



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

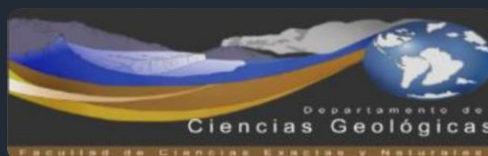
Título: Evaluación de las salinas del nordeste  
del Departamento de Deseado, provincia de  
Santa Cruz.

Aspectos geológicos, ambientales, sociales  
y su aprovechamiento económico.

Autor: Ing. Geól. Julio Fragozo

Director: Dra. Liliana Castro  
Codirector: Lic. Ana María Celeda

2021



## RESUMEN

Se realizó un análisis preliminar de extensas zonas con bajos y cuencas cerradas que corresponden a un grupo de salinas ubicadas al nordeste del Departamento de Deseado, provincia de Santa Cruz, por medio de imágenes satelitales y modelos de elevación digital tratadas mediante herramientas SIG. En el área prospectada, se identificaron 14 salinas de las cuales 2 son explotadas actualmente por Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado empleando el método de cosecha y acopio. La sal es usada como líquido antihielo para las rutas provinciales en temporada invernal. En los meses de sequía se muestrearon las Salinas 1 y 2, obteniéndose leyes de 95,6% de NaCl y 97,2% de NaCl, respectivamente. Se estiman un total de reservas 91.980 t de con un contenido fino de 89.155 t de NaCl. A su vez, los recursos inferidos de las restantes salinas alcanzan las 344.278 t de NaCl. Se proponen otros usos alternativos para la halita, para otras industrias que se desarrollan en la provincia como conserva alimentos, curtido de cuero, fluidos para perforaciones, y en deshielo de caminos. Se concluye que la extracción por cosecha permite una recuperación de la salina durante gran parte del año y no altera significativamente el sistema de salmuera subyacente. También se corrobora que el uso de sal combinado con vinazas como agente de deshielo minimiza la afectación del ecosistema. El aprovechamiento a mayor escala de los recursos de NaCl para la localidad de Puerto Deseado sumaría a su matriz económica la generación de nuevas fuentes de empleo.

## ABSTRACT

A preliminary analysis of extensive areas with lowlands and closed basins corresponding to a group of salt deposits, northeast of the Deseado Department, Santa Cruz province was carried out through satellite images and digital elevation models treated by GIS tools. In the prospected area, 14 salt deposits were identified. Two of them are currently exploited by Vialidad Provincial, Puerto Deseado District using the harvest and stockpiling method. The salt is used as deicing liquid for the provincial roads in the winter season. In the dry months, Salinas 1 and 2 were sampled and analyzed, obtaining grades of 95.6% NaCl and 97.2% NaCl, respectively. A total of 91980 t with 89155 t of NaCl content were estimated for both brines. In turn, the inferred resources of the remaining brines reach to 344278 t with 323662 t of NaCl content. Alternative industrial uses for halite are proposed, particularly those developed in the Province such as food preservation, leather tanning, drilling fluids, and road de-icing expansion, among other applications. It is concluded that the extraction by harvest allows a recovery of the brine during the most part of the year and that doesn't significantly alter the underlying brine system. It is also confirmed that the use of salt combined with stillage as a de-icing agent minimizes the impact on the ecosystem. The use of NaCl resources on a larger scale would add to the economic matrix, the generation of new sources of employment in Puerto Deseado District.

## Tabla de Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Objetivo General .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>9</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>Fase 1 – Revisión y Análisis Bibliográfico .....</b>	<b>10</b>
<b>Fase 2 – Realización de mapeo preliminar a partir del análisis de Imágenes Satelitales y DEM .....</b>	<b>10</b>
<b>Fase 3 – Tareas de Campo y mapeo Geológico .....</b>	<b>10</b>
<b>Fase 4 – Análisis de Resultados y Discusión .....</b>	<b>11</b>
<b>Fase 5 – Preparación del Documento Final .....</b>	<b>11</b>
<b>4. EL CLORURO DE SODIO – HALITA .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Propiedades y Generalidades .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2. Los ambientes de formación de la halita .....</b>	<b>13</b>
4.2.1. Caracterización de Evaporitas Continentales .....	14
4.2.2. Caracterización de Evaporitas Marinas.....	19
<b>5. LOS DEPÓSITOS DE HALITA EN ARGENTINA.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 Depósitos de la Región Noroeste.....</b>	<b>22</b>
⊕ Evaporitas de la Puna .....	22
⊕ Yacimiento de salmuera de El Timbó, Tucumán .....	25
<b>5.2. Depósitos de la Región Nuevo Cuyo-Centro .....</b>	<b>26</b>
⊕ Las salinas de la provincia de la Rioja .....	26
⊕ Salinas Grandes.....	27
⊕ Las Salinas del Bebedero, San Luis .....	28
<b>5.3. Las Salinas de la región pampeana, Buenos Aires y La Pampa .....</b>	<b>29</b>
<b>5.4. Depósitos de la región Patagónica .....</b>	<b>29</b>
⊕ Depósitos de sal de roca en la Cuenca Neuquina.....	29
⊕ La Salina El Gualicho, provincia de Río Negro .....	30
⊕ Las Salinas Grande y Chica de La Península De Valdés, Chubut .....	30
⊕ Salinas de la provincia de Santa Cruz .....	30
<b>6. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN Y TRATAMIENTO .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1 Métodos de explotación .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2. Procesamiento de cloruro de sodio .....</b>	<b>37</b>
<b>6.3. Recuperación a partir de salinas marinas .....</b>	<b>38</b>
<b>6.4. Refinación de la sal .....</b>	<b>39</b>

<b>7. USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA HALITA .....</b>	<b>40</b>
<b>7.1. Usos de la Sal Industrial .....</b>	<b>42</b>
<b>7.2 Deshielo de Caminos .....</b>	<b>43</b>
<b>8. MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL DE LA HALITA .....</b>	<b>46</b>
8.1 Producción.....	46
8.2. Clasificación arancelaria y balanza comercial .....	48
<b>9. LOS DEPÓSITOS EN ESTUDIO .....</b>	<b>50</b>
<b>9.1 Ubicación .....</b>	<b>50</b>
<b>9.2 Antecedentes.....</b>	<b>51</b>
<b>9.3. Influencia Climática .....</b>	<b>53</b>
<b>9.4. Geología del Área .....</b>	<b>55</b>
<b>9.5. Geomorfología.....</b>	<b>57</b>
9.5.1. Bajos o Cuencas cerradas.....	58
9.4.2. Relieve denudativo en sedimentos terciarios.....	59
<b>9.6. Tareas Realizadas .....</b>	<b>59</b>
<b>10. RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
<b>10.1. Identificación de Salinas .....</b>	<b>61</b>
<b>10.2. Descripción Composicional y Textural.....</b>	<b>62</b>
<b>10.3. Caracterización de las Salinas .....</b>	<b>68</b>
<b>10.4 Descripción de texturas de los cristales .....</b>	<b>74</b>
<b>10.5 Análisis Geoquímico .....</b>	<b>75</b>
<b>10.6 Estimación del Recurso .....</b>	<b>77</b>
<b>11. ASPECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>78</b>
<b>11.1. Identificación de Potenciales Fuentes de Impacto Ambiental .....</b>	<b>78</b>
<b>11.2.Impactos Ambientales en el Deshielo de Caminos .....</b>	<b>79</b>
<b>11.3.Uso de vinazas con NaCl en el deshielo de caminos .....</b>	<b>81</b>
<b>12. ASPECTOS LEGALES .....</b>	<b>82</b>
<b>13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
<b>14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>15. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>91</b>
<b>16. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>92</b>

## Lista de Figuras

Figura 1. Desarrollo de la metodología establecida para llevar a cabo el estudio técnico propuesto en este Trabajo Final Integrador.....	11
Figura 2. Estructura cristalina convencional de la halita. .	13
Figura 3: Secuencia de precipitación de sales.....	14
Figura 4. Esquema de distribución de sub – ambientes deposicionales en sistemas evaporíticos .	16
Figura 5. Muestra un corte esquemático de los ambientes deposicionales en una cuenca continental con desarrollo de una Playa Lake. ....	16
Figura 6. Esquema de la zona vadosa y la zona subacuosa junto a sus mecanismos de precipitación de sales.....	17
Figura 7. Zonación de Ambientes en cuencas evaporíticas continentales.....	18
Figura 8. Mecanismo de barrera que permite la sobresaturación de sales dentro del cuerpo de agua aislado del mar. Tomado de CMD, 2016. ....	19
Figura 9. Principales salinas y depósitos de sal de roca. ....	21
Figura 10. Salar Taca Taca, provincia de Salta.....	25
Figura 11. Salinas Grandes, provincia de Córdoba.....	27
Figura 12. Explotación subterránea de una mina de sal ubicada a 420 metros de profundidad, cerca de la ciudad de Soligorsk, al sur de Minsk, Bielorrusia. ....	32
Figura 13. Explotación por cosecha de salinas. Salinas del Bebedero San Luis .....	34
Figura 14. Síntesis del proceso de extracción de la sal por cosecha... ..	35
Figura 15. Procesos de recuperación del cloruro de sodio según su concentración. ....	37
Figura 16. Esquema de extracción subterránea de sal de roca. ....	37
Figura 17. Esquema de los distintos métodos para el procesamiento de cloruro de sodio según su procedencia. ....	38
Figura 18. Esquema ilustrativo de funcionamiento químico a nivel molecular del proceso de deshielo. Tomado de Scientific American, 2005. ....	44
Figura 19. Producción de sal mundial (USGS Commodities, 2020). ....	46
Figura 20. Distribución de la producción de halita en Argentina. CIMA (2021).....	47
Figura 21. Producción anual de halita en Argentina años 2010 - 2019. CIMA (2021) .....	47
Figura 22. Valores de importación-exportación en toneladas.....	48
Figura 23. Mapa de Localización de las salinas objeto de estudio. ....	50
Figura 24. Producción de sal en la Provincia de Santa Cruz, años 2009-2019. ....	51
Figura 25. a) Extracción y recolección del material de cosecha por una cortadora. b) Carga y transporte del mineral. c) Ubicación del material en tolvas. d) Procesamiento y tratamiento en las piletas. e) Mezclado mediante agitador mecánico. f) Bombeo de la solución salina. h)	
Proceso de riego sobre las rutas provinciales. ....	53
Figura 26. Distribución de la temperatura media anual, mes de enero y mes julio en la Patagonia Argentina. ....	54
Figura 27. Precipitaciones medias anuales de la zona de Puerto Deseado.....	55
Figura 28. Mapa geológico de Puerto Deseado. ....	56
Figura 29. Mapa geomorfológico. ....	57
Figura 30. Metodología de Recolección de datos de campo. ....	60

Figura 31. Identificación de las salinas de la zona de interés a través del procesamiento de los datos geográficos suministrados por el Modelo de Elevación Digital. B. Modelo 3D de las salinas con potencial de explotación minera. ....	62
Figura 32. Muestra 1 obtenida del piso de la Salina 6. ....	63
Figura 33. Muestra correspondiente a arcilla tobácea obtenida de la pared en la Salina 6. ....	64
Figura 34. Muestra 3 correspondiente a un canto rodado en el piso de la Salina 6. ....	65
Figura 35. Muestra 4 correspondiente a la capa residual de NaCl en los bordes de la Salina 6.....	66
Figura 36. Muestra 5 zona inundada de la Salina 6.....	67
Figura 37 Salina 6 inundada (a), Salina 1 en cosecha (b). ....	69
Figura 38. Esquema de salina inundada. ....	70
Figura 39. Esquema de salina en cosecha. ....	70
Figura 40. Vegetación aledaña de las salinas. ....	71
Figura 41. Ejemplo de piso mal nivelado en una salina. ....	71
Figura 42. Nivelación del piso de las Salinas 1 y 2. ....	72
Figura 43. Ojos de agua. ....	72
Figura 44. Morfología de los cristales de halita de crecimiento libre. 1) Tolva (pirámide hopper) y sección, 2) cubo (macizo) 3) Tabular (tabular hopper) 4) Tolva cúbica y secciones. 5) Tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron).....	73
Figura 45. A Observación de la morfología tipo tolva piramidal y cúbica. B Observación de morfología cúbica maciza. C Observación de morfologías tabulares y D. Observación de morfologías tipo tolva cúbica. ....	74
Figura 46. Resultados de la relación en peso de los aniones y cationes para la muestra 1 de la Salina 1. ....	76
Figura 47. Resultados de la relación en peso de los aniones y cationes para la muestra 1 de la salina 2. ....	76
Figura 48. Impactos ambientales asociados a algunas actividades de la explotación de sal por cosecha. ....	78
Figura 49. Vegetación halófila de la Patagonia Argentina, plantas típicas de estepa de bajo crecimiento como función adaptativa ante suelos ricos en sal. ....	80
Figura 50. Daños sobre el pavimento provocados por diversas causas incluyendo el uso de sales de deshielo. ....	80
Figura 51. Evolución de la población en Puerto Deseado (2001 a 2020) ....	86

## Lista de Cuadros

Cuadro 1 Propiedades físicas y características de la halita.....	12
Cuadro 2: Composición química de los salares pertenecientes a la región de la Puna, se observa una concentración considerable de NaCl en la totalidad de los yacimientos. ....	25
Cuadro 3: Clasificación arancelaria.....	48
Cuadro 4: Normas internacionales vigentes para los productos terminados y diferentes aplicaciones provenientes de la explotación de cloruro de sodio.....	49
Cuadro 5. Ubicación de las salinas (toma de coordenadas mediante GPS -Garmin etrex10). ....	61
Cuadro 6. Leyes de NaCl y el cálculo de los recursos estimados para las Salinas 1 y 2 ....	77
Cuadro 7. Estimación de recursos inferidos para las salinas restantes. ....	77

## 1. INTRODUCCIÓN

La obtención de un beneficio económico de los minerales generados a través de múltiples procesos geológicos dirige las miradas generalmente al potencial que existe en aquellos depósitos metalíferos, dejando de lado especies minerales que hacen parte de la vida cotidiana de una manera menos vistosa. Estas especies minerales corresponden a los llamados minerales industriales, término que agrupa una amplia gama de materiales conocidos por su participación en diferentes procesos industriales, directamente o mediante una preparación adecuada, dicha participación depende de sus propiedades físicas y químicas más no de los elementos o energía que puedan ser extraídos de ellas (Regueiro, 2008). Su clasificación no es simple ya que tienen diverso origen, variados usos y generalmente pocas normas específicas de comercialización. En general tienen bajo costo por tonelada, ya que se emplean en estado natural o solo son sometidos a sencillos procesos de purificación y molienda, y sus precios están influenciados principalmente por el costo de los fletes (MMSD, 2007; Castro, 2018).

La historia de la sal se remonta a tiempos remotos en los que se consideraba un privilegio tenerla y un peligro para la supervivencia no contar con ella, los registros más antiguos del tratamiento de la sal datan del año 2700 AC. En estas épocas la sal estaba posicionada como un mineral ancestral con significados de tipo milenario, entre estos significados se encontraban la creencia de conferir a los recién nacidos virtud y sabiduría, ser el símbolo clásico de la hospitalidad o la superstición que existe detrás ella cuando es derramada sin alguna intención (Frangolini, 2005). Primeramente, los seres humanos la obtenían de las carnes de los animales que solían cazar y, hasta que en el comienzo de la agricultura logró completar la dieta con la sal necesaria para el buen funcionamiento de su cuerpo (Kostick, 2000). Igualmente, siempre estuvo ligada a la conservación de alimentos, pero, también marcó un hito durante aquella época de la historia humana en la que fue considerada una moneda al estimular los intercambios comerciales en los que era considerado un mineral con un valor económico muy alto, inclusive condicionaba la vida de las personas y las poblaciones de acuerdo a su abastecimiento o la cantidad de impuestos que debían tributar según su consumo (Frangolini, 2005). Su uso en la economía como moneda o elemento de intercambio comercial derivó, por ejemplo en Roma, en que fuera

usado como medio de pago a los trabajadores, quienes por la dificultad de transportar dicho mineral optaron por recibir el valor de esta cantidad recibida de sal en dinero que les permitía comprarla y de esta situación surge el término *Salarium Argentum*, concepto que ha perdurado en la historia de la humanidad. Otro caso se remonta a la edad media donde la monarquía escogió la sal como un medio seguro para cubrir los gastos de la nobleza y financiar sus campañas militares, e impuso los impuestos a la sal, tanto en su producción como su consumo (Frangolini, 2005). Fue la sociedad más avanzada la que propuso una minería estructurada de este mineral, usando refinaciones y técnicas de procesamiento mineral que permitieron, para mediados del siglo XIX, que se convirtiera en una materia prima industrial fundamental, para producir carbonato de sodio e hidróxido de sodio, convirtiéndose en una materia prima consumida a nivel mundial y en diversas industrias (Kostick, 2000).

En el caso de Argentina, el rubro sal común aporta 6,8% (949.561,7 t), de la producción total de minerales industriales, cantidad que corresponde a un valor aproximado de 360.833.438,4 \$ARS (CIMA 2021). El segundo mayor uso de la sal común en el hemisferio norte tiene como finalidad evitar el congelamiento de nieve en rutas. En el territorio argentino esta aplicación, es reducida a ciertos lugares del país como en la provincia de Santa Cruz, lugar donde fueron identificados los depósitos de interés para este estudio. Esta razón acompañada de los conocimientos adquiridos durante el programa académico permitió enfocar la atención en los depósitos de sal en el Departamento de Deseado, a 53 km de la localidad de Puerto Deseado, donde se encuentran en total 14 salinas que aportan los recursos necesarios para realizar procesos de deshielo de caminos por medio de la gestión operativa de Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado. Durante el desarrollo de este Trabajo Final Integrador se evaluará el potencial salino en cloruro de sodio dentro de este territorio, las posibilidades de exploración, de explotación, el impacto y mitigación ambiental de la producción del mismo.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Determinar el potencial de recursos de cloruro de sodio en las salinas ubicadas al nordeste del Departamento de Deseado
- Caracterizar los recursos explotados actualmente por la Vialidad Provincial con el fin de garantizar una extracción y producción de manera sustentable.

### **2.2. Objetivos Específicos**

1. Sintetizar el marco geológico de la zona de estudio.
2. Identificar el ambiente y condiciones de formación de las salinas.
3. Identificar las salinas presentes en el área de estudio y realizar su reconocimiento en campo.
4. Analizar desde el punto de vista geoquímico las salinas explotadas por Vialidad Provincial.
5. Definir los impactos ambientales producto de la extracción del mineral y la afectación que podría causar por el uso estipulado.
6. Establecer otros posibles usos del mineral industrial con gran potencial de producción en la provincia de Santa Cruz.
7. Mencionar a nivel provincial las ventajas económicas y sociales si se aprovechan los recursos de (NaCl).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Con el fin de llevar a cabo los objetivos propuestos para este Trabajo Final Integrador se aplicaron los conocimientos adquiridos durante el proceso de aprendizaje del programa académico, acompañado del debido análisis con criterio geológico minero para discutir los resultados obtenidos por las diversas fases planteadas en esta metodología. Este trabajo fue realizado por fases, las cuales serán descriptas a continuación.

#### **Fase 1 – Revisión y Análisis Bibliográfico**

Esta fase consistió en la consulta de fuentes bibliográficas y el respectivo análisis de la información relacionada con el tipo de depósito y al área de estudio, las cuales están compuestas principalmente artículos científicos, documentos e informes del Servicio Geológico Minero Argentino y hojas geológicas. De esta revisión surge la idea de prospección de recursos de halita teniendo en cuenta las características geológicas de la zona.

#### **Fase 2 – Realización de mapeo preliminar a partir del análisis de Imágenes Satelitales y DEM**

Con el objeto de realizar el mapeo geológico a nivel local y la identificación de las geoformas de interés, fueron usados recursos digitales que permitieron el tratamiento de los datos, en este caso se usaron herramientas SIG como ArcGIS y Global Mapper, imágenes satelitales y modelos de elevación digital provistas por el satélite DAICHI – ALOS PALSAR y Google Earth. El tratamiento previo se ejecuta con el fin de tener una visión preliminar de la zona lo que a su vez permite que se determinen los puntos de interés, es decir, la ubicación de las salinas que fueron estudiadas posteriormente en detalle.

#### **Fase 3 – Tareas de Campo y mapeo geológico**

La entidad que actualmente extrae el recurso (Vialidad provincial Distrito Puerto Deseado), brindó el acceso al yacimiento y muestreo de las salinas para llevar a cabo una caracterización del depósito y la evaluación de las leyes de los mismos. Este trabajo fue realizado por fases, las cuales serán descritas a continuación

El trabajo de campo fue llevado a cabo en los meses de junio/octubre del 2019 continuando en julio del 2020, donde se realizó un reconocimiento general, mapeo y toma

de muestras de la zona con potencial explotada por la Vialidad Provincial. Las muestras fueron obtenidas del depocentro de las salinas, para su posterior análisis geoquímico y caracterización mineralógica. Fueron identificados los materiales que se encuentran la zona de playa, piso y en las paredes de las salinas y adicionalmente, se hizo un reconocimiento de la vegetación alrededor de las salinas. También se conocieron los métodos de explotación y recuperación del mineral que realiza la Dirección de Vialidad provincial en el lugar.

#### **Fase 4 – Análisis de Resultados y Discusión**

A partir de los resultados geoquímicos y de los análisis texturales de las muestras se caracterizó el depósito, los límites del yacimiento, su geología y geomorfología. Se analizó el método de explotación y recuperación del mineral. Se incluyen en la discusión los posibles impactos ambientales producto de la extracción del mineral y otros posibles usos del mineral que se extrae en estas salinas en la provincia de Santa Cruz. Por último, se analiza a nivel provincial las ventajas económicas y sociales si se aprovechara el recurso minero analizado.

#### **Fase 5 – Preparación del Documento Final**

Toda la información obtenida en las fases anteriores fue plasmada de manera ordenada y concisa en la figura 1.

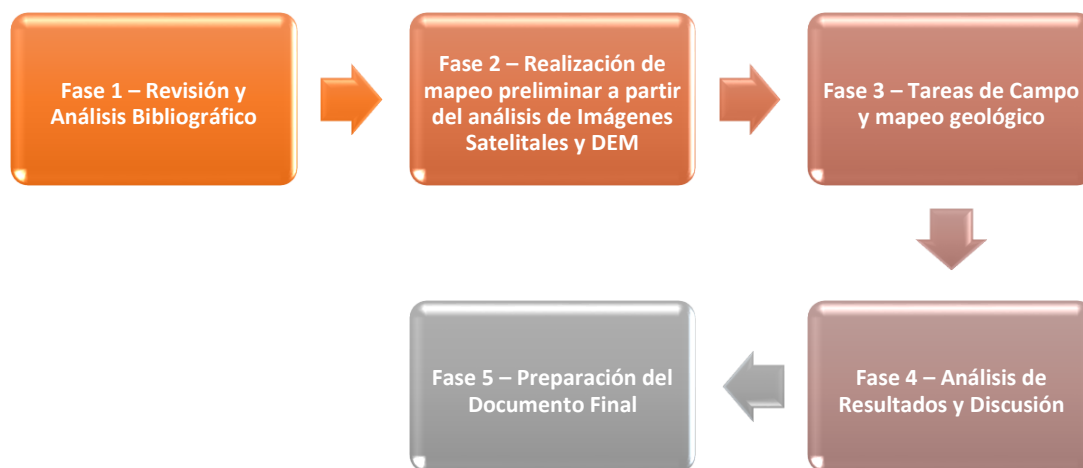


Figura 1. Desarrollo de la metodología establecida para llevar a cabo el estudio técnico propuesto en este Trabajo Final Integrador.

## 4. EL CLORURO DE SODIO – HALITA

### 4.1 Propiedades y Generalidades

La halita o sal gema pertenece a la clase de los halogenuros y está formada por cloruro de sodio (NaCl) principal sustancia disuelta en las aguas de mares y lagos salados muy abundante en la naturaleza. Conceptualmente la sal tiene diversos significados o definiciones, una sal químicamente hablando corresponde a aquellos compuestos que se forman en el momento en que parte o todos los iones hidrógeno de un ácido son remplazados por cationes metálicos. La sal más conocida es justamente el cloruro de sodio, que en peso está compuesta en un 40% por sodio y en un 60% por cloro y su nombre mineralógico corresponde a la halita (Kostick, 2000). Es uno de los minerales más abundante en nuestro planeta, de hecho, los océanos contienen un 2,8% de sal. Es posible encontrarlo con mayor concentración en el Mar Muerto con 17,5%, en el gran Lago Salado de Utah con 17,7% y en el Lago Elton en Rusia con 20,8% (Garcés, 2016). El Cuadro 1 enumera sus propiedades físicas y características.

Cuadro 1. Propiedades físicas y características de la halita

Halita	Propiedades físicas y características
Clase	Haluro, Cloruro de sodio (NaCl)
Brillo	Vítreo
Color	Incoloro, con impurezas a menudo amarillo, rojo o gris
Raya	Blanca
Fórmula Química	ClNa
Composición química	Na=39,3%; Cl=60,7%
Dureza	2,5
Peso específico o densidad	2.16 g/cm <sup>3</sup>
Clivaje o exfoliación	Cúbica perfecta en tres direcciones
Fractura	Concoidea
Sistema cristalino	Cúbico, hexaquisoctaédrico
Forma de presentarse (hábito)	Cúbico forma de tolva, macizo, granular, compacto
Índice de refracción	1,544.

Dentro de sus propiedades físicas se destacan su forma de cristalización, este mineral cristaliza casi siempre en cubos, pero también puede presentarse octaédrico, crecimientos

en tolva, granular, masivo o costras. La figura 2 muestra la estructura cristalina convencional de la halita. Al tratarse de un típico mineral alocromático, puede asumir diversas tonalidades dependiendo de las trazas que contenga, por ejemplo, pueden llegar a ser tonalidades negras por la presencia de bitumen, coloraciones rojizas debido a la presencia de hidróxidos de hierro o azul – violeta debido a la radiactividad natural (Rivas, 2020). Comúnmente trae impurezas relacionadas a sulfatos de Mg y Ca y cloruro de Mg y Ca que frecuentemente aparecen concentradas en amplias capas y masas irregulares, precipita por evaporación, junto con yeso, silvita, anhidrita y calcita y por último también aparece disuelta en las aguas de los manantiales salados, en lagos salados y océanos (Garcés, 2016).

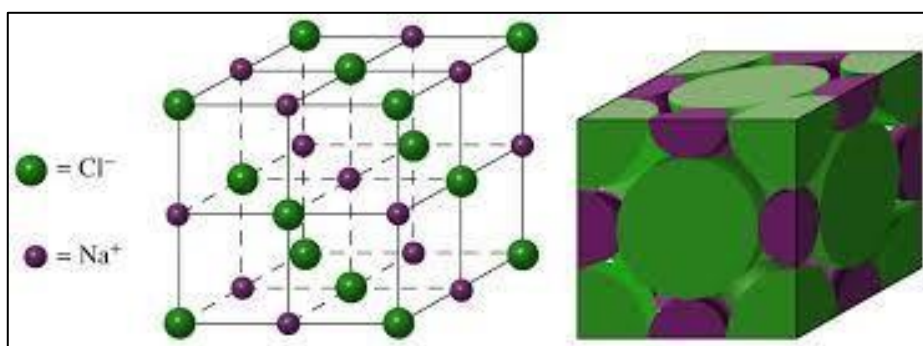


Figura 2. Estructura cristalina convencional de la halita. Tomado de Petrucci, Harwood y Herring, 2003).

#### 4.2. Los ambientes de formación de la halita

La halita es un mineral típico de depósitos evaporíticos, las evaporitas son rocas sedimentarias formadas por evaporación de las aguas ricas en sales. Para que se formen es esencial que el ritmo de evaporación exceda al de los aportes de aguas. Estas rocas se pueden acumular en ambientes marinos marginales y continentales. Cerca de 100 m de evaporitas se pueden formar en 1000 años y en general, se asume que las evaporitas son productos de precipitación química a partir de salmueras.

(Warren, 2010)

Los depósitos enriquecidos con halita se forman en tanto en ambientes continentales como marinos y a nivel temporal pueden clasificarse como fósiles o actuales.

La mayoría de los depósitos antiguos de mayor desarrollo se han formado en cuencas marinas hasta marinas marginales (SEGEMAR-UNSAM, 2005). Están compuestas

esencialmente por halita, anhidrita y yeso, pero entre las evaporitas pueden aparecer numerosos minerales, generalmente la forma en la que aparece es por medio de capas y masa irregulares como precipitación de aguas con sales e interestratificada con rocas detríticas. La halita comienza su proceso de cristalización cuando el agua que la contiene se ha reducido en un 10% de su volumen y el NaCl representa un 77,6% de la concentración de la totalidad de las sales contenidas en ella (Gozalvez, et al., 2004). Una secuencia evaporítica clásica se representa en la figura 3.

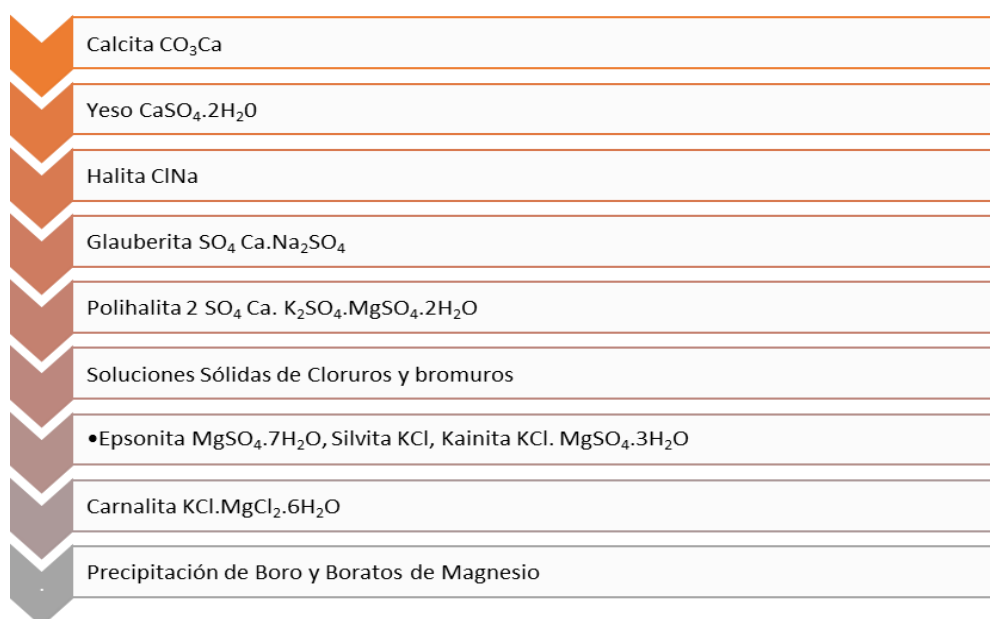


Figura 3. Secuencia de Precipitación de Sales

#### 4.2.1. Caracterización de Evaporitas Continentales

El modelo básico de facies para evaporitas continentales es el de una cuenca cerrada con un nivel somero de agua subterránea y un ambiente de *playa-lake* más o menos concéntrico, junto a salinas fangosas secas que se encuentran a su alrededor, los materiales depositados son de fino a muy fino. Estas áreas suelen ser las ubicadas en las partes más bajas y horizontales de la cuenca de drenaje y su topografía es prácticamente horizontal y plana, la vegetación es escasa a ausente y sus registros fósiles son muy pobres debido a la capacidad química disolvente (Warren, 2010).

La sedimentación evaporítica tiene una configuración caracterizada por carbonatos en el borde siendo los más insolubles, pasando por las intermedias yeso – anhidrita (sulfatos) y finalizando con los más solubles como la halita (Alonso, 2006).

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 evaporitas en los ambientes continentales (Kendall, 1992).

En las cuencas intermontanas estos depósitos evaporíticos presentan un perfil característico en subambientes que corresponden a: 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 4 muestra un esquema de distribución de subambientes deposicionales en sistemas evaporíticos continentales (Eugster y Hardie, 1978).

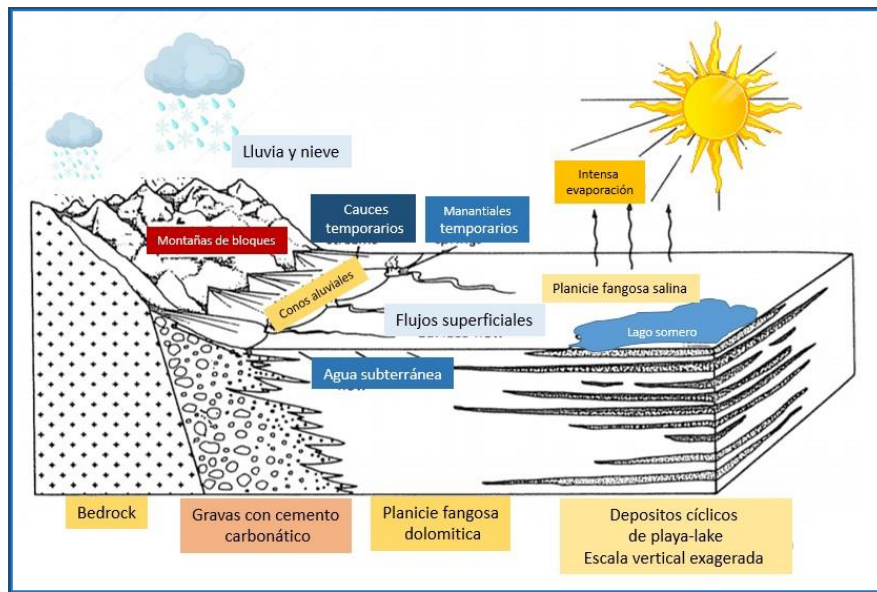


Figura 4. Esquema de distribución de sub – ambientes deposicionales en sistemas evaporíticos (Modificado de Eugster y Hardie, 1978).

Un corte esquemático de los ambientes deposicionales en una cuenca continental con desarrollo de una Playa Lake se muestra en la figura 5 (modificada de Hardie. et al., 1978).

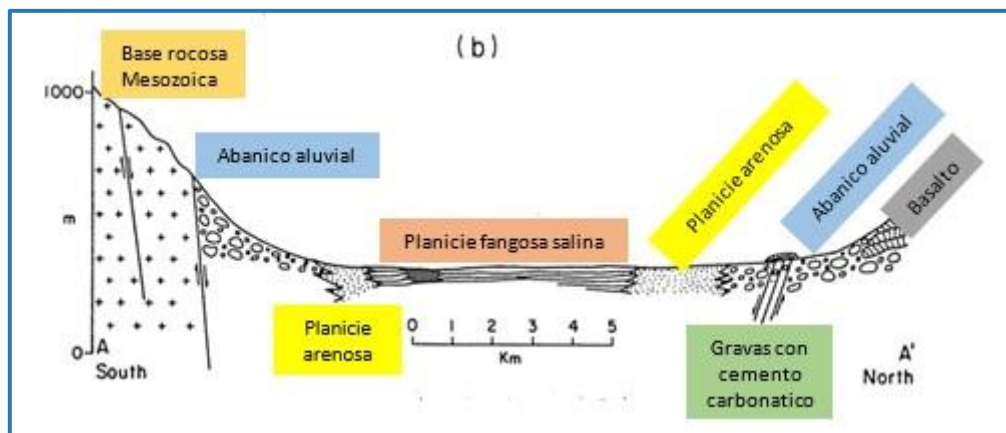


Figura 5. Muestra un corte esquemático de los ambientes deposicionales en una cuenca continental con desarrollo de una Playa Lake (Hardie, et al., 1978).

Dos de los ambientes que conforman la formación de las salinas son en los que propiamente se realiza la evaporación y la saturación de las aguas provocando las precipitaciones que dan origen a las secuencias evaporíticas. El primero hace referencia las zonas vadosas donde es predominante la cantidad de sedimentos no consolidados y el segundo hace referencia a las zonas subacuosas que consiste en dos fases: agua – sedimento



y agua – aire siendo esta última donde se da la precipitación mientras que en la otra se mantiene como sal en solución (Fig. 6).

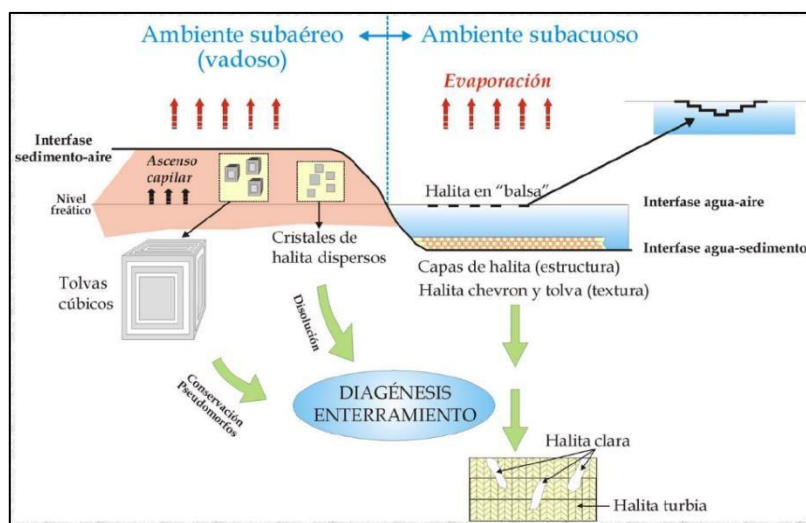


Figura 6. Esquema de la zona vadosa y la zona subacuosa junto a sus mecanismos de precipitación de sales. Tomado de CMD, 2016.

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 7 muestra la zonación de ambientes en cuencas evaporíticas continentales.

Las Salinas o salares son cuerpos alargados o semicirculares, con variedad de tamaños dentro de los cuales se han acumulado cloruro de sodio en cantidades económicamente explotables. Su forma de acumulación permite extraer la sal por medio de labores a cielo abierto (Cordini, 1967). Presentan comúnmente impurezas de sulfatos de Na, Mg y Ca; y una cierta cantidad de insolubles correspondientes a sílice libre, silicatos, materia orgánica.

En Argentina se hallan en toda la franja árida del país, entre los mayores se cuentan Salinas Grandes en La Pampa, El Gualicho en Río Negro, Salinas Chicas en Buenos Aires y Cabo Blanco en Santa Cruz.

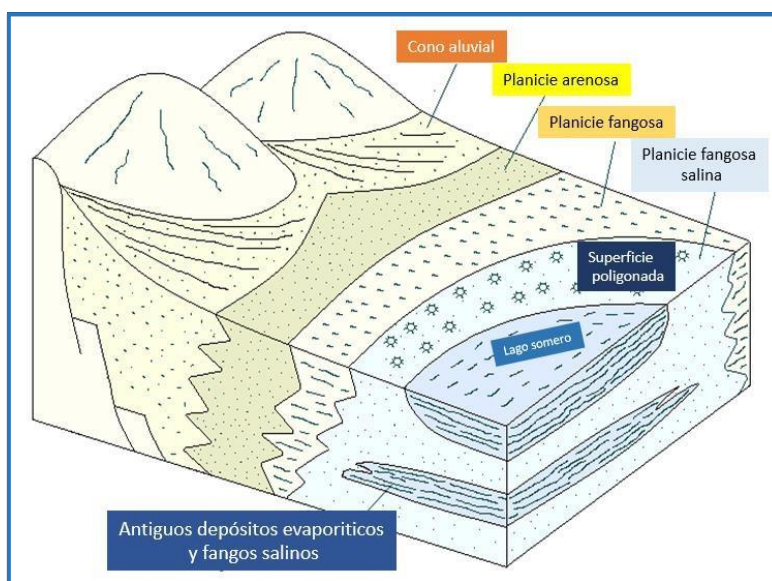


Figura 7. Zonación en ambientes en cuencas evaporíticas continentales (modificado de Eugster y Hardie, 1978).

Las salinas y los salares comparten una zonación característica ya mencionada formada por distintas facies las cuales corresponden a los depósitos de costa o borde, depósitos de playa y depósitos centrales, siendo este último el más atractivo para la explotación ya que es la zona productiva del yacimiento, porque en su totalidad se encuentra compuesto por sales, mientras que en la zona de playa la cantidad de sales es baja en proporción y aumentan considerablemente la cantidad de los sedimentos silisiclásticos finos y finalmente en la zona de borde fueron depositados los sedimentos arenosos y están acompañados de vegetación halófito y hay ausencia de sales. La zona central por épocas del año puede contener o no aguas madres o salmueras saturadas en iones (Fig. 7). El patrón de la mineralización también es variable según los sedimentos que suministre la cuenca y que hayan sido transportados hacia la salina o salar (Schalamuk, *et al.*, 1999).

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.

Cuando el comportamiento del depósito varía según la estacionalidad recibe el nombre de *Salina de Cosecha*, ya que durante una época del año dicho depósito se inunda por aumento de la tasa de precipitaciones y se concentra en el periodo seco. Otros tipos de

depósitos actuales continentales son los *Salitrales*, que son cuencas cuyo relleno está impregnado por un porcentaje bajo de sales (Schalamuk, *et al.*, 1999).

#### 4.2.2. Caracterización de Evaporitas Marinas

Las evaporitas marinas se acumulan en ambientes marinos y marinos marginales. La mayoría de los depósitos antiguos tienen mayor desarrollo en estos ambientes.

Este tipo de depósito se caracteriza por la escasa contribución de aguas dulces lo que implica la carencia de aportes clásticos, el aislamiento parcial de la cuenca del mar abierto por la presencia de una barrera que restringe la circulación del agua y favorece la concentración de las sales. Las evaporitas marinas se componen en su mayoría de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (Warren, 2010). Los depósitos marinos fósiles que se disponen como horizontes inter-estratificados y como los domos salinos, formados como consecuencia del diapirismo.

El modelo más común relacionado a la formación de evaporitas marinas corresponde al mecanismo de donde existe una acumulación de agua individualizada respecto al mar, la cual está separada por una barrera que permite el paso del agua esporádicamente aislando este cuerpo de agua durante largos periodos de tiempo. En estas condiciones, y bajo una fuerte insolación, el agua se evapora, aumentando progresivamente la concentración en sales, hasta que durante una tormenta o una pleamar especialmente intensa vuelve a introducir agua de mar en la cuenca, reiniciando el proceso (Fig.8).

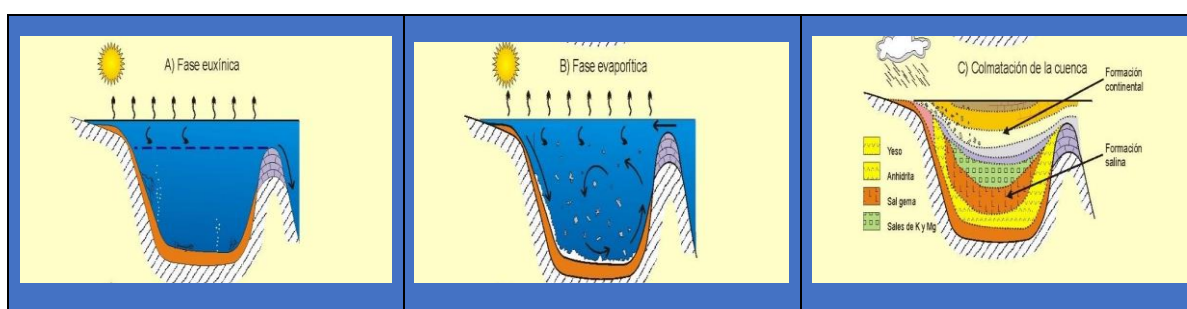


Figura 8. Mecanismo de barrera que permite la sobresaturación de sales dentro del cuerpo de agua aislado del mar. Tomado de CMD, 2016.

La precipitación de las sales se desarrolla según el modelo evaporítico estándar, en primer lugar se logra una sobresaturación de carbonato de calcio y sulfato cálcico el cual es el menos soluble, correspondiente a minerales como el yeso y la anhidrita, luego se da la saturación de cloruro sódico dando lugar a la precipitación de la halita, cuando se alcanza una concentración de aproximadamente entre 300 - 325g/l, coexistiendo con el sulfato se precipita en formas cúbicas y con brillo translucido, mientras que a partir de una concentración de 325g/l en adelante la halita precipita como cristales flotantes en forma de tolva que forman placas flotantes que van al fondo y como halita chevron o piramidal con aspecto lechoso y con inclusiones líquidas. La principal característica de la halita precipitada en una salina marina es su contenido de bromo que corresponde a unas 70ppm para los primeros precipitados salinos siendo progresivamente superior hasta los 160ppm en la halita que precipita previamente al comienzo de la precipitación de las sales magnésicas (Pueyo y de la Peña, 1991).

## 5. LOS DEPÓSITOS DE HALITA EN ARGENTINA

En el territorio argentino los depósitos de sal común o sal de roca están distribuidos por todo el país, como costras salinas en superficie, disueltas en salmueras o dentro de secciones estratigráficas de cuencas de retro arco. Las tres principales zonas se localizan en la Puna, las Sierras Pampeanas y la Cuenca Neuquina, con características específicas que se desarrollan a continuación (Gozalvez *et al.*, 2004). En la figura 9 se ubican los principales depósitos salinos de Argentina.



Figura 9. Principales salinas y depósitos de sal de roca.

## 5.1 Depósitos de la Región Noroeste

### ⊕ Evaporitas de la Puna

La Puna es una unidad morfoestructural abarca el oeste de Jujuy y Salta y el norte de Catamarca, se halla situada a un promedio de 3.700 m.s.n.m., enmarcada por un bloque de montañas tectónicas al este y una cadena de estratovolcanes al oeste. Se caracteriza por la formación de numerosas cuencas de retro arco centrípetas endorreicas como consecuencia de los episodios neógeno ándicos, en estas cuencas centrípetas se han desarrollado salares, salinas y lagunas portadoras de evaporitas que conforman depósitos conocidos de litio, potasio y boratos y al igual constituyen importantes reservas de cloruro de sodio, el área de estos yacimientos es de hasta 1600Km<sup>2</sup> en el caso del salar Arizaro (Alonso, 1991). El marco geológico de los salares está dado por serranías con rocas marinas paleozoicas, capas rojas terciarias y materiales volcánicos. Una descripción más detallada de la estratigrafía fue dada por Alonso y Viramonte (1993):

- Precámbrico: Las rocas más antiguas corresponden a litofacies metamórficas altamente deformadas que afloran discontinuas en el borde occidental del Salar Antofalla y Sierra de Calalaste, las cuales han sido asignadas al Precámbrico indeterminado. En la zona del salar del Hombre Muerto se encuentran rocas metamórficas de medio a alto grado, las cuales están seguidas por unidades de pizarras y filitas de la Formación Puncoviscana que tiene presencia de igual manera en el Cámbrico.
- Paleozoico: en el Cámbrico se encuentran rocas cuarcitas blanquecinas aflorantes en la Sierra de Cobres, en el Ordovícico se presentan formaciones de sedimentitas y pelitas y grauvacas de tonalidades verdosas que conforman gran parte de las serranías interiores puneñas. Algunos autores aseguran la presencia de vulcanitas submarinas e intrusivos máficos y ultramáficos que están intercalados en las pelitas. En el Paleozoico también están ubicadas las rocas pertenecientes a la Faja Eruptiva de la Puna que fue definida como un conjunto

de pórfidos riodacíticos y granitoides, cuerpos, con cierto grado de metamorfismo en algunos sectores. En la Puna Austral ocurren como una serie de cuerpos graníticos calco - alcalinos. Finalmente hay presencia de Sedimentos devónicos, carboníferos y pérmicos, fueron ubicados en un reducido afloramiento el sector sudeste del salar Rincón, están conformados por areniscas blanquecinas a verdosas con invertebrados marinos devónicos (Fm. Salar del Rincón), areniscas rojas continentales con trazas fósiles y vegetales carboníferas (Fm. Cerro Oscuro) y calizas grises y amarillentas marinas con dientes de peces e invertebrados (Fm. Arizaro).

- Mesozoico: en los registros estratigráficos de esta zona no hay presencia de formaciones rocosas que correspondan al Triásico o el Jurásico. La Formación Cerro Morado correspondiente edades cretácicas está compuesta principalmente por conglomerados, areniscas y fangolitas de colores rojos, rosados y grises amarillentos. En la Puna Septentrional fueron datados como del Cretácico inferior plutones graníticos, que se encuentran alojados en rocas ordovícicas.

La evolución del Terciario de la Puna registra dos etapas bien diferenciadas. Una primera etapa paleógena (Eoceno), de antepaís del retroarco, con cuencas de drenaje exorreico atlántico, en clima cálido y húmedo, sin formación de evaporitas y una segunda etapa neógena (Mioceno-Plioceno), con cuencas áridas endorreicas de intraarco/intra-plateau donde se desarrolló una profusa sedimentación volcanoclástica y evaporítica. La altura de la barrera orográfica en el oriente de la Puna, con altitudes que decrecen de sur a norte y que producen el frenado de los vientos húmedos del anticiclón atlántico, fue decisiva en el grado de aridez de la zona que se mantuvo desde el Neógeno hasta la actualidad (Alonso, 2006).

La característica más importante de estos yacimientos es su diseño hidrológico e hidrogeológico y su clima de extrema aridez han acumulado sal de roca para aquellos que tienen edades terciarias y sal común para aquellos que tienen edades cuaternarias. El aporte catiónico es de origen volcánico y de fuentes termales igualmente relacionadas a este vulcanismo congénito, dichos cationes fueron depositados y luego transportados

hasta llegar a los sectores más profundos de la cuenca como producto de la lixiviación por aguas superficiales y subterráneas, el cloruro de sodio de estas salinas está ubicado principalmente en el fondo de las mismas y durante los meses de estío en capas delgadas formadas en la superficie (Gozalvez, *et al.*, 2004).

Alonso (1999) hace una descripción general de las salinas de esta zona asegurando que estas admiten una zonación concéntrica de facies. La más externa está representada por playas limo-arcillosas, de coloraciones verdosas, rojizas y amarillentas, donde hay carbonato de calcio finamente diseminado o formando travertinos. En numerosos salares, esta facies está acompañada por minerales de boro, principalmente ulexita y en menor medida tincal, que constituyen las especies minerales de mayor importancia económica de esos ambientes. Sigue luego una facies con predominio de sulfatos, principalmente yeso, acompañado por anhidrita, thenardita, mirabilita y glauberita. Finalmente, se pasa a una facies central de halita. En esta zona se destacan multitud de salares tales como, las Salinas Grandes, el Salar del Rincón, Salar de Pocitos, Salar Taca Taca, Salar Tolar Grande entre otros junto con salmueras y lagunas (Gozalvez, 2004). Estos salares de la zona están enriquecidos en cloruro de sodio y han acumulado miles de millones de toneladas del material, sin embargo, existen otros minerales con mayor potencial económico (Schalamuk, *et al.*, 1983). La figura 10 muestra la explotación de sal en piletas de Salar Taca Taca.

Un análisis facial de las evaporitas del Neógeno a escala de toda la Puna fue realizado por Alonso *et al.* (1991). Allí se identificaron varios depocentros de sedimentación evaporítica que mostraban desde facies con dominio de carbonatos lacustres en el norte (cuenca de San Juan de Oro) hasta facies con dominio de halita en el sur (Arizaro-Antofalla). Entre ambos extremos aparecen facies boratíferas (Loma Blanca) y yesífero-boratíferas (Sijes, Tincalayu). El Cuadro 2 enumera los principales salares con su composición química.



Cuadro 2. Composición química de los salares pertenecientes a la región de la Puna, se observa una concentración considerable de NaCl en la totalidad de los yacimientos. Tomado de SEGEMAR -UNSAM, Sales 2005.

Composición química media de los principales salares del NOA								
Salar	Provincia	Cl <sup>-</sup> %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> %	K <sup>+</sup> %	Na <sup>+</sup> %	Li <sup>+</sup> %	Mg <sup>2+</sup> %	Ca <sup>2+</sup> %
Antofalla	Catamarca - Salta	13,8	4,30	0.39	7.20	0.03	1.70	0.00
Arizaro	Salta	15,7	1,06	0.34	0.00	0.07	0.17	0.48
Cauchari	Jujuy	15,5	1,50	0.52	9.90	0.09	0.20	0.12
Centenario	Salta	12,6	4,00	0.60	8.00	0.04	0.30	0.30
Diablillos	Salta	14,3	0,85	0.91	8.00	0.96	0.38	0.13
Hombre Muerto	Catamarca - Salta	15,0	1,20	0.50	8.00	0.07	0.20	0.31
Jama	Jujuy	14,6	2,20	0.69	9.16	0.04	0.07	0.10
Llullaillaco	Jujuy	13,5	3,00	0.85	8.00	0.02	0.40	0.22
Olaroz	Jujuy	16,0	0,88	0.56	9.10	0.09	0.18	0.05
Pastos Grandes	Jujuy	15,0	0,90	0.82	9.33	0.04	0.39	0.04
Pocitos	Salta	14,5	1,50	0.40	9.09	0.01	0.22	0.28
Pozuelos	Salta	15,0	1,20	0.45	12.00	0.03	0.25	0.19
Ratones	Salta	15,0	1,10	0.70	8.80	0.06	0.34	0.33
Rincón	Salta	14,1	4,20	0.71	8.30	0.03	0.52	0.32
Río Grande	Salta	13,6	6,30	0.79	8.30	0.03	0.42	0.55
Salinas Grandes	Jujuy - Salta	16,2	2,00	0.51	9.60	0.04	0.15	0.22



Figura 10. Salar Taca Taca, provincia de Salta. Tomado de SEGEMAR -UNSAM, Sales 2005.

#### ⊕ Yacimiento de salmuera de El Timbó, Tucumán

Las Salinas de El Timbó se encuentran ubicadas a 13 km al norte de San Miguel de Tucumán, en el Departamento Burruyacu. Corresponde al extremo sur de la provincia morfoestructural de las Sierras Subandinas en donde el área está caracterizada por lomadas suaves, alternando con valles de fondo plano, las cuales reflejan los rasgos de una estructura profunda. Desde el punto de vista geomorfológico la zona presenta un valle elongado con rumbo general norte-sur, donde se genera la cuenca del río Calera.

El complejo está constituido por una serie de intercalaciones limo-areno-arcilloso, con presencia de capas de cloruro de sodio ya sea en forma individual, intercalada entre los estratos o formando una mezcla entre ambos. Existe dentro de su mineralogía una gran cantidad de yeso, calcita, anhidrita. La explotación de esta salmuera es la única de este tipo que se realiza en el ámbito comercial. La explotación se realiza mediante una serie de perforaciones a una profundidad promedio de 70 m, con equipos de bombeo electrosumergibles. La producción real de los pozos durante un mes de bombeo regular estaba entre 18 y 19 millones de litros de salmuera, con una densidad media a boca de pozo de 1.190- 1.200 g por litro (Bortolotti, 1999).

## **5.2. Depósitos de la Región Nuevo Cuyo-Centro**

### **⊕ Las salinas de la provincia de la Rioja**

La provincia de La Rioja cuenta con numerosos cuerpos salinos portadores de cloruro de sodio, en general en asociación con otros minerales evaporíticos. Estos depósitos en algunas ocasiones presentan al sulfato de sodio o yeso como mineral predominante definiendo valores económicos (Marcos, 1999).

La unidad morfoestructural de esta zona también está dada por cuencas centrípetas endorreicas, la diferencia de estas es que son cuencas intermontanas. El aporte del cloruro de sodio proviene de la lixiviación de las rocas circundantes por medio de escorrentías y acuíferos que son transportados hacia el centro de la cuenca. El control estructural está dado por la orientación (ONO – ESE) mostrando los cuerpos salinos paralelos a dichas fracturas regionales (Gozalvez, *et al.*, 2004).

Las Salinas de Mascasín y Pampa de las Salinas son otros ejemplos de los depósitos de las Sierras Pampeanas, se localizan en el extremo austral de la provincia de La Rioja, limitando con la provincia de San Juan la primera, y la segunda con ésta y con la provincia de San Luis. La sal proviene de la lixiviación de afloramientos del Paleozoico superior y del Terciario que enmarcan la cuenca y forman una costra salina superficial superior de 3 a 5 mm de espesor que, por desecamiento, se separa del material subyacente, constituido por arenas finas y arcillas de colores castaño claro hasta rojizo, con delgadas intercalaciones salinas o nódulos del mismo material. Esta capa areno-arcillosa tiene

aproximadamente un metro de espesor, está relativamente húmeda y en los períodos lluviosos se forman pequeñas lagunas en el borde oeste de la Pampa de las Salinas, donde precipitan capas de sal de 2 a 5 cm de espesor (Dawson y Mastandrea, 1961).

#### ⊕ Salinas Grandes

Las **Salinas Grandes** (hasta mediados del siglo XIX también llamadas **Desierto de las Salinas**) son un extenso salar de unos 8.900 km<sup>2</sup>, sumando las casi inmediatas Salinas de Ambargasta y otras adyacentes como las de San Bernardo y La Antigua, el área abarca unos 30.000 km<sup>2</sup>, teniendo una altitud promedio de 170 msnm. Las Salinas Grandes (Córdoba) se ubican en la porción noroeste de la provincia, en el límite con Santiago del Estero y Catamarca (Fig.11). Geológicamente se vinculan a la depresión tectónica continúan en el noroeste de la provincia de Córdoba, el extremo austral de Catamarca y una franja en el límite oriental de la provincia de La Rioja.



Figura 11. Salinas Grandes, provincia de Córdoba. Tomado de <https://esacademic.com/dic.nsf>

La franja más productiva se encuentra en la provincia de Córdoba con formación de capas temporarias muy irregulares; los sitios de formación de costras son cambiantes año tras año. La capa temporaria tiene de 2 a 4 cm de espesor y las reservas estimadas ascienden a 20.106 t de cloruro de sodio (2003). El depósito es alimentado por soluciones salinas transportadas principalmente por aguas freáticas y, en menor proporción, superficiales, originadas en las Sierras de Córdoba, y en las Sierras de los Llanos de Brava en La Rioja. El ambiente geológico circundante es esencialmente el

basamento cristalino metamórfico granítico precámbrico o paleozoico, sedimentitas continentales neopaleozoicas y terciarias, y abanicos aluviales cuaternarios que se extienden hacia la cuenca salina (Marcos, 1999).

La Salina La Antigua es una cuenca centrípeta que actúa como colectora del drenaje de la Sierra Brava, aunque en su extremo sur desagua hacia la cuenca de las Salinas Grandes ubicadas más al este. Sus dimensiones, aunque varían, están dadas por 30 km de longitud por 1 a 3 km de ancho aproximadamente. El depósito salino propiamente dicho muestra áreas muy restringidas con eflorescencias de sales (esencialmente halita), las que se encuentran principalmente en el borde sudeste de la cuenca. El resto corresponde a lo que se denomina “Pampa salina”.

#### ⊕ Las Salinas del Bebedero, San Luis

Otro importante ejemplo de los depósitos de las Sierras Pampeanas es la Salina del Bebedero la cual está ubicada 42 km al suroeste de la ciudad de San Luis, partido Chosmes, departamento La Capital, a 380 m sobre el nivel del mar. La reserva extraíble por cosecha y la mejor calidad corresponde a la parte central de la salina que ocupa una superficie de 3.500 ha (zona explotable) según Cordini (1967). La Salina del Bebedero ocupa morfológicamente el sector más deprimido de la denominada cuenca de Beazley, depresión de origen tectónico delimitada al norte por la dorsal de San Pedro, al este por la Sierra Central de San Luis y su continuación al sur por el alto estructural Cerrillo Las Salinas-Charlone, al oeste por el Alto Pencoso y al sur por la dorsal de Cerro Varela. Los sedimentos terciarios afloran en el borde sur del bloque del Barreal, constituidos por limos castaños rojizos con niveles de tosca y concreciones, con edades atribuidos al Mioceno y Plioceno; depositados en antiguos barreales de ambiente árido a semiárido, con niveles de arcilla verdosas que delimitan períodos más húmedos. Los sedimentos cuaternarios se agrupan de la siguiente forma: fluviolacustre y fluviales, eólicos y lacustres (clásticos y evaporíticos) según lo definió (Beninato, 1999).

Los sedimentos lacustres evaporíticos fueron aportados por 1) aguas del río Desaguadero a través del Arroyo del Bebedero. 2) aguas surgentes muy mineralizadas del sector este de la salina. La posterior evaporación fue enriqueciendo progresivamente

en sales la laguna original, hasta alcanzar un estadio de salina, con predominio de halita. Los cordones arenosos conchíferos más recientes son ricos en cristallitos de yeso de hasta 1 mm, los que precipitaron al irse saturando en  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{NaCl}$  las aguas de lago (Beninato, 1999).

### **5.3. Las Salinas de la región pampeana, Buenos Aires y La Pampa**

Es esta una región de morfología plana a suavemente ondulada en la cual se han desarrollado una serie de bajos sin salida, frecuentemente alineados a lo largo de depresiones regionales. En el fondo de estos bajos se ha producido la concentración de minerales evaporíticos, favorecida por condiciones climáticas propicias. La única sal con valor económico es la halita, si bien se presentan en estos depósitos concentraciones menores de sulfatos de sodio y calcio (yeso, glauberita). Las mayores reservas de cloruro de sodio se encuentran en Salinas Chicas, en provincia de Buenos Aires y en la Salina Colorada Grande, Salinas Grandes de Hidalgo y Anzoátegui, en la provincia de La Pampa. Las leyes en  $\text{NaCl}$  son más elevadas en las capas superficiales, sujetas a extracción por cosecha (94 a 98% de pureza en halita), siendo menores en los niveles profundos, donde oscilan entre 75 y 90% de halita, con intercalaciones de fangos y otras sales (principalmente sulfatos) entre los niveles de  $\text{NaCl}$  (Schalamuk, *et al.*, 1994)

### **5.4. Depósitos de la región Patagónica**

#### **⊕ Depósitos de sal de roca en la Cuenca Neuquina**

Los depósitos de la Cuenca Neuquina fueron dados en los períodos Jurásico y Cretácico, estos yacimientos evaporíticos se formaron con el aporte de aguas marinas luego de la culminación de varios ciclos sedimentarios. Dentro de la provincia de Mendoza están ubicadas dos salinas correspondientes a dos subcuencas homónimas, Malargüe y Calmuco las cuales producen principalmente sal de roca que fue precipitada haciendo parte como Miembro de la Formación cretácica Huitrín. Los bancos salinos poseen una estructura homoclinal con rumbo noroeste – sudeste e inclinación  $30^\circ - 70^\circ$  SO. Estos depósitos son explotados por medio de canteras donde los cuerpos salinos se

observan con texturas sacaroides y en tonos blancos a verdes grisáceos, interestratificados con areniscas y conglomerados en la base y en el techo de manera concordante con arcillitas con abundante yeso (González *et al.*, 2004).

#### ⊕ La Salina El Gualicho, provincia de Río Negro

La Salina El Gualicho se localiza en la provincia de Río Negro, a 53 km de San Antonio Oeste. La capa temporal o capa anual de cosecha se estimó un espesor medio de 7 cm y una densidad de 1,7 kg/cm<sup>3</sup>, mientras que para la capa permanente se calculó un volumen de 332.500.000 m<sup>3</sup> y una densidad media de 1,9 kg/cm<sup>3</sup> (Brodtkorb, 1999). La explotación de sal es por cosecha anual de la capa de ese año. La base de la depresión en la que se encuentra la Salina El Gualicho se halla a 78 m bajo el nivel del mar, está rellena por un material fangoso, limoso de color negro verdoso, en el cual el cuerpo salino flota. Las aguas que fluyen al Gran Bajo del Gualicho son superficiales y freáticas.

#### ⊕ Las Salinas Grande y Chica de La Península De Valdés, Chubut

Las Salinas Grande y Chica se localizan en la península de Valdés, provincia de Chubut, fragmento oriental de la meseta patagónica. La capa temporal o capa anual de cosecha se estimó un espesor medio de 7 cm y una densidad de 1,7 kg por centímetro cúbico. Incluyendo la capa permanente se calculó un volumen de 30.630.000 m<sup>3</sup> para la salina Grande y 3.352.000 m<sup>3</sup> para la Salina Chica. El sistema de explotación es el tradicional de cosecha todos los años la capa anual. Estas salinas no son yacimientos salinos evaporíticos fósiles, sino que aún están en formación, con continuos aportes de sales a través de vertientes que nacen en el nivel freático y que alcanzan finalmente estas salinas (Brodtkorb, 1999).

#### ⊕ Salinas de la provincia de Santa Cruz

En la provincia de Santa Cruz, la mayoría de los depósitos importantes de halita se hallan localizados en la región extrandina y se originan en cuencas endorreicas que ocupan depresiones topográficas (Súnico, 2002). Tal es el caso de las salinas del Bajo de

la Pava, salitral de Pichinini, salina de Cabo Blanco y los bajos cercanos a la estancia Buenos Aires, cerro El Osco, salina Pancho y salina de la Isla entre otros. (Giacosa *et al.*, 1998).

En general estos depósitos son bajos y lagunas con limos, arcillas, arenas y sales los cuales se encuentran rellenando los bajos sin salida o las lagunas temporarias con limos, arcillas, arenas y sales. La litología se presenta zonificada, ya que los sedimentos finos del tipo limo-arcilla hasta arenas de tamaño medio están ubicados en los bordes de los bajos, que de manera esporádica incluyen algunos clastos de mayor tamaño y sedimentos transportados eólicamente.

Los sedimentos se apoyan en general sobre términos del Grupo Bahía Laura, en especial al sur y norte del río Deseado y sobre sedimentitas del Patagoniano, en los bajos ubicados sobre los depósitos terrazados de gravas. Las cuencas endorreicas formadas por estas depresiones tienen una cobertura tipo costra salina dando origen a yacimientos representativos como las salinas del bajo de la Pava, salitral de Pichinini, salina de Cabo Blanco de aproximadamente 900Ha, es la más atractiva de la zona por su potencial económico (Giacosa, *et al.*, 1998).



## 6. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN Y TRATAMIENTO

### 6.1 Métodos de explotación

Los métodos de explotación dependen de las características propias del yacimiento como su mineralogía, ubicación geográfica y temporal (SEGEMAR-UNSAM, 2005). Los depósitos de sales actuales (superficiales) se explotan por cosecha, los fósiles por canteras o minado subterráneo (Fig. 12) y los que yacen en estratos o salmueras mineralizadas a profundidad se utilizan los métodos de disolución y bombeo.

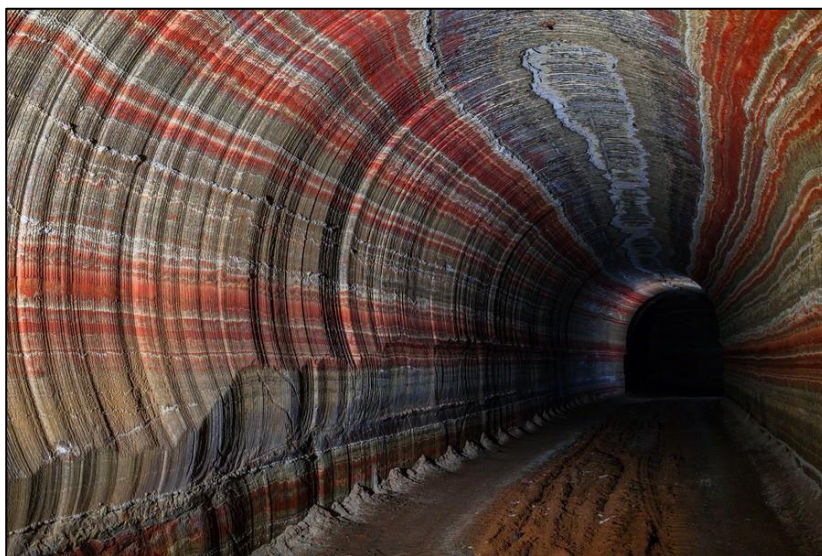


Figura 12. Explotación subterránea de una mina de sal ubicada a 420 metros de profundidad, cerca de la ciudad de Soligorsk, al sur de Minsk, Bielorrusia.

Los depósitos de sal que se explotan en forma subterránea, se encuentran a profundidades de 200 a 600 metros, por el método de cámaras y pilares (*room and pillar*) que donde se recupera el 40-60% de la sal.

La explotación de bancos evaporíticos o salmueras subterráneas consiste en la inyección de agua a elevada temperatura o vapor con la consiguiente formación de una salmuera. El sistema para la inyección consta de dos tubos concéntricos. Por uno de ellos se introduce el solvente y por el otro se extrae la salmuera. Este tipo de extracción se utilizó en la provincia de Tucumán en El Timbó con extracción de sal a partir de bancos de 4 a 5 m de espesor ubicados a 40-50 m de profundidad, obteniéndose en boca de



extracción una salmuera con una concentración de 1190- 1200 g/l. (SEGEMAR-UNSAM, 2003).

Los depósitos de sal de roca superficiales, pueden explotarse por frente de cantera, con mayor o menor grado de automatización.

El sistema de explotación por **cosecha** se aplica tanto a las costras de sales como a salmueras, que pueden provenir de salares, salinas, lagos, lagunas, agua de mar o vertientes naturales.

Con relación a la explotación por cosecha, es el sistema más común de explotación utilizado en todas las salinas de la región Pampeana, Patagonia, y Sierras Pampeanas. La sal no se extrae en todo momento, sino que debe respetarse este ciclo:

**Salina inundada:** en las épocas lluviosas se inunda, convirtiéndose en un cuerpo de agua temporario donde se redisuelve el cloruro de sodio que rellena parte del piso de la cuenca.

**Salina en evaporación:** aumenta la densidad de la salmuera y se destruyen los desperdicios asimilables.

**Salina en saturación:** van bajando las aguas, disminuye el nivel de salmuera y se origina la "sal nueva", que todavía no es cloruro de sodio.

**Salina en cosecha:** al concentrarse aún más las sales de la salmuera, la sal nueva pierde líquido y comienza la cosecha, de la que se hablará más adelante.

**Salina en descanso:** se evapora la salmuera que queda y se cubre de incrustaciones salinas. Por debajo, circula otra salmuera y fluyen las aguas superficiales que aportarán nuevas sales (Mogni, 1991).

Las operaciones propias de la explotación por cosecha, para cloruro de sodio se detallan en SEGEMAR-UNSAM (2005). La figura 13 muestra el proceso de extracción de la sal por cosecha y en la figura 14 se incluye un detalle de la misma.



Figura 13. Explotación por cosecha de salinas. Salinas del Bebedero San Luis

La esencia de este proceso de extracción de la sal está basada exclusivamente en las condiciones climáticas que favorecen la evaporación del agua, dichas condiciones en Argentina convergen cada año en una época específica en la cual el agua en la que la sal se encuentra disuelta se evapora por la acción del viento y el sol hasta dejar una costra de unos pocos centímetros en el fondo seco de las lagunas. Por consiguiente, los depósitos permanecen inundados gran parte del año, fangosos durante otra parte y finalmente, entran en producción en la estación seca, en la que se genera la cosecha.

La recolección de las costras se realiza con maquinaria pesada que arrastra el recolector de sal especial capaz de levantar las hileras de sal y llevarlas hacia una banda transportadora. Luego de realizada la cosecha y respectivo apilamiento es transportada en camiones hacia las plantas de refinación dependiendo la industria para la cual vaya a ser usada.

Se llama *parva* a un cúmulo de granos de sal estacionados. El grano llega a la parva más limpio, porque con el movimiento del camión se asienta, se escurre parte del agua y empiezan a desprenderse partículas. No obstante, tiene aún desperdicios, especialmente sulfato de sodio y microorganismos. Por lo tanto, durante el estacionamiento debe manar un líquido rojizo llamado sangría, cuyo color lo proporcionan unas bacterias coloradas que proceden de la salina y en cuya composición se encuentran los elementos mencionados como desperdicios.

Cuando dejó de manar la sangría, la parva es abierta eliminando la costra que forma la pared externa. En ese momento, el cloruro de sodio tiene un 99% de pureza y es embolsado para los destinos requeridos.

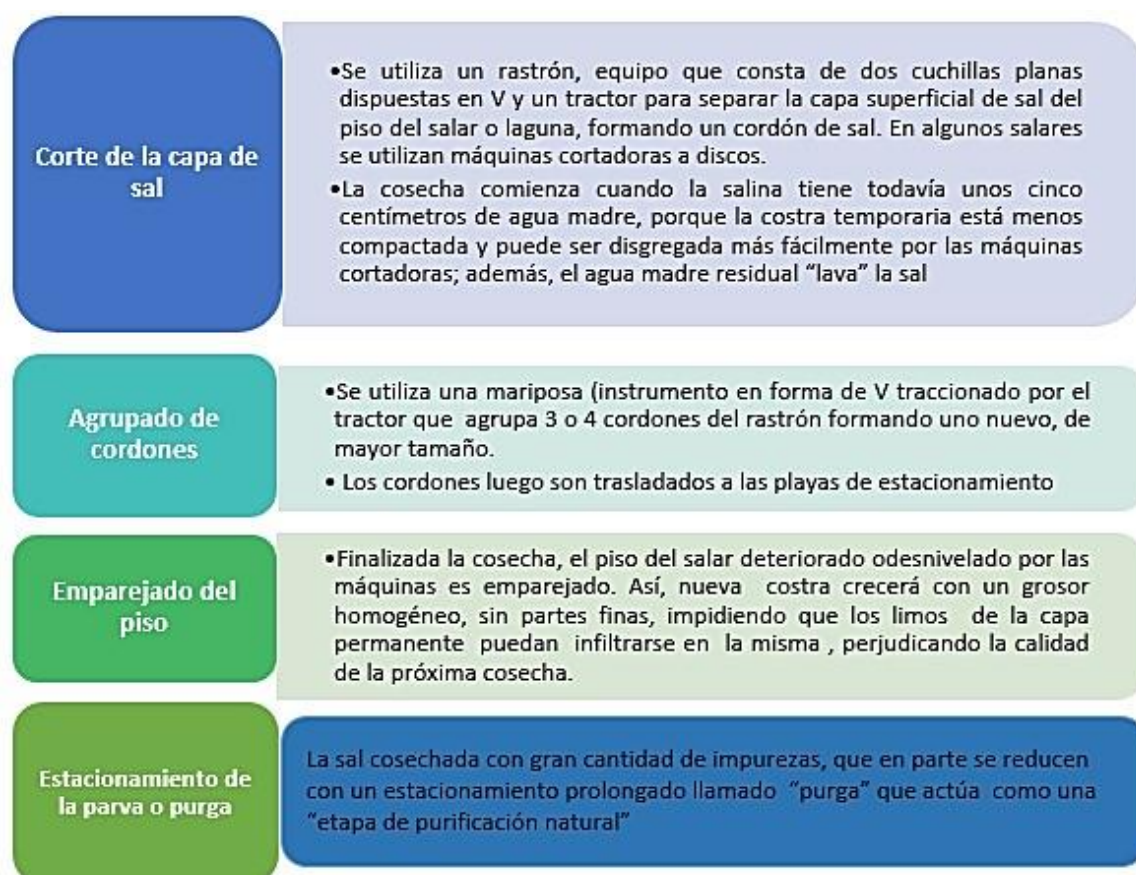


Figura 14. Síntesis del proceso de extracción de la sal por cosecha

En unos pocos casos, se utilizan sistemas mixtos de explotación, donde se combina la cosecha con operaciones que se llevan a cabo en plantas industriales. En la Argentina, es raro. Pero en muchos países del mundo es algo común (Mogni, 1991). En estos casos, la sal de la parva se lavará en contracorriente con una solución de salmuera, cuya concentración de 22° se deberá controlar diariamente, así como su calidad fisicoquímica. Se debe utilizar agua potable. Luego, la sal se centrifugará y transportará a un secador de lecho fluido donde será sometida a una temperatura alta (180°C) y tiempo determinado suficiente que asegure la eliminación de bacterias, hongos y levaduras. Todos los equipos y ductos del sistema de secado, clasificación y molienda serán de un material adecuado para la limpieza e higiene. Luego se recomienda el proceso de enriquecimiento con yodato de potasio en solución para garantizar la uniformidad en la distribución del yodato de potasio, asegurando la estabilidad y por ende la biodisponibilidad del yodo. Tanto el caudal de sal como el volumen de solución

dispensado por unidad de masa de sal ingresante, se controlará mediante un sistema adecuado que asegure la correcta dosificación.

En Argentina debe darse cumplimiento a la Ley de enriquecimiento de sal: Ley 17259 (1967) y su Decreto Reglamentario N° 4277/67.

La sal no deberá exponerse a la lluvia, a humedad excesiva o a la luz solar directa en ninguna de las fases de almacenamiento, transporte o venta. Además, se deberá almacenar solamente en locales o depósitos cubiertos que dispongan de suficiente ventilación y destinados solo para ese fin. (Secretaría de Agroindustria, 2019)

Otro método de cosecha es el de piletas o unidades de cristalización, muy común en el noroeste argentino. Las piletas son pozos construidos en el salar, donde se acumulan las aguas madres (salmueras ricas en iones), que evaporadas dan lugar a la recristalización de sal de alta pureza (>90% de NaCl). Las dimensiones de las piletas son variables, frecuentemente oscilan entre 3 a 6 m de largo, 2 a 3 de ancho y 30 a 50 cm de profundidad. En general están alineadas en filas paralelas, separadas 2 a 4 m entre sí. El nivel de llenado depende de las condiciones climáticas (cantidad de precipitaciones, ascenso del nivel freático etc.), en épocas normales se pueden obtener hasta dos cosechas anuales. La explotación concluye con el descarte de los primeros 10 cm, que normalmente contiene mayores impurezas y mediante pico y pala se extraen los 30 a 40 cm restantes o capa inferior de sal cristalizada. (SEGEMAR UNSAM, 2005).

Los métodos de explotación por cosecha y piletas son económicos, pero están supeditados a las condiciones climáticas predominantes en la región. En épocas de alta densidad de precipitaciones pueden ocurrir dos cosas: imposibilidad de cosechar o, por el contrario, obtener más de dos cosechas anuales.

Los salares donde hay una capa de sal considerable puede realizarse una explotación que se conoce como “panes”. Con un hacha, se marcan en esta costra bloques de 40-50 cm de lado. Con una barreta especial, se palanquea y se levantan los bloques que, en general son de baja calidad con gran cantidad de impurezas y habitualmente se comercializan de esta manera, especialmente para la industria ganadera.

## 6.2. Procesamiento de cloruro de sodio

La recuperación de halita se puede realizar a partir de dos fuentes: salmueras y sal de roca. Las salmueras pueden dividirse en dos clases: agua de mar y aguas continentales (donde se encuentran las salinas) y se deben diferenciar según la concentración de sal que posean, porque de eso depende la elección del método de procesamiento. La recuperación de sal de agua de mar se limita a zonas donde el clima es seco y cálido. Los métodos empleados para la recuperación de cloruro de sodio son los que se resumen en la figura 15.



Figura 15. Procesos de recuperación del cloruro de sodio según su concentración.

Para sal de roca que se extrae por métodos subterráneos (cámaras y pilares) o depósitos o superficiales el proceso es el siguiente (Fig. 16).



Figura 16. Esquema de extracción subterránea de sal de roca.

Por otra parte, la sal de roca que es extraída formando salmueras artificiales (*solution mining*) por inyección de agua en el depósito, que contienen un 25% m/m de sal, es bombeada a la superficie y evaporada, al igual que en el caso de las salmueras naturales de alta concentración, por calentamiento con fuego directo o con vapor.

Los salares son depósitos de sales sólidas impregnados por salmueras complejas saturadas en cloruro de sodio con contenidos variables de boratos, sales de calcio, potasio, magnesio, litio y sulfato de sodio. También se recupera halita como

subproducto en la explotación de cloruro de potasio (silvita). La figura 17 resume los distintos métodos para el procesamiento de cloruro de sodio según su procedencia:

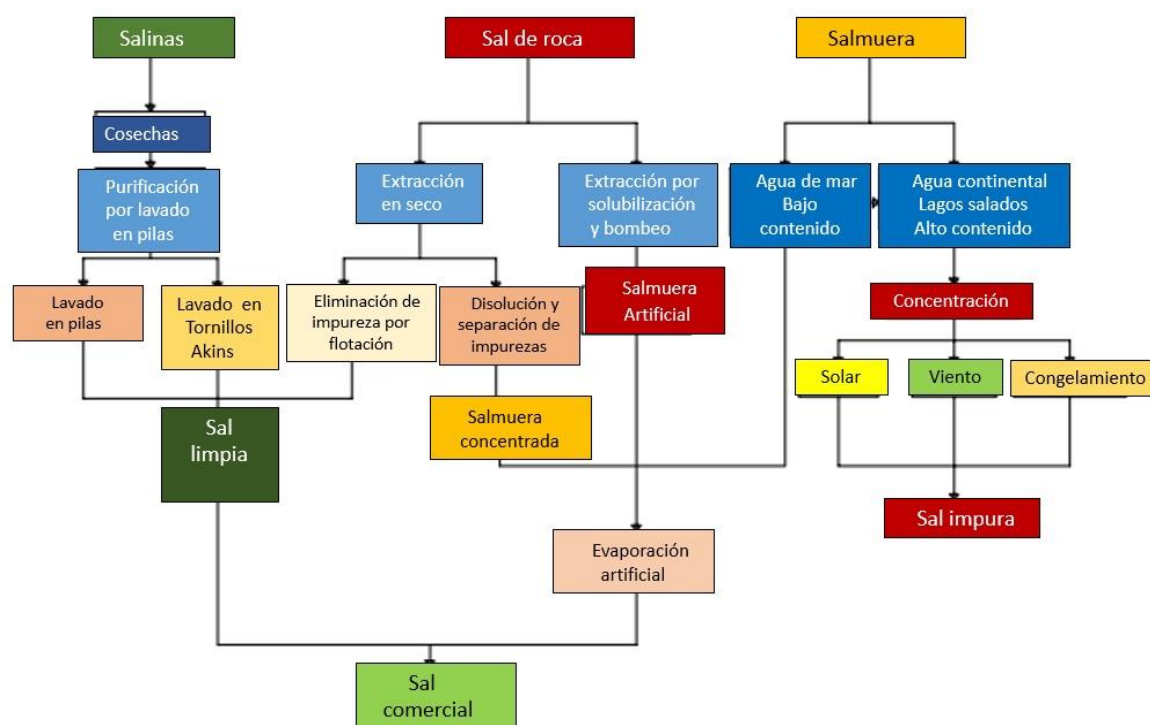


Figura 17. Esquema de los distintos métodos para el procesamiento de cloruro de sodio según su procedencia.

### 6.3. Recuperación a partir de salinas marinas

Procede mediante la progresiva evaporación de agua y por tanto en que vaya aumentando la concentración en sales del agua de mar almacenada en estanques poco profundos, comunicados entre sí, en los que van precipitando primero los sólidos, luego otras sales hasta alcanzar la concentración (325 g/l) que provoca la precipitación de la fracción del cloruro sódico que se produce en los estanques de cristalización donde se forman costras de 5 a 15 cm de espesor, las que se retiran formando parvas donde escurre el agua para llevar la sal a la planta de lavado donde se eliminan las impurezas adheridas y se reduce la humedad por centrifugado. Después del lavado, se realiza un proceso de triturado o molturación y posterior cribado, para conseguir un diámetro de grano (Ballesteros Pelgrim y Fernández Ramos *et al.*, 2013).

#### **6.4. Refinación de la sal**

Este es el proceso tradicional al cual se somete la sal para lograr los estándares de consumo humano. La sal inicialmente pasa a una tolva de alimentación, esta sal es transportada desde la tolva hacia una batea de lavado por una cinta transportadora, donde a través de la recirculación de agua, es eliminado el polvo, quedando una sal limpia, casi transparente y con alta humedad. Luego es sometida a un proceso de centrifugación donde es eliminado el exceso de humedad y el resto de impurezas, llegando a la siguiente etapa como una sal limpia y con una humedad de máximo 3,5%. Seguido a este proceso realiza un proceso de secado en un horno a gas propano, donde el calentamiento a temperatura cercana a los 140°C produce la disminución de la humedad hasta un porcentaje no mayor a 0,1% y además elimina las bacterias halófilas. La sal seca pasa a un proceso de molienda para la reducción del tamaño de los granos y clasificación granulométrica posterior. Esta clasificación se hace por medio de un tamizado mediante zarandas de diferentes calibres dependiendo. Finalmente, es agregado el yodo o el flúor dependiendo del producto que se quiera obtener (Pinos, 2004; Guerrero, 2013).

## 7. USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA HALITA

El uso más conocido de la halita resulta ser en la preparación de los alimentos como sal de mesa, ya que es un mineral que estimula la secreción de saliva en la primera fase de la digestión, resaltar el color de los alimentos y es el conductor de los otros sabores. La halita que hace parte del consumo diario se divide en sal gruesa, entrefina, fina e impalpable, estas categorías están principalmente dadas por características de tamaño de grano, la humedad y cantidad de trazas.

La sal de mesa debe contar con la menor cantidad de contaminantes químicos, entre estos se encuentran los contaminantes por metales pesados como cobre, plomo, arsénico, cadmio y mercurio (Secretaría de Agroindustria, 2019). En la industria alimenticia también es usada como conservante de todo tipo de alimentos. En la producción de alimentos a escala industrial (como p.ej.: las emulsiones de yemas de huevo para elaboración de mayonesa) es importante que la sal no aporte “puntos negros” (minerales de metales pesados) que provocarían el rechazo del consumidor.

Además de presente en la sal de mesa de consumo diario, la halita se constituye en una materia prima industrial importante, para la industria química en la fabricación del vidrio, jabones, plásticos, papeles, pinturas, cosméticos, medicamentos, pilas eléctricas, en la petroquímica y sirve para la elaboración de otros reactivos como soda cáustica, carbonato de sodio junto a la caliza, cloro y ácido clorhídrico (Selles Martínez y Castro, 2012). Estos reactivos, a su vez, hacen parte de otras industrias manufacturera de productos de limpieza, textiles, maderera y curtido de pieles. En su estado natural es usada también en el curtido de pieles y como alimento para ganado. Las pulpas de papel se blanquean con  $\text{Cl}_2$  que puede obtenerse por electrolisis de cloruro de sodio, donde se obtiene la soda caustica y cloro y finalmente, es usada para el deshielo de caminos (Kucera, 2013).

Garcés (2016) detalla la siguiente clasificación teniendo en cuenta la aplicación en la que se usa la sal:



- ⊕ Sal Industrial Estándar: Sal harneada que cumple con los requisitos de múltiples usos industriales, tales como saborizantes, fijación de color, preservantes, antioxidante, tratamientos de aguas, salmueras de refrigeración, deshielo, blanqueador y productos agrícolas.
- ⊕ Sal industrial grado medio de múltiples aplicaciones
- ⊕ Sal gruesa industrial, de aplicaciones similares que la estándar
- ⊕ Sal mineral industrial: Se utiliza en las mismas aplicaciones que la sal gruesa, pero al ser refinada se obtiene una sal de alta calidad para el consumo humano.
- ⊕ La sal industrial de harneo especial: la sal harneada que cumple con los requisitos de múltiples usos industriales, tales como saborizantes, fijación de color, preservantes, antioxidante, tratamientos de aguas, salmueras de refrigeración, deshielo, blanqueador y productos agrícolas

Ballesteros Pelgrim y Fernández Ramos (2013) proponen una clasificación teniendo en cuenta el estado si se comercializa como sal húmeda o seca y atendiendo al grado de molienda, en función del grado de pulido del grano de sal y sus características higrométricas, se individualizan según el tamaño y el uso, diferenciando:

- ⊕ Sales húmedas: se clasifican para su comercialización en función de su granulometría con las denominaciones de: sal gruesa, que es utilizada para deshielo de carreteras; salazón, utilizada para salazón del pescado y carne; fomento, para conservas embutidos y panadería; Anchoa, para uso industrial y Molida, para alimentación.
- ⊕ Sales secas: se clasifican para su comercialización en función de su granulometría con las denominaciones de Anchoa seca, Grancilla, Fina seca y Polvo. Las sales más finas suelen venderse envasadas y pueden contener aditivos, como un agente «antiapelmazante» o yodo, y se destinan al consumo humano.
- ⊕ Sales marinas: contienen un pequeño porcentaje de yodo de manera natural, de 1,5 a 1,7 partes por millón (ppm.) pero se puede yodar, añadiendo yoduro potásico, yodato potásico u otro derivado hasta 60 ppm. Esta práctica es habitual desde que la Organización Mundial de la Salud previno de los peligros

de la deficiencia de yodo, considerándose la sal el mejor vehículo para su suministro a toda la población.

### 7.1. Usos de la Sal Industrial

La sal industrial suele usarse en distintos procesos industriales

- ⊕ Industria petrolera: Se utiliza como agente floculante y para aumentar la densidad de los fluidos de perforación de pozos petroleros principalmente en tierra, que al estar completamente saturados con sal no absorberán ni disolverán los depósitos de sal subterráneos durante la perforación permitiendo que la plataforma de perforación sea más segura y eficiente. También se utiliza acelerar el endurecimiento del hormigón utilizado en la perforación.
- ⊕ Fundentes: Se usa en la fundición, refinación y fabricación que dan como producto metales ferrosos y no ferrosos como el aluminio, berilio, cobre, acero y vanadio, y en el proceso de concentración de uranio. Si bien muchos procesos de fundición usan diversas sales como fundentes específicos, la halita se puede usar como agente fundente único o en mezcla con otros, para la obtención y refinación de algunos metales, especialmente no ferrosos. Por ejemplo, las mezclas de cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de potasio (KCl) en distintas relaciones (por ej.: equimolares, 90/10, 70/30) durante el reciclaje de aluminio a 660°C evitan la oxidación del metal en reemplazo del uso habitual de fluoruros (de la Torre *et al.*, 2009).
- ⊕ Industria farmacéutica: Se usa como materia prima en la elaboración de cápsulas, así como en la producción de soluciones salinas, como solución de contacto y fórmulas intravenosas. El uso de sal en la industria farmacéutica representa un gran porcentaje del uso total de sal industrial.
- ⊕ Industria Jabones y Detergentes: Se usa el agregado de cloruro de sodio en este tipo de formulaciones a fin aumentar su volumen y la viscosidad del producto.
- ⊕ Tratamiento de las aguas, la agricultura y la ganadería: Se usa como ablandadores en el tratamiento de aguas duras que contienen, principalmente iones de calcio

y magnesio, que operan por intercambio iónico siendo la sal un componente esencial para la regeneración de las resinas de intercambio iónico.

En agricultura la sal es usada como conservante del forraje aumentando la tasa de acidificación, estabilidad y vida útil del ensilado, mediante una fermentación espontánea de ácido láctico en condiciones anaeróbicas. En la ganadería es usada en la dieta de los animales, ya que es fundamental para el correcto crecimiento, desarrollo y reproducción de un ganado que ingiere muy poca sal en su dieta natural, su funcionamiento se remite a la deshidratación de los alimentos favoreciendo la digestión y asimilación de los nutrientes.

⊕ Industria Química: Se usa como materia prima para producir cloro y soda caustica, por electrólisis de la sal en forma de salmuera. El cloro es un desinfectante extremadamente eficaz y un componente esencial en la fabricación química de miles de productos que se utilizan a diario. El hidróxido de sodio (más conocido como soda cáustica) se utiliza en la fabricación de detergentes, jabones y productos limpiadores y desatapa cañerías.

## **7.2 Deshielo de caminos**

La sal de grano es el principal compuesto que favorece el control del hielo en las carreteras, pavimentos, puentes y estacionamientos donde las temperaturas alcancen hasta  $-23^{\circ}\text{C}$ . Dependiendo el proveedor y la concentración de  $\text{NaCl}$ , la sal distribuida comercialmente tiene agregados antiaglomerantes como el YPS (prusiato amarillo de soda) que le ayuda a resistir el apelmazamiento y a prevenir la formación de grumos. La sal que es usada en el deshielo de caminos funciona no por una emisión de calor a causa de la hidratación de dicha sal, ya que ese calor es absorbido por la sal cuando esta se descompone en iones para ser hidratada. En realidad, el proceso de descongelamiento se produce porque el agua con sal disuelta tiene un punto de solidificación a menor temperatura que la del agua pura. En otras palabras, cuando se agrega al hielo, la sal primero se disuelve en la película de agua líquida que siempre está presente en la superficie, lo que reduce su punto de congelación por debajo de la temperatura de formación del hielo. Esto genera cada vez más cantidad de agua líquida que va

disolviendo la sal y a su vez disminuyendo su punto de congelación hasta llegar a los cero grados Fahrenheit,  $-17,8^{\circ}\text{C}$  que es el punto donde alcanza la saturación en sal y deja de funcionar como agente descongelante (Scientific American, 2005). La figura 18 muestra un esquema ilustrativo de funcionamiento químico a nivel molecular del proceso de deshielo.

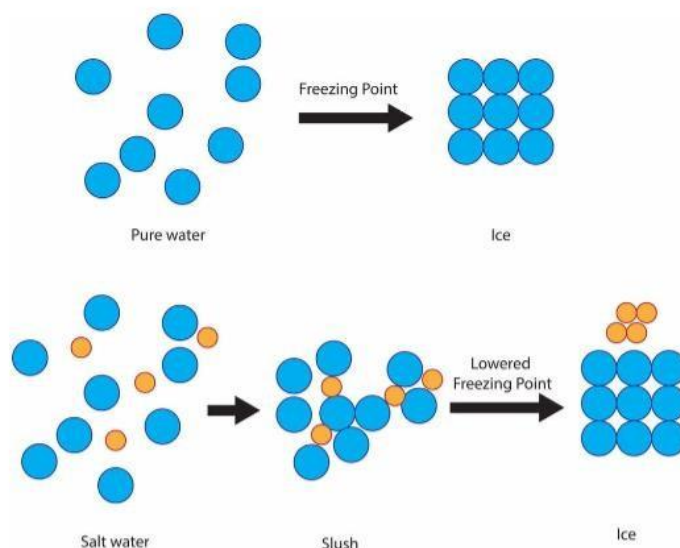


Figura 18. Esquema ilustrativo de funcionamiento químico a nivel molecular del proceso de deshielo. Tomado de Scientific American, 2005.

Otra forma de explicar este fenómeno es a través de las velocidades de desprendimiento o adherencia de las moléculas de agua y hielo. Por ejemplo, si se disuelve sal en el agua la velocidad de desprendimiento de las moléculas de hielo no se ve afectada, pero la velocidad a la que las moléculas de agua se adhieren a la superficie del hielo disminuye, principalmente porque la concentración de moléculas de agua en el líquido (moléculas por centímetro cúbico) es menor. Este proceso se caracteriza por ser llevado a cabo con sal de roca, la cual generalmente se presenta como sal con impurezas que le confieren un color gris o pardo, no es apta para el consumo humano y en algunas ocasiones se encuentra mezclada con otras sales cloruradas como el cloruro de potasio y el cloruro de magnesio.

Cuando la temperatura supera los  $0^{\circ}\text{C}$ , este fenómeno no funciona de manera ideal, en este caso es necesario que otros agentes hagan un primer derretimiento que

permita que la sal comience a actuar con esas primeras películas de agua líquida sobre la superficie congelada.

La halita es el agente de deshielo más recomendado según el Instituto de la Sal (ISAL) de España debido a que:

- Previene o derrite el hielo y la nieve de forma eficiente.
- Hay disponibilidad siempre y es accesible fácilmente.
- Es el agente de deshielo más económico.
- Es altamente eficiente, y por lo tanto requiere aplicarse poca cantidad.
- Es fácil de almacenar y de manipular.
- Su aplicación y esparcimiento sobre superficies es sencilla.
- Su impacto ambiental es mínimo cuando se utiliza y almacena adecuadamente

Por el otro lado, es claro que la entrada en el ambiente de este agente puede conllevar a que la escorrentía se encargue de distribuirlo dentro del ecosistema aledaño afectando de manera negativa en plantas, animales acuáticos y humedales. Los ecosistemas aledaños están completamente expuestos a los efectos que esta saturación de sal que es resultado de su disolución que da como resultado distintas cantidades de ion cloruro que, a bajas concentraciones no presenta peligrosidad, pero durante el deshielo las cantidades de este ion ya no son bajas, aumentando el riesgo de toxicidad para plancton y algunos peces. En contextos más problemáticos la sal conduce a la formación de bolsas saladas cerca del fondo de los lagos, creando zonas biológicamente sin vida.

## 8. MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL DE LA HALITA

Los recursos continentales mundiales de sal son vastos y el contenido de sal en los océanos es casi ilimitado. Casi todos los países del mundo tienen depósitos de sal u operaciones de evaporación solar que les permiten obtener lo necesario para consumo interno (Díaz, 2020).

### 8.1. Producción

El mayor productor mundial de sal del mundo en el año 2019 fue China con una producción total de 60.000 millones de toneladas), sumando con Estados Unidos completan aproximadamente un 35 de la producción total (Fig. 19, USGS, 2020; Díaz, 2020). De igual manera el consumo del cloruro de sodio durante los últimos años por efectos del crecimiento poblacional y el desarrollo industrial implicó que la producción se encuentre en ascenso.

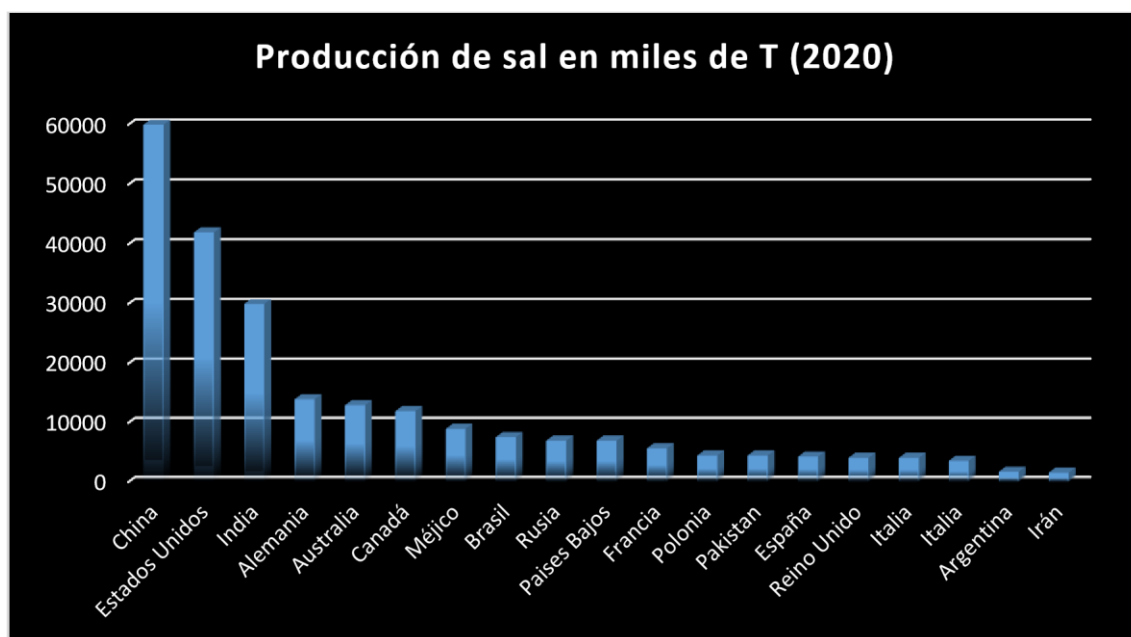


Figura 19. Producción de sal mundial (Elaborado a partir de USGS Commodities, 2021).

A nivel nacional La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, se ubican en los primeros lugares con oscilaciones de acuerdo a los años, estas cifras son suministradas por el portal CIMA (Figs.20 y 21) La cantidad total de sal producida en el país fue de 1,8 millones

de toneladas y las provincias con mayores producciones de cloruro de sodio en el país fueron La Pampa 37,7% Buenos Aires 22,3% y Río Negro 21,9%, le siguen San Luis (6,5%), Jujuy (5,0%), Córdoba (3,0%), Tucumán (2,7%), Salta (0,7%) y Santa Cruz (0,2%) (Secretaría de Agroindustria, 2019).

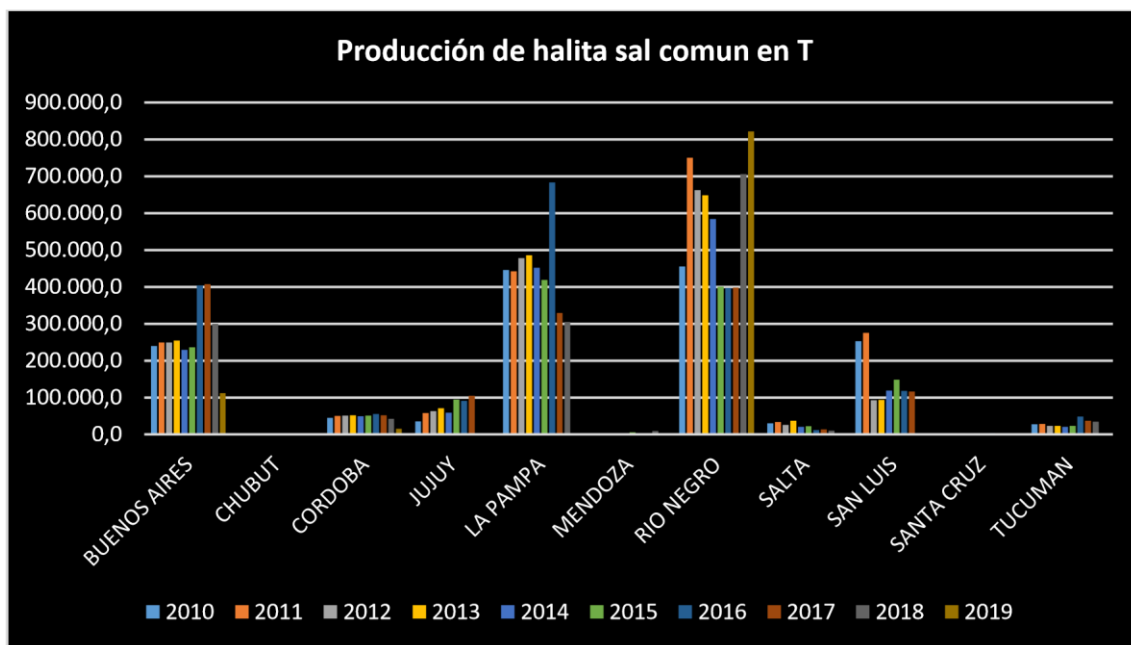


Figura 20. Distribución de la producción de halita en Argentina. Elaborado a partir de CIMA, 2021

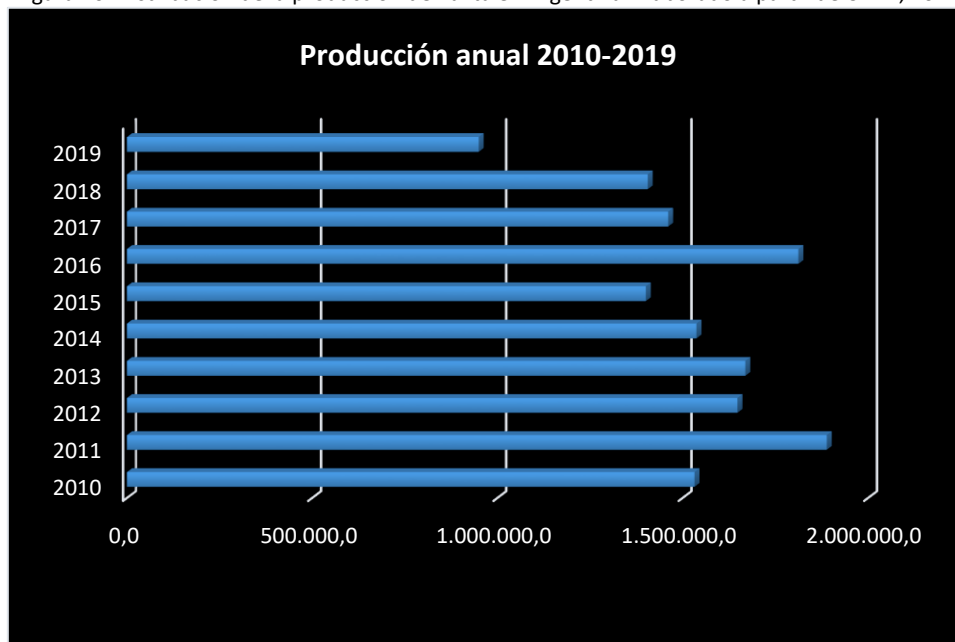


Figura 21. Producción anual de halita en Argentina años 2010 - 2019. Elaborado a partir de CIMA, 2021

## 8.2 Clasificación arancelaria. Balanza comercial

La clasificación arancelaria incluye a la sal en el en el Capítulo 25 (Cuadro 3)

Cuadro 3: Clasificación Arancelaria

Nomenclatura Común del Mercosur (NCM)	
2501.00	Sal: incluidas las de mesa y la desnaturalizada) y cloruro de sodio puro, incluso en disolución acuosa o con adición de antiaglomerantes o de agentes que garanticen una buena fluidez; agua de mar
2501.00.1	Sal a granel, sin agregados
2501.00.11.000 L	Sal marina
2501.00.19.000 X	Las demás
2501.00.20.000 N	Sal de mesa
2501.00.90	Los demás
2501.00.90.100 M	Cloruro de sodio puro (R.2808/80 ex-ANA)
2501.00.90.900 F	Los demás

Las exportaciones de sal de mesa en Argentina para el año 2019, fueron de 769.385,8 U\$D FOB, por la venta de 1.994.660,5 t logrando un precio promedio de 385 U\$D por tonelada con incremento del 11% con respecto al 2018 a mercados confidenciales (CIMA 2021). Con respecto a las importaciones para el mismo periodo se indica un total 15873U\$S CIF por la compra de 6,3 toneladas principalmente a Uruguay e Italia. (CIMA, 2021). Claramente la balanza comercial es positiva (Fig.22).

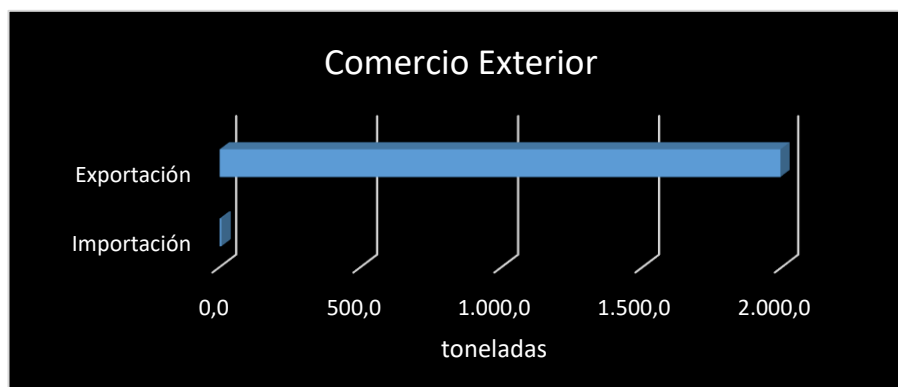


Figura 22: Valores de importación-exportación en toneladas, Elaborado a partir de CIMA, 2021



La producción y procesamiento de sal según el producto terminado principalmente la sal de mesa proveniente del cloruro de sodio, está regulado a nivel nacional por el código alimentario argentino específicamente en los artículos 1264 a 1275 inclusive, del Capítulo XVI: “Correctivos y Coadyuvantes”, se define el producto, los aspectos técnicos y las condiciones de rotulación / comercialización, su calidad está evaluada a través de protocolo realizado por el Ministerio de Agroindustria. Las normas internacionales vigentes están especificadas en el Cuadro 4:

Cuadro 4: Normas internacionales vigentes para los productos terminados y diferentes aplicaciones provenientes de la explotación de cloruro de sodio. Tomado de (Gobierno de México, 2018).

Clave	Título
CODEX STAN 150-2006	Norma del CODEX para la sal de calidad alimentaria
ASTM D632-01	Especificación para cloruro de sodio
ASTM D1411-04	Métodos de prueba para cloruros solubles en agua presentes como adiciones en mezclas de agregados para carretera
AASHTO-M-143-03	Especificación para cloruro de sodio
United States Pharmacopeia XXI, 1985, 21st rev.	Monografía oficial sobre cloruro de sodio
ANSI/Z2353.1-19834	Sal empaquetada
UU-S-48F	Especificación federal-sacos, embarque, papel
Reagent Chemicals 7th ed., 1986	Cloruro de sodio
SS-S-31K	Especificación federal propuesta-sal de mesa
A-A-694	Tratamiento de agua
A-A-20041	Sal de mesa iodizada
E534-98(2003)	Métodos de prueba para análisis químico de cloruro de sodio
ANSI/AWWA B200-07	Norma para tratamiento de agua (cloruro de sodio)
ISO 15648:2004	Mantequilla - Determinación del contenido de sal - Método potenciométrico
ISO 1738:2004	Mantequilla - Determinación del contenido de sal

Argentina cuenta con un total de 25 empresas dedicadas a la explotación de sal común según los datos del Censo Minero 2017 (Plat, 2018). Tres de ellas cuentan con dos plantas industriales cada una y el resto con una única. La Pampa cuenta con un total de ocho plantas industriales y, por consiguiente, posee la mayor cantidad de establecimientos industriales que procesan sal común. Le sigue Jujuy con siete; Río Negro y Salta con tres cada una. En San Luis y Córdoba existen dos respectivamente y con una única planta industrial se suman las provincias de Tucumán, Buenos Aires y Santa Cruz (Secretaría de Agroindustria, 2019).

## 9. LOS DEPÓSITOS EN ESTUDIO

### 9.1 Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada en el extremo nordeste de la provincia de Santa Cruz, en el Departamento de Deseado, está comprendida en las siguientes coordenadas: (X1= 683092.10; Y1: 4750283.17) (X2= 719667.67; Y2=4747080.30). Proyección UTM, zona 19 sur WGS 84, limitando al norte con el golfo de San Jorge, al sur con la RN N.281, al oeste con la RP N.68 y al este con la RP N.14 (Fig. 23).

El área demarcada se ubica a 53 Km al noroeste de la localidad de Puerto Deseado y cuenta con una extensión de 800 km<sup>2</sup>, donde se han identificado mediante prospección geológica 14 salinas con alto potencial de cloruro de sodio.

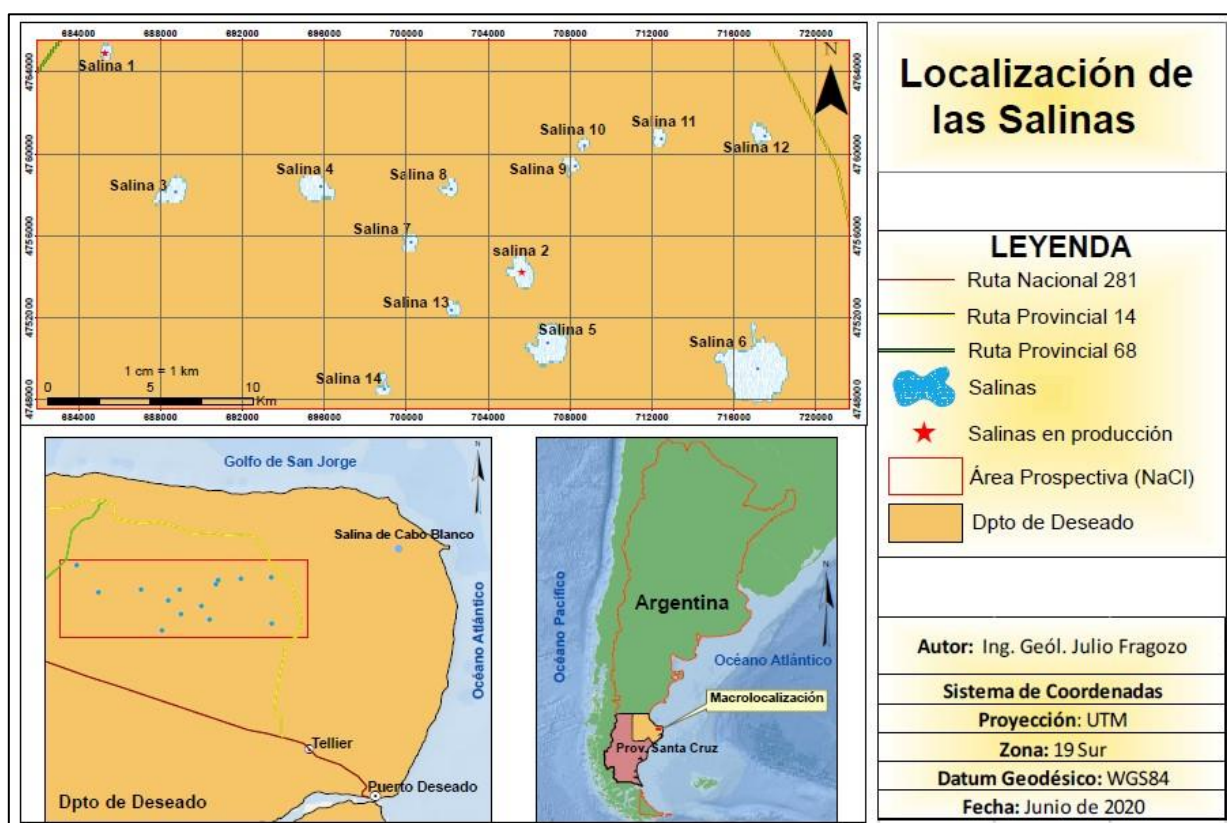


Figura 23. Mapa de Localización de las Salinas objeto de Estudio.

## 9.2 Antecedentes

En la Estadística Minera 2019 aparece con 1200 t la producción de sal común, para la provincia de Santa Cruz. De acuerdo a la Estadística Minera (CIMA, 2021) la producción fue oscilante, no contando con datos en algunos años (Fig. 24) sin especificar a qué salina/salinas corresponde.

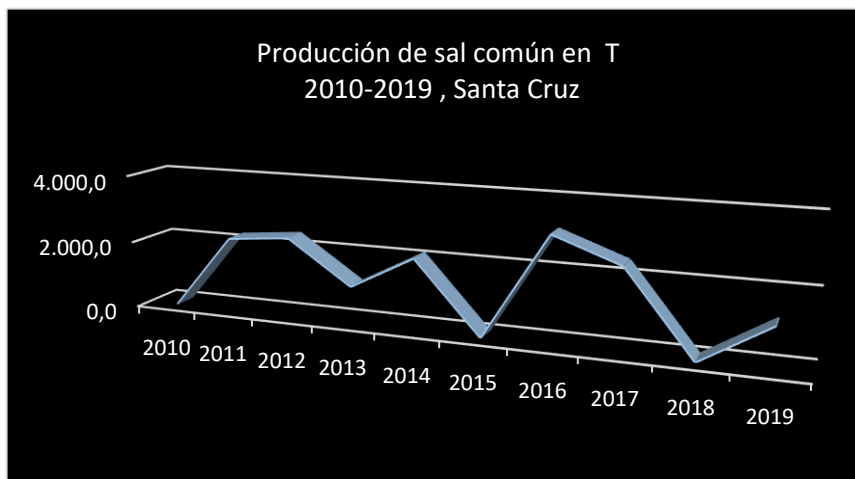


Figura 24. Producción de sal en la Provincia de Santa Cruz, años 2009-2019. Elaborado a partir de CIMA, 2021

Datos de la década del 30 indican que la Salina de Cabo Blanco ubicada a 90 km al norte de la ciudad en Puerto Deseado fue explotada. Esta salina se ubica en una depresión dentro de un área de aproximadamente 900 ha sobre rocas terciarias marinas del Patagoniano, aflorantes en los bordes y en la base, de las cuales probablemente proviene el enriquecimiento en cationes de la salina. Los últimos sondeos (14 en total) fueron realizados por la empresa Aurora Agropecuaria en el año 1995, en el sector central y en el borde oriental del cuerpo, de esta manera lograron obtener muestras de la capa de sal de roca, la cual mostró espesores entre los 4,40 m y 10,00 m, datos que arrojaron un promedio de 8,06 metros. La sal de acuerdo a su textura se ha dividido en "maciza" y "cebrada". La primera es de grano grueso a mediano y de color blanco a translúcido, en tanto que la cebrada presenta una alternancia de finas capas de sal con arcillas en una secuencia rítmica. Las perforaciones permitieron delimitar el cuerpo y adicional a esto calcular unos recursos medidos aproximados de 15 millones de toneladas (Domínguez 1993 en Giacosa et al., 1998). Cordini (1967) había estimado que las reservas cercanas a las 40.000.000 toneladas. Otra salina situada a unos pocos

kilómetros al sur, conocida como La Portefia, se ha explotado esporádicamente para cubrir necesidades locales.

Los recursos de NaCl de las salinas objeto de estudio en el presente trabajo, son actualmente explotados por Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado para aplicarlo en las rutas de la Provincia de Santa Cruz como líquido antihielo. Se utiliza el método de cosecha (ver capítulo 6). En este caso, este proceso consiste en extraer la sal de cosecha mediante máquinas de corte que permite separar la capa de sal superficial temporaria de 3 a 4 cm de espesor, del piso de la salina. Posteriormente los cordones son apilados para luego ser cargados y transportados a la planta de procesamiento, donde es disuelta en una pileta con el uso de un agitador para una mejor disolución. Por cada m<sup>3</sup> de sal se utilizan 1000 litros de agua con agitación de 10 minutos. Luego esta solución es bombeada a unos tanques de almacenamiento y al momento de realizar el riego en las vías rutas es mezclado con un 20% en peso de vinaza, producto orgánico que se obtiene como un residuo durante el procesamiento de la caña de azúcar, el cual aporta una mayor conductividad, que está directamente relacionada con el contenido de iones en la solución, colaborando con el descenso del punto de congelamiento.

Su principal ventaja es su pH neutro, lo cual evita los fenómenos de tipo corrosivo en las superficies donde se aplica y su efecto en el suelo no es perjudicial. Finalmente, la solución es transportada en camiones cisternas con capacidad de 20.000 litros, que permite realizar el riego de 60 km de vía. La figura 25 muestra el proceso.



### 9.3. Influencia Climática

Los métodos de explotación por cosecha y pilas son económicos, pero están supeditados a las condiciones climáticas predominantes en la región. En épocas de alta densidad de precipitaciones pueden ocurrir dos cosas: imposibilidad de cosechar o, por el contrario, obtener más de dos cosechas anuales. Estas condiciones incluyen principalmente las precipitaciones y la temperatura de la región en donde se encuentre el depósito. Se conoce a través de estudios de los ambientes evaporíticos tanto antiguos como modernos, que durante su formación hubo condiciones alternantes entre humedad y sequedad siendo esta última la condición climática precursora de las formaciones evaporíticas en las etapas de salares o playa-lake, es decir, dichas

variaciones entre climas más o menos áridos causan el reemplazo de los lagos perennes por salares o llanuras fangosas secas (Alonso, 2006). Los ambientes de formación de salinas continentales argentinas están caracterizados principalmente por climas áridos a semiáridos con escasas precipitaciones, notables amplitudes térmicas diarias, fuerte evaporación y vegetación de tipo estepario (Brodtkorb, 1999).

Las condiciones climáticas de la provincia de Santa Cruz a pesar de no presentar temperaturas muy altas, se caracteriza por ser una región seca y por tener condiciones climáticas bajo los parámetros geográficos de la zona. En el caso de la temperatura varía con la latitud, pero en mayor medida con la altura sobre el nivel del mar, por lo que las variaciones estacionales oscilan entre valores promedio de  $+15,4^{\circ}\text{C}$  y  $+12,8^{\circ}\text{C}$  respectivamente para verano y primavera y  $+7,3^{\circ}\text{C}$  y  $+5,6^{\circ}\text{C}$  para otoño e invierno (Fig. 26, Fasiolo *et al.*, 2016).

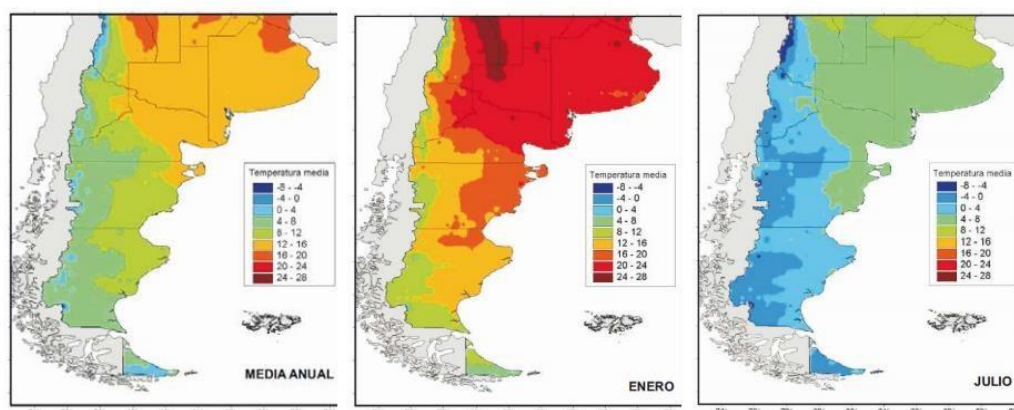


Figura 26. Distribución de la temperatura media anual, mes de enero y mes julio en la Patagonia Argentina.

En lo referente a las precipitaciones, otro punto importante que condiciona la formación de los salares es la clave de la acumulación de sedimentos evaporíticos de Santa Cruz se puede observar que, en el transcurso del año, la distribución de las precipitaciones depende principalmente de la predominancia de las correspondientes masas de aire (Paruelo *et al.*, 2005). Esta distribución muestra que la precipitación total anual de la localidad alcanza unos escasos 203,6 mm (mediana), fuertemente concentrada en eventos de muy escasa intensidad. Se asegura que la cantidad de precipitaciones es tan escasa que difícilmente genera almacenamiento útil de agua en el



suelo desde un enfoque de interés biológico o agronómico. El verano la estación más seca concentrando tan solo hasta un 21% de las precipitaciones totales anuales (Fig. 27, Fasiole *et al.*, 2016).

La tensión de vapor media anual es muy baja en toda la región patagónica y es siempre mayor en verano por las mayores temperaturas. La humedad relativa del aire tiene un valor medio anual de 60,8% en la zona este. Los valores más bajos se registran en los meses de primavera y verano (EPISA). Estas condiciones permiten determinar que la época del año en la que mejor se puede realizar la extracción del mineral está entre los meses de verano, especialmente desde febrero hasta abril.

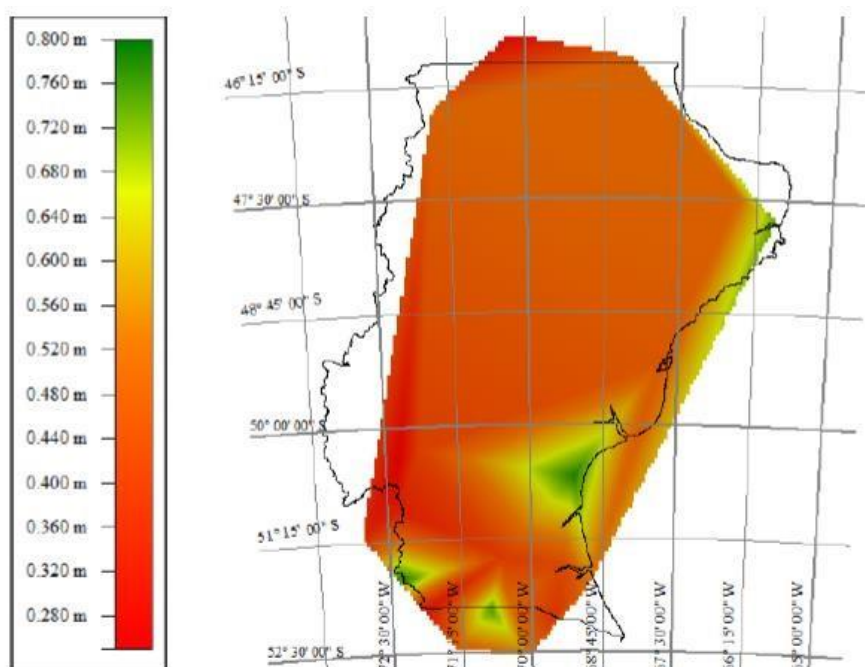


Figura 27. Precipitaciones medias anuales de la zona de Puerto Deseado. Tomado de Fasiole, *et al.* (2016).

#### 9.4. Geología del Área

El área prospectada se localiza en la región extrandina Patagónica al sureste de la provincia geológica Meseta Patagónica. Se extiende al este de los Patagónides y está comprendida entre los macizos de Somún Cura y del Deseado. Abarca las mesetas de la región central de Chubut y de Santa Cruz, continuando en la región extrandina de Tierra del Fuego (Fig 28). Geológicamente se pueden distinguir dos sectores diferentes norte y

sur (Ramos, 1999). A fines del presente estudio nos centraremos en la zona norte de la provincia geológica Meseta Patagónica.

Las rocas más antiguas aflorantes en el sector norte corresponden a depósitos cenozoicos, tanto marinos como continentales. Estas unidades están cubiertas por depósito piroclásticos eoceno-oligocenos, que en la zona más oriental están subyaciendo a los depósitos marinos de la transgresión patagónica (sedimentitas marinas formadas durante la ingresión marina del Terciario medio en la costa atlántica patagónica). Depósitos continentales de origen fluvial, con las clásicas faunas de mamíferos caracterizan a la Formación Santa Cruz del Mioceno medio (Ramos, 1999). Los depósitos sin salida o las lagunas son numerosos y están compuestos sedimentos finos del tipo limo-arcilla hasta arenas de tamaño medio ubicadas en los bordes de los bajos (Fig. 28). Varias de estas depresiones, en especial las más grandes, están cubiertas por una capa salina conocida como costra temporaria. (Giacosa *et al.*, 1998).

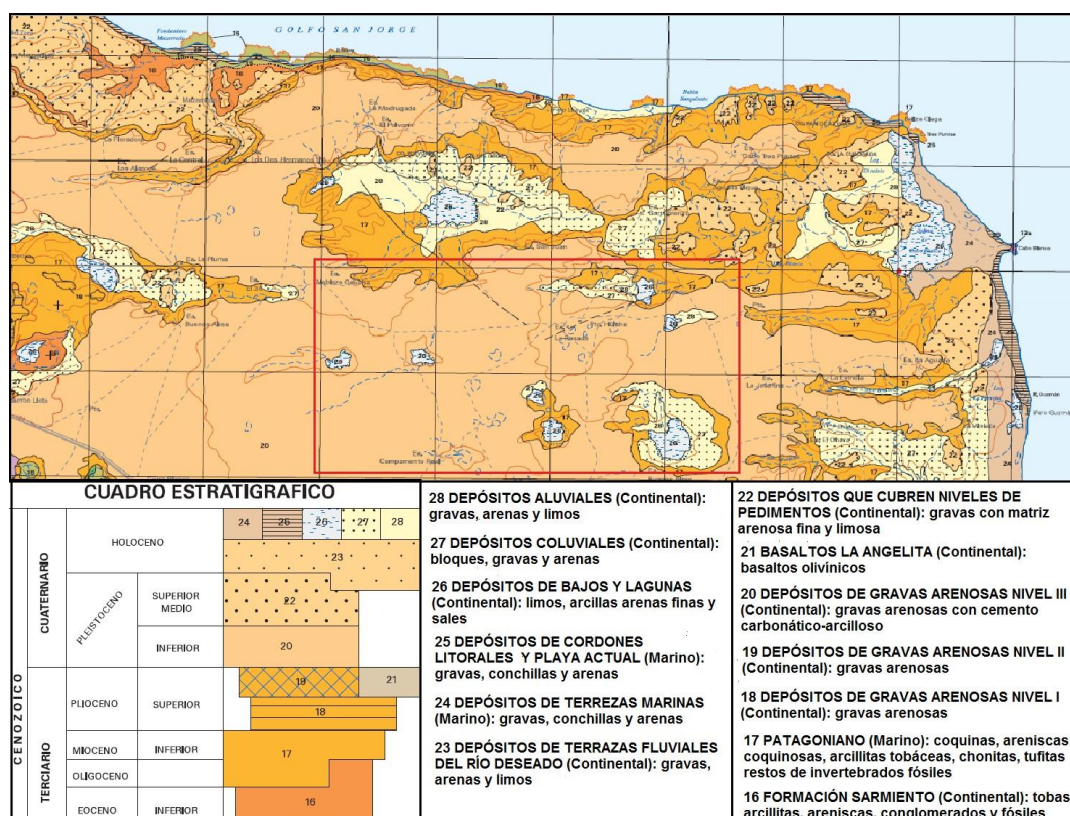


Figura 28. Mapa geológico de Puerto Deseado. Tomado y modificado de (HG 4766-III/IV) SEGEMAR



En la provincia de Santa Cruz, la mayoría de los depósitos importantes de halita están localizados en la región extrandina y se originan en cuencas endorreicas que ocupan depresiones topográficas (Súnico, 2002). Tal es el caso de las salinas del Bajo de la Pava, Salitral de Pichinini, Salina de Cabo Blanco y los bajos cercanos a la estancia Buenos Aires, cerro El Osco, salina Pancho y salina de la Isla entre otros. (Giacosa et al., 1997).

### 9.5. Geomorfología

Geomorfológicamente la zona de Puerto Deseado abarca el sector oriental del área entre la cuenca del Golfo San Jorge y el Macizo del Deseado. La traza del río Deseado delimita aproximadamente estas dos unidades morfo-estructurales, que presentan algunos rasgos geomorfológicos distintivos (Fig.29). Al norte del río Deseado las geoformas dominantes son mesetas y bajos con acantilados activos y extensos cordones litorales en el área costera. Al sur del río, el paisaje principal está dado por el relieve irregular de rocas del complejo volcánico precretácico (Giacosa, et al., 1998).

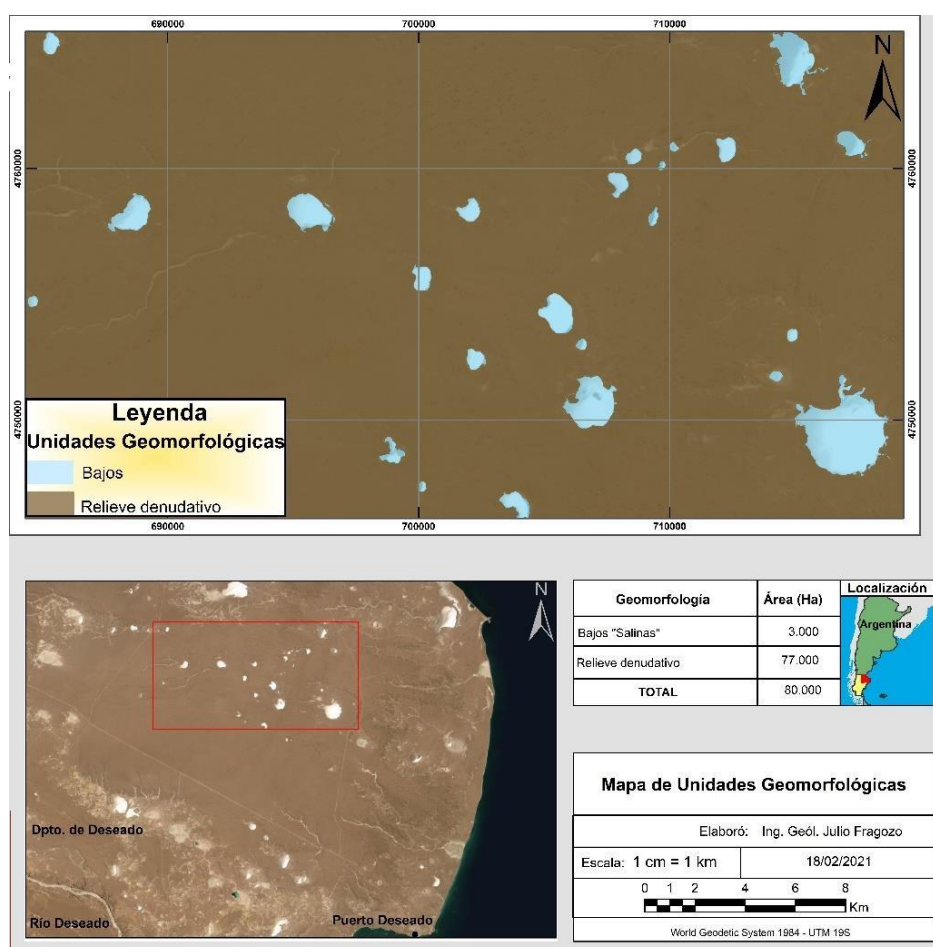


Figura 29. Mapa geomorfológico.

#### 9.5.1. Bajos o Cuencas cerradas

Los bajos topográficos constituyen cuencas endorreicas geoformas comunes del paisaje de la Patagonia. El viento es el factor determinante en la formación de estos bajos, existen diferencias en cuanto a su historia de formación (Fig. 29). Los bajos correspondientes a la zona de interés se desarrollaron a partir de un pre-relieve de materiales poco consolidados, que, al momento de la depositación de las gravas fluvio-glaciales, constituían altos topográficos. Con posterioridad, una fuerte erosión hidro-eólica actuó sobre estos relictos, produciéndose con el tiempo una inversión del relieve inicial, quedando de esta manera las gravas a una cota mayor (Giacosa *et al.*, 1998).

Con relación a los bajos desarrollados sobre las planicies estructurales cubiertas por gravas, varias son las explicaciones que se han dado en cuanto a la génesis de los mismos. Malagnino (1981) consideran como origen más probable para algunos de los bajos observados es eólico (deflación). En acumulaciones asociadas a este hábito depósitos de gravas alternan con otros de granulometría más fina. Puede suponerse entonces que a partir del tiempo en que dicha planicie perdió su funcionalidad, actuó sobre ella la acción eólica, formando bajos en los sectores donde el material más fino favoreció la deflación.

Previamente Feruglio (1950) consideró que gran parte de las cuencas cerradas patagónicas se deben a la acción eólica, a la que otros autores combinan con una meteorización previa o contemporánea. Para Frenguelli (1957), el origen de estas depresiones es fundamentalmente tectónico, siendo luego ampliadas por deflación. Por lo tanto, los procesos de deflación probablemente han contribuido, al menos parcialmente, al desarrollo y ampliación de gran parte de los bajos patagónicos. Schiller (1923), propone al sublavado como origen de los bajos. El mismo implica la substracción subterránea de material por las aguas de infiltración. Esta situación podría haber ocurrido en las planicies de Rodados Patagónicos, donde las gravas cubren litologías muy friables. Los materiales finos de estas últimas pudieron ser removidos en suspensión por las aguas que se infiltraban hacia niveles más profundos, para luego alcanzar márgenes

de las planicies. Esta substracción de material habría producido finalmente hoyos por colapso del techo ubicado sobre los sectores afectados por sublavado. Si bien difieren las ideas respecto al origen de las depresiones (tectónico, deflación, sublavado, etc.) muchos autores coinciden que la posterior ampliación y remodelación de estas depresiones se vio favorecida por el efecto combinado de meteorización, deflación, acción hídrica y remoción en masa.

#### 9.5.2. Relieve denudativo en Sedimentos Terciarios

Resultado de la erosión hídrica de rocas terciarias de diferente composición y edades, se observa un paisaje sumamente irregular que en algunas partes conforman verdaderos badlands “huayquerías”. Los mismos son frecuentes en numerosos sectores de Santa Cruz, principalmente en la zona extraandina. Los materiales marinos, fluviales y piroclásticos terciarios generalmente friables sumada a la escasa cobertura edáfica y la rara cobertura vegetal, facilitan la intensa erosión hídrica. Consecuentemente se observa un paisaje quebrado con numerosas cárcavas, con alta intensidad de drenajes de forma dendrítica (Malagnino, 1981).

#### 9.6. Tareas Realizadas

Previo a la salida de campo se realizó un análisis de imágenes satelitales de la zona, usando Modelos de Elevación Digital y la herramienta de Google Earth que permitieron seleccionar los bajos topográficos y la ubicación de las zonas más profundas de cuencas endorreicas.

Las tareas de campo estuvieron sujetas a la predisposición de los superficiarios que permitieron la entrada sus predios privados y en lo que respecta al área de explotación de igual manera fue dependiente de los permisos de ingreso suministrados por la empresa Vialidad Provincial La metodología se detalla en la figura 30.

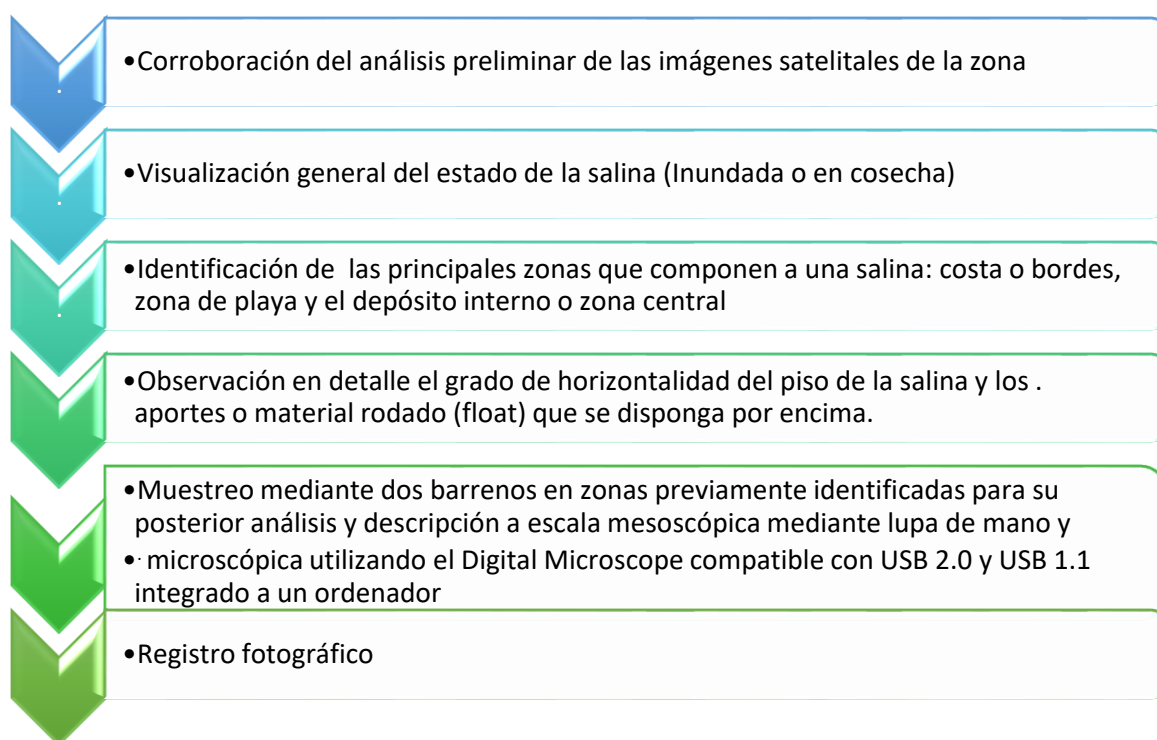


Figura 30. Metodología de Recolección de Datos de Campo.

La descripción composicional y textural del material presente en las salinas identificadas en la zona, se realizó sobre las muestras extraídas en la Salina 6. La descripción textural de los cristales de halita se realizó analizando 3 muestras de la misma salina, las cuales se extrajeron en campo mediante dos barrenos de distintos tamaños.

El análisis geoquímico se realizó sobre muestras sólidas obtenidas del depocentro de la Salina 1, que fueron enviadas a los laboratorios Alex Stewart Internacional (ASI). Este proceso de evaluación geoquímica se realizó con el fin de obtener unos valores de ley aproximados que permitieran el cálculo de recursos probables.

## 10. RESULTADOS

### 10.1. Identificación de Salinas

Los bajos topográficos identificados durante el análisis de las imágenes satelitales fueron enumerados e ingresados en el área de prospección delimitada anteriormente en la figura 31.

Se identificaron 14 salinas con potencial de cosecha de (NaCl), según se detalla en el Cuadro 5. El relevamiento de las salinas identificadas fue de gran importancia ya que de esta manera fue posible identificar el estado de estas, sea que se encuentren inundadas o con la capa temporaria de NaCl, y sus dimensiones.

Cuadro 5. Ubicación de las salinas (toma de coordenadas mediante GPS -Garmin etrex10).

Nombres de las Salinas	Coordenadas UTM		Área Ha	Nombre de la E.a
	Coordenadas X	Coordenadas Y		
Salina 1	685282.4997	4764890.135	33	La 36
Salina 2	705640.0697	4754226.883	136	La 36
Salina 3	688724.277	4758144.269	133	La 36
Salina 4	695805.4387	4758422.805	160	La 36
Salina 5	706884.5647	4750758.928	270	La 36
Salina 6	717137.8725	4749481.482	739	Don Román
Salina 7	700212.7313	4755695.263	49	La Rosada
Salina 8	702174.2142	4758307.894	47	La Rosada
Salina 9	708231.1841	4759410.443	42	La Rosada
Salina 10	708674.2595	4760441.3	24	La Rosada
Salina 11	712454.6954	4760731.747	46	La Rosada
Salina 12	717496.7868	4760852.928	65	San Lorenzo
Salina 13	702204.0002	4752364	41	Campamento Real
Salina 14	698913.0002	4748495	42	Campamento Real

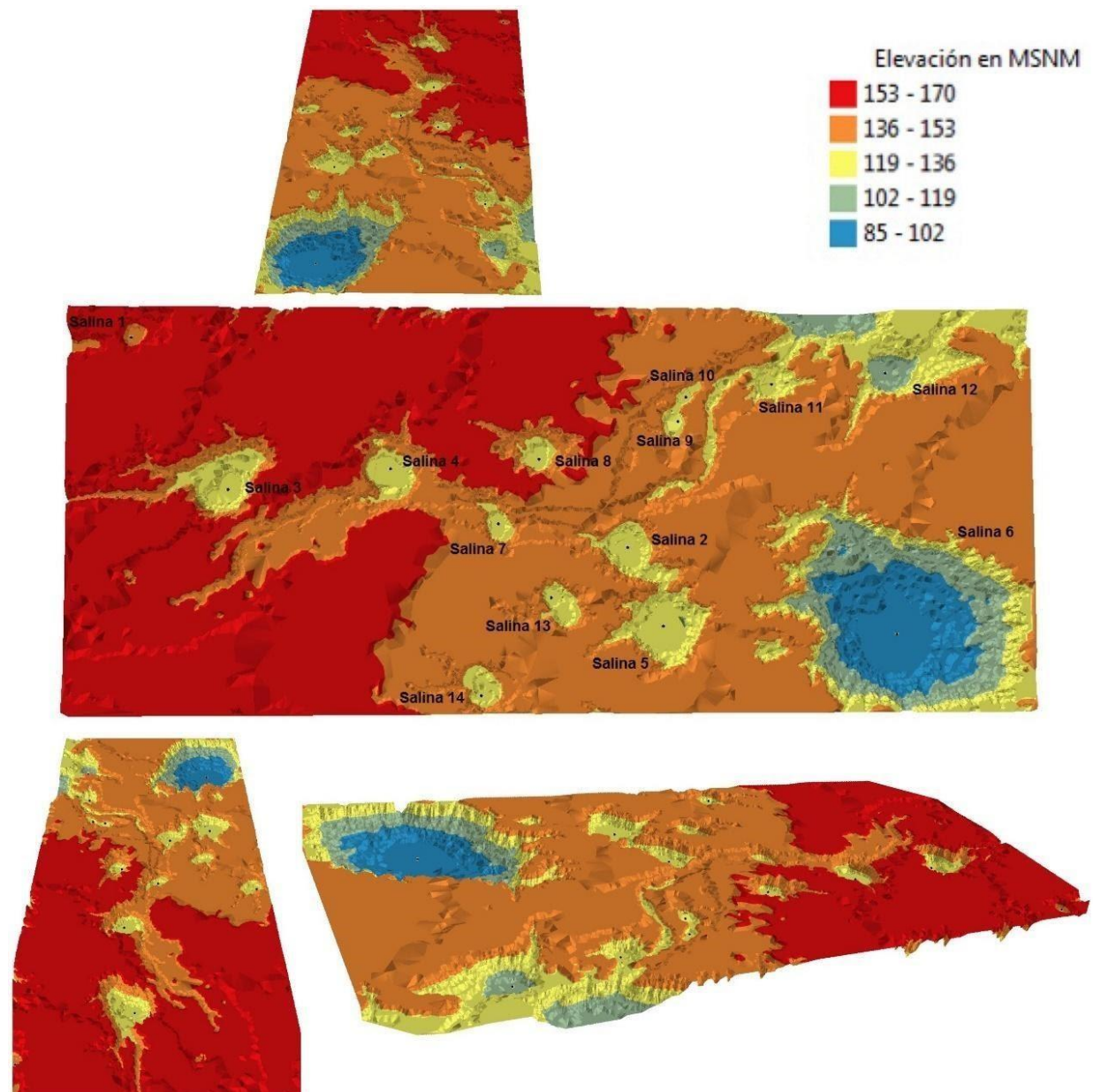


Figura 31. Identificación de las salinas de la zona de interés a través del procesamiento de los datos geográficos suministrados por el Modelo de Elevación Digital. B. Modelo 3D de las salinas con potencial de explotación minera.

## 10.2 Descripción Composicional y Textural

Para este trabajo se seleccionaron las muestras provenientes de la Salina 6

⊕ Muestra 1 Piso de la Salina 6: La muestra está compuesta principalmente por material arcilloso con plasticidad, de color gris-verdoso típico de ambientes reductores, con un tamaño de grano que varía desde grano muy fino a fino. Además, presenta clastos inmersos dentro de esa matriz arcillosa, dichos clastos son redondeados a



subredondeados, y composicionalmente corresponden a granos de cuarzo y fragmentos líticos de tamaños arena y grava. Además, presenta abundante materia orgánica junto con el material arcilloso. La roca muestra moderada selección. Puede decirse que la muestra corresponde a una roca sedimentaria inmadura desde el punto de vista textural, por su contenido de arcillas como matriz que envuelve los fragmentos líticos. Clasificación: pelita areno-gravosa (Fig. 32).

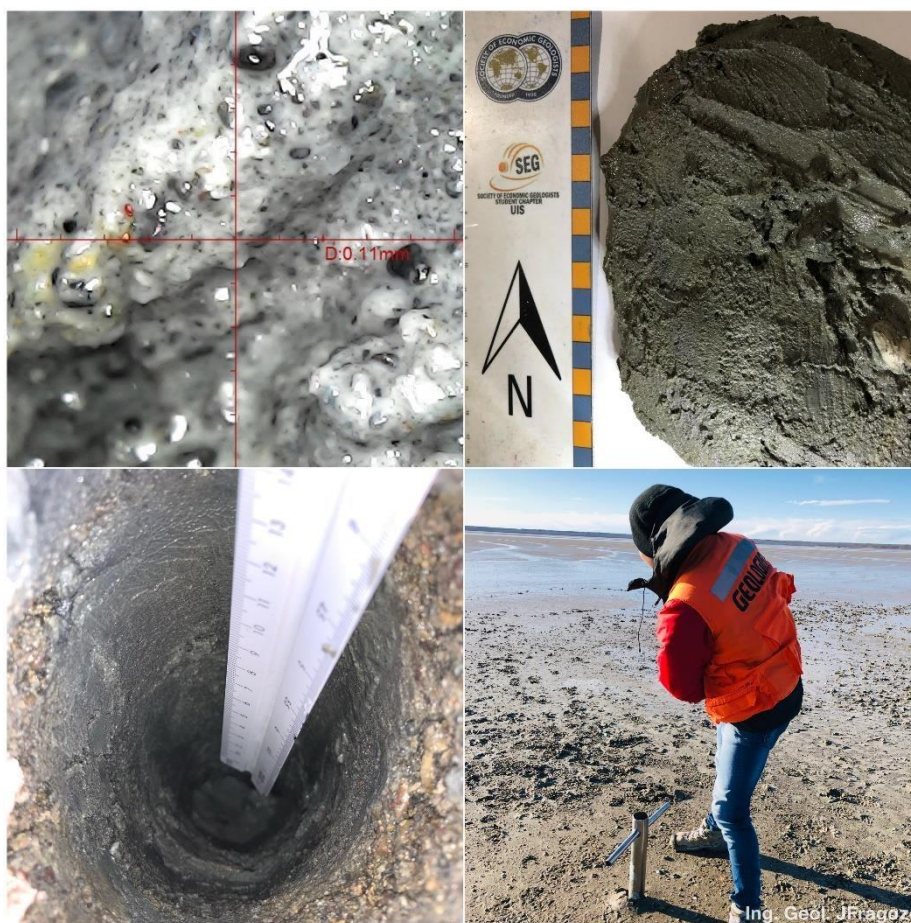


Figura 32. Muestra 1 obtenida del piso de la Salina 6.

⊕ Muestra 2 zona de borde en la Salina 6: Roca sedimentaria aflorante en las paredes circundantes de la Salina 6. Está constituida por bandas paralelas de 2 a 3 cm de grosor, presentan de colores gris anaranjado, afectada por grietas de desecación dentro de un espesor de 1,5-2 m de alto x 70-80 m de ancho. Se trata de una pelita de color gris anaranjado donde se observan cristales prismáticos y cúbicos transparentes correspondientes a halita inmersos en la matriz arcillosa y fragmentos líticos de color

negro angulosos; es frecuente la presencia de nidos de limonita irregulares, otras veces botroidales. El grado de compactación de estas rocas es moderado y presenta moderada selección. La cantidad de arcilla presente como matriz y a su vez el poco retrabajamiento de los clastos observados indican un grado bajo de madurez textural, (Fig. 33). Clasificación: Arcilita lítica/ tobácea

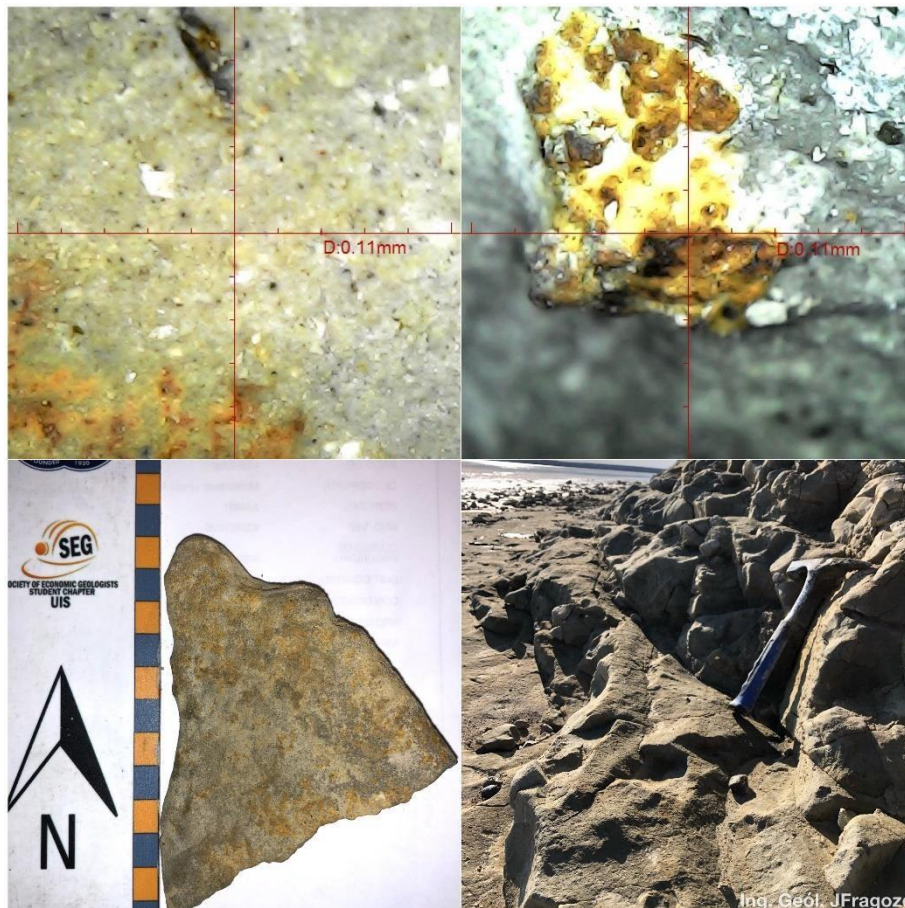


Figura 33. Muestra correspondiente a arcillita tobácea obtenida de la pared en la Salina 6.

⊕ Muestra 3. Canto Rodado: muestreado en los bordes circundantes de la Salina 6. La roca está compuesta por fragmentos fósiles de composición carbonática, principalmente bivalvos (*Ostra Sp.* y otros) y braquiópodos de tamaño de grano que varía de 5 mm a 3 cm de diámetros inmersos en una matriz arcillosa de color gris claro, gastrópodos (*Turritela sp*, *Globularia sp*, otros) y corales. En algunos casos, solo se observa parcialmente el molde. El cemento es de composición carbonática



posiblemente corresponda a calcita o dolomita. Usando la clasificación de Folk, 1958 se puede determinar que la muestra corresponde a una Bioesparita. Si es usada la clasificación de Dunham se podría decir que es un Packstone / Grainstone dependiendo del material micrítico (Fig. 34).

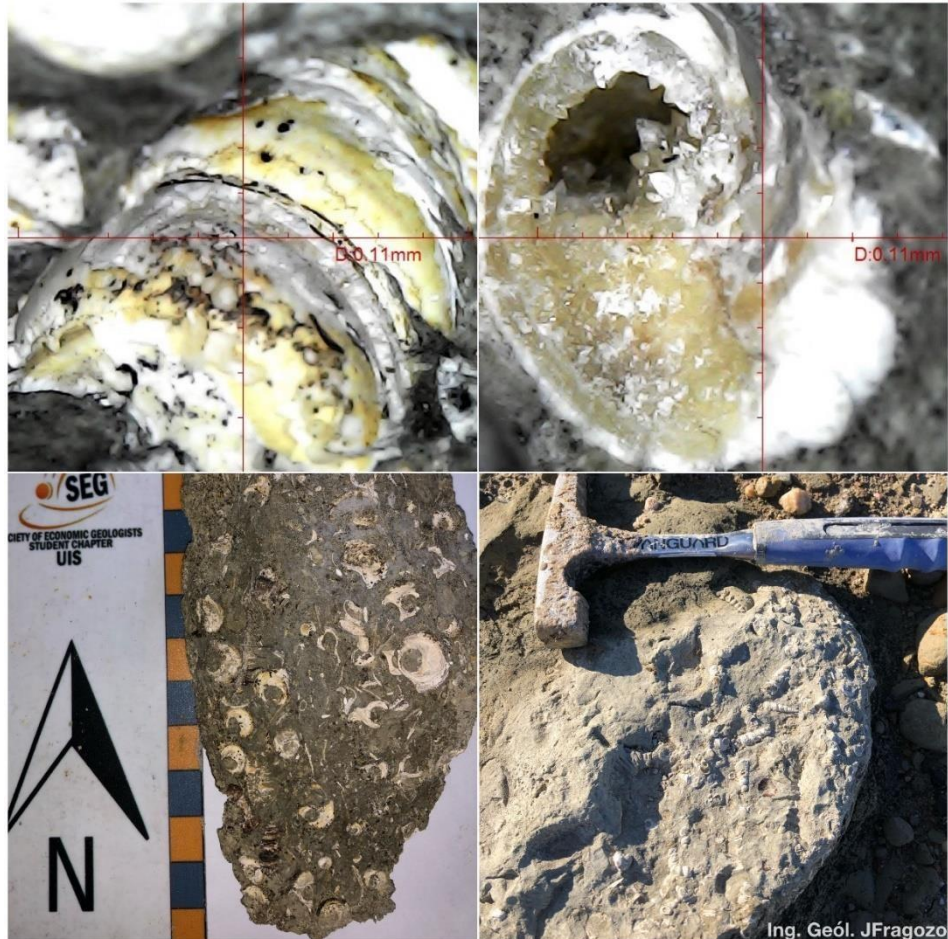


Figura 34. Muestra 3 correspondiente a un canto rodado en el piso de la Salina 6.

⊕ Muestra 4: Capa residual de NaCl en los bordes de la Salina 6: La muestra corresponde a una capa superficial de 2-3 cm de espesor de la salina. En la base de la capa se puede observar una lámina de arcilla de 1 mm de espesor, y en el techo de la misma se evidencia nivel con de fragmentos líticos (volcánicos) y cuarzo. La capa de sal está compuesta de cristales de halita con forma anhedral y con presencia de cavidades que han generado porosidad secundaria en la muestra., como producto de disolución por agua circundante la capa de sal. Parte de la base corresponde a un conglomerado polimigtico con clastos redondeados a subredondeados de tamaño grava. (Fig 35).



Figura 35. Muestra 4 correspondiente a la capa residual de NaCl en los bordes de la Salina 6.

⊕ Muestra 5 zona inundada de la Salina 6: La muestra corresponde a una roca sedimentaria tomada por debajo del nivel del agua, a una profundidad entre 4-5 cm. Corresponde a una capa con un espesor aproximado de 2 cm, donde se observan intercalaciones de cristales salinos con materia orgánica predominando la presencia de los cristales de cloruro de sodio. La morfología de estos cristales es principalmente cúbica, y localmente pirámides y tolvas, lo que muestra una diferencia con la muestra anterior sustentando la idea de un menor grado de disolución. Sin embargo, se aprecia que la muestra se encuentra en una zona en la que ha comenzado el proceso de inundación, lo que puede sugerir el bajo grado de disolución de la muestra. Clasificación: Sal de roca (Fig. 36).





Figura 36. Muestra 5 zona inundada de la Salina 6.

Según Cordini, 1967 la estructura de las salinas de la provincia de la Pampa tiene un perfil bastante similar a lo propuesto por este trabajo de investigación. El piso de la salina está compuesto por limos y arcillas con fragmentos líticos transportados por la erosión de las partes más altas, una vez se retira esta capa de limos se observa la capa salinizada, más exactamente dentro de la zona inundada, en donde se encuentran las rocas con cristales de sal sin evidencias de disolución, más hacia el borde siguen existiendo limos y arcillas salinizadas con evidencia de disolución y en la pared de la salina se encuentran las rocas más compactas correspondientes a las arcillitas probablemente tobáceas con fragmentos volcánicos erosionados.

### 10.3 Caracterización de las salinas

Las salinas que son el principal objeto de estudio pueden variar su estado según el régimen climático de la zona donde encuentran ubicadas, presentando dos estados principales durante el año. El relevamiento en campo permitió reconocer las salinas que en época de precipitaciones se encontraban inundadas y en época de estío cosechadas (Fig. 36). En ambos estados se pueden diferenciar importantes zonas como los bordes que en general contiene la vegetación circundante, las playas tanto distal como proximal al depósito central que puede estar compuesto por aguas saturadas de sal (Fig. 37) o por la costra temporaria explotable en cosecha (Fig. 38). En cuanto a la terminología empleada para caracterizar las diferentes zonas de las salinas se pueden mencionar las siguientes. (Cordini, 1967):

- Reserva de la salina: Es la cantidad de sal que potencialmente contiene el depósito considerado. La reserva debe establecerse valorando los tonelajes contenidos a. Playas; b. En la costra temporaria; c. en la costra permanente; d. en los aportes. El último aspecto generalmente se omite (o se estima) porque demanda perforaciones costosas.
- Playa distal: Es la “entrada a la salina”. Sus sedimentos contienen mucho material detrítico y las sales se encuentran en cantidades subordinadas.
- Playa proximal: es la que se encuentra entre la playa distal y el depósito explotable. En la playa proximal los sedimentos se enriquecen en sales a medida que se avanza hacia el centro del cuerpo salino.
- Piso: Término empleado entre salineros para referirse al conjunto costra temporaria- costra permanente. Un “piso duro” es importante porque permite el acceso “al blanco” (al depósito explotable) con máquinas pesadas; las salinas de piso blando son menos codiciadas por que deben explotarse con cosechadoras livianas provistas de rodaje apropiado.

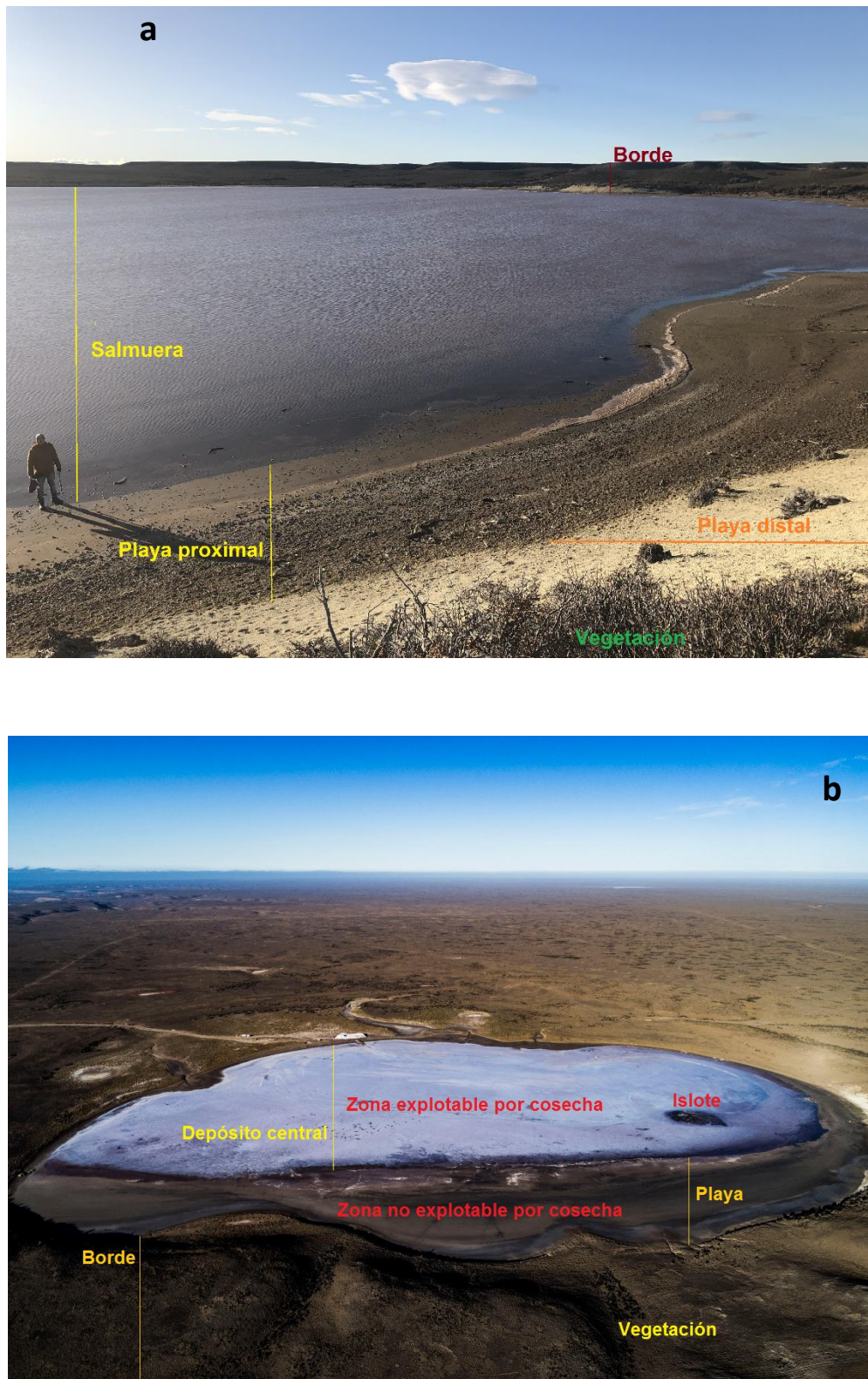


Figura 37. Salina 6 inundada (a), Salina 1 en cosecha (b).



Las figuras 38 y 39 muestran los esquemas de una salina inundada y otra en cosecha aplicables a las estudiadas.

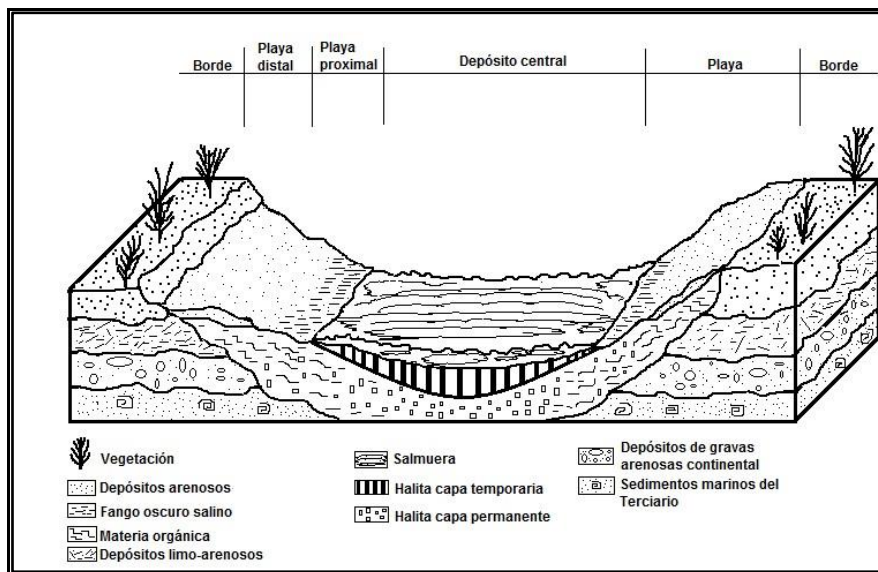


Figura 38. Esquema de salina inundada.

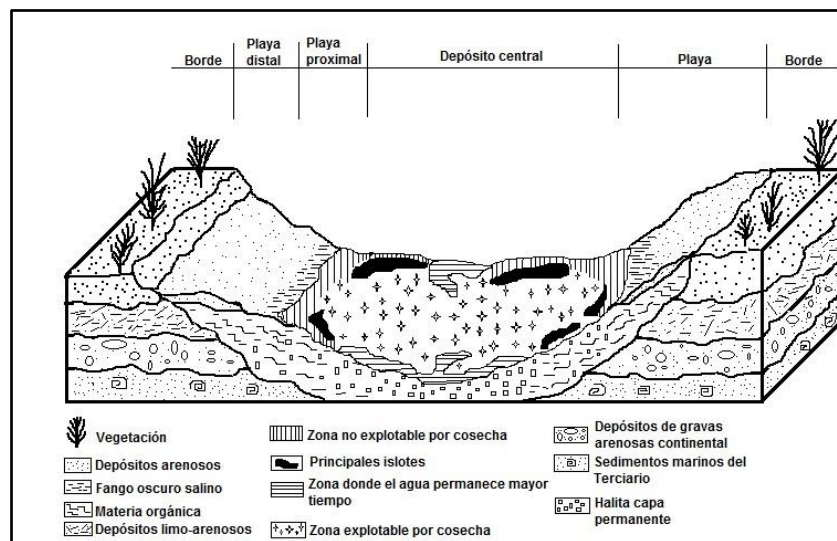


Figura 39. Esquema de salina en cosecha.

Es importante conocer las principales características de las salinas ya que estas pueden marcar la diferencia entre ser económicamente rentable o no su explotación. Entre las más representativas se pueden nombrar las siguientes:

- ⊕ Cubierta vegetal de los bordes: un viento fuerte en el momento de la cosecha o poco antes de las mismas pueden desmejorar el producto porque arrastra cantidades grandes de polvo depositándolo en el ámbito de la salina. De aquí que se atribuya valor a la cubierta vegetal que rodea a la misma y actúa como

fijadora del terreno. Por el otro lado, dicha cubierta puede ser eficaz para evitar totalmente la contaminación, aunque sin duda, contribuye a atenuarla. En general, las salinas relevadas en campo tienen una vegetación halófila tipo arbustiva o herbácea y gramínea cerca de los bordes, las más frecuentes son: Coirón, Neneo, Mata Negra y Palo Piche (Fig.40).



Figura 40. Vegetación aledaña de las salinas

- ⊕ Nivelación del piso: Si el depósito no posee una superficie lisa y horizontal, provoca diferentes tipos de inconvenientes en la explotación, por los desniveles generados. El resultado es una capa con puntos más delgados y otros de mayor espesor dificultando la explotación. (Fig. 41).

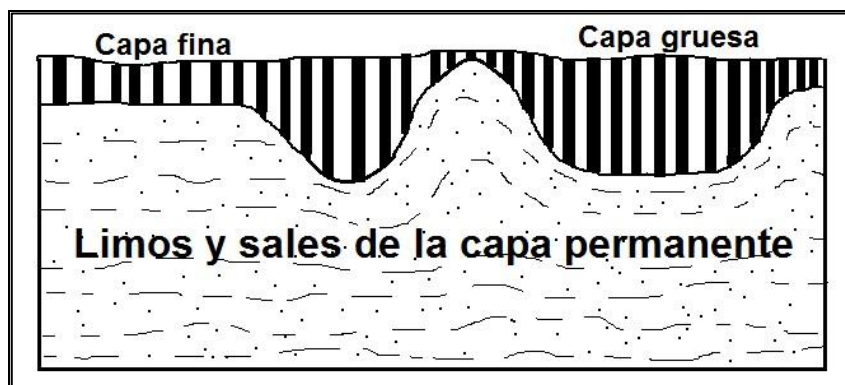


Figura 41. Ejemplo de piso mal nivelado en una salina.

Las Salinas 1 y 2 que actualmente explota Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado no presentan este tipo de problemas. El piso es horizontal con pocas imperfecciones en la capa cosechada (Fig. 42).



Figura 42. Nivelación del piso de las Salinas 1 y 2.

- ⊕ Presencia de agua subterránea: Pueden alumbrar dentro de la salina como anillos salinos denominados “ojos de agua”. Esta característica fue observada en las Salinas 1 y 2, por tal motivo se establece que las mencionadas salinas reciben aportes de sales contenidas en las aguas subterráneas. (Fig. 43).



Figura 43. Ojos de agua.



#### 10.4 Descripción de texturas de los cristales

Para la descripción de las texturas se tuvo en cuenta la morfología que desarrollan los cristales de halita de crecimiento libre descrita por Yubero de Mateo, (2008) para observar dicho crecimiento fue necesaria la observación de estos a través de un microscopio denominado Digital Microscope compatible con USB 2.0 y USB 1.1 integrado a un ordenador (Fig.44).

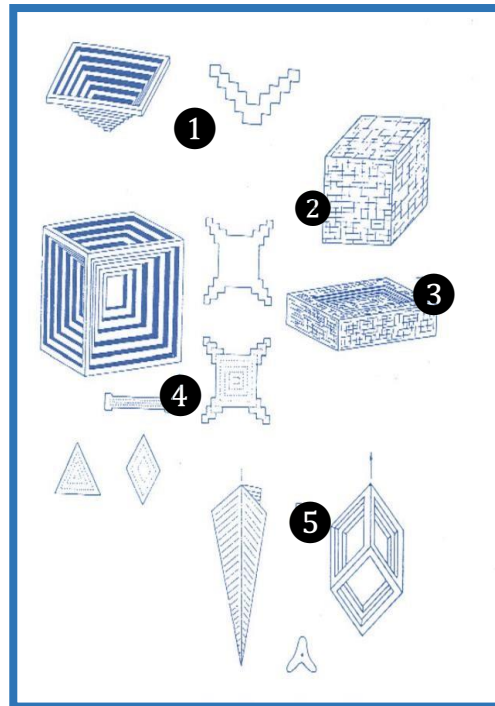


Figura 44. Morfología de los cristales de halita de crecimiento libre. 1) Tolva (pirámide hopper) y sección, 2) cubo (macizo) 3) Tabular (tabular hopper) 4) Tolva cúbica y secciones. 5) Tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron). Tomado de Yubero de Mateo (2008)

Es posible observar dentro de estas muestras analizadas que los cristales de halita se presentan en un tamaño homogéneo dentro de dichas muestras, los cristales, no superan el medio milímetro en alguna de sus dimensiones. Las morfologías principales de los cristales que componen las muestras son cuatro, las cuales se repiten en la mayoría de los cristales, la primera de ellas corresponde a los cubos macizos, estos cubos macizos según estudios en otros salares argentinos indican una cristalización lenta relacionada a temperaturas de primavera o invierno en el fondo de cubetas profundas con salmuera bajo condiciones de saturación débil (Marchionni, *et al.*, 1998). De igual

manera se presentan tolvas piramidales y cúbicas, las cuales indican incoherencia interatómica es decir que las valencias de los átomos no están saturadas, permitiendo una mayor captación de los iones Na y Cl que están en solución en esos sectores, no así en el sector central de las caras, donde la energía de enlace es menor (Handford, 1981). Dentro de la muestra también es posible identificar morfologías de tipo tabular, autores aseguran que este tipo de individuos laminares cristalizan en una fina capa de salmuera sobresaturada en la interfase agua-aire, a la cual son paralelos (Arthurton, 1973). Se ejemplifica en la figura 45.

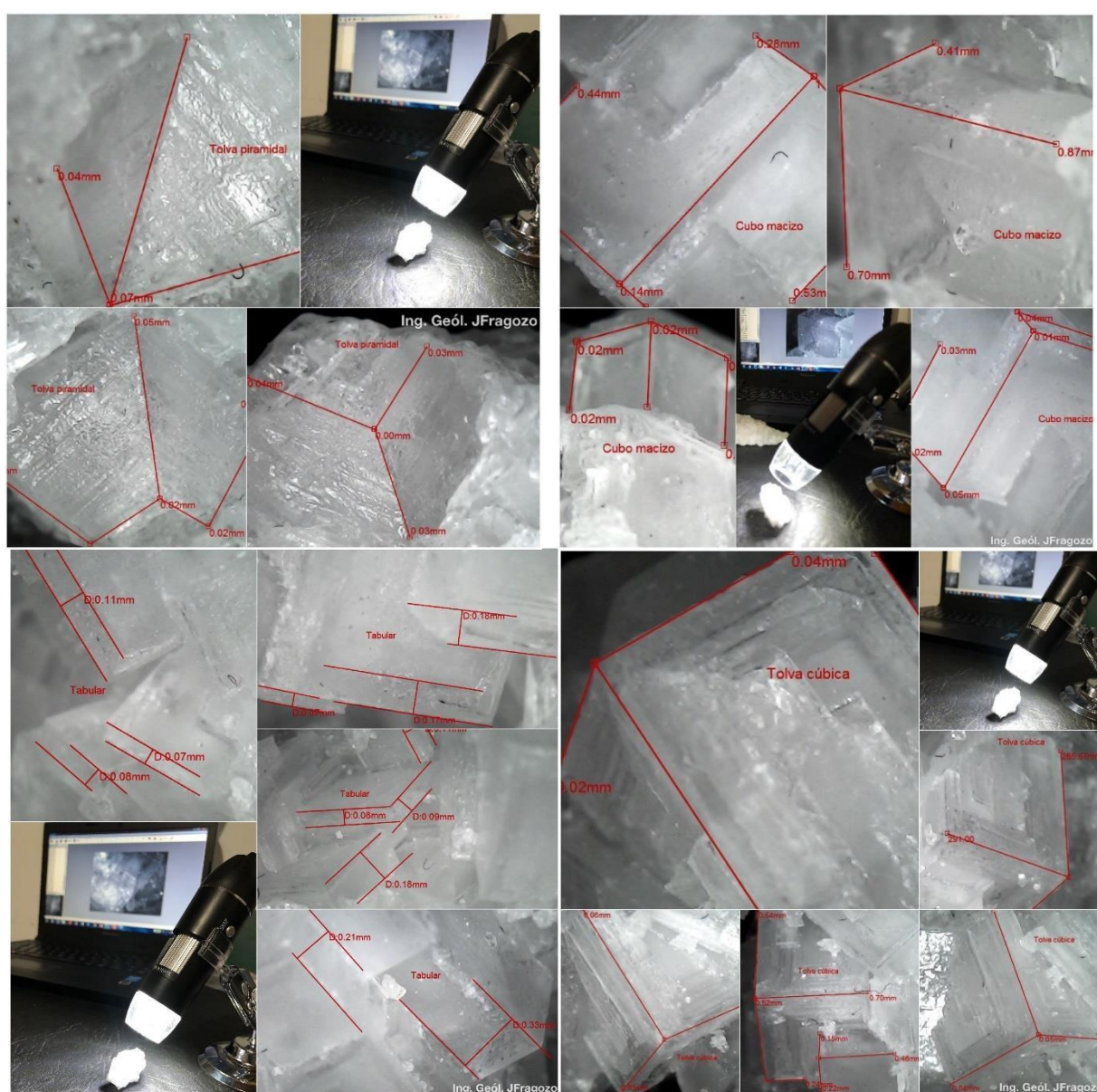


Figura 45. A Observación de la morfología tipo tolva piramidal y cúbica. B Observación de morfología cúbica maciza. C Observación de morfologías tabulares y D. Observación de morfologías tipo tolva cúbica.

### 10.5 Análisis Geoquímico

Las muestras en estado sólido enviadas a los laboratorios Alex Stewart Internacional (ASI) fueron obtenidas del depocentro de la salina 1 con coordenadas 685331.53 E; 4764887.93 S y coordenadas 705639.12 E; 4754218.56 S de la salina 2. Se tomaron las muestras en el mes de marzo, temporada en la que Vialidad Provincial distrito Puerto Deseado realiza regularmente las labores de extracción del mineral, para posteriormente ser aplicada en las rutas principales de la provincia de Santa Cruz, como sustancia antihielo en la temporada invernal. El peso de cada muestra enviada fue de 500 gramos lo suficiente para aplicar los distintos análisis que detallan a continuación:

- **ICP-OES:** Espectroscopia por plasma acoplado por inducción y detección de la emisión óptica. Para determinar los principales cationes presente en la muestra sólida (B, Ba, Ca, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Sr).
- **Argentimetría (SM-4500-Cl-B):** Para determinación de Cloruros
- **Método gravimétrico con combustión de residuos (SM-4500.SO4=C):** para determinación de sulfatos.

Para las muestras de las Salinas 1 y 2 se obtuvieron resultados que determinan la relación en peso entre la existencia de los aniones de cloruro respecto a otros aniones, así como la relación en peso entre los cationes de sodio respecto a otros cationes. En el caso de la salina 1 en 1Kg de muestra se encontrarían 572044,24mg de ión cloruro y 384065,77mg de catión sodio (Fig. 46). La Salina 2 no difiere mucho en los valores obtenidos, en este caso en 1kg de muestra de roca se encontrarían 580237,79 mg de anión cloruro y 392508,20 mg de catión sodio (Fig. 47). Las cantidades de otros aniones como sulfatos o bicarbonatos y los cationes como el calcio, potasio, hierro, litio o magnesio, son muy bajas y se consideran como iones que conforman otras sales que aparecen como impurezas.

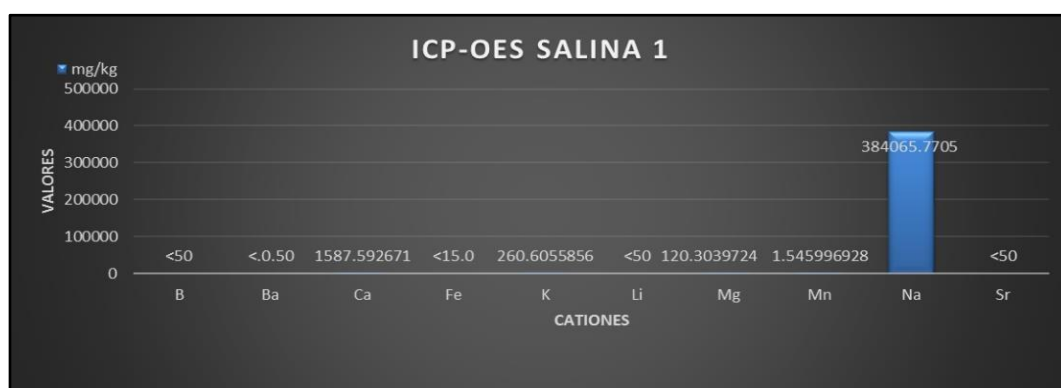
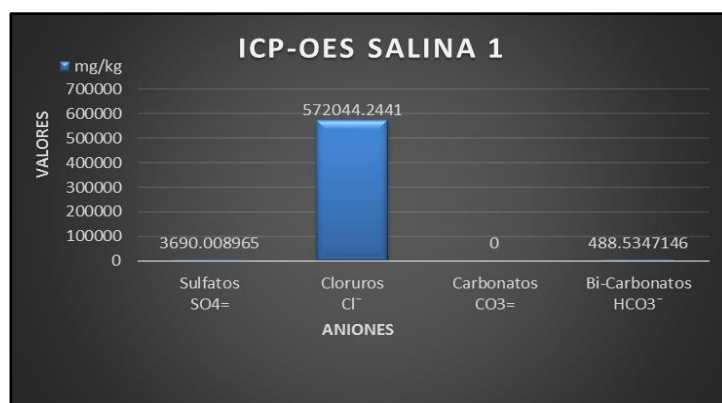


Figura 46. Resultados de la relación en peso de los aniones y cationes para la muestra 1 de la Salina 1.

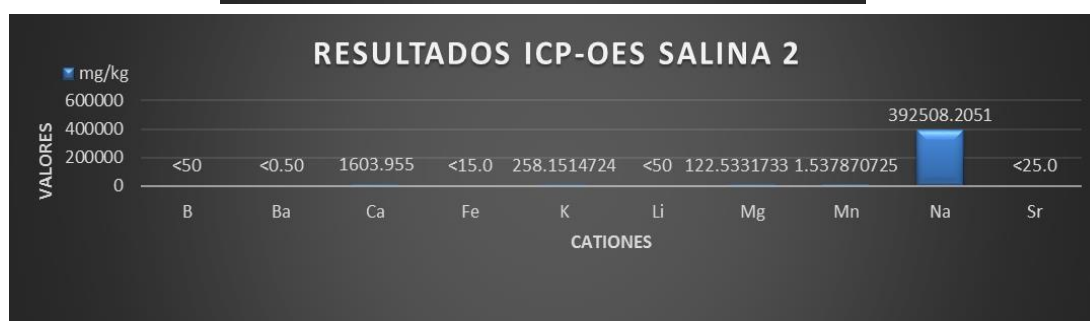
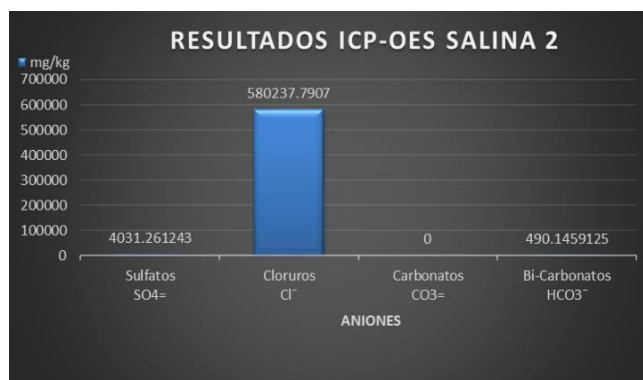


Figura 47. Resultados de la relación en peso de los aniones y cationes para la muestra 1 de la Salina 2.

## 10.6 Estimación del Recurso

Los resultados obtenidos indican el grado de pureza reflejado en la ley de las muestras representativas de los horizontes con 95,61% para la Salina 1 y 97,27% para la Salina 2. En el Cuadro 6 se observan los valores que arrojaron los cálculos de recurso estimado. En el caso de la Salina 1, hay un área total de cosecha de 30ha y un espesor de 3 cm y las reservas probables serían de 18900 t con un contenido fino 18070 t de NaCl y para la Salina 2, con un área total de cosecha de 87Ha y un espesor de 4 cm las reservas serían de 73080 toneladas con un contenido fino de 71 085 t de NaCl.

Cuadro 6. Leyes de NaCl y el cálculo de los recursos estimados para las Salinas 1 y 2

Nombre de Salina	Coordenadas UTM		Área de cosecha de NaCl (ha)	Espesor cm	$\delta$ g/cm <sup>3</sup>	t	Ley NaCl%	Contenido fino
	X	Y						
Salina 1	6.852.824.997	4.764.890.135	30	4	2,1	18.900	95,61	18.070
Salina 2	7.056.400.697	4.754.226.883	87	3	2,1	73.080	97,27	71.085
TOTAL						91.980		89.155

Fueron calculados de igual manera los recursos inferidos, estimando una ley media de 94% y un espesor de 2 cm para las otras salinas identificadas. Los resultados se incluyen en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Leyes estimadas de NaCl y el cálculo de los recursos inferidos para las restantes salinas

Nombre de Salina	Coordenadas UTM		Área de cosecha de NaCl (ha)	Espesor cm	$\delta$ g/cm <sup>3</sup>	t	Ley NaCl%	Contenido fino
	X	Y						
Salina 3	688.724.277	4758144.27	106	2	2,1	45.898	94	43.144
Salina 4	695.805.439	4758422.81	128	2	2,1	55.424	94	52.099
Salina 5	706.884.565	4750758.93	216	2	2,1	93.528	94	87.916
Salina 6	717.137.873	4749481.48	591	2	2,1	25.590	94	24.055
Salina 7	700.212.731	4755695.26	39	2	2,1	16.887	94	15.874
Salina 8	702.174.214	4758307.89	38	2	2,1	16.454	94	15.467
Salina 9	708.231.184	4759410.44	34	2	2,1	14.722	94	13.839
Salina 10	708674.26	4760441.3	19	2	2,1	8.227	94	7.733
Salina 11	712.454.695	4760731.75	37	2	2,1	16.021	94	15.060
Salina 12	717.496.787	4760852.93	52	2	2,1	22.516	94	21.165
Salina 13	702204	4752364	33	2	2,1	14.289	94	13.432
Salina 14	698913	4748495	34	2	2,1	14.722	94	13.839
Total						344.278		323.662

## 11. ASPECTOS AMBIENTALES

Toda actividad antropológica indudablemente implica un impacto ambiental, en el caso de la extracción de minerales u operaciones extractivas se debe evaluar la afectación en aire, suelo, agua, flora y fauna, paisaje, entre otros. Es claro que también dicho impacto depende de los minerales que se vayan a extraer, el tipo de depósito y su profundidad, química del mineral, condiciones climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas y geografía de la zona, incluyendo también la técnica de extracción y tratamiento, la maquinaria con la cual se realice este proceso y los métodos de disposición de los residuos (Herrera, 2008).

### 11.1. Identificación de potenciales fuentes de impacto ambiental

En un proyecto de explotación de salmueras específicamente por medio de una técnica de cosecha el impacto ambiental está relacionado a menos variables que si fuese por medio de bombeo y evaporación en piletas, ya que esto influiría directamente en el equilibrio hidrogeológico de la salmuera. En este caso, los impactos estarían vinculados a la mecanización de la extracción. La figura 48 muestra las etapas del proceso y su posible impacto durante la construcción, operación y transporte del producto. Como en toda evaluación de impacto es necesario hacer estudios de línea base para poder identificar los impactos y minimizar el riesgo de estas actividades.

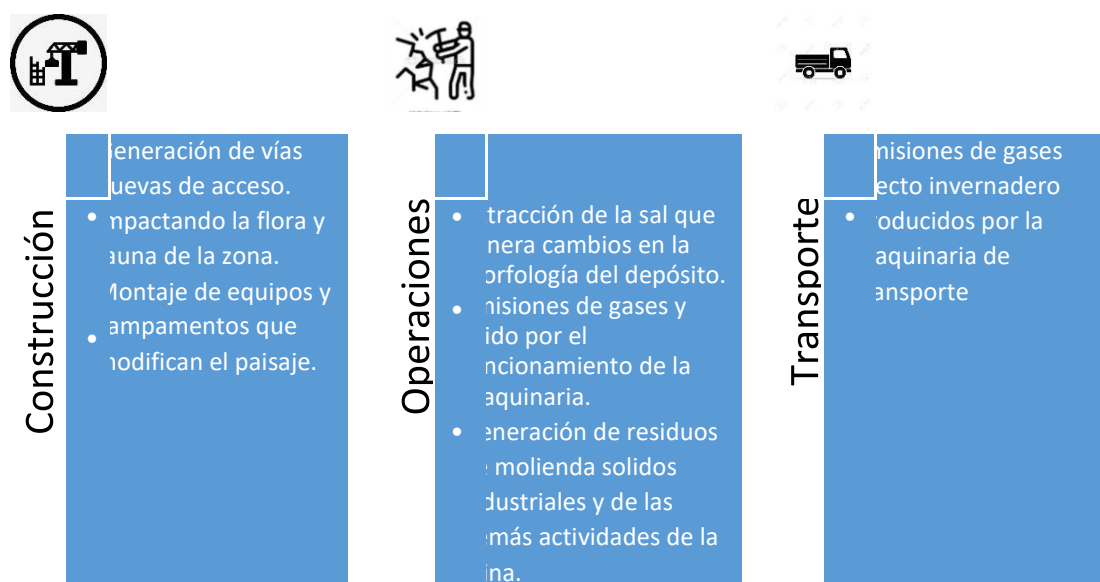


Figura 48. Impactos ambientales asociados a algunas actividades de la explotación de sal por cosecha.

En cuanto a la atenuación de estos impactos ambientales se considera una ventaja que la cosecha se restrinja a dos veces por año, lo que minimiza la utilización de equipos y presencia de personal. Por el otro lado, una retribución a la población aledaña es el deshielo de caminos, facilitando el tránsito en épocas invernales. En cuanto a la superficie impactada por la extracción del mineral a través del mismo circuito de extracción por cosecha se realiza un emparejamiento de la morfología y así reducir el impacto visual sobre el paisaje, igualmente es posible realizar coberturas forestales de plantas halófilas que convivan con las condiciones salinas de la zona.

### **11.2. Impactos ambientales en el deshielo de caminos**

Es claro que la entrada en el ambiente de este agente de deshielo puede conllevar a que la escorrentía se encargue de distribuirlo dentro del ecosistema aledaño afectando de manera negativa en plantas, animales acuáticos y humedales.

Las consecuencias principales para la flora de la zona podrían verse relacionadas a afectaciones en el metabolismo y fisiología de las plantas, ya que la alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Este estrés salino reduce su crecimiento, no obstante, ellas pueden generar características adaptativas para sobrevivir (Alcaraz, 2012). Las plantas halófilas son las que mejor toleran la salinidad del suelo. Sin embargo, en las zonas aledañas a las salinas estudiadas y donde se aplica sal para deshielo, la alta concentración de sales, favorecida por las escasas precipitaciones traen como consecuencia una flora pobre en especies (Fig.49). La vegetación típica es la de la estepa, en sectores con precipitación anual menor a 200mm, la cobertura llega a ser casi nula (León *et al.* 1998). Dicha disminución de la cobertura vegetal induce una mayor tasa de evaporación sobre el suelo desnudo provocando un aumento en la concentración de sales. Esto resulta en una disminución de la cobertura de especies mesofíticas y un aumento de las halófilas (Paruelo *et al.*, 1993). Esta adaptación de la flora minimiza el impacto del uso de la sal para deshielo.





Figura 49. Vegetación halófila de la Patagonia Argentina, plantas típicas de estepa de bajo crecimiento como función adaptativa ante suelos ricos en sal.

Otro impacto fuerte del uso de la sal de para deshielo de caminos está asociado al deterioro tanto de la capa asfáltica de las carreteras como de los vehículos que transitan a diario en estas vías. El cloruro sódico tiene propiedades corrosivas. Si se utiliza en grandes cantidades en las carreteras, acelera el proceso de oxidación de la chapa y los bajos de los automóviles. Sus usuarios tienen que pagar más por su mantenimiento o por la instalación de sistemas anticorrosión. La conjunción de la sal, el hielo y el paso de las máquinas quita nieves puede provocar baches y agujeros que deterioran el pavimento. Por consiguiente, aplicar sales para deshielo puede disminuir la vida útil de los caminos asfaltados ya que a este deterioro se le suma los efectos de los cambios climáticos, el incremento de desplazamientos y el volumen de tránsito (Fig. 50, Gándara, 2020).



Figura 50. Daños sobre el pavimento provocados por diversas causas incluyendo el uso de sales de deshielo. Tomado de Gándara (2020).



### 11.3. Uso de vinazas con NaCl en el deshielo de caminos

La vinaza es un agregado común en la sal de deshielo. Se le llama vinaza a una sustancia orgánica que incrementa la permanencia y mejora la eficiencia de las soluciones salinas antihielo compuestas por cloruro de sodio. La vinaza es un líquido orgánico residual derivado del procesamiento de sustancias utilizadas en la industria alimenticia (caña de azúcar, maíz, uva, remolacha, etc.). En la provincia de Mendoza se ha usado específicamente vinaza proveniente del procesamiento de la caña de azúcar agregada a las salmueras que se aplicaban en camino, buscando con ello mejorar el rendimiento, teniendo buenos resultados al respecto.

La vinaza concentrada comercial proveniente de la caña de azúcar es la que presenta valores más altos en aquellas características físico-químicas relacionadas con la adherencia del fluido a la superficie (viscosidad, contenido de azúcares y pectina). Asimismo, el pH de la vinaza concentrada es el más cercano al valor neutro ( $\text{pH} = 7$ ) entre muchos otros productos utilizables, lo cual evita fenómenos de tipo corrosivo (Aguilera, et al., sf). En cuanto a las demás vinazas estudiadas se aprecia que la vinaza de caña de azúcar está en segundo lugar en cuanto a la adherencia y las posibilidades de uso y aceptación. Las vinazas de pera y de manzana parecen ser las menos eficientes y además se descomponen a temperatura ambiente, por lo tanto, es posible que resulten contaminantes del ambiente y potencialmente patógenas, si se utilizan una vez descompuestas (Aguilera, et al., sf).

Vialidad provincial realizó campañas de riego de las soluciones de NaCl acompañadas por vinazas y solución salina sin ningún aditivo para comparar los resultados entre sí:

- Salmuera usada en Mendoza – NaCl)
- Salmuera + Vinaza comercial 10%
- Salmuera + Vinaza (vino) Neuquén 10%
- Cloruro de Sodio (NaCl) + Cloruro de Magnesio (MgCl) 40%
- Cloruro de Sodio (NaCl) + Cloruro de Magnesio (MgCl) 40% + Vinaza concentrada 10%
- Cloruro de Sodio (NaCl) + Cloruro de Magnesio (MgCl) 40% + Vinaza vino 10%

El estudio de Vialidad Provincial comprobó que la incorporación de residuos orgánicos llamados genéricamente vinazas, contribuye a incrementar cerca de un 100% la permanencia del residuo salino en la calzada, respecto a usar solo soluciones salinas.

## 12. ASPECTOS LEGALES

En Argentina los derechos, obligaciones y procedimientos relacionados a la adquisición, explotación y aprovechamiento de las sustancias minerales se encuentran regidas por el Código de Minería de la Nación. Este Código clasifica a las sustancias en tres categorías, cada una de ellas con sus particularidades en cuanto a la naturaleza e importancia económica de las sustancias minerales, condiciones de presentación de los yacimientos, dominio o propietario y al régimen jurídico para su aprovechamiento, entre otras (Catalano, 1999).

En el caso de las Salinas se incluyen en la segunda Categoría (art.4, Código de Minería), que indica que, por razón de su importancia, se conceden preferentemente al dueño del suelo, y minas que, por las condiciones de su yacimiento se destinan al aprovechamiento común.

Tanto en esta como en la primera categoría, se distingue la propiedad superficial de la propiedad minera, encuadrándose como principio general en la teoría de la regalía. El Estado no puede disponer de ellas sino conforme a las disposiciones de la ley.

Con respecto a los aspectos ambientales de la legislación vigente considerando los aspectos ambientales, la Constitución Nacional Argentina, reformada en 1994 en su Art. 41 establece que: *Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras y tienen el deber de preservarlo* y luego agrega: *Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica y a la información y educaciones ambientales*. La Ley Nro. 24.585 modifica el Art. 282 del Código de Minería de la Nación adaptándolo al nuevo texto de la Constitución Nacional, especialmente a su Art. 41, e incorpora al Código de Fondo el Título Complementario *De la Protección Ambiental para la Actividad Minera*.

Cabe recordar que el dominio de los recursos naturales pertenece a las provincias (Art.124 de la Constitución Nacional), por lo cual cada provincia debe ejercer la jurisdicción ambiental. Por el otro lado, la Ley General del Ambiente (25.675) contempla los presupuestos mínimos de protección Ambiental, norma que tiene como objeto imponer las condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental.

El Poder Legislativo de cada provincia complementa las normas de fondo a través de la sanción de los respectivos Códigos de Procedimientos Mineros. La ley 990 de la provincia de Santa Cruz, sanciona el Código de procedimiento de la autoridad minera en primera instancia.

Como se mencionó, para que los recursos de NaCl de las salinas presentes en la Patagonia puedan ser empleadas para el consumo humano deberán cumplir con la normativa establecida en el Código Alimentario Argentino, específicamente en los artículos 1264 a 1275 inclusive, del Capítulo XVI: “Correctivos y Coadyuvantes”, se define el producto, los aspectos técnicos y las condiciones de rotulación / comercialización con los que se deben cumplir.

### **13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el desarrollo de esta investigación y estudio sobre las salinas ubicadas en el nordeste de la provincia de Santa Cruz permite afirmar que existen condiciones favorables para el aprovechamiento económico de éstas, teniendo en cuenta su extensión, los datos geoquímicos y la forma de extracción. Su ambiente de formación relacionado fuertemente con la concentración de sales provenientes de unidades encontradas en topografías más altas, la geomorfología de la zona caracterizada por cuencas endorreicas que favorecen la acumulación de estos sedimentos ricos en sales y las condiciones climáticas semiáridas de la zona con precipitaciones muy bajas, poca humedad y temperaturas más altas durante ciertos períodos del año permiten la evaporación del agua que inunda dichas depresiones permitiendo la formación de costras ideales para la cosecha de la sal.

Los recursos estimados del depósito suman casi de 92.000 toneladas y los recursos inferidos pueden llegar a más de 344.000 de toneladas explotables, dependiendo de los resultados que se obtengan en futuros estudios de caracterización y determinación de la pureza sobre muestras de las 12 salinas restantes.

La técnica usada para extraer dichas costras de sal supone baja inversión en el proceso de explotación que se realiza durante periodos de tiempo específicos concentrando su impacto ambiental exclusivamente durante esos períodos.

Como toda actividad extractiva afecta el paisaje y puede generar emisiones de gases y generar residuos especialmente asociados a las impurezas del mineral. Sin embargo, no es una extracción demasiado invasiva y no desencadena impactos en el equilibrio del sistema salino de la salmuera. Luego, con una buena gestión de residuos de la entidad que las explota en este momento (Vialidad Provincial) es posible hacer de éste un proyecto amigable con el ambiente. Adicionalmente, esta explotación trae un beneficio para la comunidad por permitir el tránsito en las rutas durante el invierno.

Actualmente esta entidad también está evaluando el optimizar el uso de la sal para deshielo a través de estudios que han comprobado los efectos positivos de la combinación de la sal en solución con la adición de vinazas provenientes de diferentes productos agrícolas como la caña de azúcar o la vid, que permitiría disminuir el impacto

ambiental de este uso, incurriendo en pocas afectaciones a la vegetación halófila característica de la zona y disminuyendo la corrosión de autos y vías.

La diversificación de la estructura de demanda para este producto permitiría poner en producción las demás salinas de la zona. Por esta razón se están investigando otras posibilidades de uso de este recurso en la conservación de alimentos, especialmente en la industria pesquera de Santa Cruz. Hay que recordar que el salado es una de las técnicas de procesamiento más antiguas utilizadas por el hombre para conservar alimentos, ha sido practicada desde tiempos pre-colombinos para la conservación de carnes y pescado; se mantiene aún vigente.

Los recursos pesqueros de la zona son una actividad importante en la región debido a su extendido litoral oceánico que cuenta con variedad de especies de peces y mariscos. Justamente en la zona de los Municipios de Puerto Deseado, y Puerto San Julián se encuentran localizadas las pesqueras más importantes.

La matriz económica de este recurso también podría incluir el mercado de las curtiembres ya que en la provincia de Santa Cruz se tiene como actividad económica la ganadería y los derivados de la misma (embutidos). La sal se usa para conservar la carne y a su vez, los cueros que son almacenados en el saladero de las curtiembres hasta el momento de procesarlos de acuerdo ciertas etapas establecidas en la industria.

En la provincia de Santa Cruz también hace presencia la industria petrolera la cual se encuentra distribuida en la Cuenca Golfo San Jorge (norte) y Cuenca Austral (sur). Sin embargo, las empresas vinculadas a esta industria están principalmente con el montaje industrial y servicios productivos. Con la industria petroquímica que se desarrolla en las provincias cercanas es posible ampliar el espectro económico de la sal producida en las salinas objeto de estudio de este trabajo de investigación (Aranciaga, 2013).

Finalmente, se puede deducir de los resultados geoquímicos preliminares, que las muestras presentan una alta pureza, con un bajo contenido de metales pesados haciéndola adecuada para la industria alimenticia, luego de un adecuado proceso de refinación como fue explicado en el Capítulo 6.

Según el INDEC (2021), la población de Puerto Deseado aumento en un casi 100% en los últimos 20 años y un 30% en los últimos 10 años, y la explotación y aprovechamiento de este recurso natural, puede traer aparejadas mayores alternativas

---

de empleo para mejorar la calidad de vida de la población (Fig.51). La diversificación del uso del recurso sal puede ser una alternativa sustentable para la región.

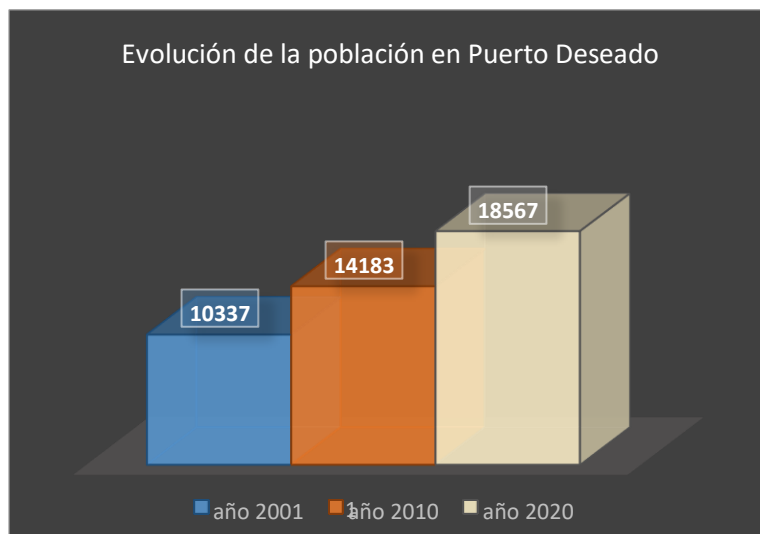


Figura 51. Evolución de la población en Puerto Deseado desde 2001 a 2020 (Elaborado a partir INDEC, 2021)

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El área de exploración objeto de estudio para determinar el potencial salino tiene una extensión total de 80.000 ha, donde geomorfológicamente 3.000 ha están conformadas por bajos o cuencas endorreicas y en las 77.000 ha restantes se extiende la estepa patagónica en estado denudativo. Dichas cuencas endorreicas son geoformas dominantes en toda la Patagonia, pero en el área de exploración indican zonas prospectivas para la cosecha de NaCl.
- El origen de los bajos podría estar relacionado por múltiples eventos geológicos asociados a la acción eólica (deflación) combinada con meteorización, remoción en masa y tectonismo.
- El análisis de las imágenes satelitales y del modelo de elevación digital permitió identificar 14 salinas de las cuales 2 son explotadas por Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado.
- En la zona de estudio, según el DEM las salinas se encuentran entre los 85 y los 153 MSNM. La Salina 6 es la más extensa con 591 ha y la de menor tamaño es la Salina 10 con 19 ha. En general poseen contorno circular u ovoidal.
- La concentración del cloruro de sodio (NaCl) en las salinas identificadas proviene de la capa madre de sal que se encuentra debajo de la superficie y al ser disuelta por aguas lluvias o aguas subterráneas forman una salmuera concentrada que en épocas de cosecha precipita formando una costra o capa de sal.
- Es importante considerar el espesor de la capa temporaria para una exitosa extracción del recurso, si esta capa se rompe con el ingreso de los camiones y cosechadoras no se podría realizar la explotación.
- El método de extracción usado por Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado es cosecha y acopio, el cual consiste en 3 meses de explotación durante la época de estío, donde las sales precipitan formando una capa o reserva temporaria de espesor variable (3-4 cm). En los 9 meses siguientes las salinas transitan por un periodo de recuperación.

- La caracterización de las salinas se debe realizar tanto en la época de cosecha como en el periodo que se encuentran inundadas, esto permitirá conocer en detalle su funcionamiento, además de identificar las variables que le dan el valor económico y finalmente concluir si pueden ser explotadas.
- Las Salinas 1 y 2 explotadas por Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado desde el 2019, han cosechado capas temporarias de hasta 4 cm de espesor permitiendo extraer 5.000 t de NaCl utilizadas para las rutas Provinciales en temporada invernal.
- Los resultados geoquímicos obtenidos del muestreo de la Salina 1 indican contenidos de 57,20% en peso para el anión Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y de 38,40% en peso para el catión Sodio ( $\text{Na}^+$ ), alcanzando una ley de NaCl del 95,6%. El cálculo de reserva para la Salina 1 con las variables del área de cosecha, el espesor de la capa y la ley obtenida del muestreo es de 18.900 t con un contenido fino 18.070 t de NaCl.
- En la Salina 2 los resultados del muestreo indicaron: para el anión Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) = 58,02% y para el catión Sodio ( $\text{Na}^+$ ) = 39,25%, alcanzando una ley de NaCl del 97,2%. El cálculo de reserva para la Salina 2 con las variables del área de cosecha, el espesor de la capa y la ley obtenida del muestreo es de 73.080 toneladas con un contenido fino de 71.085 t de NaCl.
- Los recursos totales estimados para las Salinas 1 y 2 explotadas actualmente es de 91.980,0 con un contenido fino de 89.175 t de NaCl. El resultado indica que las capacidades de producción de las salinas son mayores a lo utilizado para ser aplicado como sustancia anticongelante en las rutas provinciales.
- Los recursos inferidos de las 12 Salinas restantes, las cuales no han sido explotadas es de 344.278 toneladas de con un contenido fino de 323.622 NaCl. Estos recursos se pueden convertir en indicados aumentando el grado de conocimiento geológico.
- Los recursos de NaCl que emplea Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado varían según la intensidad de la temporada invernal. En el año 2020 utilizaron 300 t de NaCl para ser aplicado en rutas provinciales.
- Se resalta la labor de extracción, transporte, tratamiento y aplicación que realiza Vialidad Provincial Distrito Puerto Deseado a los recursos de NaCl de las Salinas 1 y 2. Aprovechar los recursos disponibles de NaCl de la provincia ha impactado de



manera significativa generando nuevos puestos de trabajos, además de reducir los costos, principalmente por transporte, para la entidad porque anteriormente realizaban la compra de dicho recurso a otras provincias.

- El modo de aplicación de una solución anticongelante, compuesta por NaCl, vinaza y agua se realiza mediante un camión cisterna con capacidad de 20.000 lts, volumen que permite realizar el riego en 60 km de ruta. Según estadísticas mencionadas por Vialidad Distrito Puerto Deseado el uso del NaCl como componente principal de la solución anticongelante ha reducido los accidentes en un 90%.
- La provincia de Santa Cruz debe hacer uso de los recursos de NaCl por sus numerosas aplicaciones. Actualmente la única utilidad en la provincia es como fundente del hielo, pero al ser un importante insumo de muchas industrias químicas se podría generar distintos productos como sal industrial y sal de mesa.
- El aprovechamiento a mayor escala de los recursos de NaCl para la localidad de Puerto Deseado sumaría a su matriz económica la generación de nuevas fuentes de empleo. La industria alimenticia demandaría gran parte de los recursos siendo utilizados para la preparación y conservación de alimentos (conservas de carne, pescado y para la fabricación de embutidos). En la industria curtidora empleada para salar el curtido de cueros y pieles en la actividad ganadera ovina presente en la región.
- El proceso de explotación y las técnicas de extracción de la sal de este yacimiento no reflejan un impacto ambiental significativo ya que la técnica se remite exclusivamente a retirar las costras producidas naturalmente por las salinas, sin la necesidad de bombear agua o construir piletas que interrumpan de manera más invasiva el paisaje o afecten el equilibrio salino de la salmuera subyacente.
- Si bien el uso de la sal como agente de deshielo de caminos se considera que puede afectar el ecosistema aledaño, este efecto se minimiza ya que suelos naturalmente son salinos y las especies se han desarrollado de manera adaptativa a estas condiciones, una muestra de ello es la gran cantidad de vegetación halófila.
- Con la incorporación de las vinazas a la solución de cloruro de sodio, aumenta la eficiencia como agente de deshielo, generando además menor impacto ambiental.

Como recomendación principal se sugiere realizar un estudio de caracterización de la totalidad de las salinas con el fin de corroborar su potencial económico del recurso cloruro de sodio. Especialmente se recomienda relevar cada una de las salinas identificadas en la época de cosecha y en el periodo de recuperación y realizar específicamente una malla de muestreo en las salinas que cosechen entre 3-4 cm de espesor de la capa temporaria. Además, se recomienda realizar estudios de viabilidad económica del depósito, que involucren variables de inversión y retorno de la misma, también incluir en ello un estudio de mercado que proyecte la rentabilidad de la explotación de este recurso.

En lo que respecta al impacto ambiental, a pesar de la explotación que ya se realiza en la Salina 1, se debe contemplar la posibilidad de realizar una línea base de las condiciones ambientales actuales, para evaluar las modificaciones que se vayan a producir en el tiempo debido a la explotación del recurso ya sea en las actuales condiciones o con una mayor intensidad por aumento de la demanda por otras aplicaciones. También puede ser de interés tener una línea de base para evaluar el impacto en el tiempo del uso de la solución salina con vinaza y con esta certeza aplicar estrategias de mitigación que desarrollen sustentablemente el depósito y la aplicación del producto extraído.

Se recomienda a Vialidad Provincial adecuar las instalaciones donde se produce realiza la solución antihielo para minimizar posibles impactos de esta actividad.

## **15. AGRADECIMIENTOS**

Elevo mis agradecimientos a Dios por permitirme culminar con éxito mis estudios, por la oportunidad de obtener un nuevo grado académico más en mi vida.

Agradezco al Sr Alejandro Cornejo. Segundo jefe del Distrito Vial Puerto Deseado por su disposición, conocimiento y colaboración en cada una de las visitas a campo.

A mis directoras Dra. Liliana Castro y Lic. Ana María Celeda quienes fueron mis guías, gratitud por el tiempo dedicado y por la ayuda brindada. A los jurados Dra. Carolina Mendez y Dr. Carlos Herrmann por su evaluación y sugerencias al manuscrito.

A todas aquellas personas que de una u otra forma estuvieron manifestándome su apoyo en los momentos que lo necesité.

Finalmente agradezco a mis padres, hermanos y sobrinos por su amor y palabras de aliento, son mi motivación. Les dedico este logro de ser Especialista en Geología Minera de la Universidad de Buenos Aires.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, R., Maturano, J., Bustos, M. y Vallejo, M. (sf). Análisis de soluciones anti-hielo de sales y compuestos orgánicos para su aplicación en la vialidad invernal. Vialidad Invernal Mendoza.
- Alcaraz, F. (2012). Salinidad y vegetación, Geobotánica Tema 18. Universidad de Murcia, España.
- Alonso, R., (1991). Evaporitas neógenas de los Andes Centrales. Génesis de formaciones evaporíticas: modelos Andinos e Ibéricos. Universidad de Barcelona, capítulo 5, pp. 267- 332.
- Alonso, R. (2006). Ambientes evaporíticos continentales de Argentina. INSUGEO, Serie Correlación Geológica, Vol. 21, pp. 155-170.
- Alonso, R. y Viramonte, J. (1993). La cuestión genética de los boratos de La Puna. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5, pp. 187 – 194.
- Aranciaga, I. (2013). Desafíos de la provincia de Santa Cruz en la Patagonia austral para el siglo XXI. En Salinas, Jesús y Marquez, E. REVINDIPA Red de Vinculación Digital de la Patagonia Austral. Mallorca (España): EDUTEC
- Arthurton, R. (1973). Experimentally produced halite compared with Triassic layered halite rocks from Cheshire. Sedimentology Petrology, Vol. 20, pp. 145 – 160.
- Ballesteros Pelgrim, G.A. y Fernández Ramos, J. F. (2013). La explotación industrial de las salinas de San Pedro del Pinatar (Murcia). Papeles de Geografía 55-58.
- Beninato, M. (1999). Salina del Bebedero, San Luis. Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales 35: 1939-1942.
- Bortolotti, P. (1999) Yacimiento de salmuera El Timbó, Tucumán. Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales 35, pp. 1927-1931.

- Brodtkorb, A. (1999). La salina El Gualicho, Río Negro. Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales, Segemar, Anales, 35, pp. 1963-1970.
- Catalano, E., (1999). Código de Minería de La República Argentina – Comentado. Ed. Zavalia 4Ed Centro de información minera de Argentina CIMA, 2021. [Recuperado de: https://www.produccion.gob.ar](https://www.produccion.gob.ar)
- Cordini, R. (1967). Reservas Salinas de Argentina. Instituto Nacional de Geología y Minería. Anales, 13, pp. 108.
- Dawson, L. y Mastandrea, O. (1961). Las salinas de Mascasín y Pampa de Las Salinas (provincia de La Rioja, San Juan y San Luis). Secretaría de Minería de la Nación, inédito.
- De la Torre, E., Guevara, A. y Yépez, S. (2009). Influencia de sales de cloro y flúor en el reciclaje de aluminio por fusión. Revista Politécnica, 2009, Vol. 30, 1, pp. 37–45
- Díaz, A. (2020). Países líderes en la producción de sal a nivel mundial 2019. Portal Statista. Recuperado de: <https://es.statista.com/estadisticas/600883/paiseslideres-en-la-produccion-de-sal-a-nivel-mundial/>
- Eugster, H. y Hardie, L. (1978). Saline Lakes. In: A. Lerman (Editor), Lakes, Chemistry, Geology and Physics, Springer, Berlin, pp. 237-293.
- Fasiole, E., Díaz, B. y Torres, V. (2016). Informe de situación hidroclimática regional para Puerto Deseado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 11p.
- Feruglio, E., (1950). Edad de las terrazas marinas de la Patagonia. XVIII Intern. Geol. Congreso., 9,30-39, Londres.
- Frangolini, F. (2005). La Ruta de la Sal. Sitio Argentino de Producción Animal. Recuperado de: [http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/47-la\\_ruta\\_de\\_la\\_sal.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/47-la_ruta_de_la_sal.pdf)
- Frenguelli, J., (1957). El Neozoico. Geografía de la República Argentina. Soc. Arg. Est. Geogr., II,3, Buenos Aires.
- Gándara, L. (2020). Efecto del cloruro sódico en las propiedades mecánicas, módulos, ciclos hielo-deshielo y durabilidad de las mezclas bituminosas. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria.

- Garcés, I. (2016). Ficha de Minerales Industriales: Halita NaCl. Universidad de Antofagasta Chile. Recuperado de: <https://intranetua.uantof.cl/salares/fichas/halita.pdf>
- Giacosa, R., Franchi, M. y Genini, A. (1998). Hojas Geológicas 4772-III, Lago Belgrano y 4772-IV, Lago Posadas, escala 1:250.000, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 256; 1-95.
- Gobierno de México. (2018). Perfil Económico de la Sal. Secretaría de Economía. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564105/Sal\\_2020\\_ENE .pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564105/Sal_2020_ENE.pdf)
- González, D., y F. Stockly (1987). Síntesis geohidrológica preliminar de meseta Espinosa, Caleta Olivia, Provincia de Santa Cruz, República Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Actas III, 235-238, San Miguel de Tucuman.
- Gozalvez, M., Herrmann, C. y Zappettini, E. (2004). Minerales Industriales de la República Argentina. Anales Segemar, Anales 39: 276-296.
- Guerrero, U. (2013). Implementación de un sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 9001-2008 en una empresa de sal a fin de estandarizar sus procesos y elevar el grado de satisfacción de sus clientes. Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil.
- Hanford, C. R. (1981). A process-sedimentary framework for characterizing recent and ancient sabkhas: Sedimentary Geology, 30: 255–265.
- Hardie, L., Smoot, J. y Eugster, H. (1978). Saline Lakes and their Deposits: A Approach. Modern and Ancient Lakes Sediments, Special publication, Oxford International Association of Sedimentologists, Vol. 2, pp. 7 – 41.
- Herrera, J. (2008). La protección medioambiental en minería y el desarrollo minero sostenible. Universidad Politécnica de Madrid.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Recuperado de <https://www.indec.gob.ar>
- Kendall, A. (1992). Evaporites. In Facies Models, Response to sea level changes: Walker R.G. & James N.P. eds. Geological Association of Canadá, Vol. 19, pp. 375-409
- Kostick, D. (2000). Salt. Minerals Yearbook, Department of the interior and US. And Geological Survey.
- Kucera, M. (2013). Industrial minerals and rocks. Elsevier.

- León, R., Bran, C., Collantes, M., Paruelo, J. y Soriano, A. (1998). Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral*, Vol.8: 123-141.
- Malagnino, E., (1981). Geología del sector noroeste de la Provincia de Santa Cruz. VIII Congreso Geológico Argentino, 331-341, Buenos Aires.
- Marchionni, D., Del Blanco, M., de Barrio, R., Romero, S., Schalamuk, I., y Lombardi, G. (1998). Características texturales y procesos genéticos de los depósitos evaporíticos de la salina del Gualicho, provincia de Río Negro, República Argentina. *Revista del Museo de La Plata*, 11(114), 197-214.
- Marcos, O. (1999). Depósitos salinos de La Rioja. Recursos Minerales de la República Argentina, (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales 35, pp. 1933- 1937.
- Mogni, A. C. (1991) Los cuerpos salinos, un recurso de las zonas áridas. *Acaecer*, 177:16-18. Sitio Argentino de Producción Animal - [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Paruelo, J., Bertiller, M., Schichter, T. y Coronato, F. (1993). Secuencias de deterioro en distintos ambientes Patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones. INTA-GTZ pp. 31-39.
- Paruelo, M., Golluscio, R., Jobbágy, E., Canevari, M. y Aguiar, M. (2005) La Situación Ambiental en la Patagonia. Acerbi y J. Corcuera (Eds.). La Situación Ambiental Argentina, Fundación Vida Silvestre Argentina, pp. 303-313.
- Pinos, N. (2004). Auditoría al proceso de producción de Sal en la Provincia del Guayas con el objetivo de sugerir estándares de control. Tesis de Grado, Escuela Superior del Litoral.
- Plat, C. (2018). Censo Nacional a la Actividad Minera 2017, Resultados Estadísticos 2016. CENAM. Recuperado de: [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cenam17\\_07\\_18.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cenam17_07_18.pdf)
- Pueyo, J. y De la Peña, J. (1991). Los lagos salinos españoles: Sedimentología, hidroquímica, y diagénesis. Génesis de formaciones evaporíticas: Modelos Andinos e Ibéricos, pp. 163 – 192.
- Ramos, V. (1999). Los depósitos sinorogénicos terciarios de la región andina. *Geología Argentina*, Ed. R. Caminos, Instituto de Geología y Recursos Minerales y Segemar, Anales 29, pp. 715 – 759.

- Regueiro, M. (2008). Los minerales industriales en la vida cotidiana. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Vol. 16, 3, pp. 276 – 286.
- Schalamuk, I., Fernández, R. y Etcheverry. (1983). Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería, Anales, 20, pp. 196.
- Schalamuk, I, Del Blanco, D., Marchionni, S., Romero, C. y Cabaña, C. (1999). Salinas y Sulfateras de la Región Pampeana, Buenos Aires y La Pampa. Recursos Minerales de la República Argentina, Segemar, Anales, 35, pp. 1947 – 1962.
- Scientific American. (2005). Why do we put salt on icy sidewalks in the winter? Recuperado de: <https://www.scientificamerican.com/article/why-do-we-putsalt-on-icy/>
- SEGEMAR - UNSAM, 2005. Sales. Seminario de Estudios sobre el Ciclo Minerales - Materiales. Publicación Técnica SEGEMAR - UNSAM 9. Buenos Aires.
- Secretaría de Agroindustria. (2019). Sal para consumo humano, proveniente de salinas. Recuperado de: [Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca | Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar/agroindustria/sal)
- Selles Martínez, J. y Castro L. N, 2012. Minerales y rocas en el arte, ciencia y tecnología. Colección Ciencia Joven 41. Editorial Universitaria Buenos Aires. (EUDEBA), 179 pp.
- Súnico, C. (2002). La Minería. Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del 15º Congreso Geológico Argentino, 1, pp. 665-667.
- Torres, V. (2019). Estado de la vegetación y las precipitaciones en Santa Cruz. Gobierno de la Nación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, p. 7. Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_informe\\_indice\\_verde\\_vernao\\_2019\\_2020.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_informe_indice_verde_vernao_2019_2020.pdf)
- U.S. Geological Survey, (2021). Mineral Commodity Summaries 2021, Salt Recuperado de: <https://doi.org/10.3133/mcs2021>
- Warren, J. K. (2010). Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. Earth-Science Reviews, 98(3-4), 217-268.
- Yubero de Mateo, M.T (2008). Análisis del proceso de compactación en una escombrera de sal. Tesina de Especialidad, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 190 pp.