidad de Barcelona. España.

Alonso, R.N., Viramonte, J. y Gutiérrez, R., 1984. Puna Austral. Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna Argentina. 9 Congreso Geológico Argentino, Actas I: 43-63. Buenos Aires.

Aniel, B., Vullien, R. y Romano, H., 1989. Estudio genético del yacimiento uranífero Aguiliri – Puna Argentina. Asociación Geológica Argentina, Revista 44 (1-4): 3-14. Buenos Aires.

Anovitz, L. M., y Grew, E. S. (Eds.). 2018. Boron: Mineralogy, Petrology, and Geochemistry En: Walter de Gruyter GmbH & Co KG. 33, 119.

Argañaraz, R. A., 1999. Depósitos de sulfatos de sodio se Jujuy, Salta y Catamarca. En Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Segemar, Anales 35: 1923-1925.

Aristarain, L.F. 1992. Hidroboracita del distrito de Sijes, Salta, Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Geología 10: 1-24.

Aristarain, L.F. y Hurlbut, C.S. 1972. Boron minerals and their deposits. Part 1: Uses, distribution and economic minerals of boron. The Mineralogical Record 3: 165-172.

Bahlburg, H., 1990. The Ordovician basin in the Puna of NW Argentina and N Chile: geodynamic evolution from back-arc to foreland basin. Geotektonische Forschungen, 75: 1-107.

Bahlburg, H. y Zimmermann, U., 1999. La cuenca ordovícica de la Puna. En: González Bonorino, G., Omarini, R., Viramonte, J. Ed: Geología del Noroeste Argentino. Relatorio del IV Congreso Geológico Argentino, I: 185-187. Salta.

Barker, J.M. y Lefond, S.L., 1985. Borates: economic geology and production. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. New York, 274 p.

Bianchi, A.R. y Yánez. C.E., 1992. Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino. INTA, EEA SALTA, 2ª ed. Publicación que contiene la información pluviométrica mensual para 450 localidades del Noroeste Argentino.

Bingham, F. T., 1973. Boron in cultivated soils and irrigation waters. In Trace Elements in the environment. Advances in Chemistry, Serie 123. Ed. E. L. Kothnz 130 -138. Am. Chem. Soc., Washington, DC, USA.

Blasco, G., Zappettini, E. O. y Hong, F., 1996. Hoja Geológica 2566-I San Antonio de los Cobres. Provincias de Salta y Jujuy. Subsecretaría de Minería de la Nación. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Boletín N° 217.

Cabrera, Á. 1958. Fitogeografía. En de Aparicio F, Difrieri HA (Eds.) La Argentina. Suma de geografía. Tomo 3. Peuser. Buenos Aires. Argentina. pp. 101–207.

Cabrera Á.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 14: 1–42.

Cabrera Á L. y Willink A. 1980. Biogeografía de América Latina. 2a edición corregida. Monografía 13. Serie de Biología. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington DC. EEUU. 120 p.

Castro L.N. 2023. Minerales Industriales CEGM Disponible en [Curso: Minerales Industriales \(uba.ar\)](#)

Catalano, L. R., 1926. Geología de los yacimientos de boratos y materiales de las cuencas. Salar de Cauchari. Puna de Atacama. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación N°23, 110 p. Buenos Aires.

Catalano, L. R., 1930. Boratera Coyahuaima. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación N° 89. Buenos Aires.

Catalano, L.R., 1964. Boro - Berilio - Litio (Una Nueva Fuente Natural de Energía). Disponible en <https://repositorio.segemar.gov.ar:308849217/973>

Coira, B. y Barber, E., 1987. Vulcanismo submarino ordovícico (Arenigiano-Llanvirniano) del río Huaytiquina. Provincia de Salta, Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 305-307.

Coira, B. y Nullo, F., 1989. Facies piroclásticas del volcanismo ordovícico (Arenigiano-Llanvirniano) Salina de Jama, Jujuy. Asociación Geológica Argentina, Revista 44 (1-4): 89-95. Buenos Aires.

Coira, B., y Knox, W. J., 1989. Cenozoic Andean volcanism in the Argentine Puna. Abstracts. 28th Int Geol Cong, 1, 310-311.

Coira, B., Caffè, P., Mahlburg Kay, S., Díaz, A. y Ramírez, A., 1996. Complejo Volcanico Vilama. Sistema Caldericos del Cenozoico Superior en Puna, Jujuy. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburo, 3: 603-620. Buenos Aires.

Coira, B. y Caffè, P., 1999. Vulcanismo Cenozoico de Puna Norte. En: G. González Bonorino, R. Omarini, J. Viramonte, Ed. Geología del Noroeste Argentino. Relatorio del XIV Congreso Geológico Argentino, tomo I: 371-386. Salta.

Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, E. y Ramos, V. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina-Chile. Earth Science Reviews 18:303-332

Cordini, I.R., 1967. Reservas Salinas de Argentina. Anales XIII, 113 p. Buenos Aires, Ministerio de Economía y Trabajo. Instituto Nacional de Geología y Minería.

Cunningham S.D. y Ow D.W 1996. Promises and prospects of phytoremediation. Plant Physiol. 110: 715-719.

Davis, G., 1910. Clima de la República Argentina. Oficina Meteorológica, 111 pp. Buenos Aires.

de los Hoyos, L., 1992. La situación de la Minería jujeña y sus perspectivas. Consejo Federal de Inversiones. Dirección Provincial de Minería. Informe inédito: 113. Jujuy.

EPA (Environmental Protection Agency) (2000). Introduction to Phytoremediation. EPA-report EPA/600/R-99/107. Mai 2003 at <http://clu-in.org/techpubs.htm>

Eugster H.P. y Hardie L.A. 1978. Saline lakes. En: Lerman A (ed.) Lakes: Chemistry geology, physics. pp 237-293. New York. Springer.

García, A., Pérez D'Angelo, E. y Ceballos, S., 1962. El Ordovícico de Aguada de la Perdiz, Puna de Atacama, provincia de Antofagasta. Revista Mineral 77: 52-61.

Gardeweg, M. y Ramirez, C. F., 1987. La Pacana Caldera and the Atana Ignimbrite – A major ash flow and resurgent caldera complex in the Andes of northern Chile. Bulletin of Volcanology, 49: 547-566.

Garret, D.E., 1998. Borates, Handbook of deposits, processing, properties, and use. Academic Press. 483pp. Gay, H. y Hillar, N., 1972. Howlita del cerro Codo de Agua, Jujuy. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba, 1:130-132. Córdoba

Gorustovich, S., Salfity, D., Rubiola. y Sureda, R. J., 1985. Yacimiento de Aguiiri (Puna Argentina), deposito uranífero en roca subvolcánicas terciarias. 4° Congreso Geológico Chileno, 2 (3): 250-270. Antofagasta.

Gozalvez, M. R.; Herrmann, C. y Zappettini, E.O., 2004. Minerales Industriales de la República Argentina. Anales 39. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Disponible en: [Descripción: Minerales Industriales de la República Argentina \(mincyt.gov.ar\)](http://mincyt.gov.ar)

Guillou, J. y Cabrera, R., 2008. Estudio Geológico-Minero del Salar de Jama. Servicio Geológico Minero Argentino (Inédito).

Flores H. R., 2004. El beneficio de los boratos. Historia, minerales, yacimientos, usos, tratamiento, refinación, propiedades, contaminación, análisis químicos. Crisol ediciones, INBEMI, Salta.

Hardie, L. A., Smoot, J. P., y Eugster, H. P., 1978. Saline Lakes and their Deposits: A sedimentological approach. En A. Matter, y M. E. Tucker, (Eds.), Modern and Ancient Lake Sediments 7-41. International Association of Sedimentologists

Helvacı, C. 2017. Borate deposits: An overview and future forecast with regard to mineral deposits. Journal of Boron, 2(2): 59-70.

Helvacı, C., y Alonso, R. R. 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina; a summary and geological comparison. Turkish Journal of Earth Sciences, 9(1), 1-27.

Helvacı, C., Ortí, F., García-Veigas, J., Rosell, L., Gündoğan, I. y Yücel-Öztürk, Y. 2012. Neogene borate deposits: Mineralogy, Petrology and Sedimentology; A workshop with special emphasis on the Anatolian deposits. International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, IESCA-2012, 63 p. İzmir (Turkey).

Hua, T., Zhang, R., Sun, H., y Liu, C. 2021. Alleviation of boron toxicity in plants: Mechanisms and approaches. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 51(24), 2975-3015.

Igarzabal, A., 1984. Origen y evolución morfológica de las cuencas evaporíticas cuartáricas de la Puna Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Actas III: 595-607. Bariloche.

Igarzábal, A., 1991. Evaporitas cuaternarias de la Puna Argentina. En: Pueyo, J. J., Ed., Génesis de Formaciones Evaporíticas: Modelos Andinos e Ibéricos. Universidad de Barcelona. Capítulo 6: 333-374. ISBN 84-7875-666-3, Barcelona.

Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Ramos, V. y Ando, E., 1983. Andean tectonic related to the geometry of the subducted Nazca plate. *Ceol. Soco America, Bull.*, 94:341-361.

Kay, S., Coira, B., y Mpodozis, C., 1995. Neogene magmatic evolution and the shape of the subducting slab beneath the Central Andes (20°-33°). IUGS 21th General Assembly, pp. A440. Boulder.

Kendall, A. C., 1992. En: Walker R. G. and James N. P. Facies models, response to sea level changes. *Geological Association of Canadá*, 19: 375 – 409.

Kistler, R. B. y Helvací, C. 1994. Boron and borates. In: Carr DD (ed.) *Industrial Minerals and Rocks*, 6th edn, pp. 171–186. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc.

Krallman, A., 1994. Petrographische und geochemische untersuchungen an jungen, basischen vulkaniten im Bereich des Calama-Olacapato-El Toro lineamentes östlich der vulkankette, NW-Argentinien. *Clausthaler geowissens chaftliche dissertationen*. Herausgegeben von den Geowissens chaftlichen Institutein der Technischen Universität Clausthal. H 45, 160 S., 79 Abb., 20 Tab., 2 Taf. Clausthal-Zellerfeld.

Lavandaio, E. O. L., y Catalano, E., 2004. *Historia de la minería argentina*.

Maro, G. y Caffè, P., 2012. Volcanismo máfico terciario de la puna jujeña, los Cerros Negros de Jama. *Serie de Correlación Geológica*, 28 (1): 51-72. San Miguel de Tucumán.

Medina, E., 2003. Volcanismo y metalogénesis del complejo volcánico Poquis. *Universidad Nacional de Salta. Tesis Doctoral*, 163 pp., inédita.

Moya, M., Malanca, S., Hongn, F. y Bahlburg, H., 1993. El Tremadociano temprano en la puna occidental argentina. *12 Congreso Geológico Argentino y 2 Congreso de Exploración de Hidrocarburo*, 2: 20-30. Mendoza.

Muessig, S., 1966. Recent South American Borate Deposits. *2 Symposium on Salt*, Rau J. L. (ed.), 1: 151-159. Northern Ohio Geological Society, Cleveland:

Murray F.J. 1995. A human health risk assessment of boron (boric acid and borax) in drinking water. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 22: 221-230.

Nable, R.O., Bañuelos G.S. y Paull J.G., 1997. Boron toxicity. *Plant Soil* 198: 181-198.

Raskin I., 1996. Plant genetic engineering may help with environmental cleanup. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93: 3164-3166.

Rubiola, D. G., 1997. Esquema de evolución tectonosedimentaria para las cuencas cenozoicas de la cordillera oriental (22° a 23° lat. S), Argentina. *Acta Geológica Hispánica*, 32 (1-2): 77-92.

Schalamuck, I., Fernández, R. y Etcheverry, R., 1983. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA. Subsecretaría de Minera. Ministerio de Economía. *Anales XX*, 196 p. Buenos Aires.

Schwab, K., 1973. Die Stratigraphie in der Umgebung des Salar de Cauchari (NW Argentinien). Ein Beitrag zur erdgeschichtlichen Entwicklung der Puna. Geotektonische Forschungen 43 (I-II): 1-168.

SEGEMAR-UNSAM, 2002, Boratos. Disponible en [Boratos \(segemar.gov.ar\)](http://Boratos(segemar.gov.ar))

Seggiaro, R., Becchio, R. y Ramallo, E., 2015. Hoja Geológica Susques 2366-III. Programa Nacional de Cartas Geológicas. Boletín N° 414. Segemar. Buenos Aires.

SIB, 2013. Reserva Provincial Alto Andina de la Chinchilla. Disponible [SIB | Reserva Provincial Alto Andina de la Chinchilla](#)

Smith, G.I. y Medrano, M.D., 1996. Continental borate deposits of Cenozoic age. In: Grew, E.S., Anovitz, L.M. (Eds.), Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry. Amer. Miner. Soc. Reviews in Mineralogy 33, 263-298.

Solís, N. y Ramírez, A., 2008. Geomorfología de la Provincia de Jujuy. Relatorio, 17° Congreso Geológico Argentino, 433-442. San Salvador de Jujuy.

Strecker, M., Alonso, R., Bookhagen, B., Carrapa, B., Hilley, G., Sobel, E. y Trauth, M., 2007. Tectonics and Climate of the Southern Central Andes. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 35, 747–787.

Sureda, R., Galliski, M., Argañaraz, P. y Daroca, J. 1986. Geología y Metalogenia de la Puna Aspectos Metalogenéticos del Noroeste Argentino. Capricornio, N." 1, Salta.

Trapp S. y Karlson U. 2001. Aspects of Phytoremediation of organic pollutants. Soil & Sediments 1 1: 37-43

Turner, J. C., 1961. Estratigrafía del Nevado de Cachi y el Sector Oeste (Salta). Acta Geológica Lilloana, 3: 191-226. San Miguel de Tucumán.

Turner, J. C., 1964. Descripción Geológica de la Hoja 7c – Nevado de Cachi. Provincia de Salta y Jujuy. Subsecretaría de Minería, Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 99: 1-78. Buenos Aires.

Turner, J. C. M., 1970. Historia de la geología del Noroeste Argentino. Academia Nacional de Ciencias. Boletín 48 (4): 495-512. Córdoba

Turner, J. C. M., 1972. Puna. Geología Regional Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 1: 91- 116. Córdoba.

Turner, J. C. M., V. Méndez, V., Lurgo, C., R. Amengual, R. y Viera, O. 1979. Geología de la región noroeste, provincias de Salta y Jujuy, República Argentina. 7 Congreso Geológico Argentino, 1:367-388. Buenos Aires.

Valero, P. 2008 Renovación Bianaual. Estudio de Impacto Ambiental. (Ley Nac. 24.585). Etapa: reactivación de la actividad extractiva de ulexita o borato común Mina: CILON, Exp.N° 121-Z-2.008. Dirección de Minería de la Provincia de Jujuy.

Viramonte, J., Alonso, R., Gutierrez, R. y Argañaraz, R., 1984. Génesis del litio en los salares de la Puna Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 471-481. Bariloche.

Warren, J. K., 2006. Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons. Springer Science & Business Media.

Warren, J. K, 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. Earth-Science Reviews 98 217-268

Páginas web consultadas:

- ✓ [Argentina Mining 2000 \(ciencias.org.ar\)](#).
- ✓ [BORAX ARGENTINA S.A. A](#)
- ✓ [DJI_0019.jpg \(1300x795\) \(etimineusa.com\)](#)
- ✓ [emet_6.jpg \(1300x883\) \(etimineusa.com\)](#)
- ✓ [Escribe Alonso: Los boratos de la Puna argentina - Mining Press.](#)
- ✓ [Funciones del boro en la nutrición de las plantas | U.S. Borax\)](#)
- ✓ <https://inta.gob.ar/documentos/isohietas-anuales-del-noroeste-argentino>
- ✓ http://geoportal.idesa.gob.ar/layers/geonode%3Aisohietas_noa
- ✓ [https://inta.gob.ar/documentos/isohietas-anuales-del-noroeste-argentino-](https://inta.gob.ar/documentos/isohietas-anuales-del-noroeste-argentino)
- ✓ <http://www2.medioambiente.gov.ar/sian/jujuy/areas.htm>
- ✓ <https://www.sib.gov.ar/2017/#!/area-prottegida/reserva-provincial-alto-andina-de-la-chinchilla-jujuy>
- ✓ <http://ambiente.gob.ar/areas-prottegidas/areas-prottegidas/>
- ✓ [informe litio - octubre 2021.pdf](#)
- ✓ [Sistema de Información Abierta a la Comunidad sobre la Actividad Minera en Argentina \(SIACAM\) | Argentina.gob.ar](#)
- ✓ [Boron reserves by top countries 2022 | Statista](#)
- ✓ [Resumen de Salud Pública: Boro \(Boron\) | PHS | ATSDR \(cdc.gov\)](#)