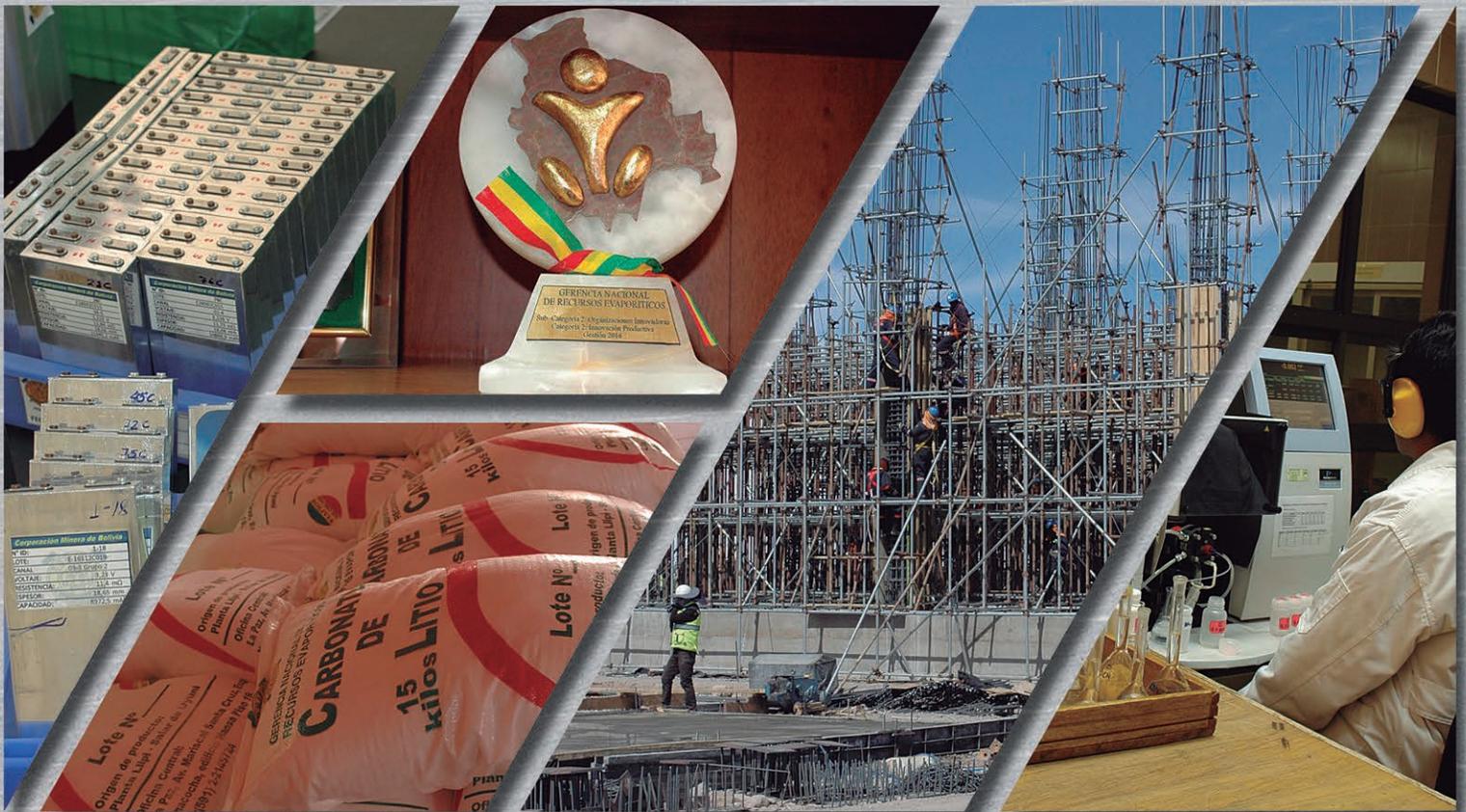




# GERENCIA NACIONAL DE RECURSOS EVAPORÁTICOS



# MEMORIA 2016



GERENCIA NACIONAL DE RECURSOS EVAPORÍTICOS

La Memoria 2016 es una publicación de la Unidad de Comunicación y Gestión Comunitaria de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, se autoriza la difusión de todo o parte del contenido de este documento citando la fuente.

Para cualquier consulta comunicarse a los teléfonos de la GNRE o mediante el correo institucional de nuestra página web.

Teléfonos de oficina central La Paz: (591-2) 2145724 (591-2) 2315520  
[www.evaporiticos.gob.bo](http://www.evaporiticos.gob.bo)



Evo Morales Ayma

**PRESIDENTE CONSTITUCIONAL  
DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA**



Cesar Navarro Miranda  
**MINISTRO DE MINERÍA Y METALURGIA**



Ing. Marcelino Quispe Lopez  
**PRESIDENTE CORPORACIÓN MINERA DE BOLIVIA**



# Salar de Uyuni

La mayor reserva de Litio



## PRESENTACIÓN

El 2016 fue una gestión de significativos logros en la industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni, gracias al esfuerzo, compromiso y la dedicación de todos los trabajadores de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, que contribuyeron en el logro de resultados concretos.

Hemos consolidado y validado definitivamente el proceso tecnológico desarrollado por profesionales de nuestras universidades, para la obtención de Carbonato de Litio grado batería, Cloruro de Potasio, Sulfato de Potasio y Cloruro de Magnesio, productos que son comercializados en el mercado nacional e internacional en volúmenes que corresponden a la fase piloto.

Un logro significativo a destacar es el avance de obras civiles en la construcción de la Planta Industrial de sales de Potasio que se levanta sobre la costra salina del Salar de Uyuni a unos 27 Km de tierra firme, se ha concluido con el compactado de la plataforma en un área de 250.000 m<sup>2</sup> y se ha concluido con el vaciado de cimientos, sobrecimientos sobre una estructura de losa radier, el avance de obras civiles tiene un avance del 60%, habiéndose adelantado en los tiempos programados, a este ritmo se estima concluir el primer trimestre del 2017, la instalación y montaje de equipos estará concluido en los primeros meses del 2018.

En el área de la investigación, se ha logrado obtener el Certificado de Acreditación del Laboratorio de Llipi, otorgado por el Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), lo que nos otorga competencia científica para realizar



análisis y certificación de laboratorio en sales de Potasio, Carbonato de Litio, cloruros y otros sub productos.

Previendo el inicio de operaciones de las plantas industriales de sales de Potasio y Carbonato de Litio para fines del 2018, se avanzó en la construcción e impermeabilización de piscinas industriales, para garantizar la provisión de materia prima en los tiempos y volúmenes previstos.

La industrialización del Litio comprende toda la cadena productiva, es por ello que en la Fase III-Baterías, se concluye con la instalación de la Planta Piloto de Materiales Catódicos en el complejo industrial de La Palca-Potosí, el inicio de operaciones de esta Planta está previsto para el 2017.

Un hito significativo a destacar es la exportación de 25 toneladas de Carbonato de Litio grado industrial a mercados de China en dos sucesivas ventas, un primer lote de 10 toneladas y la segunda venta de 15 toneladas, este hecho demuestra objetivamente que estamos en condiciones de ingresar al mercado mundial con un producto competitivo 100% boliviano. Con este objetivo, la consultora alemana K-Utec entregará en el primer trimestre de

2017, el proyecto de ingeniería a diseño final de la Planta Industrial de Carbonato de Litio grado batería, a partir de ello se calificará a la empresa que se hará cargo de la construcción, montaje y puesta en marcha de esta nueva factoría, sin embargo ya se realizó la invitación pública a potenciales proponentes.

Al cierre de la presente edición, la GNRE fue premiada con el “Sello de Oro” al haber alcanzado el primer lugar en el concurso “Premio Nacional a la Excelencia para el Vivir Bien 2016” en la categoría Innovación Productiva, concurso auspiciado por el Ministerio de Desarrollo Productivo y entidades privadas.

Nuestro país encara un proyecto inédito en minería, la explotación del Litio en el Salar de Uyuni tiene sus complejidades como la preponderancia del Magnesio, el clima, la precipitación pluvial y otros factores, sin embargo paso a paso se ha superado estas dificultades y vamos optimizando los procedimientos de manera continua, aspectos que se explican con mayor amplitud en las siguientes páginas.

Luis Alberto Echazú Alvarado  
Gerente Nacional de Recursos Evaporíticos



## **Directivos de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos**

Luís Alberto Echazú Alvarado  
**Gerente Nacional de Recursos Evaporíticos**

Carmen Tania Arratia Gutiérrez  
**Directora Jurídica**

José Antonio Bustillos Castillo  
**Director de Operaciones**

Hernán Leonardo Yapu Flores  
**Director de Planificación**

Cecilia Quispe Vacaflor  
**Directora de Investigación y Desarrollo**

Guido Humberto Quezada Cortez  
**Director de Geología de Salares**

Juan Ronandt Carballo Fernández  
**Director de Electroquímica y Baterías**

Roberto Wilde Fernández Salazar  
**Director Administrativo Financiero**

Bernard Edwin Jurado Aramayo  
**Jefe Departamento de Medio Ambiente  
Seguridad Industrial y Salud Ocupacional**

## MARCO LEGAL

El proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos, se inicia a partir del Decreto Supremo N° 29496 de 2008, que instruye a la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), la creación dentro su estructura institucional, una instancia responsable de la industrialización de los recursos evaporíticos del salar de Uyuni.

En cumplimiento del del D.S. N° 29496, la COMIBOL mediante Resolución de Directorio General N° 3801/2008, determina la Creación de la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos, aprobando el proyecto Desarrollo Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni. El 2010 cambia de denominación a Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, mediante Resolución de Directorio N° 4366/2010, dándole mayor autonomía de gestión.

Ley de Minería y Metalurgia N° 535, en su Artículo N° 73 (Recursos Evaporíticos), parágrafo IV señala: "La COMIBOL desarrollará los procesos de química básica de sus recursos evaporíticos con una participación 100% estatal para la producción y comercialización de: Cloruro de Litio, Sulfato de Litio, Hidróxido de Litio y Carbonato de Litio; Cloruro de Potasio, Nitrato de Potasio, Sulfato de Potasio, sales derivadas e intermedias y otros productos de la cadena evaporítica. Procesos posteriores de semi-industrialización e industrialización se podrán realizar mediante contratos de asociación con empresas privadas nacionales o extranjeras, manteniendo la participación mayoritaria del Estado."



Circuito de piscinas Fase Piloto

## FUNCIÓN DE LA GNRE

La Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos tiene como función principal la industrialización de los recursos evaporíticos de los salares de Bolivia en toda la cadena productiva, desde la prospección, explotación, concentración, refinación hasta la obtención de productos finales con valor agregado y comercialización, actualmente procesa Carbonato de Litio grado batería, Cloruro de Potasio, Cloruro de Magnesio y otros subproductos.

## MISIÓN

Industrializar los recursos evaporíticos de los salares de Bolivia, a través de proyectos sostenibles, públicos y sociales, que respondan al desarrollo regional, departamental y nacional, que permita el abastecimiento responsable, en particular del Litio, a la comunidad internacional; proyectos industriales integrales que respetan el medio ambiente, las leyes vigentes, los derechos de los pueblos originarios, y generan trabajo, valor agregado, riqueza y soberanía.

## VISIÓN

Desarrollar tecnología en Bolivia para la industrialización de la salmuera de los salares de Bolivia, en particular el Litio; preparar técnicos y profesionales bolivianos en tratamiento, producción y comercialización de derivados de Litio, Potasio, Boro y Magnesio de calidad y alto valor agregado.

Desarrollar un complejo industrial nacional y público de química inorgánica basada en las salmueras de los salares del país, en particular de Uyuni y Coipasa.

## UNA MIRADA RETROSPECTIVA

### Abril 2008

El Presidente Evo Morales, promulga Decreto Supremo que instruye a la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), la creación dentro su estructura institucional, una instancia responsable de la industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni.

En este mismo mes, el Directorio de la COMIBOL, en cumplimiento al Decreto Supremo, emite la Resolución de Directorio General N° 3801/2008, en la que determina la creación de la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos, que luego se denominará Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos por Resolución de N° 4366/2010.



### Agosto 2012

Inauguración y puesta en marcha de la Planta semi-industrial de Cloruro de Potasio.



### Febrero 2014

Inauguración de la Planta Piloto de ensamblado de baterías de Litio, en La Palca-Potosí



### Mayo 2008

Inicio de obras civiles en Llipi, para la construcción de la infraestructura del campamento Llipi.



### Enero 2013

Inauguración y puesta en marcha de la Planta Piloto de Carbonato de Litio.



### Agosto 2015

Firma para la construcción de la Planta Industrial de sales de Potasio.



### Agosto 2009

Inauguración de la infraestructura del campamento Llipi concluido, esta obra fue inaugurada por el Presidente Evo Morales.



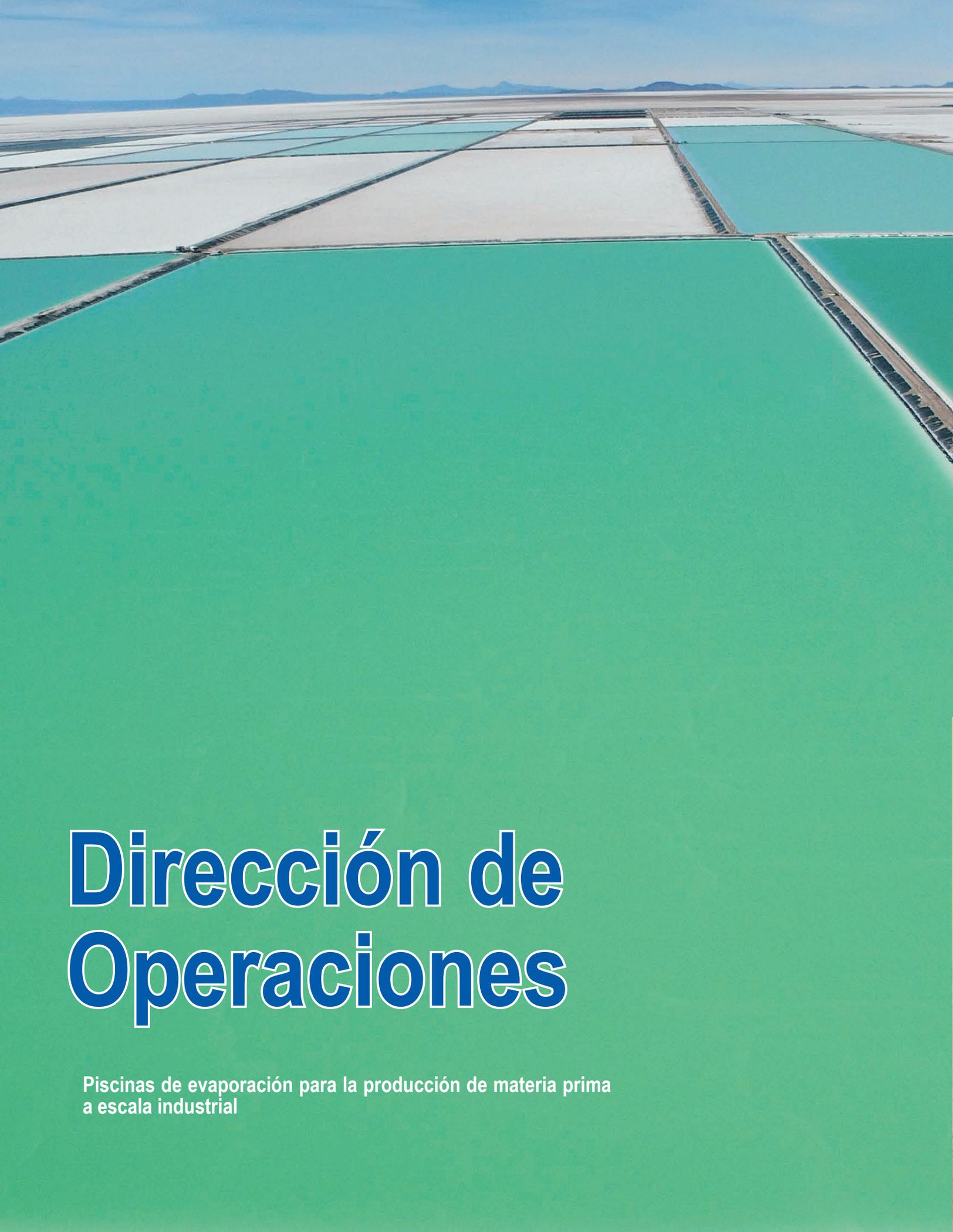
### Julio 2013

Primera venta de Cloruro de Potasio al mercado nacional.



### Agosto 2016

Exportación de las primeras toneladas de Carbonato de Litio a mercados de China.



# Dirección de Operaciones

Piscinas de evaporación para la producción de materia prima a escala industrial

## 1. FASE I – PLANTAS PILOTO

El proceso productivo desarrollado para la transformación de la salmuera, se basa en procesos de cristalización fraccionada y otros procesos químicos e hidrometalúrgicos, hasta la obtención de productos intermedios y finales tales como Cloruro de Potasio, Carbonato de Litio, Cloruro de Magnesio entre los más importantes.

La estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos está concebida en tres fases; las dos primeras orientadas a la explotación del Litio y sus derivados y la tercera a la producción de baterías de ion Litio y materiales catódicos.

Con los avances en investigación, se desarrolló el proceso productivo boliviano para la industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni. A partir del cual se delegó mediante contratación el desarrollo de ingeniería a diseño final de las plantas industriales de Cloruro de Potasio (KCl) y Carbonato de Litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ).

### 1.2. Planta Piloto de Cloruro de Potasio

Como consecuencia de la implementación de un sistema continuo de producción iniciado en la anterior gestión, se vienen reflejando los resultados a través del cumplimiento de las metas establecidas; se tiene la obtención de Cloruro de Potasio con los estándares de calidad requeridos comercialmente para la venta de este producto en el mercado nacional, proyectándose con ventas al exterior.

### 1.3. Planta Piloto de Carbonato de Litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ )

La producción de Carbonato de Litio se realizó de manera semicontinua; con el objetivo de mejorar el proceso productivo establecido en la gestión 2015, se han realizado modificaciones; en las etapas de producción como en los parámetros de control de proceso.

*Primer lote de Carbonato de Litio con destino a la exportación*





*Trabajadores de la GNRE en Llipi tras haber concluido con el cargío del primer embarque para la exportación de Carbonato de Litio*

Las modificaciones de las etapas de producción han sido útiles para la reducción del uso de reactivos químicos; así como la reducción en los ciclos de enclado y optimización de tiempos de residencia de la salmuera, lo que ha incrementado la recuperación porcentual de Carbonato de Litio. En consecuencia se tuvo la reducción en la generación de lodos.

#### **1.4. Bolivia incursiona en mercado asiático**

En agosto, la GNRE, concretó dos contratos de venta de Carbonato de Litio para su exportación con destino a China, mediante la empresa boliviana Business Solutions.

La primera venta de Carbonato de Litio en grado industrial se realizó el 2 de agosto con la entrega de 9,3 toneladas a un precio de \$us 7.000/tn, el producto fue recepcionado a conformidad en almacenes de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) de la ciudad de Oruro, por la empresa China Machinery Engineering Corporation.

El segundo contrato de venta de Carbonato de Litio se suscribió el 25 de agosto, con la firma de un segundo contrato de venta de 15 toneladas de Carbonato de Litio en grado industrial con 98% de pureza a la empresa china Jiangyin Zhuohohng International Trade Co. Ltd., a un precio de \$us 9.200/tn.

#### **1.5. Comercialización de productos**

*Carbonato de Litio en empaques de 15 kilogramos estocados en Planta Piloto de Llipi*



*Representantes de la empresa China Machinery Engineering Corporation, en la recepción de Carbonato de Litio*

Durante la gestión se incrementaron las cantidades vendidas de los diferentes productos obtenidos; tanto al mercado interno como externo.

Es de enfatizar la gran acogida que tuvo el Carbonato de Litio en el mercado internacional, debido a su homogeneidad y características técnicas de concentración. Tanto que la producción fue comprometida antes de salir de planta con el anticipo y confirmación realizados a través de contratos comerciales.

**Ingresos por la venta de productos y subproductos - 2016**

PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD	INGRESO BS.	COMPRADOR
<b>Carbonato de Litio</b>	25	Kg	1.196	Empresa Minera Yong Li S.A.
	2	Kg	98	Luis Copa Zárate
	9,3	TM	456.730	Machinery Engineering Corp.
	15	TM	943.191	Jiangyin Zhuohohng Int. Trade Co.
<b>Total Bs.</b>			<b>1.401.216</b>	



Carguío de Carbonato de Litio en Planta de Llipi

PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD	INGRESO BS.	COMPRADOR
<b>Cloruro de Potasio</b>	25	TM	83.384	Agropecuaria CANAAN SRL.
	25	Kg	75	Belle Pacific SRL.
	1.500	TM	1.742.854	Petrodrill
	25	TM	7.733	EPAF-SEDEM
<b>Total Bs.</b>			<b>1.834.045</b>	



Cloruro de Potasio embolsado en maxisacos de una tonelada

PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD	INGRESO BS.	COMPRADOR
<b>Cloruro de Magnesio Hexahidratado</b>	15	TMH	5.126	LAMBOL
	15	TMH	6.664	LAMBOL
	3	TMH	1.333	Empresa Minera Sinchiwayra
	1.277	TMH	480.044	Minera San Cristobal
<b>Total Bs.</b>			<b>493.167</b>	

**TOTAL INGRESOS EN 2016 BS. 3.728.428**

**Ingresos por venta de productos y subproductos 2013 - 2016  
Fase Piloto en MM de Bs.**



Entrega de 10 toneladas de Carbonato de Litio en la primera venta con destino a China



*Primer módulo de piscinas industriales en producción de materia prima a escala industrial*

## **2. FASE II – INDUSTRIAL**

En el desarrollo y cumplimiento de objetivos planteados en la industrialización de los recursos evaporíticos (Fase II), se ha logrado avances importantes en la implementación de las plantas industriales.

La gestión 2016 nos aproxima más a la implementación de las plantas industriales, de acuerdo a los plazos establecidos para el desarrollo y cumplimiento de objetivos planteados dentro del Proyecto Industrial- Fase II.

La implementación de la Fase Industrial, representa uno de los componentes de la política de Estado Plurinacional de Bolivia, cuya matriz productiva tiene un nuevo patrón de desarrollo donde la parte primordial representa el agregar valor a las materias primas – otrora, solamente, extraídas – y con la adición de valor se ha logrado la generación de material intelectual “con marca boliviana”.

El otro componente – que es consecuencia del anterior – y que se viene gestando, es la de un país cuyo objetivo es la erradicación de la pobreza y la inclusión; donde se ejercen plenamente los derechos sociales y políticos y con el valor agregado a las salmueras expresamos el compromiso de trabajo para obtener un patrón de equidad en la distribución de riquezas con la población boliviana.

Todo el trabajo del personal de la GNRE no solamente engloba la búsqueda de la erradicación de la pobreza, la soberanía científica con “marca boliviana”, la soberanía productiva con un enfoque de equilibrio y armonía con la Madre tierra, sino que además se quiere aportar a través de todas sus actividades con la soberanía alimentaria, ambiental, logrando la integración y empoderamiento de este proyecto.

## 2.1. Construcción de la Planta Industrial de sales de Potasio

La Planta Industrial de sales de Potasio se encuentra con un avance en la construcción de obras civiles del 60% y un avance global del 40%, considerando las dimensiones del proyecto y las condiciones del salar donde se encuentran implementando. Durante la presente gestión se comenzó con la recepción de la maquinaria, diseñada y fabricada de acuerdo a los requerimientos establecidos del proyecto. Esta maquinaria de diferente origen, fue enviada desde fábricas en la República Popular China, Alemania y Holanda.

Como parte del diseño establecido para la producción de Cloruro de Potasio se puede mencionar las siguientes etapas:

- Desalinización de Cristalizado
- Cribado del material de Cristalizado
- Flotación Rougher
- Flotación Cleaner y Lixiviación
- Lixiviación
- Flotación Scavenger
- Manejo de salmuera recuperada y colas
- Desalinización del producto KCl y secado.

## 2.2. Descripción de la planta de producción

La Planta de procesamiento está diseñada para la operación de una línea de producción; con una capacidad de 350.000 toneladas por año de Cloruro de Potasio, con un factor de seguridad del diseño de 20%.

Los tiempos de espera "buffer" en tanques y recipientes se calculan con un mínimo de 10 minutos. Las bombas cuentan con respaldo, por lo cual en caso de falla de la bomba principal, la segunda bomba entra en funcionamiento.

*Estructura de la enfierradura de los cimientos de la Planta Industrial de sales de Potasio*



Las instalaciones de producción en la planta son:

- Descarga de la parte inferior de las volquetas y transporte adicional hasta el almacenaje de sal húmeda
- Almacenaje de sal húmeda con posterior detección de metales de hierro/no hierro, trituración de grumos y transporte posterior al edificio de procesos
- Planta de procesamiento para producir Cloruro de Potasio (KCl)
- Serie de tanques para salmuera recuperada y agua de proceso con bombas y espesantes.

Además se añadió las siguientes instalaciones:

- Sección de secado del producto (Como extensión de la planta de procesamiento)
- Almacenaje del producto
- Carga del producto en camiones.

Adicionalmente existen varias instalaciones necesarias situadas fuera de los edificios, estas instalaciones externas son:

- Descarga de camiones.
- Cintas transportadoras.
- Torres de distribución para cintas transportadoras.
- Serie de tanques/cisternas para circulación de salmuera recuperada.
- Tanques para suspensiones del proceso.
- Tanque para HCl.
- Tanque para GLP.
- Tanque de reserva.
- Espesantes para generación de salmuera recuperada.
- Caminos.
- Cuenca de retención.

*Estructura del almacen de producto final de la Planta Industrial de sales de Potasio*



### 2.3. Edificio de procesos

La ingeniería civil incluye la implementación de caminos o calles que se brinden a la circulación de vehículos y peatones. En la ingeniería de construcción, se describen los edificios donde algunos de los equipos serán acomodados así como otros edificios como ser el almacenaje de sal húmeda, pequeños talleres, estación del generador y estación del transformador.

El equipamiento de grandes dimensiones e insensible al clima, estará ubicado fuera del edificio de procesos, para reducir el costo de construcción. La altura del edificio será en promedio aprox. 30 metros. El punto más alto del edificio será de aproximadamente 36 metros.

Cinco puentes grúa se instalan encima de áreas previamente seleccionadas del edificio de procesos para asegurar el levante de equipos enormes en caso de mantenimiento y reparación. Una grúa adicional se instala encima de los molinos de barras.

### 2.4. Ingeniería de Proyecto a Diseño Final de la Planta Industrial de Carbonato de Litio

A partir de la contratación de la empresa Alemana K-UTEC AG, para la elaboración de la "Ingeniería a Diseño Final de la Planta Industrial de Carbonato de Litio", se determinó la verificación y revisión de la documentación generada tomando los siguientes aspectos:

*Enferradura del edificio de procesos de la Planta Industrial de sales de Potasio*





*Impermeabilización de piscinas industriales*

#### **2.4.1. Desarrollo de la ingeniería básica**

En este punto del presente proyecto se consolidan los aspectos básicos e importantes en cuanto se refiere al diseño de la planta Industrial de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  definiendo los esquemas de flujo, memorias de cálculo, diseño de equipos y maquinaria, fichas técnicas, distribución de los equipos, etc. En este documento se consolidara los esquemas de flujo, memorias de cálculo de fluidos y pulpas y especificaciones técnicas para la compra de equipos que queden definidos en la ingeniería básica.

#### **2.4.2. Desarrollo de la ingeniería de detalle**

Considera la ingeniería a detalle necesaria para la planificación, ejecución y construcción de las obras de la planta con una capacidad 30.000 ton/año de Carbonato de Litio.

La ingeniería de detalle contemplara los planos detallados de todos los circuitos de la obra civil, piping, equipos, sistema eléctrico, etc., con especificaciones técnicas, administrativas, planos en detalle 3D, puesta en marcha y comisionamiento. Incluye además los consumos de sal, electricidad, agua, reactivos y volúmenes de residuos.

#### **2.5. Construcción de las piscinas industriales**

Continuando los trabajos de construcción de piscinas industriales, se tiene un avance de 1.073 Ha de diques construidos y 632 Ha de piscinas impermeabilizadas, planificando que la conclusión de las mismas se realice antes del tiempo previsto para el inicio de operaciones de las Plantas industriales.

Como se puede apreciar en el esquema planteado se tiene la cantidad de piscinas terminadas e impermeabilizadas listas para ser bombeadas con salmuera.

## 2.6. Construcción red de bombeo para piscinas industriales

La construcción de la red de bombeo se realizó para realizar el traslado de la salmuera a las piscinas industriales de evaporación, permitiendo el llenado y posteriormente el trasvase,

Entre las actividades se realizó el suministro, instalación y puesta en marcha de bombas para succión de salmuera hacia las piscinas industriales. Los procesos desarrollados en la GNRE se realizan a través de evaporación de la salmuera contenida en las piscinas construidas para este efecto, en este entendido, es necesario el bombeo de salmuera desde pozos realizados y ubicados en inmediaciones de estas por medio de bombas sumergibles y centrifugas.

Para la realización de este sistema de bombeo se han adquirido 8 bombas sumergibles, 7 bombas centrifugas de gran capacidad; así como de 15 grupos electrógenos para el suministro de energía eléctrica, en cada puesto de bombeo, el proyecto consiste en el suministro de Manifold, flujómetros, tableros de control, protección y maniobra con capacidad de integrarse a un sistema de telemetría, proyectando el funcionamiento de la planta industrial de sales de Potasio.

Este proyecto tiene la particularidad de que a través de bombas centrifugas se logre la succión de salmuera desde los pozos a una distancia de 2 Km y una distancia desde el ultimo aproximadamente 24 Km hacia las piscinas industriales.

Construcción de red de media tensión para el suministro de energía eléctrica a 8 líneas de producción en piscinas industriales a través de 56 bombas centrifugas de trasvase con 28 puestos de transformación y red de baja tensión.

## 2.7. Instalación y puesta en marcha de grupos electrógenos a GLP

Suministro instalación y puesta en marcha de tres grupos electrógenos a gas licuado de petróleo (G.L.P.) para la planta de KCl para cubrir la demanda de energía eléctrica que ha sido alimentada con grupos electrógenos a diesel, lo que significa el uso intensivo de combustibles fósiles, elevando los costos de operación y mantenimiento, incidiendo a su vez en la producción de la planta de KCl. En este contexto, en virtud a las políticas del Estado Plurinacional en cuanto se refiere al cuidado del medio ambiente, la resiliencia al cambio climático y cumplimiento de las normas.

El uso del GLP como combustible en sustitución del diesel contribuye a disminuir la contaminación ambiental y consecuentemente a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, que son la causa del cambio climático en nuestro país y el mundo, así como reduce los costos de operación y mantenimiento de los grupos electrógenos.

## 2.8. Proyectos sobre recursos hídricos

Con el transcurso del tiempo y a medida que se va desarrollando en la ejecución de las obras se puede observar el crecimiento demográfico en el campamento Llipi; así también acorde a los estudios de requerimiento de insumos para la producción en las plantas industriales a ser implementadas, se considera el incremento del requerimiento del insumo agua para los próximos años, ante esta necesidad y por los estudios establecidos se planifica la ejecución de proyectos de captación y aducción de agua potable para el campamento de Llipi.

- Con el agua que se disponga se podrá de manera adecuada precautelar la salud de los pobladores del campamento Llipi así como de los que en el futuro lleguen a habitar este predio, tanto para los actuales y futuros trabajos que se pretende ejecutar.
- Abastecer de insumo agua para la producción en las plantas industriales de sales de Potasio y Carbonato de Litio.



*Construcción de piscinas industriales*



*Instalación de red de bombeo en circuito de piscinas industriales*



*Trabajadores de la GNRE junto a generadores a GLP*

## 2.9. Diseño y construcción de la red de Media Tensión

Se realizó el diseño, construcción de la red de media tensión en el Salar de Uyuni para proveer energía eléctrica en media tensión 24,9KV a 12 pozos ubicados en el interior del Salar de Uyuni, este suministro tiene por objeto la alimentación de salmuera hacia el circuito de piscinas industriales a través de bombas de succión distribuidas en 8 líneas de producción.

El proyecto es único en su género, debido a las características particulares que tiene el ambiente salino del Salar de Uyuni, debido a la corrosión de materiales metálicos, para este efecto se utiliza cable aislado tipo XLPE, diferente a las líneas de media tensión convencionales aéreas que son desnudas, así mismo la forma de izado de postes será particular producto de la experiencia de la GNRE.

## 3. PARTICIPACIÓN EN FERIAS Y OTROS EVENTOS

Con el objetivo de promocionar y hacer conocer los productos y sub productos obtenidos en las diferentes plantas; se determinó que la GNRE participara en diferentes ferias y eventos, de manera de desarrollar nuevos canales comerciales y de difusión de los alcances obtenidos.

### 3.1. Expoagro 2016

La EXPO AGRO BOLIVIA, se realizó del 12 al 15 de mayo de 2016, es la feria nacional agropecuaria que convoca a productores, proveedores, inversionistas, instancias públicas y privadas ligadas al sector productivo, para difundir, relacionar y promover nuevos productos, así como intercambiar experiencias y lazos comerciales.

La GNRE participo de la Feria con un Stand, con la finalidad de difundir la imagen de la empresa y presentar nuestros productos a un número elevado de personas, obtener contactos personales con clientes potenciales, intermediarios y otros del sector agropecuario.

### 3.2. Fimem Bolivia 2016

Feria Internacional de la Minería, Energía y Medio Ambiente "FIMEM BOLIVIA 2016" a realizarse en la ciudad de Oruro del 28 al 31 de julio de 2016, en el campus Ferial 3 de Julio de la Facultad Nacional de Ingeniería de la Universidad Técnica de Oruro.

En esta oportunidad la GNRE participo con un Stand difundiendo los productos y subproductos que realiza, así también con la presentación y exposición de todo el trabajo y los logros obtenidos, obsequiando a los visitantes trípticos y memorias.

En la feria se destaca los contactos con las empresas de COMIBOL: Minera Corocoro, Colquiri y Huanuni, mostraron gran interés en nuestro sub producto Cloruro de Magnesio (Bischofita).

### 3.3. Feria agropecuaria "Vidas 2016"

El evento de tecnología agrícola VIDAS 2016, se realizara 14 y 15 de octubre de 2016, organizado por la Fundación de Desarrollo Agrícola Santa Cruz- FUNDACRUZ.

Cabe destacar que VIDAS, es un evento que tiene como objetivo fundamental contribuir en la difusión y transferencia de nuevas tecnologías para el sector agrícola y de brindar al productor la posibilidad de estar a la vanguardia de los últimos avances tecnológicos y científicos para los diferentes cultivos de soya, maíz, sorgo, girasol, trigo, pasturas y otros.

En esta oportunidad la GNRE participo en la feria VIDAS 2016 con un Stand difundiendo los productos y subproductos en el mercado del oriente del país.

#### INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS "EL VALLECITO" UAGRM-SANTA CRUZ FERTILIZACIÓN PARCELAS DE HORTALIZAS - FERIA VIDAS 2016

HORTALIZAS APLICADAS CON FERTILIZANTES	Tomate Zanahoria Lechuga Pimentón Cebolla Rabanito Amaranto
FERTILIZANTES	Urea Cloruro de Potasio (GNRE) Fosfato diamónico
DOSIFICACIÓN	Según protocolo
Etapa de fertilización	Según protocolo



Parcelas demostrativas de Hortalizas del Centro de Investigación "Vallecito" de la Universidad Gabriel Rene Moreno

Logrando difundir alrededor de 20.000 visitantes con la presentación y exposición de los productos y sub productos, contactando un número elevado de empresas agropecuarias, así también destacando los avances del estudio en las parcelas demostrativas de hortalizas del Centro de Investigación VALLECITO de la Universidad Gabriel Rene Moreno que realizan investigación de las diferentes dosificaciones de Cloruro de Potasio de la GNRE.

Cabe enfatizar que las empresas participantes fueron un total 275, empresas semilleras, fertilizantes, agroquímicos, centros de investigación entre otros, etc. Con una cobertura de medios de comunicación de más de 75 medios pertenecientes a prensa escrita, digital, televisiva y radial que brindaron cobertura del evento.

### 3.4. Expomin 2016

Dentro de los trabajos efectuados en la Feria Expo Bolivia Minera 2016 que se ha desarrollado en el Campo Ferial Chuquiago Marka en la ciudad de La Paz los días 5, 6 y 7 de agosto del presente año, se destaca la interacción con el público visitante con información sobre la actualidad del proyecto y las proyecciones para los siguientes años, además, se logró socializar e identificar potenciales clientes para los productos que actualmente elabora la GNRE, se realizaron entrevistas con la prensa internacional: Prensa Latina de Cuba y la Revista Energía Mercado en Movimiento de Argentina.

### 3.5. Campaña de siembra en Ayo Ayo

Con el objeto de lograr segmentación de mercados conductual, la GNRE suscribe un convenio de cooperación interinstitucional con la Universidad Pública de El Alto (UPEA), para realizar actividades de investigación, capacitación de mutuo interés promoviendo la generación de información especializada en el uso de fertilizantes agroquímicos



*Ing. Jhonny Alejo de la GNRE (izquierda) junto a técnicos del Centro de Investigación Vallesito, Santa Cruz*



*Medición en campaña de siembra para el tratamiento experimental con fertilizantes potásicos en parcelas de Ayo Ayo, actividad desarrollada por estudiantes de último grado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Pública de El Alto, en el marco del convenio firmado con la GNRE, octubre 2016*

a base de sales mixtas de Potasio y Magnesio como forma de ir avanzando en la promoción de este fertilizante.

Con el presente trabajo de investigación, se pretende demostrar la viabilidad técnica del Cloruro de Potasio, considerando que el mismo es parte fundamental como nutriente en plantas para su desarrollo vegetativo y respuestas óptimas en su rendimiento.

De acuerdo al cronograma que se estableció en el perfil de investigación, se reconoció la parcela, para luego realizar un muestreo de suelo de la misma. Un mes antes de la siembra se realizara la recolección de 12 sub muestras por el método del zigzag a 20 cm de profundidad, para luego enviar a laboratorio.

La siembra se realizó una vez caída las primeras lluvias el 12 de noviembre en forma manual, mecanizada y maquinaria agrícola como ser el tractor, con una separación de 0,3 m entre plantas y 0,7 m entre surcos, se incorporó el Cloruro de Potasio de acuerdo al perfil de investigación con dosificaciones pre establecidas según estudios técnicos.

### 3.6. Premio Nacional a la Excelencia para el Vivir Bien 2016

Durante la presente gestión se recibió la invitación del Ministerio de Desarrollo Productivo para participar en el evento “Premio Nacional a la Excelencia para el Vivir Bien 2016”; la GNRE se inscribió en la categoría Innovación Productiva.

En la participación de la GNRE se mostró los avances logrados en el área de la investigación de procesos productivos desarrollados en la Planta Piloto de Carbonato de Litio, con el proyecto “Obtención del Carbonato de Litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) a partir del Sulfato de Litio ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ) en el Salar de Uyuni”.

En esta oportunidad y gracias al apoyo tanto del personal técnico de oficinas La Paz; como del operativo de Planta Llipi, la GNRE fue acreedora del primer premio “Sello de Oro”, en la mencionada categoría realizando los logros de los estudios e investigaciones que se vienen desarrollando en el campo del conocimiento científico y tecnología dentro los proyectos: Piloto, Industrial, Baterías y Materiales Catódicos.



Premio “Sello de Oro” otorgado a la GNRE



Acto de premiación en la ciudad de Cochabamba

Personal de la administración de La Paz con el “Premio Nacional a la Excelencia para el Vivir Bien 2016”





# Investigación y Desarrollo

La Dirección de Investigación y Desarrollo (ID), ha realizado tareas de significativa importancia durante la gestión 2016, un hecho a destacar es el haber logrado la acreditación del Laboratorio de Planta Llipi, otorgado por el Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), además de haber alcanzado importantes avances en la investigación en el procesamiento de los recursos evaporíticos como la validación de la simulación para el procesamiento de salmueras, en el tratamiento de salmueras residuales, cristalización de la salmuera en reactores, tratamiento de sales mixtas, puesta en operación de las piscinas industriales entre otros que a continuación desarrollamos.



Salar de Uyuni

## 1. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Estudio de la agrupación de mezcla de pozos sector industrial

De acuerdo al estudio geológico que se realizó en el Salar de Uyuni considerando los caudales y las concentraciones con las que se cuenta en diferentes sectores, para la operación de las piscinas de evaporación sector industrial se proyecta el uso de ochenta pozos, los cuales de acuerdo a sus características es necesario mezclarlos para que la salmuera de alimentación a cada línea de piscinas de evaporación sea la misma, en este sentido de acuerdo al estudio realizado se determinaron cinco zonas de agrupación distribuidos geográficamente en la extensión de los pozos diferenciándolos en sectores diluidos y concentrados.

### 1.2. Validación de la simulación para el procesamiento de salmueras

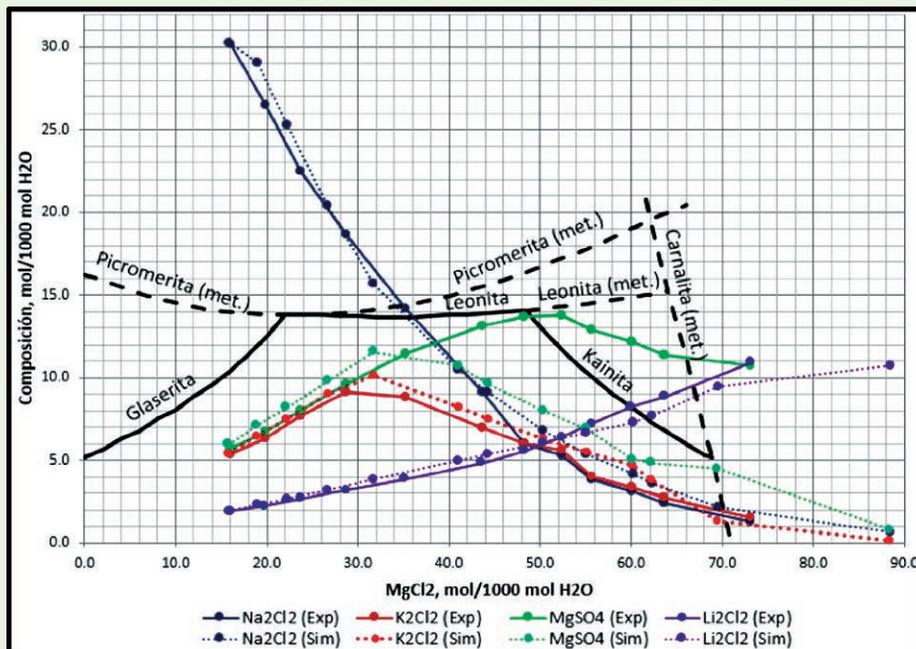
La estimación de la secuencia de cristalización de salmueras se ha realizado mediante el programa Eq/Evp a una temperatura constante, si bien se observa que las líneas de saturación no concuerdan con las definidas en los diagramas de fase se pueden identificar las diferentes etapas. Estos valores encontrados se validaron mediante pruebas de evaporación los cuales reflejaron poca variación respecto a la simulación, como se puede evidenciar en el siguiente gráfico.



Flotación de sales a nivel laboratorio

### ESTIMACIÓN DE LA SECUENCIA DE CRISTALIZACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN DE LA SALMUERA DEL SALAR DE UYUNI

Gráfica de Autenrieth del Sistema Oceánico de Sales



### 1.3. Tratamiento de la salmuera residual

Esta investigación se centra en la concentración y recuperación del Litio contenido en la salmuera residual generada luego de la etapa de cristalización de Sulfato de Litio, para ello se plantea tres alternativas: reinyección de una sal sulfatada que permita obtener nuevamente Sulfato de Litio de elevada concentración; encalado que reduzca el contenido de sulfato que dará paso a la concentración de Litio en la salmuera y por último el método de enfriamiento que permitirá obtener Sulfato de Magnesio favoreciendo así la recuperación posterior de Litio.

Los resultados del primer método muestran que la reinyección de una sal sulfatada a la salmuera residual puede cambiar la química de la salmuera y alterar la precipitación de la sal llevándola a un área de estabilidad diferente donde vuelve a precipitar el Sulfato de Litio.

### 1.4. Cristalización de Sulfato de Litio en tanques reactores

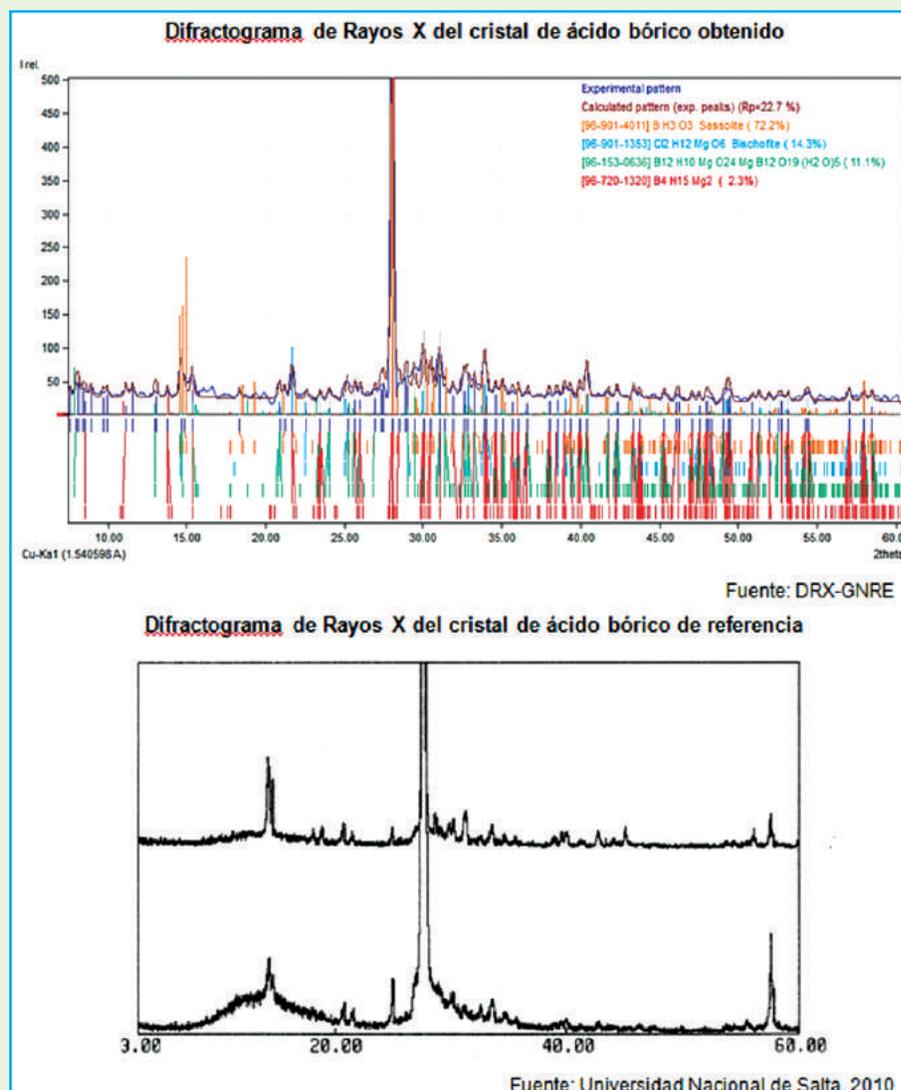
Con el objetivo de optimizar la obtención de cristales de sulfato de litio se estudian procesos que permitan mejorar las características para su posterior tratamiento, en este sentido, se desarrolla la cristalización del sulfato de litio en condiciones controladas en reactores. Se evidencia que los factores más importantes son la temperatura y condiciones de agitación, además de filtrar en condiciones adecuadas caso contrario se estaría contaminando con bischofita. En los resultados obtenidos se pudo mejorar la relación Litio/Magnesio casi cinco veces más que en el anterior proceso.

### 1.5. Estudio del comportamiento de Boro en el procesamiento de la salmuera virgen del Salar de Uyuni, parte I

En el presente proyecto se ha realizado un seguimiento al comportamiento del Boro en el circuito de piscinas, determinándose la mejor etapa para la obtención de ácido bórico, por otra parte se ha desarrollado

un proceso para la recuperación o eliminación del mismo.

Se ha trabajado con cristales y salmueras como materia prima para la obtención de Ácido Bórico, en el caso de salmueras el fortalecimiento aplicado ha sido el de acidificación de los resultados, se ha logrado obtener un cristal en forma de escamas de ácido bórico (sasolita) con impurezas de bischofita y trazas de boratos de magnesio según el análisis de DRX, quedando la salmuera resultante prácticamente como Cloruro de Magnesio y Litio.



### 1.6. Tratamiento de sales mixtas mediante flotación inversa

El tratamiento de las Sales Mixtas procedentes del circuito de piscinas



*Nodeado y muestro previo a la cosecha de sales*

de evaporación de la salmuera del Salar de Uyuni consiste inicialmente en la molienda hasta alcanzar un tamaño de partícula adecuado, para posteriormente pasar por la etapa de flotación de Cloruro de Sodio, concentrando el producto de interés en el Non Float, el cual posteriormente pasa a la etapa de lixiviación donde se obtiene un producto final que consiste en sales de potasio-magnesio con características similares al producto Korn-Kali (producto internacional) que es comercializado como fertilizante.

## **2. UNIDAD DE DESARROLLO EN SALAR DE UYUNI**

### **2.1. Puesta en marcha piscinas de evaporación circuito industrial**

El primer trimestre se comenzó con el bombeo a la primera línea del circuito industrial de piscinas, mediante la alimentación de 8 pozos, misma que en una primera fase se acumuló salmuera para el llenado de la etapa de Halita, donde el inventario fue superior al de operación, una vez alcanzado el inventario de la primera etapa se comenzó con el trasvase a la segunda línea del circuito industrial además de continuar paralelamente el bombeo a la siguiente etapa de la línea 1, todo con la alimentación de ocho pozos ubicados al sector oeste de este circuito. Posterior al llenado se trabajó en la puesta en régimen con la alimentación necesaria de a las correspondientes piscinas de la etapa predecesora estimando

llegar hasta finales de gestión concluir con las dos primeras líneas del circuito industrial iniciando de esta manera la producción de materia prima para la futura planta de tratamiento de sales de Potasio.

### **2.2. Circuito modular**

Se inició la gestión con el trabajo en el sector sur de las piscinas continuando la operación realizada la gestión pasada, teniendo en cuenta que las piscinas del sector norte se encontraban en mantenimiento y una vez concluida se realizó la readecuación del circuito modular para la operación de las piscinas de evaporación, además con el objetivo de incrementar la producción de sales (piscinas del norte con mayor extensión). Este circuito cuenta con una piscina de Halita de cuatro hectáreas y se hace uso de la mayoría de las piscinas de evaporación de este sector considerando las restantes como pulmones para las cosechas de silvinita o sales mixtas, también cuenta con una nueva plataforma de escurrimiento para la producción de sulfato de litio, cuya producción se la realiza en dos piscinas de manera paralela.

### **2.3. Circuito acoplamiento**

Tras la conclusión de la construcción del complemento de las piscinas del circuito Acoplamiento se comenzaron los bombeos para el llenado y puesta en marcha, de esta manera desde el

segundo trimestre de esta gestión se da inició con la operación hasta la piscina de bischofita completando de esta manera el circuito de evaporación.

## 2.4. Cosecha de sales

El proceso de producción de sales en piscinas de evaporación concluye con la cosecha de estas, transportando de esta manera los cristales correspondientes a las Plantas Piloto de Producción para su tratamiento, en el caso de la bischofita, este producto es directamente para la venta. La presente gestión se realizó las siguientes cosechas de sales:

### 2.4.1. Silvinita 2 Circuito Acoplamiento

En el transcurso del segundo semestre del 2016 se realizó la cosecha de sales de la piscina de la etapa Silvinita 2, concluyendo esta actividad con el despacho de estos cristales a la plataforma de acopio. De acuerdo al levantamiento topográfico realizado en esta piscina se estima un volumen de cristales de 65000 metros cúbicos (sin considerar porcentaje de esponjamiento, humedad y otros.).

### 2.4.2. Silvinita 1 y 2 Circuito Modular

Tras un periodo operativo de 18 meses que concluyo en el mes de mayo, se realizó la cosecha de la piscina correspondiente a la etapa de silvinita 1 del circuito modular, el volumen cosechado que se obtuvo fue aproximadamente 5.900 metros cúbicos.

Continuando con el cronograma de cosechas a mediados del mes de mayo se inició la cosecha de los cristales de silvinita 2 modular, el tiempo operativo de esta piscina fue de aproximadamente 19 meses. La cantidad de sal cosechada fue de alrededor de 4400 metros cúbicos.



Cuantificación de elementos en equipos de absorción atómica

### 2.4.3. Sulfato de Litio Circuito Modular

De acuerdo a los requerimientos de la planta piloto de Carbonato de Litio durante la gestión se realizaron cuatro entregas de sales Sulfato de Litio, que ascienden a un aproximado de 265 TnH, las cuales se encontraron enmarcadas dentro los parámetros establecidos durante la gestión anterior.



Parte del equipo de trabajo de Investigación y Desarrollo



Embolsado de bischofita en maxisacos

#### 2.4.4. Bischofita Circuito Modular

La última piscina del circuito modular ingreso en operación en abril del 2015 terminando su ciclo operativo en febrero de 2016, calculando una operación de nueve meses, posterior al cual se realizó su respectiva cosecha.

A partir de gestiones pasadas se comenzó con la comercialización de cristales de bischofita principalmente usada en la estabilización de suelo y supresor de la generación de polvos, en este entendido varias empresas expresaron su interés en la adquisición de este producto. Durante esta gestión se realizó la venta a las empresas de: San Cristobal, Sinchi Wayra S.A. y LAMBOL S.A, llegando a un total de 1.288 TnH.

#### 2.5. Optimización en la obtencion de materia prima

Durante esta gestión se desarrollaron algunas pruebas para optimizar la obtención de los productos para las plantas de producción, que se detalla a continuación:

\* Implementación de plataforma de escurrimiento; considerando que las cosechas de Sulfato de Litio se las desarrolla en un sistema semi-continuo se vio necesario mejorar el sistema de separación sólido-líquido es así que se desarrollaron pruebas para verificar los ángulos de decantación más adecuados para un escurrimiento más rápido tanto en el ingreso como en la salida de la misma, en este sentido y en coordinación con el área de obras civiles se diseñó y realizó la construcción de las plataformas. Luego de la implementación se pudo evidenciar la mejora en la rapidez de sedimentación consecuentemente la mejora en la concentración de la relación Magnesio y Litio.

\* Prueba de evaporación para la determinación del punto de corte de la etapa de Halita-Silvinita; mediante un trabajo constante con el Departamento de Investigación en la ejecución de las diferentes pruebas de evaporación, se optimizan los cortes en las diferentes etapas además de evaluar en comparación con la simulación mediante el programa EQL/EVP. Las pruebas fueron realizadas con salmuera de fosa del sector acoplamiento dispuesta en bateas estandarizadas, donde se realizó la medición de la temperatura y el desplazamiento de la altura mediante un tornillo milimétrico, lo cual permitió efectuar un control a detalle sobre el cambio de concentración de la salmuera y después del análisis de estas permitió plantear dos ecuaciones que mediante las cuales se puede estimar la concentración de sodio y litio en función a la concentración de magnesio, además permitió ajustar algunos parámetros de operación.

### 3. DATOS METEREOLÓGICOS

Desde la gestión 2010 se cuenta con datos meteorológicos, de tres estaciones ubicadas en Planta Llipi, Piscinas de Evaporación y el centro del Salar, en los parámetros de temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad de vientos, precipitación pluvial y radiación solar.

Entre las condiciones más extremas presentadas a la fecha son vientos que alcanzaron los 78 Km/h catalogado como temporal fuerte (de acuerdo a la escala de Beaufort) escala 9 de 12, además de temperaturas que descendieron a los -15.5°C y contrariamente a este se alcanzó temperaturas de 25.2°C resaltando que en septiembre se continuo con temperaturas muy bajas que llegaron hasta los -13°C. La radiación máxima se presentó en la estación del centro del Salar alcanzando los 1.64 Kw/m<sup>2</sup> un valor mucho mayor a la máxima alcanzada la pasada gestión.



Determinación de Litio



Implementación de sistema de gestión



Determinación de cloruros



Determinación de carbonatos



*Luís Alberto Echazú Gerente de la GNRE y Cecilia Quispe Directora de ID junto al Presidente de COMIBOL Marcelino Quispe, el Viceministro de Política Minera Gualberto Hochkofler y personal de la GNRE con el Certificado de Acreditación, documento que acredita al Laboratorio de Llipi con la competencia técnica y científica para la determinación de sales de Carbonato de Litio y Cloruro de Potasio*

## 4. UNIDAD DE LABORATORIO PLANTA LLIPÍ

### 4.1. Acreditación de laboratorio planta Llipi

Como parte de los lineamientos de la industrialización, se ha venido trabajando en la implementación de laboratorios de análisis químico especializado en el área de sales y salmueras, que ha permitido el apoyo al desarrollo de las investigaciones y la generación de tecnología para la implementación de las plantas y su optimización continua.

En vista de la proximidad de la etapa de industrialización y por consiguiente la comercialización de productos, se vio necesario realizar la Implementación de la Norma NB-ISO/IEC 17025:2005 (Sistema de Gestión de Laboratorio, para la competencia de Ensayo y Calibración).

El proceso de Implementación estuvo a cargo del personal de laboratorio de análisis químico de planta Llipi y personal de los laboratorios de La Paz y Tauca supervisado por la Dirección de

Investigación y Desarrollo, quienes realizaron el trabajo de elaborar la documentación requerida por la Norma como ser: manuales, procedimientos, instructivos entre otros, además de optimizar los métodos de ensayo a ser acreditados, siendo esta última la etapa más importante, logrando demostrar la competencia técnica para un alcance definido y la operación de un sistema de gestión en el laboratorio.

Uno de los requisitos para la acreditación fue el ensayo de aptitud, en el cual participaron 6 laboratorios de análisis químico, entre ellos el laboratorio de análisis químico de Planta Llipi, Tauca y La Paz, dando como resultados satisfactorios para nuestros tres laboratorios.

La meta alcanzada por el laboratorio de análisis químico de la GNRE es trascendental, ya que en el ámbito nacional es el único laboratorio especializado en el análisis de salmueras y cristales provenientes de los recursos evaporíticos de Bolivia, así mismo cabe recalcar que este logro ha sido alcanzado gracias al trabajo de todo el personal profesional íntegramente

boliviano que desempeña actividades en esta unidad.

#### 4.2. Optimización o implementación de nuevos métodos

Los laboratorios de la GNRE han llevado a cabo la optimización de métodos ya implementados en gestiones pasadas, de igual forma en base a la solicitudes realizadas por las diferentes áreas de la GNRE se ha venido realizando el desarrollo de nuevos métodos de ensayo para su implementación. Es así que durante esta gestión se han ejecutado los siguientes trabajos:

- Optimización de métodos volumétricos
- Optimización de métodos instrumentales
- Optimización del método volumétrico
- Optimización del método potenciométrico.
- Estudio de la interferencia por método volumétrico
- Investigación para implementación del método por potenciometría
- Investigación para la implementación del método por gravimetría
- Implementación de métodos fisicoquímicos para la determinación de densidad de sólidos
- Implementación del método para la determinación de pH en sólidos

#### 4.3. Capacitación y formación al personal sobre el sistema de gestión

En el marco de la acreditación al laboratorio de análisis químico de Planta LLipi y la experiencia adquirida por el personal de laboratorio que ha participado en la implementación Norma NB-ISO/IEC 17025:2005 (El Sistema de Gestión de Laboratorio, para la competencia de Ensayo y Calibración), la Dirección de Investigación y Desarrollo ha organizado cursos de capacitación referidos a las bases fundamentales para la implementación de "Sistema de Gestión y Requisitos Técnicos", dirigida al personal de diferentes áreas de la GNRE.

#### 4.4. Capacitación Planta Piloto de Baterías y CICYT MAT-REB/ La Palca

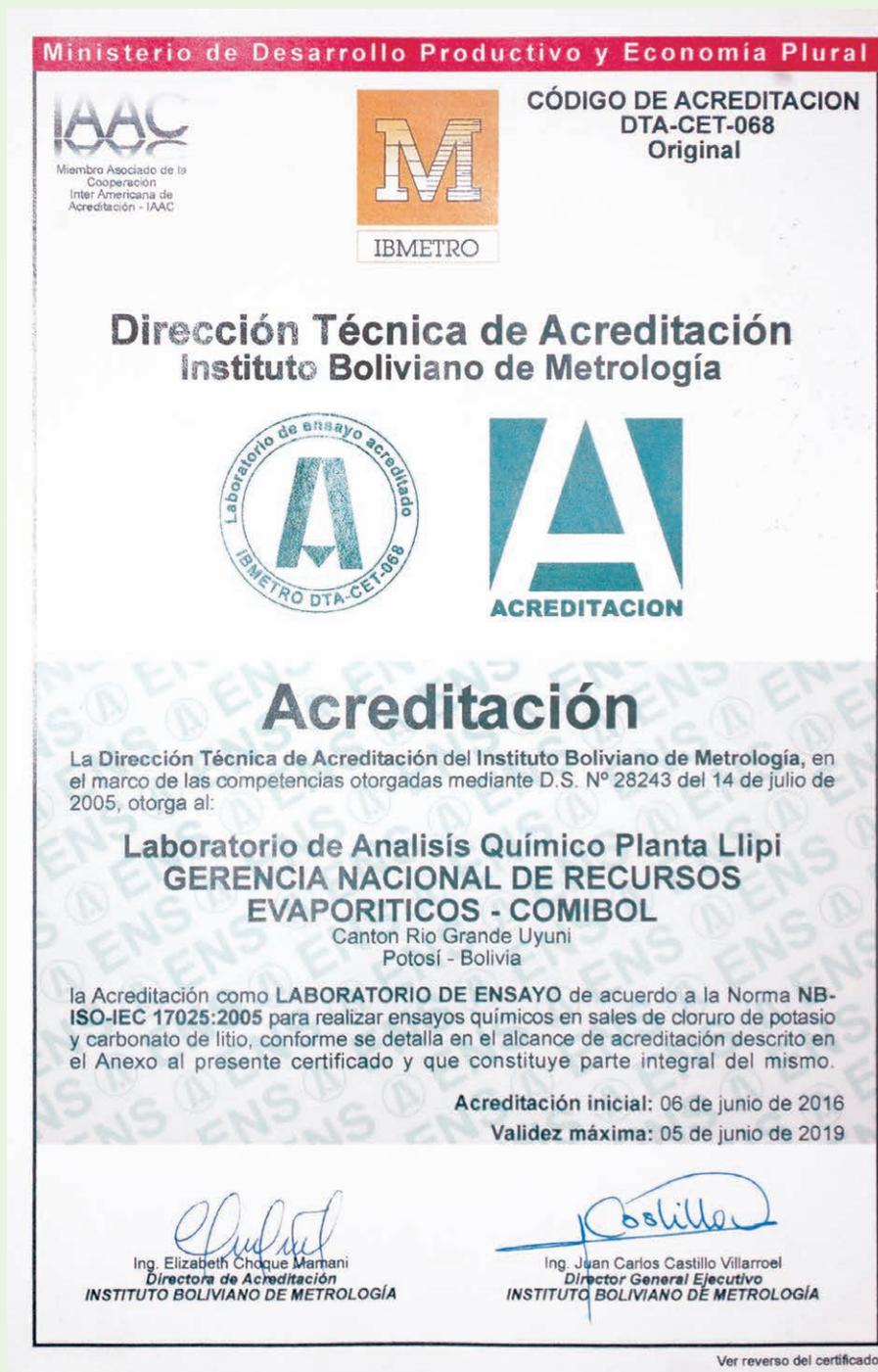
El curso ha sido impartido en instalaciones de La Palca con participación de personal de ambas áreas abarcando aspectos de sistemas de gestión basados en la Norma ISO 9001 e ISO/NB 17025.

Después de la capacitación se realizó un diagnóstico al sistema documental de la Planta de Baterías, tomando como criterio de evaluación los requisitos relacionados

a documentación y registros de la norma ISO 9001, la metodología adoptada fue la siguiente:

- Entrevista al personal
- Revisión del sistema de documentación y registro
- Inspección y evaluación de las instalaciones.

Como resultado se obtuvo un diagnóstico, en el que se expone los hallazgos y



Ver reverso del certificado

recomendaciones para cada punto evaluado según el criterio aplicado, así mismo se presentó el análisis de brecha y conclusiones. Este diagnóstico servirá como punto de partida para iniciar con la implementación de un sistema de gestión de calidad en su primera etapa.

En cuanto al CICYT MAT-REB el diagnóstico abarcó el sistema administrativo, desempeño técnico e instalaciones del laboratorio de análisis químico, bases enmarcadas en la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, el diagnóstico se realizó siguiendo la siguiente metodología:

- Entrevista al personal encargado del laboratorio
- Evaluación de responsabilidades y funciones del personal
- Revisión del sistema de documentación y registro.

De igual manera se generó un informe donde se plasma el desarrollo del diagnóstico, los hallazgos encontrados, el análisis de brecha, las recomendaciones y conclusiones, que darán paso a iniciar la implementación de un sistema de gestión que cumpla con los requisitos de la norma

ISO/IEC 17025:2005 y requisitos de acreditación de la DTA-IBMETRO, sea con la visión de acreditar o para demostrar la confiabilidad de los resultados.

#### 4.5. Capacitación Planta Llipi

El primer curso impartido en ambientes del campamento de la Planta de LLipi asistieron las siguientes áreas.

- Geología
- Planta de Carbonato de Litio
- Planta de Cloruro de Potasio
- Medio Ambiente
- Administración
- Recursos Humanos
- Sistemas
- Activos Fijos
- Almacén.

El enfoque de la capacitación se basó en la implementación de Sistemas de Gestión en dos campos de interés tales como ISO 9001 e ISO 14001, los que tienen dentro su estructura al Sistema de Gestión y los Requisitos Técnicos. El objetivo crear conciencia en la importancia de implementar un sistema de gestión el cual da la oportunidad de centrarse en optimizar las áreas proporcionando valor

añadido a la empresa, esencialmente permitiendo desarrollar procesos optimizados de forma más económica o más rápida.

El segundo curso fue impartido al área de procesos al cual se le realizó un diagnóstico tomando como criterio de evaluación los requisitos relacionados a documentación y registros de la norma ISO 9001.

#### 4.6. Curso de capacitación sobre el manejo del Software Match para la interpretación de difractogramas

En la presente gestión el especialista de GNR Analytical Instruments de Italia, Ezio Petricci, realizó el curso de capacitación sobre el manejo del software Match Crysta Impact en su última versión (2.0) el cual posee innovadoras herramientas para determinar, visualizar y comprender las estructuras cristalinas de compuestos, investigar la composición de muestras mediante difracción en polvo o buscar bases de datos cristalográficas para obtener información sobre las investigaciones que se realiza dentro las Dirección de Investigación y Desarrollo.

*Alimentación de salmuera a piscinas industriales*





Personal de I&D que participó en la capacitación del software Match Crystal

## 5. ACTIVIDADES DESARROLLADAS PROYECTO SALAR DE COIPASA

### 5.1. Obtención de Sulfato de Potasio

La sal experimental del Salar de Coipasa presenta sales de Potasio y Magnesio (Picromerita, Kainita, Carnalita Epsomita, Hexadrita), como contaminante principal halita, por tal motivo se planteó un proceso de flotación inversa. Como resultado se concluye que si es posible la separación de halita de la sal experimental por medio del proceso de flotación inversa con los parámetros experimentales establecidos.

Por otra parte los resultados del proceso de transformación muestran que si es posible obtener Sulfato de Potasio con buenas características del non float de flotación de Halita, por medio de la conversión con una solución sulfatada.

### 5.2. Estudio del comportamiento de Boro en el procesamiento de la salmuera de Coipasa

De acuerdo a los resultados del seguimiento al circuito de piscinas

iniciado la gestión pasada se observa que al llegar a una cierta composición en Boro, este se satura quedándose partículas en suspensión y dificultando el tratamiento de la salmuera esto en dos etapas del circuito de Coipasa. Respecto a la obtención de materia prima para la obtención de ácido bórico se ha visto conveniente trabajar con salmueras que con cristales mediante el tratamiento de acidificación definiéndose un proceso y los parámetros de trabajo a partir de los cuales se ha logrado obtener un cristal en forma de escamas de Ácido Bórico (Sasolita) con impurezas de Bischofita y trazas de boratos de Magnesio según el análisis de DRX.

### 5.3. Estudio de la ruta de cristalización de salmuera de distinta concentración

Este trabajo se enmarca en el estudio de la ruta de cristalización de salmuera en la que inicialmente se ha extraído Sulfato de Sodio (Mirabilita) en la primera etapa, se pretende conocer el efecto que podría presentarse en las siguientes etapas de cristalización por la disminución del sulfato presente en la salmuera.

## 6. UNIDAD DE DESARROLLO SALAR DE COIPASA

### 6.1. Control y operación de piscinas a escala

El año 2015 se dio inicio a la operación de dos circuitos de piscinas a escala construidas en el salar, la presente gestión se realizó el control y operación en sistema batch de estos circuitos. Una vez concluida la operación se llevó a cabo las cosechas correspondientes a cada etapa de cada circuito, obteniéndose un total de 16 cosechas.

### 6.2. Datos meteorológicos

Desde mediados de la gestión 2010 en la localidad de Tauca se cuenta con una estación meteorológica en la cual se registra los parámetros de temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad de vientos, precipitación pluvial y radiación solar.

Entre los datos más relevantes registrados a la fecha se tienen vientos que alcanzaron los 56.43 Km/h, además de temperaturas



*Piscinas a escala laboratorio en Salar de Coipasa*

que descendieron a los  $-12^{\circ}\text{C}$  y contrariamente a este se alcanzó temperaturas de  $25^{\circ}\text{C}$  resaltando que en septiembre se continuo con temperaturas muy bajas que llegaron hasta los  $-9^{\circ}\text{C}$ . La radiación máxima que se presentó en la estación de Tauca alcanzo a  $1.41 \text{ Kw/m}^2$  un valor mucho mayor a la máxima alcanzada la pasada gestión.

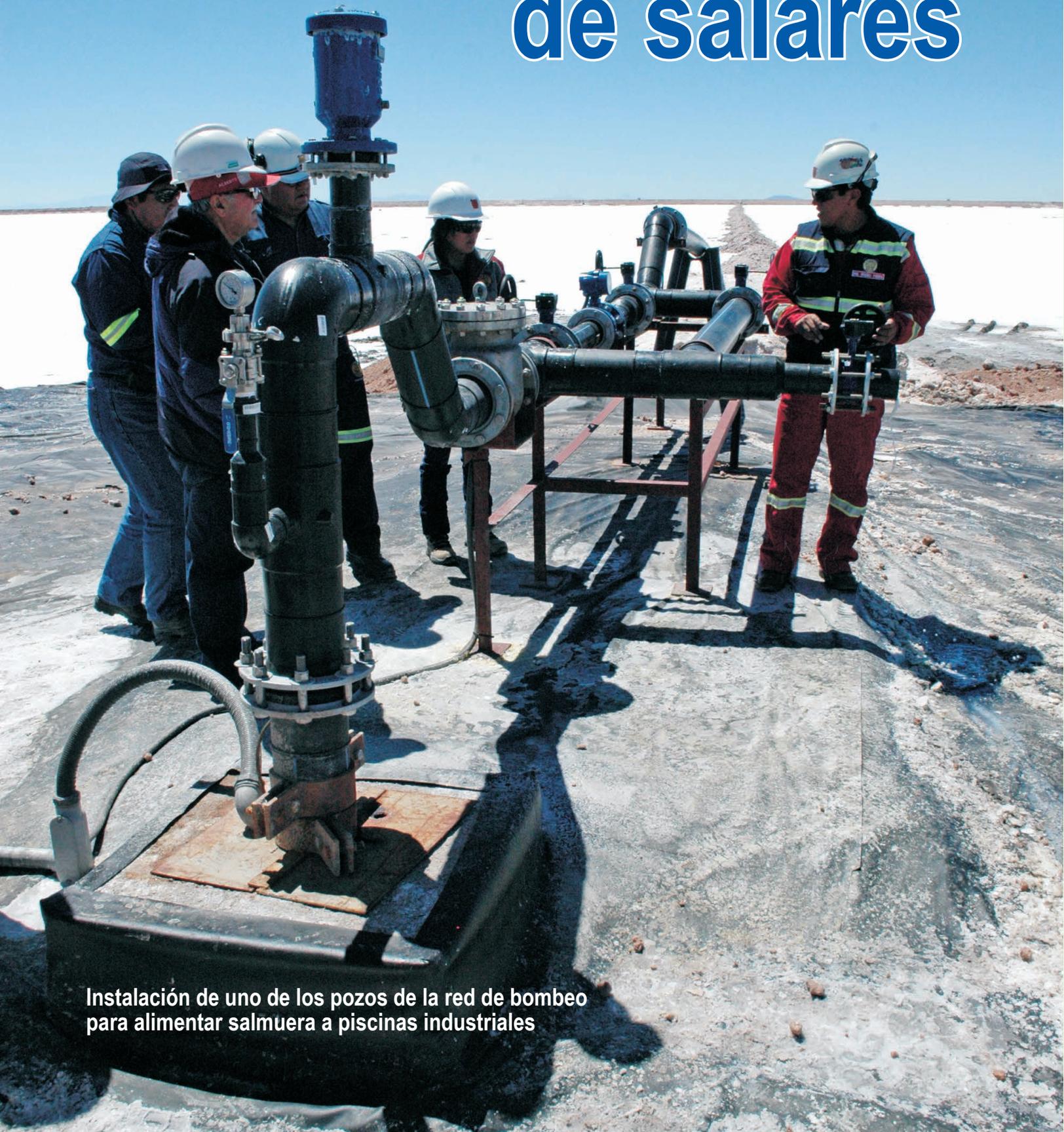
## **7. UNIDAD DE LABORATORIO - ESTACIÓN EXPERIMENTAL**

### **7.1. Investigación y desarrollo de métodos analíticos alternativos**

En la presente gestión se realizó la designación de los siguientes trabajos al personal de laboratorio:

- Estudio para la implementación del método por volumetría
- Estudio para la implementación del método potenciómetro
- Estudio para la implementación del método potenciómetro para la determinación de cloruros
- Estudio de las interferencias en el equipo de Absorción Atómica.

# Geología de salares



Instalación de uno de los pozos de la red de bombeo para alimentar salmuera a piscinas industriales

# 1. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA EN EL SALAR DE UYUNI

En base a estudios realizados anteriormente y considerando la revisión bibliográfica previa que se ha hecho del Salar de Uyuni, los cuales muestran la presencia de altas concentraciones de elementos químicos de interés económico, la GNRE mediante la Dirección de Geología de Salares ha diseñado el Plan de Exploración Geológica para el Salar de Uyuni, el cual consta de las siguientes actividades y avances:

## 1.1. Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del Salar de Uyuni

Se tiene concluido el Estudio Hidrogeoquímico para el Salar de Uyuni, como resultado se tienen elaborados los informes de las siguientes cuencas:

- Cuenca Río Grande de Lipez
- Cuenca de Río Colorado
- Cuenca Calcha K
- Cuencas Kollpa Mayu Llica – Champa Unu

Estos estudios tienen como finalidad determinar un modelo que permita caracterizar desde el punto de vista hidrogeoquímico toda la cuenca del Salar de Uyuni, a partir del análisis de muestras de aguas superficiales, subterráneas y sedimentos de corriente, con la aplicación de métodos técnicos y científicos para la validación de resultados. La Cuenca del Salar de Uyuni se enmarca políticamente en el departamento de Potosí ocupando el sector sud y sudoeste donde la mayoría de las subcuencas se desarrollan, mientras que en el sector norte de la cuenca se encuentra en el departamento de Oruro donde solo se desarrolla una subcuenca.

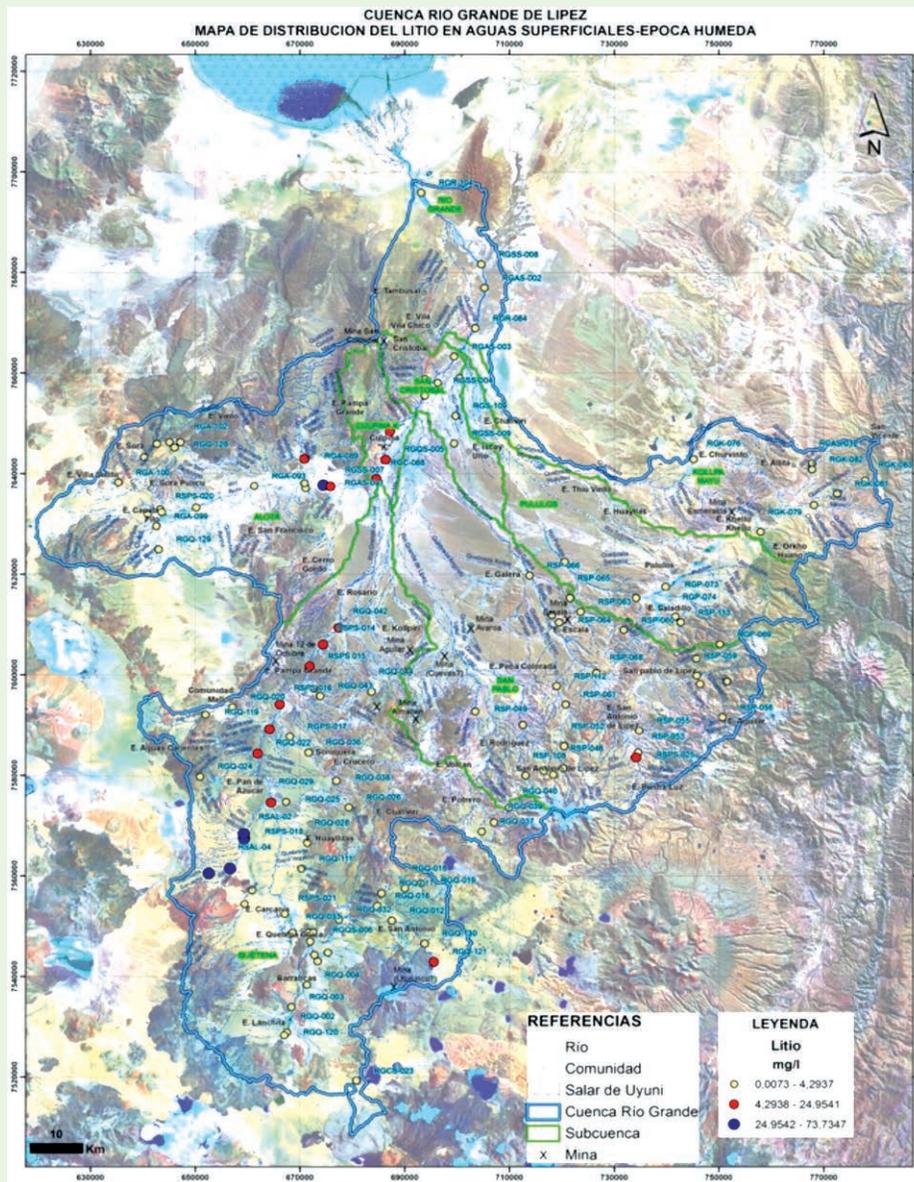
A continuación se detalla el total de muestras obtenidas por cuencas, cabe hacer notar que se hizo mayor énfasis en la cuenca del Río Grande (muestreo en época seca y húmeda) debido a que esta cuenca se constituye en el principal aporte del Salar de Uyuni.

Además de determinar las fuentes de origen del Litio y otros elementos, también se planteó la necesidad de identificar

## Muestreo de Aguas Superficiales, Subterráneas y Sedimentos de Corriente

SUBCUENCA	EPOCA		ANALISIS DE AGUAS		SEDIMENTOS DE CORRIENTE	AÑO
	HUMEDA	SECA	SUPERFICIALES	SUBTERRÁNEAS		
RIO GRANDE	X		106	25		2013
RIO GRANDE		X	106	25	106	2014
<b>TOTAL</b>			<b>212</b>	<b>50</b>	<b>106</b>	

SUBCUENCA	ANALISIS DE AGUAS		SEDIMENTOS DE CORRIENTE	AÑO
	SUPERFICIALES	SUBTERRÁNEAS		
RIO CALCHA K	45	5	45	2014
RIO COLORADO	45	15	55	2014
LICA	45	15	55	2014
<b>TOTAL</b>	<b>135</b>	<b>35</b>	<b>155</b>	



fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas para su uso durante la actividad industrial. Los informes fueron elaborados durante el año 2015 con datos de la gestiones 2013 y 2014, además de los informes, se tienen mapas

geoquímicos de los diferentes elementos para cada una de las subcuencas del Salar de Uyuni, en estas muestras se realizaron análisis multielementales y fisico-químicos de acuerdo al siguiente detalle:

### Análisis Físico-químicos de aguas Superficiales y Subterráneas

Nº	DETALLE	Nº	DETALLE
1	pH	15	Nitritos NO <sub>2</sub> -
2	Conductividad	16	Cromo VI
3	Temperatura	17	N- Amoniaco NH <sub>4</sub>
4	Color	18	Cianuro libre
5	Turbidez	19	Fosfato
6	Sólidos Disueltos Totales	20	Fluoruro F-
7	Sólidos Suspendedos Totales	21	DBO5 (excepto aguas subt.)
8	Sólidos Totales	22	DQO (excepto aguas subt.)
9	Sólidos Sedimentables	23	CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>
10	Alcalinidad	24	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
11	Dureza total	25	OH-
12	Cloruros Cl-	26	Coliformes Fecales
13	Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	27	Parásitos
14	Nitratos NO <sub>3</sub> -		

### Análisis Multielemental de aguas y Sedimentos de Corriente

TIPO DE MUESTRA	TOTAL ELEMENTOS ANALIZADOS	ELEMENTOS ANALIZADOS
Aguas Superficiales	38	Li-Be-Na-Mg-Al-Si-K-Ca-Ti-V-Cr-Mn-Fe-Co-Ni-Cu-Zn-As-Se-Sr-Zr-Mo-S-Ag-Cd-Sn-Sb-Te-Ba-Ce-W-Tl-Pb-Bi-U-P-Hg-B
Aguas Subterráneas	38	Li-Be-Na-Mg-Al-Si-K-Ca-Ti-V-Cr-Mn-Fe-Co-Ni-Cu-Zn-As-Se-Sr-Zr-Mo-S-Ag-Cd-Sn-Sb-Te-Ba-Ce-W-Tl-Pb-Bi-U-P-Hg-B
Sedimentos de Corriente	48	Ag-Al-As-Ba-Be-Bi-Ca-Cd-Ce-Co-Cr-Cs-Cu-Fe-Ga-Ge-Hf-In-K-La-Li-Mg-Mn-Mo-Na-Nb-Ni-P-Pb-Rb-Re-S-Sb-Sc-Se-Sn-Sr-Ta-Te-Th-Ti-Tl-U-V-W-Y-Zn-Zr

Con el fin de dar continuidad a los estudios realizados y tener un control actualizado de la cuenca, se viene ejecutando un monitoreo mensual de la desembocadura del Río Grande hacia el Salar de Uyuni, se tienen datos mensuales de la gestiones 2013, 2014, 2015 y 2016.

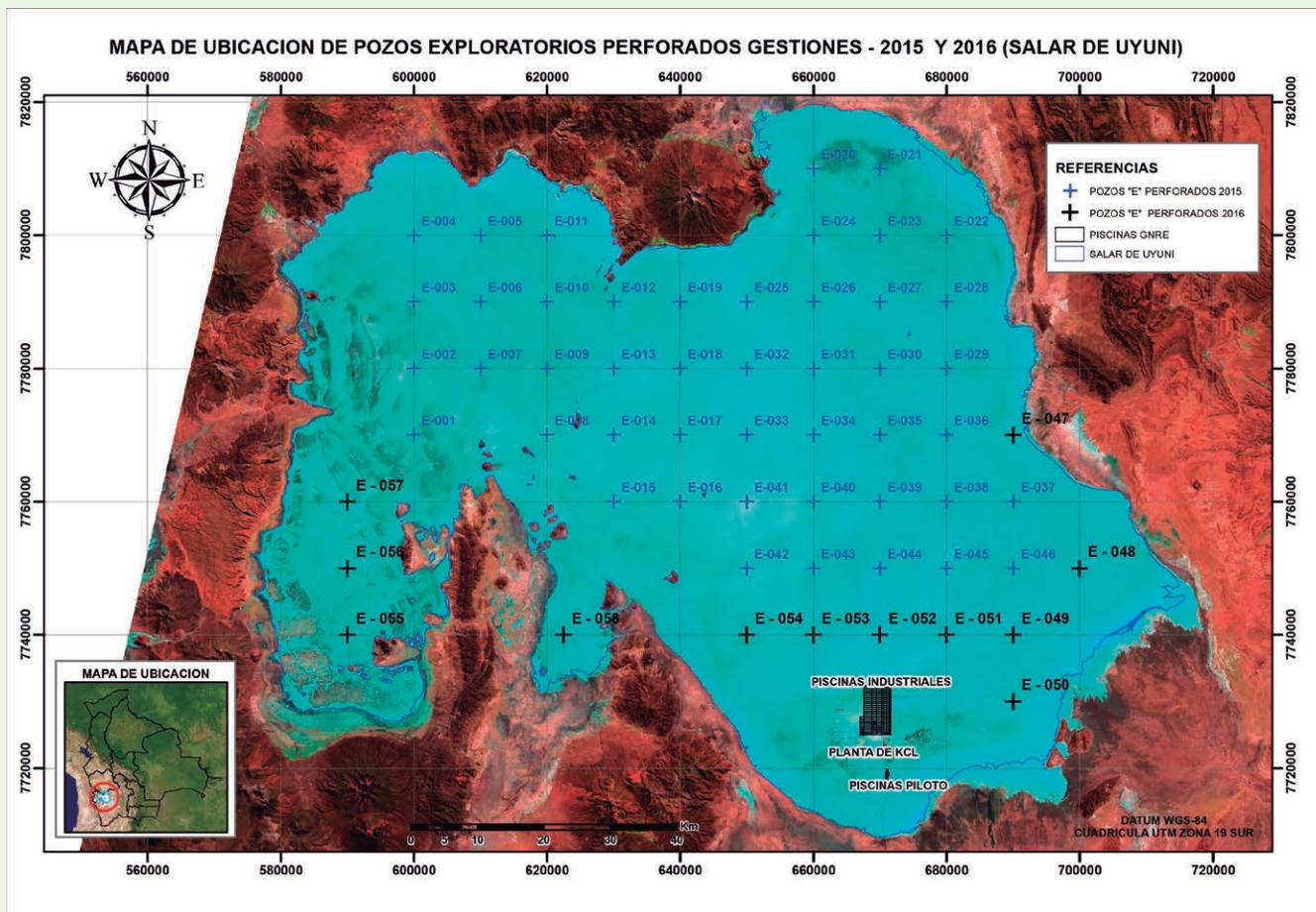
*Trabajo de monitoreo mensual del Río Grande de Lipez en la desembocadura del delta del Salar de Uyuni*



## 1.2. Estudio de la costra superficial y semiprofunda del Salar de Uyuni

### 1.2.1. Estudio Geológico

El año 2016 se ha completado el estudio del Salar de Uyuni a escala regional, mediante un programa de perforación de pozos distribuidos en una malla de 10x10 Km en todo el Salar de Uyuni, se tiene un total de 3680 m perforados, distribuidos en 64 pozos con una profundidad de 50 m, dentro de este trabajo es de resaltar como hito inédito importante, la perforación de un pozo profundo (E-036), el cual alcanzó la profundidad de 460 m, habiendo alcanzado a tocar el fondo de lo que se cree es el borde de la cuenca y un pozo semi profundo (E-047), que alcanzó una profundidad de 120 m, con el fin de correlacionar el borde de la cuenca con la información del pozo E-036.

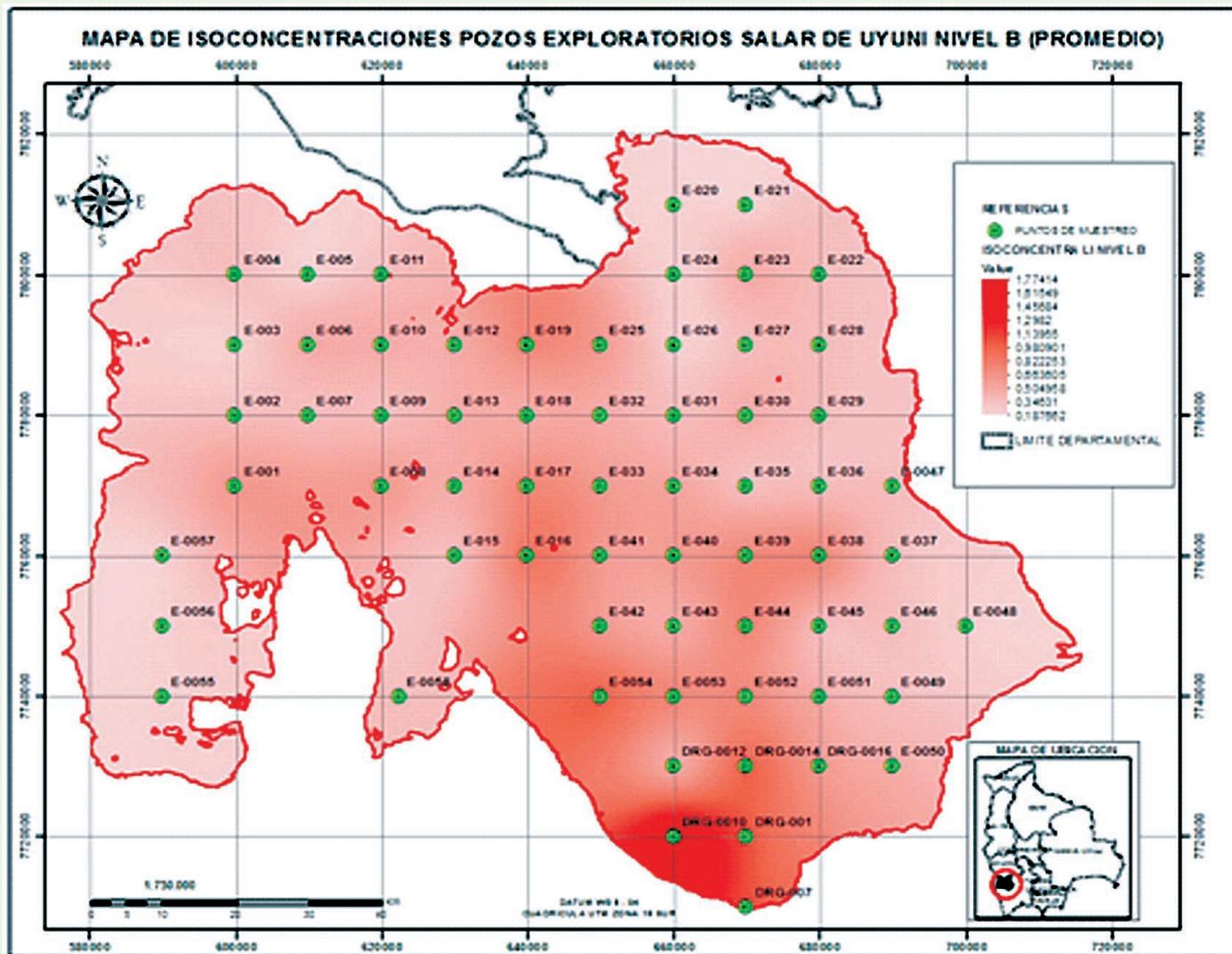


Resumen de pozos a diamantina ejecutados en el Salar de Uyuni (malla 10x10 Km)

Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	profundidad	Total Metros	Año
DRG-000	Exploratorios	6	50 m	300	2014
E-001 al E-035	Exploratorios	35	50 m	1750	2015
E-036	Exploratorio	1	460 m	460	2015
E-037 al E-046	Exploratorios	10	50 m	500	2015
E-047	Exploratorio	1	120 m	120	2016
E-048 al E-058	Exploratorios	11	50 m	550	2016
<b>TOTALES</b>		<b>64</b>		<b>3680</b>	

### 1.2.2. Estudio Geoquímico

Durante la perforación se tomaron muestras de salmuera, en cada pozo se han muestreado 3 horizontes, la costra superficial (hasta 5 m), la segunda capa (entre 35 y 50 m) y el promedio de los 50 m, en base a este muestreo se ejecutó el análisis geo-estadístico para la determinación de las zonas de mejor concentración los cuales son representados en mapas de iso-concentraciones para cada uno de los elementos analizados, confirmándose en estos que el sector con mejores concentraciones es la desembocadura del Río Grande.



### 1.3. Estudio del sector sud del Salar de Uyuni

Considerando que el sector sud del Salar de Uyuni corresponde a la desembocadura del Río Grande y por ende el sector que presenta las mejores concentraciones de los elementos de interés, la GNRE ha realizado actividades con mayor detalle en este sector, tanto las actividades como los avances, son descritos a continuación:

#### 1.3.1. Perforación de pozos exploratorios a diamantina

Inicialmente se perforó un total de 1500 m a diamantina distribuidos en 18 pozos con fines geotécnicos y exploratorios en el sector de las piscinas industriales, se obtuvieron muestras de testigo físicas (cores), las cuales ayudaron a conocer y determinar las características de la litología del subsuelo del Salar, la distribución del metraje en esta etapa fue la siguiente:

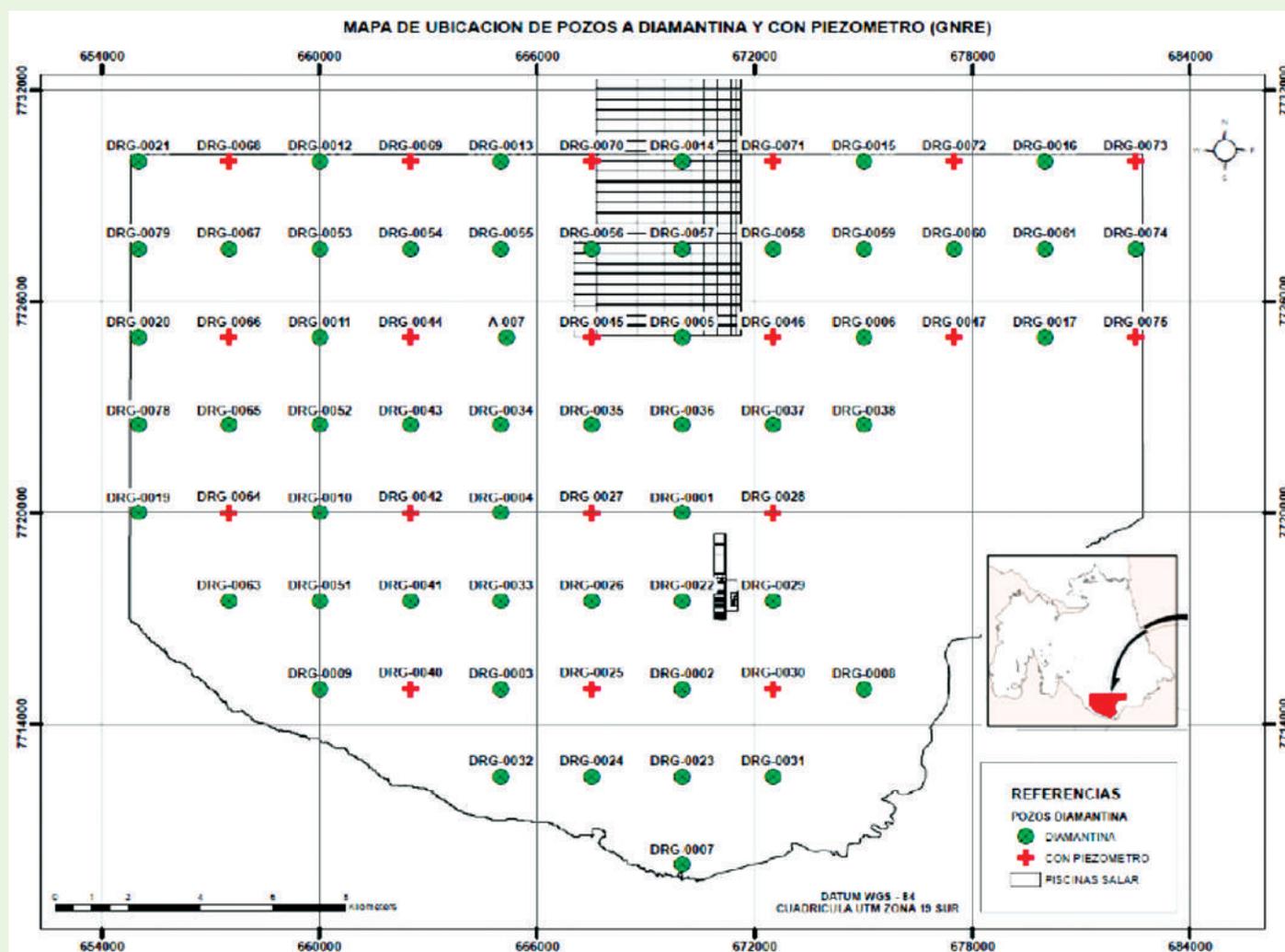
Resumen de pozos a diamantina ejecutados en la etapa inicial de exploración (Sector de piscinas industriales)

Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	profundidad	Total Metros	Año
ERCOSPLAN	Geotécnicos	9	Hasta 34 m	130	2013
D-000	Exploratorios	9	Hasta 155 m	1370	2013
<b>TOTALES</b>		<b>18</b>		<b>1500</b>	

Posteriormente, en concordancia con el programa de perforación elaborado por la Dirección de Geología de Salares, se perforaron 72 pozos exploratorios en el sector Sud del Salar de Uyuni. Según estudios realizados anteriormente, se conoce que en el área perforada se encuentran salmueras con mejores concentraciones en Li, K, Ca, Na y otros. En base a esto, se tiene un total de 3595 m perforados para este fin, la malla de muestreo empleada corresponde a 2,5x2,5 Km.

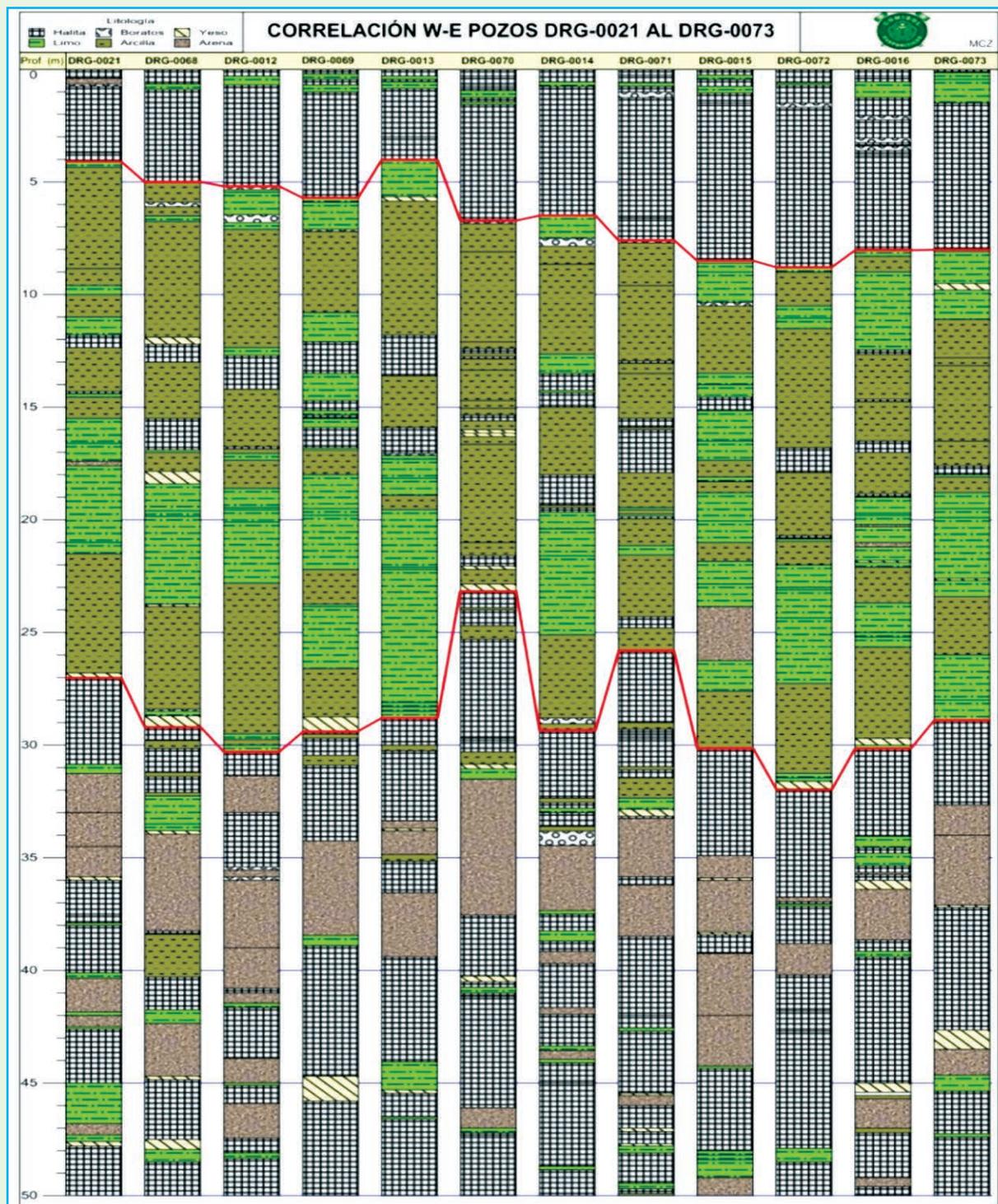
Resumen de pozos a diamantina ejecutados (Sector de la desembocadura del Río Grande)

Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	profundidad	Total Metros	Año
A-007	Exploratorio	1	45 m	45	2013
DRG-000	Exploratorios	47	50 m	2350	2014
DRG-000	Monitoreo	19	50 m	950	2014
DRG-000	Exploratorios	5	50 m	250	2015
<b>TOTALES</b>		<b>72</b>		<b>3595</b>	

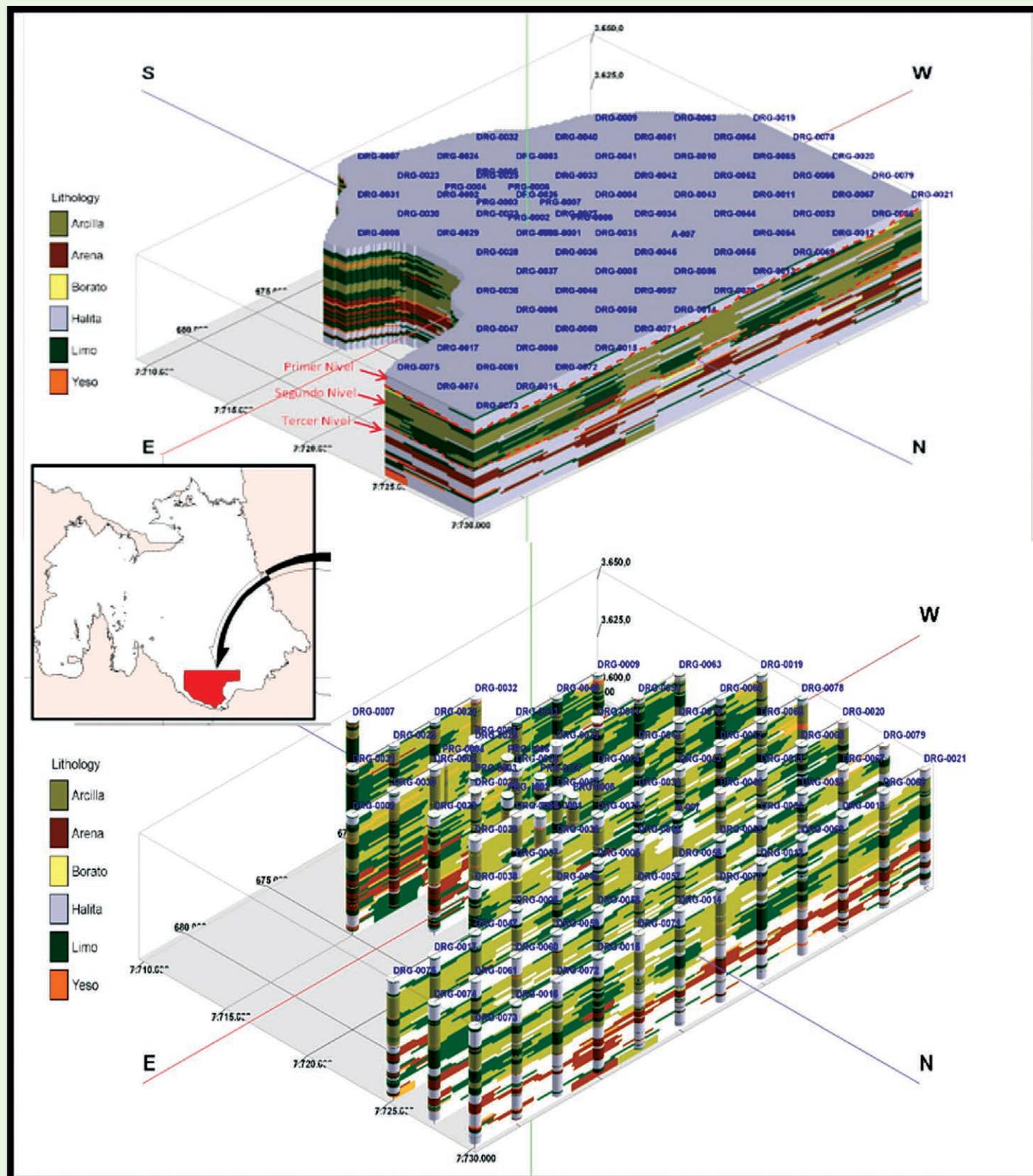


Dentro del lote de 72 pozos se tienen 19 pozos con piezómetro, cuya finalidad es la de realizar el monitoreo respectivo de los niveles de salmuera, como también puede tomarse para controlar la variación de las concentraciones en función del tiempo, el entubado de estos pozos fue realizado con tubería PVC E40 de 2 pulgadas de diámetro entre ciega y ranurada con slot de 1mm y sin empaque de grava.

La perforación de los pozos exploratorios fue realizada por el método de sondajes diamantinos a fin de obtener testigos (cores) de perforación que son fundamentales para el reconocimiento del comportamiento litológico del subsuelo de salar. Los 72 taladros a diamantina tienen una profundidad general de 50 metros, que en conjunto alcanzan un total de 3595 metros perforados.

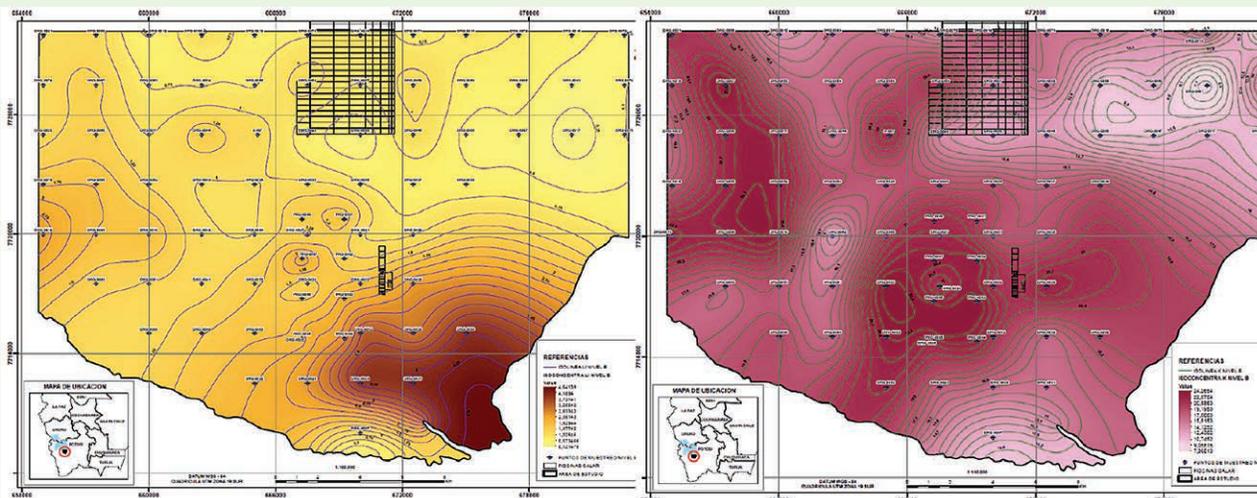


En base a los testigos de perforación se pudo identificar tres niveles litológicos bien definidos, información con la que se elaboraron las columnas estratigráficas para observar el grado de correlación litológica de un pozo a otro, posteriormente se elaboró un modelo litológico en bloque 3D en el software Rock Works 16, con el que se logra visualizar los tres niveles litológicos claramente diferenciados, obteniéndose de esta forma el comportamiento geológico del subsuelo para el área de pozos perforados.



Por otra parte se hace mención que durante la perforación a diamantina se recolectaron 3 muestras (Muestra A: en la parte superficial. Muestra B: al tope) de salmuera de cada pozo perforado, las que fueron analizadas en el laboratorio químico de la Planta Llipi, revisados los resultados, se pudo establecer que las mejores concentraciones se encuentran al sudeste de la área perforada. Del mismo modo se establece que no existe un comportamiento regular de las salmueras de un nivel a otro.

Mapas de Isoconcentraciones de Li y K del nivel B promedio (2 – 50)



1.3.2. Perforación de pozos exploratorios a circulación directa

En base a los pozos de diamantina se realizó el modelaje de la cuenca, habiéndose determinado diferentes capas y horizontes que conforman el subsuelo de la costra salina, sin embargo, era necesario determinar los caudales potenciales de los diferentes niveles portadores de salmuera identificados con la perforación a diamantina, por lo cual durante los años 2012 y 2013 se perforaron un total de 1392 m a circulación directa con fines exploratorios, estos pozos además de proporcionar datos de caudales también proporcionaron composición de la salmuera a diferentes profundidades, en esta etapa se ejecutaron pruebas hidráulicas y ensayos con diferentes filtros y diseños de pozo, los cuales posteriormente sirvieron para determinar la construcción de los pozos productivos.

Resumen de pozos exploratorios a circulación directa ejecutados (Sector de las piscinas industriales y semi-industriales)

Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	profundidad	Total Metros	Año
RGE-000	Exploratorios	5	Hasta 84 m	404	2012
A-000	Exploratorios	12	Hasta 50 m	598	2013
B-000	Exploratorios	1	90 m	90	2013
C-000	Exploratorios	2	150 m	300	2013
<b>TOTALES</b>		<b>20</b>		<b>1392</b>	

1.3.3. Perforación de pozos productivos a circulación directa

Inicialmente, el año 2013, se perforó un total de 400 m a circulación directa, distribuidos en 8 pozos productivos (P-001 al P-008), los cuales se perforaron en el sector de las piscinas industriales con el fin de que sirvan de apoyo en la etapa industrial para aumentar el caudal en las etapas de mayor requerimiento, también servirán para formar el cover de las piscinas durante su construcción.

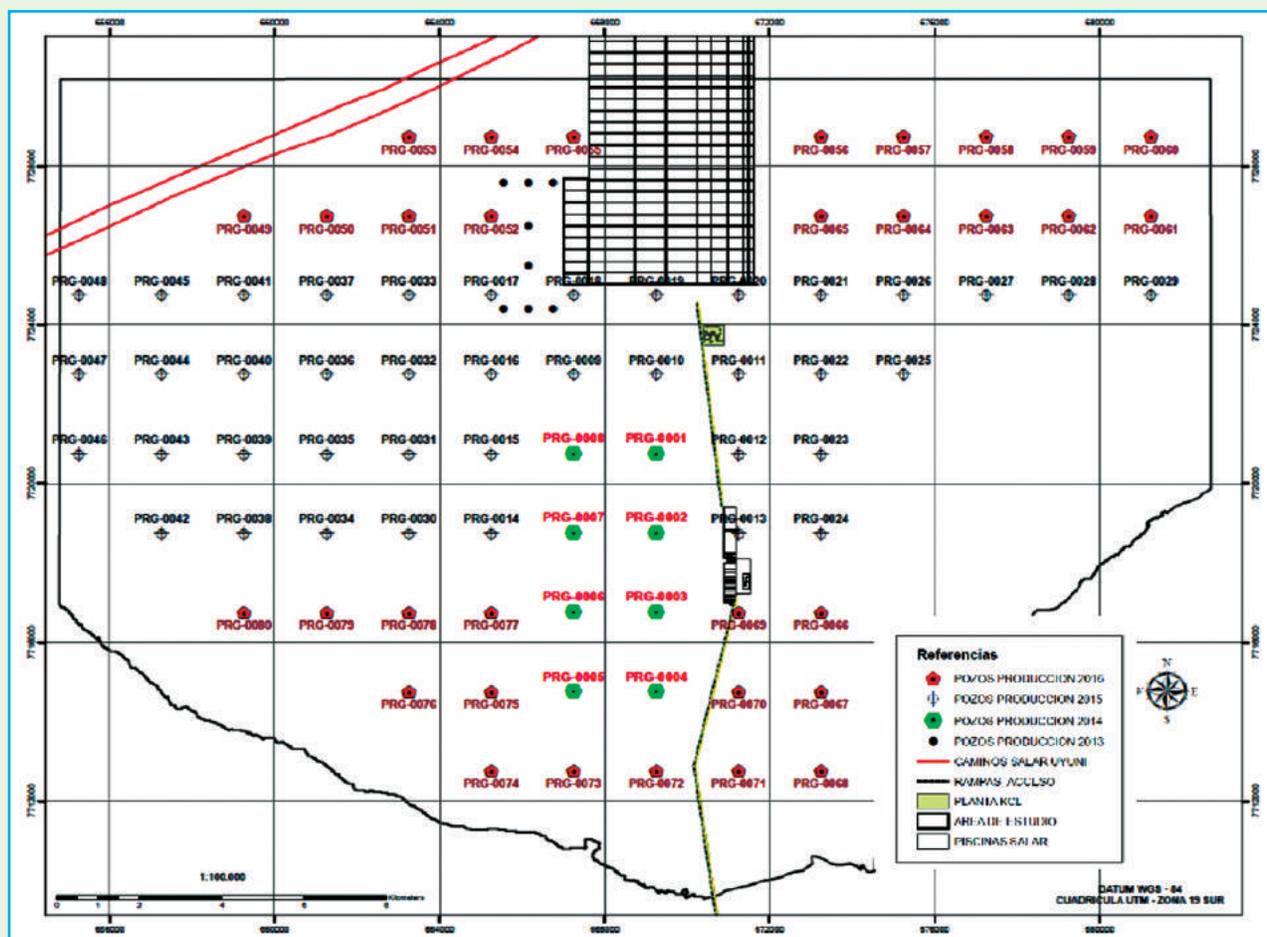
Siguiendo el programa de perforación proyectado por la Dirección de Geología de la GNRE, durante los años 2014, 2015 y 2016, se perforaron pozos destinados a la

producción, en el sector sur del Salar de Uyuni cerca al delta del Rio Grande. Los pozos denominados "PRG" (Producción Rio Grande) se perforaron a una profundidad de 50 metros; en subsuelo se encontró una vasta secuencia estratigráfica que para fines de estudio fue agrupada y generalizada en una columna con tres unidades claramente diferenciadas; la primera, aproximadamente hasta los 6 metros constituida por la costra salina, la segunda infrayacente, constituida por un espeso banco de pelitas (limos y arcillas) con delgadas capas intermedias de halita (hasta los 27 a 30 m) y hacia el fondo del pozo (50 m) una alternancia de arenas, limos y halitas.

El proceso de perforación y construcción de los pozos de producción pasó por varias etapas; inicialmente se perforó sondaje diamantino a fin de obtener testigos de perforación que son fundamentales para el conocimiento de la estratigrafía del subsuelo que define el diseño para la construcción del pozo, en seguida se perforó el pozo piloto en 8½" y se culminó el ensanche de pozo en diámetro 12¼". Una vez concluida la perforación se procedió al encamisado del pozo de acuerdo a diseño, con tubería lisa en tramos impermeables y ranurada en los niveles considerados productores, habilitando así los pozos de producción; adicionalmente se realizaron trabajos de desarrollo de pozo (lavado y compresorado). Después de cierto tiempo, se procedió a realizar las pruebas de bombeo y recuperación que determinaron los parámetros hidráulicos de los pozos, los caudales de los pozos sometidos a bombeo, tienen un caudal medio de 20 l/s.

Se recolectaron 5 muestras de salmuera por cada pozo, las tres primeras (A,B,C) durante la perforación diamantina, otra al finalizar el desarrollo (Air Lift) y la última a la conclusión de las pruebas de bombeo, las muestras fueron analizadas en laboratorio de la planta Llpi por Li, Mg, K, Na, Ca, SO4 y Cl.

Mapa de ubicación de pozos de producción perforados (2014 al 2016)



## Resumen de pozos productivos a circulación directa ejecutados (Sector de la desembocadura del Río Grande)

Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	profundidad	Total Metros	Año
P-001 al P-008	Productivos	8	50 m	400	2013
PRG-001 al PRG-008	Productivos	8	50 m	400	2014
PRG-009 al PRG-048	Productivos	40	50 m	2000	2015
PRG-049 al PRG-080	Productivos	32	50 m	1600	2016
<b>TOTALES</b>		<b>88</b>		<b>4400</b>	

### 1.4. Levantamiento Geofísico (Tomografías de Resistividad y SEV)

Durante el año 2013 se realizó el “Estudio geofísico, para generar un modelo preliminar para la ejecución de pozos de exploración, en el sector de Río Grande del Salar de Uyuni” como parte de este estudio se realizaron diferentes estudios geofísicos:

- Estudio Sísmico en base al método de Refracción (RS).
- Estudio de resistividad en base al método de Tomografía Vertical Geoelectrica (TVG)
- Estudio electromagnético en base al método de Very Low Frequency (VLF).

De todos estos estudios, el que mejores resultados mostró fue el de Tomografía Vertical Geoelectrica, cuyos resultados permitieron la sugerencia de algunos pozos exploratorios.

Durante el año 2014 y en base a los resultados obtenidos se realizaron algunas pruebas para ejecutar estudios de resistividad a mayor detalle en sectores determinados, obteniéndose pseudosecciones con diferentes resistividades del subsuelo atravesado, también se realizaron comparaciones de la información geoelectrica con la información litológica de algunos pozos, para obtener la interpretación geológica del sector prospectado.

En base a estos resultados durante el año 2015, se realizó un levantamiento geofísico con el uso de este método geoelectrico con el fin de obtener una relación entre los sedimentos y la salmuera, definir los valores de resistividad de la salmuera en los diferentes sedimentos, determinar la profundidad y continuidad de la salmuera, comprobar la relación: valores de resistividad versus estratificación. En total se realizaron cuatro líneas de tomografías de resistividad y 11 lecturas puntuales de SEV.

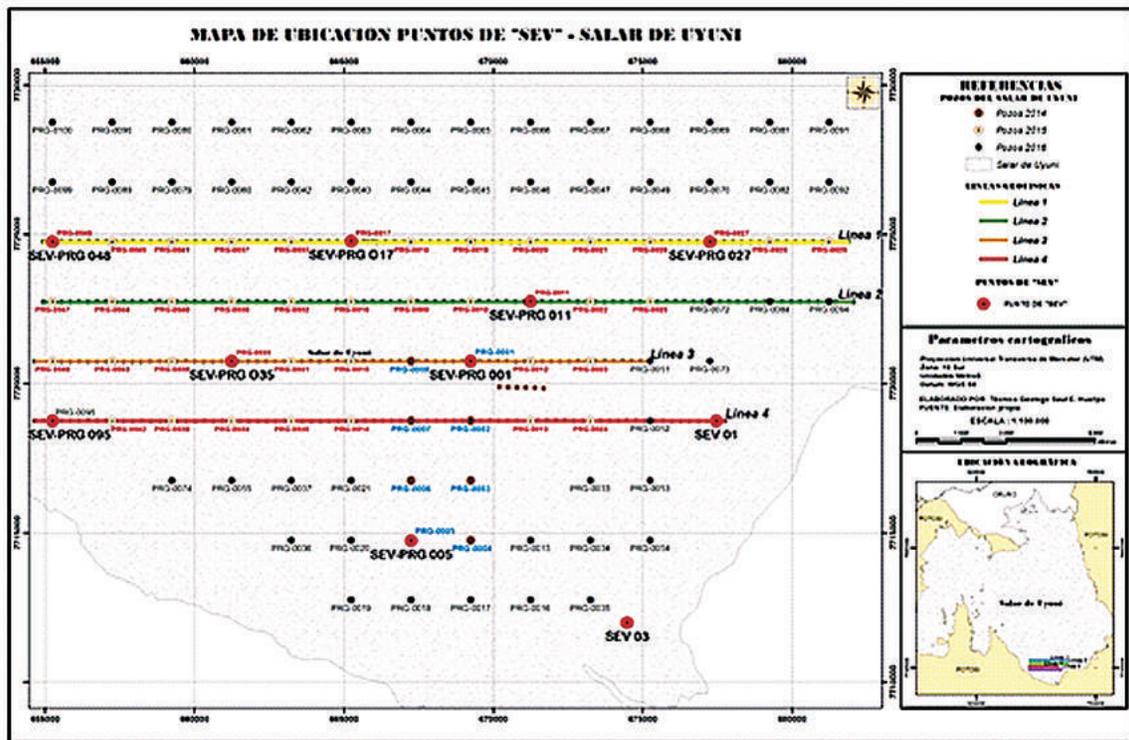
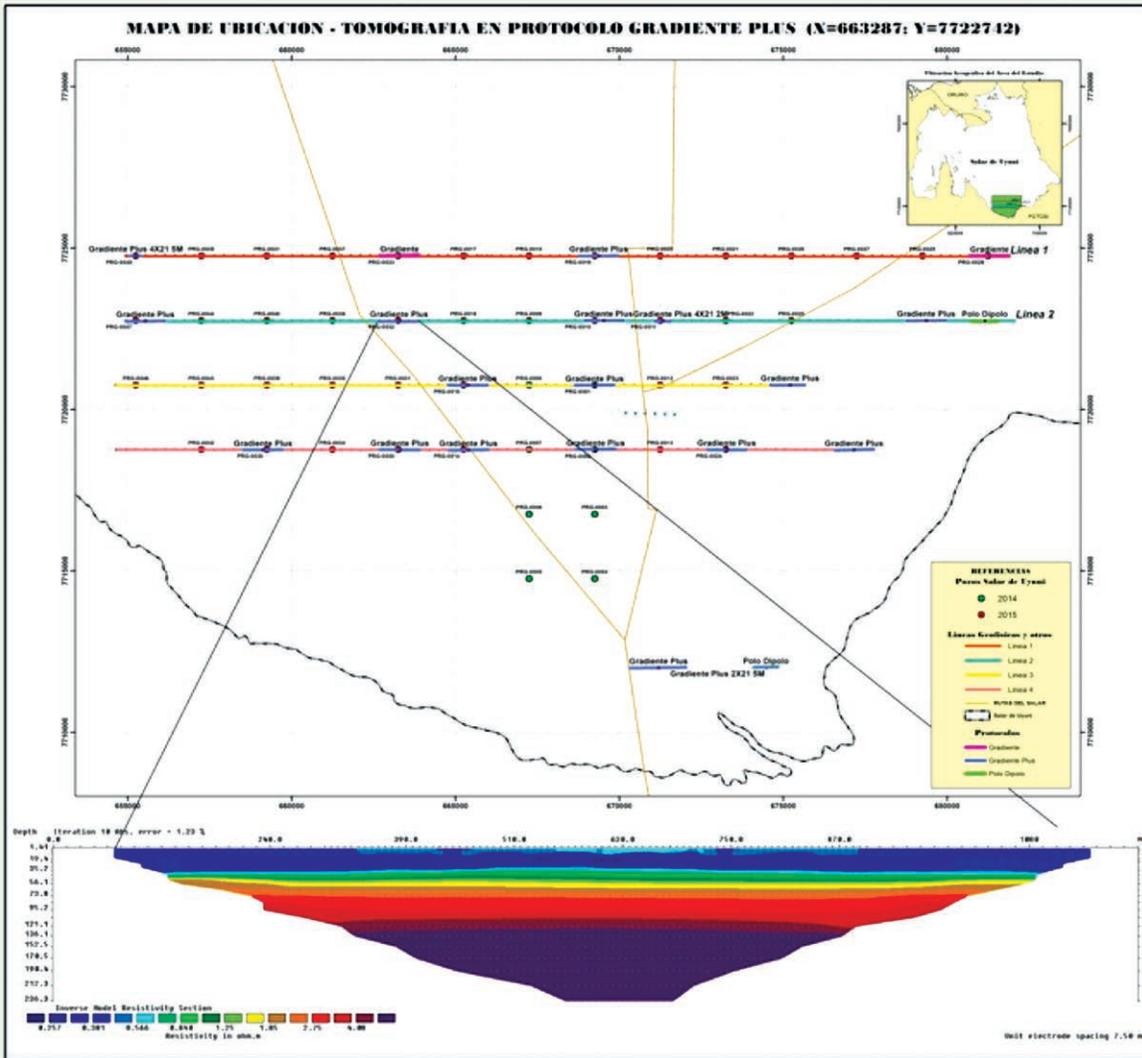
Estos datos fueron procesados durante el año 2016, obteniéndose como resultado un modelo geo eléctrico generalizado del Salar de Uyuni, el cual sirve de base para la programación de perforaciones y cálculo de reservas.



Instalación de pozo productivo para el bombeo de salmuera

Levantamiento geofísico en el Salar de Uyuni





## 2. EXPLORACION GEOLOGICA EN EL SALAR DE COIPASA

En base a estudios realizados anteriormente y considerando la revisión bibliográfica previa que se ha hecho del Salar de Coipasa, los cuales muestran la presencia de altas concentraciones de elementos químicos de interés económico, la GNRE mediante la Dirección de Geología de Salares ha diseñado el Plan de Exploración Geológica para el Salar de Coipasa, el cual consta de las siguientes actividades y avances:

### 2.1. Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del Salar de Coipasa

Se tiene concluido el Informe Hidrogeoquímico de la cuenca del Salar de Coipasa, el cual tiene como finalidad determinar el quimismo de los principales afluentes relacionados al Salar de Coipasa (ríos y vertientes), mediante la utilización de parámetros físico-químicos y análisis químico tanto para aguas superficiales como para aguas subterráneas a la vez se complementa este estudio mediante datos obtenidos a partir de sedimentos de corriente. La cuenca del Salar de Coipasa se enmarca políticamente en el departamento de Oruro ocupando el sector oeste donde la mayoría de las subcuencas se desarrollan, mientras que en el sector sur de la cuenca se encuentra en el departamento de Potosí donde solo se desarrolla una subcuenca.

El muestreo y las actividades de campo se las realizó en dos campañas, la primera en los meses de mayo y abril del 2014, la segunda durante los meses de septiembre y octubre del mismo año. De acuerdo al cronograma establecido y como resultados del trabajo de campo en ambas campañas se obtiene la siguiente tabla donde se muestra el resumen de las muestras obtenidas.

Muestras	Primera campaña	Segunda campaña	Total muestras
Aguas superficiales	100	60	160
Aguas subterráneas	25	20	45
Sedimentos de corriente	100	60	160

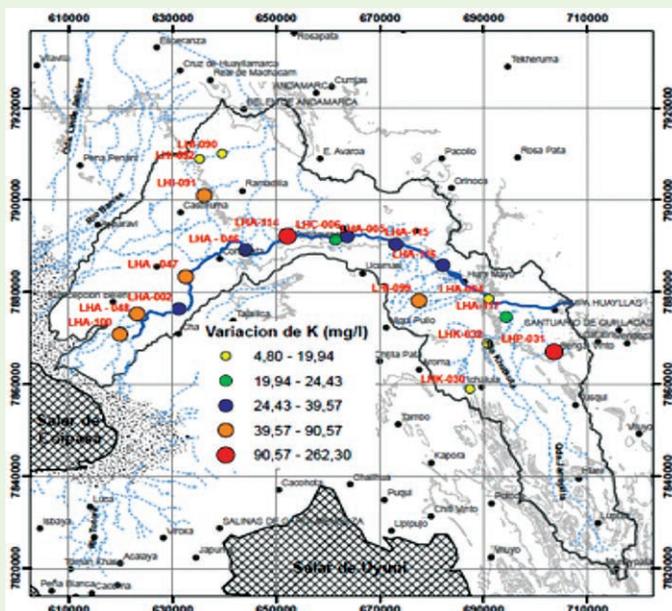
Resumen general de las muestras obtenidas en la Cuenca del Salar de Coipasa



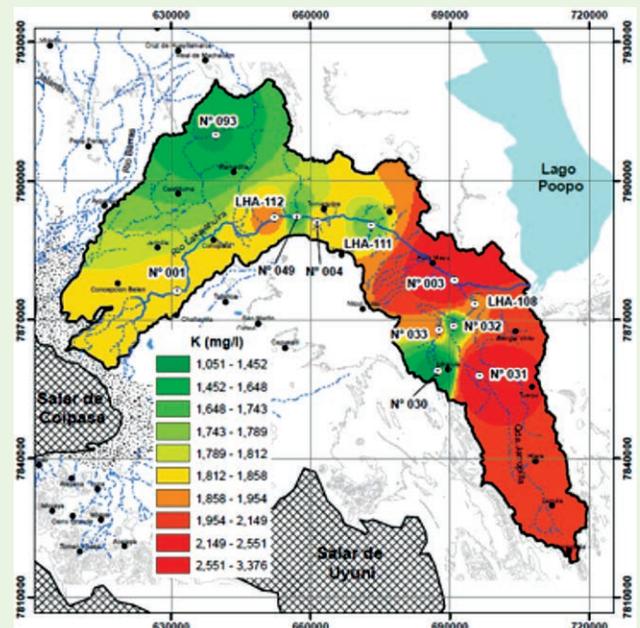
Río Lakajahuira, monitoreo mensual



Cuenca del Salar de Coipasa Subcuenca Lakajahuira



Mapa de distribución de Potasio en la subcuenca Lakajahuira, en aguas superficiales del Salar de Coipasa



Mapa de distribución de Potasio en la subcuenca Lakajahuira, en sedimentos de corriente

Los afluentes principales corresponden a ríos que presentan caudales constantes durante todo el año, en función a las concentraciones que presentan, el Río Lakajahuira presenta las mayores concentraciones de iones disueltos seguidos por los ríos Lauca y Sabaya.

Respecto a los aportes hacia el Salar de Coipasa el Río Lauca presenta el mayor aporte de iones disueltos al Salar de Coipasa seguidos por los ríos Lakajahuira y Sabaya, debido a los caudales altos que presenta el Río Lauca.

Con el fin de dar continuidad a estos estudios se viene realizando un monitoreo mensual de los principales afluentes del Salar de Coipasa principalmente de los ríos Lauca, Sabaya (cuenca Todos Santos) y Lakajahuira, durante estos monitoreos se toman muestras de agua y se realizan mediciones del caudal.

## 2.2. Estudio de la costra superficial del Salar de Coipasa

### 2.2.1. Mapeo de la Costra Superficial del Salar de Coipasa

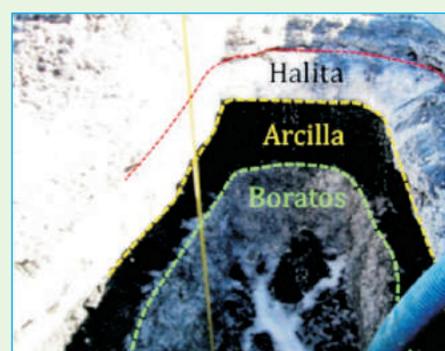
Este mapeo se realizó durante los años 2013 y 2014 con la finalidad de conocer la variabilidad del espesor de la capa de Halita superficial en diferentes zonas del salar, tiene el objetivo de conocer la estructura de la costra superficial, así mismo determinar el centro de mayor deposición de las sales presentes en la cuenca evaporítica, para este fin en una malla regular de 2x2 Km en todo el salar y 1x1 Km en la parte este, se registraron los espesores de la costra superficial mediante la descripción estratigráfica en cada punto.

### 2.2.2. Muestreo Geoquímico de la Salmuera Superficial del Salar de Coipasa

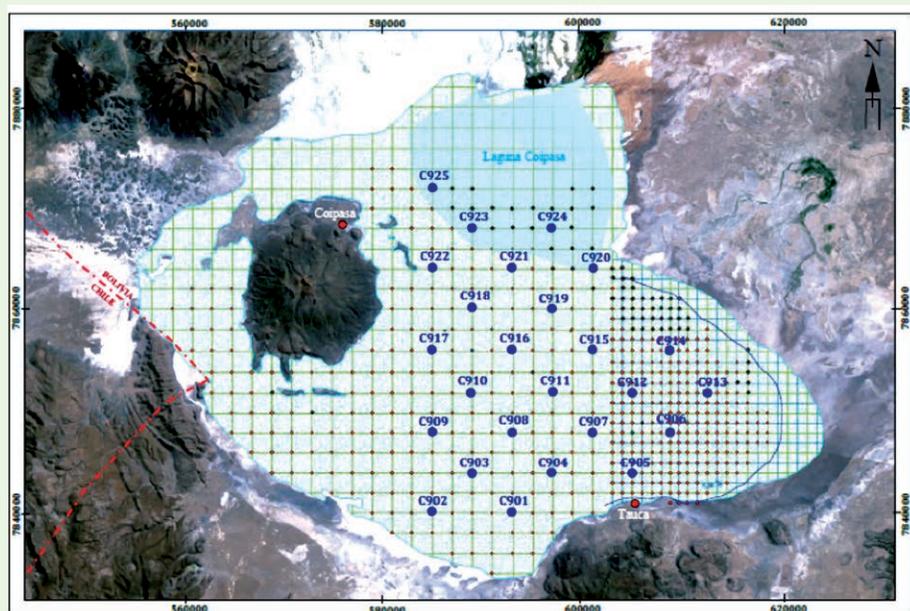
De forma paralela al mapeo de la costra superficial se realizó el muestreo sistemático de la salmuera superficial del Salar de Coipasa, en una malla de 1x1 Km en la zona de mayor concentración y una grilla de 2x2 Km en el resto del Salar, con el objetivo de obtener mapas de Iso-concentraciones para los iones de importancia y estadísticos como también determinar el tipo de salmuera presente, posteriormente se realizó un re-muestreo en una malla de 8 x 8 Km, para ver las variaciones temporales de las concentraciones.



Mapeo de la costra superficial en el Salar de Coipasa



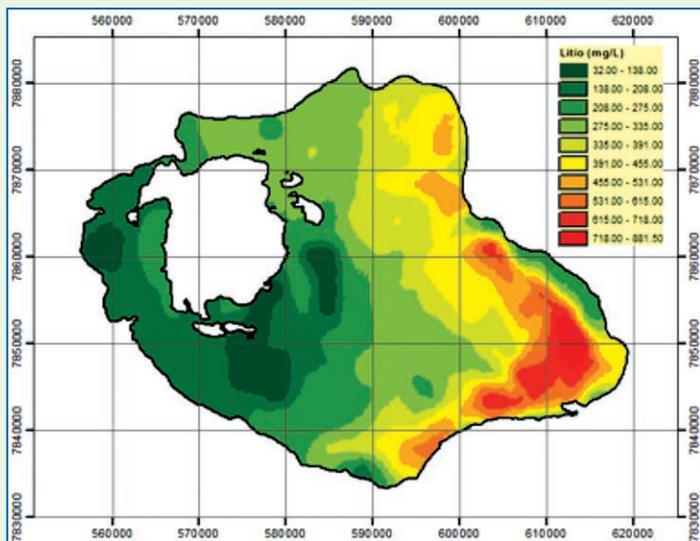
Perfil de la costra superficial del Salar de Coipasa



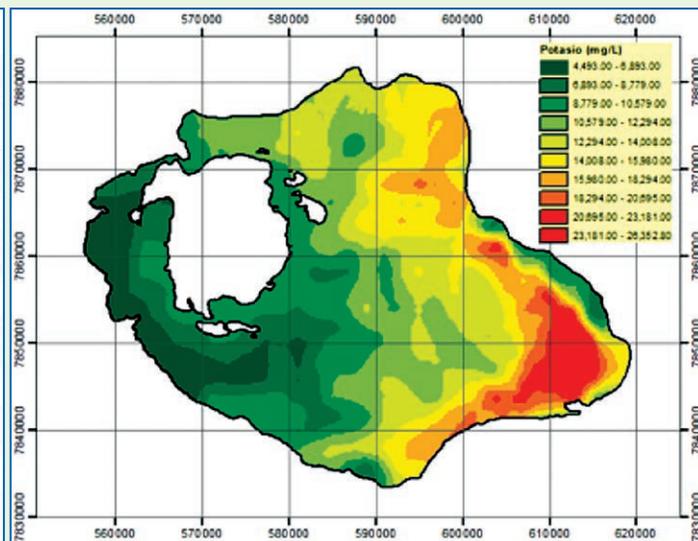
Distribución de puntos de muestreo, mallas, 8x8 Km, 2x2 Km y 1x1 Km

	Muestras	Año
Malla 1 x 1 Km	262	2013
Malla 2 x 2 Km	325	2013
Malla 8 x 8 Km	25	2014
TOTAL	612	

En base a estos análisis se han elaborado mapas de isoconcentraciones para los elementos analizados, los cuales confirman las mejores concentraciones en el sector sudeste del salar.



Mapa de iso-concentraciones de Litio en el Salar de Coipasa



Mapa de iso-concentraciones de Potasio en el Salar de Coipasa

### 2.3. Estudio del Salar de Coipasa en profundidad

#### 2.3.1. Perforación de pozos a diamantina

La descripción geológica de los horizontes determinados por la excavación es somera, por lo cual se han realizado las perforaciones de pozos exploratorios, la profundidad estimada de los pozos inicialmente era de 164 m considerando la bibliografía existente y en base a estudios geofísicos de gravimetría realizados el año 1997 entre la Universidad Técnica de Oruro y la Universidad de Lieja. Los primeros resultados de la perforación ejecutada por la GNRE determinaron capas de Halita profundas desde aproximadamente los 90 m, estas capas de halitas continúan en profundidad y no se ha podido determinar la profundidad del basamento, habiendo llegado a 258 m en el pozo de mayor profundidad.

Desde el año 2013 se tiene un total de 2704 m perforados a diamantina, en un total de 15 pozos exploratorios de acuerdo al siguiente detalle:

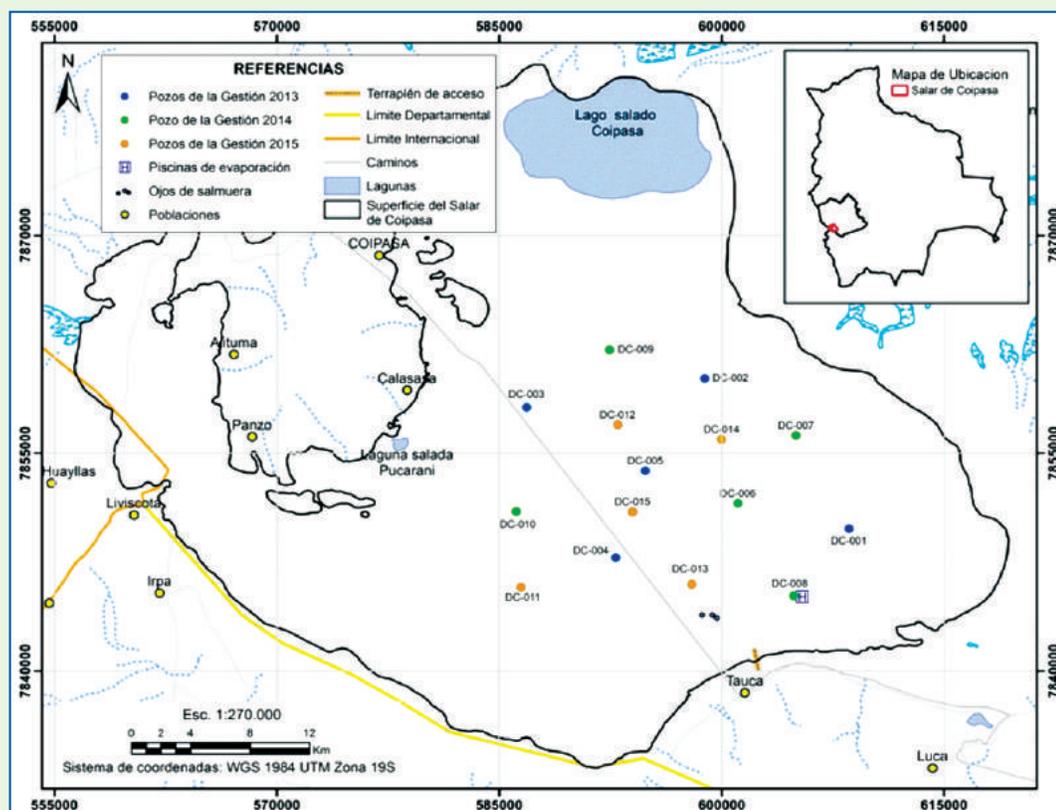
Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	Profundidad	Total metros	Año
DC-000	Exploratorios	5	Hasta 188 m	704	2013
DC-000	Exploratorios	5	Hasta 258 m	1000	2014
DC-000	Exploratorios	5	Hasta 200 m	1000	2015
<b>TOTALES</b>		<b>15</b>		<b>2704</b>	

Resumen de pozos a diamantina ejecutados por la GNRE en el Salar de Coipasa

Durante la perforación de estos pozos se tomaron muestras a medida que avanzaba la perforación con un intervalo de 9 m, obteniéndose de esta forma la variación de concentración de la salmuera a diferentes profundidades, de forma preliminar se puede decir que existe una salmuera superficial de mayor concentración que la salmuera profunda, también se ha determinado, a partir de los 30 m de profundidad, la existencia de paleocanales arenosos, los cuales presentan concentraciones muy bajas que dificultan la explotación del yacimiento en profundidad.



Perforación de pozos exploratorios a diamantina en el Salar de Coipasa



Mapa de ubicación de pozos perforados a diamantina en el Salar de Coipasa

### 2.3.2. Pozos perforados a Circulación Directa

Durante la gestión 2010 la GNRE perforó 5 pozos exploratorios a circulación directa con un equipo propio de COMIBOL, estos pozos alcanzaron una profundidad máxima de 53,38 m y fueron entubados con un diámetro de 6 pulgadas. Posteriormente, a partir del año 2014 se ejecuta un nuevo plan de perforación, perforando un total de 418 m distribuidos en 6 pozos exploratorios a circulación directa, estos pozos fueron entubados con un diámetro de 8 pulgadas, los cuales sirven fundamentalmente para la obtención de parámetros hídricos e interpretación de la salmuera profunda y paleocanales.

Pozos	Tipo de pozo	Cantidad	Profundidad	Total Metros	Año
Pz-000	Exploratorios	5	Pozo-1 – 53,38 m Pozo-2 – 48,50 m Pozo-3 – 48,24 m Pozo-4 – 51,35 m Pozo-5 – 24,50 m	225,97	2010
CC-000	Exploratorios	1	CC-001 - 110 m	110	2014
CC-000	Exploratorios	5	CC-002 - 146,5 m CC-003 - 44,5 m CC-004 - 42,5 m CC-005 - 37,5 m CC-006 - 37,0 m	308	2015
<b>TOTALES</b>		<b>11</b>		<b>643,97</b>	

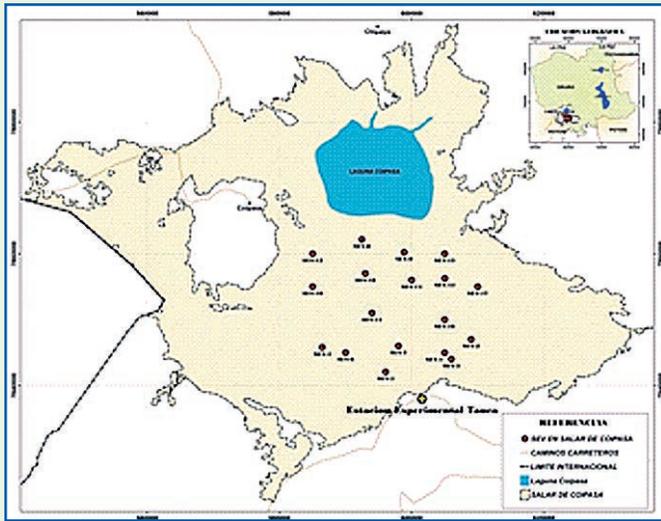
Resumen de pozos a diamantina ejecutados por la GNRE en el Salar de Coipasa

### 2.4. Estudio geofísico en el Salar de Coipasa

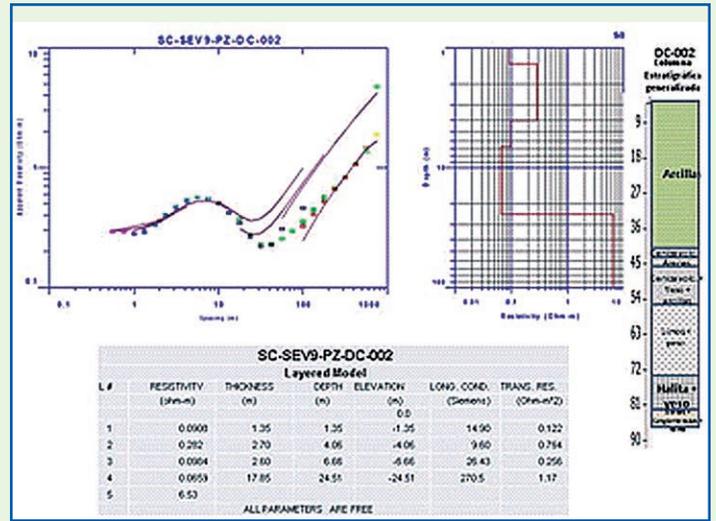
La prospección geofísica es una de las herramientas de la exploración minera, si bien es conocida como método indirecto, no produce destrucción ni contaminación del medio. En base a ello, se programaron tres líneas de tomografías de resistividad que se ejecutaron durante el último trimestre del año 2015, además se realizaron 18 lecturas puntuales de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).



Perforación de pozos exploratorios a circulación directa en el Salar de Coipasa

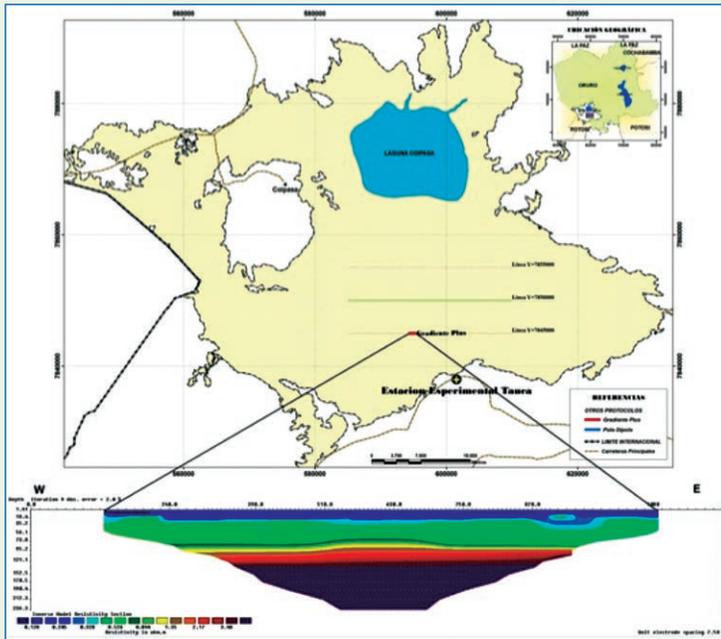


Mapa de ubicación de puntos SEV

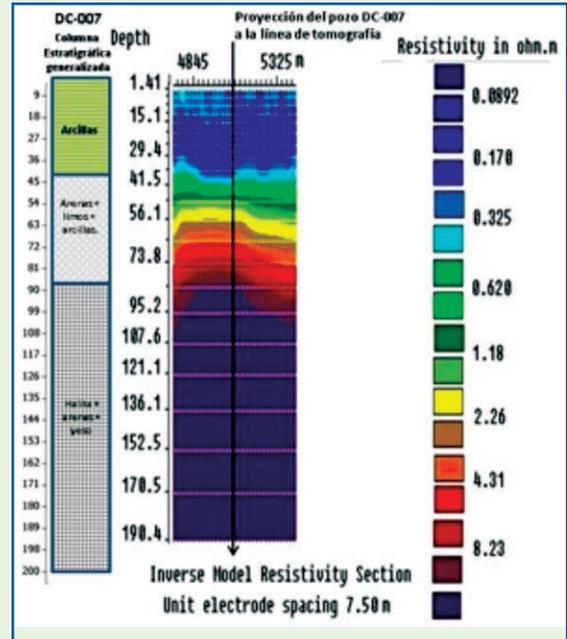


SEV 09 pozo DC 002, curvas de lecturas é interpretación

La interpretación de las tomografías de resistividad eléctrica y los sondajes eléctricos verticales realizados en el Salar de Coipasa, dan como resultado un modelo geo eléctrico que permite determinar el espesor promedio de sedimentos saturados con salmuera entre los 0.5 – 1.5 metros y los 35.50 metros, resultando 34.0 metros promedio de espesor de los sedimentos saturados de salmuera, además de la continuidad de los mismos en direcciones este – oeste y norte sur.



Sección invertida de tomografía resistiva en protocolo gradiente plus



Esquema mostrando la relación entre los valores de resistividad de la tomografía y la columna estratigráfica generalizada del pozo DC-007

# Dirección de Electroquímica y Baterías



Transporta carga "Chapulin" reacondicionado y funcionando con pack de baterías de ion Litio ensamblado en Planta Piloto de Baterías de La Palca

## 1. FASE III – BATERÍAS



*Módulo de prensado y sellado de baterías en Planta Piloto de La Palca*

La Fase III, contempla la implementación del Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (CIDYP), y es el ente que reúne en su seno a las unidades que despliegan tareas de investigación y a nivel piloto relacionadas a la Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, para lo cual, se encarga de supervisar, gestionar y coordinar proyectos cubriendo campos de: coordinación en planificación, presupuestario, administración técnica, logística técnica; costos, finanzas y análisis de mercado; diseño de proyectos, entre otros, referidos a baterías de Litio, materiales activos (cátodos), electrolitos de Litio y otros productos avanzados, que requieren de tecnología de punta, la cual, no dispone Bolivia.

Esta Fase contempla varios proyectos operativos, que al presente esta compuesta por la Planta Piloto de Baterías (PPB), la Planta Piloto de Materiales Catódicos (PPMC), y el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia (CICYT MAT-REB); para lo cual, a partir del nuevo contrato de financiamiento, suscrito por la COMIBOL, Ministerio de Minería y Metalurgia y el Banco Central de Bolivia el 2014, se dio inicio al proyecto: "Implementación Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje CIDYP- La Palca, Potosí".

Para la correcta y pronta implementación del CIDYP, la GNRE lleva adelante acercamientos con empresas poseedoras de tecnología mediante compra y/o la alianza estratégica con empresas internacionales, realizando las gestiones correspondientes:

## 1.1. Acercamientos y negociación internacional

### 1.1.1. Francia

A partir del 18 de noviembre del 2014, en la visita de Florence Lambert - Directora del Instituto de innovación para las energías nuevas LITEN y Frederic Journes, Director de Estrategias y Asuntos Internacionales Comisionado para la Energía Atómica y Energía Alternativa CEA, en la que se suscribe una Carta de intención entre la COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES (Comisión para la energía atómica y energía alternativa) (CEA), el Ministerio de Hidrocarburos y Energía, y el Ministerio de Minería y Metalurgia del Estado Plurinacional de Bolivia en el Campo del Apoyo a la Innovación. Además, en la carta de intención, se menciona que, “las partes tendrán debates técnicos y estratégicos con el fin de determinar los términos y condiciones necesarias para acuerdos en los ámbitos propuestos”.

Y con la posterior suscripción del contrato para la “ADQUISICIÓN DE UNA PLANTA PILOTO Y ESTUDIO DE PROYECCIÓN DE MATERIALES CATÓDICOS”, entre el Sr. Yvan Troullot – Gerente General de ECM GREENTECH de Francia y el Ing. Luis Alberto Echazú – Gerente Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia, el 12 de noviembre de 2015, en presencia del Excmo. Sr. Presidente del Estado Plurinacional de Bolivia – Evo Morales Ayma, el Ministro de Minería y Metalurgia - Dr. Cesar Navarro y otras Autoridades de la ciudad de Potosí (Gobernador de la ciudad de Potosí, la Alcaldesa de Yocalla, el Alcalde de Potosí, representantes y miembros de diferentes organizaciones sociales), Planta Piloto que entrará en etapa de montaje, instalación, puesta en marcha y operatividad a partir de enero del 2017; a partir del segundo trimestre de la presente gestión, se inicia con los primeros acercamientos y tratativas iniciales relacionadas a la futura implementación de una Planta a Escala Industrial de Material Catódico

### 1.1.2. Ecuador

El 25 y 26 de julio del 2016, se llevó a cabo la “X Comisión Mixta Permanente de Coordinación Bolivia – Ecuador”, realizada en la ciudad de La Paz en dependencias de la Cancillería des Estado Plurinacional de Bolivia, en la que, se abordaron temáticas relacionadas con:

*Reunión en Ministerio de Minería y Metalurgia con la delegación de representantes de Francia CEA y ECM Green Tech y directivos de la GNRE, Julio 2016*





*Reunión de coordinación y seguimiento de proyectos en Cancillería con representantes del gobierno ecuatoriano, Julio 2016*

- Temas de Cooperación
- Temas Económicos y Comerciales
- Temas Migratorios y Consulares

En el primer punto “Temas de Cooperación”, se trabajó en temas relacionados al Sector Minero; conjuntamente el señor Wagner Fierro Espinosa - Subdirector General del Servicio Nacional de Contratación Pública – SERCOP y la GNRE-COMIBOL, se trabajó específicamente la temática de “Sustitución de Tecnología extra regional (Litio)”, el cual, previamente mediante el señor Ministro – Edwin Martínez Bedón de la Embajada de Ecuador, hizo la entrega de la “Propuesta de inclusión de Baterías de Litio fabricadas en Bolivia como Requisito para la compra pública de vehículos eléctricos en Ecuador y Bolivia”; para la cual, la GNRE-COMIBOL elaboró una contrapropuesta para “X Comisión Mixta”. Como resultado de esta reunión se tiene que, a fin de viabilizar la fabricación de baterías de ion-litio en Bolivia para su uso en vehículos eléctricos en el Ecuador y en general en el contexto geográfico latinoamericano, nos encontramos próximos a la firma de una “Carta de Intención entre aa Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos de la Corporación Minera del Estado Plurinacional de Bolivia, el Ministerio Coordinador de Conocimiento y Talento Humano de la República del Ecuador y el Servicio Nacional de Contratación Pública de la República del Ecuador”, donde las actividades y tareas, a trabajar en conjunto son:

- Identificación de precursores para materiales catódicos
- Identificación de materiales catódicos y anódicos para baterías de Litio para uso en vehículos eléctricos
- Investigación conjunta y/o intercambio científico para el desarrollo de materiales catódicos, anódicos, celdas y baterías de Litio
- Identificación de laboratorios que faciliten la certificación de baterías de Litio
- Trabajar conjuntamente para la elaboración de un convenio marco estratégico de asociación binacional para el desarrollo tecnológico e industrial de la fabricación de baterías de Litio en Bolivia y su uso en vehículos eléctricos en el Ecuador.

### 1.1.3. Venezuela

Bajo el marco del convenio suscrito el 26 de mayo de 2013 en Cochabamba – Bolivia entre el Centro Nacional de Tecnología Química (CNTQ), de la República Bolivariana de Venezuela y la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) del estado Plurinacional de Bolivia, donde ambas partes se comprometen a trabajar en acciones conjuntas de Integración, Desarrollo y Formación para impulsar la industrialización del Litio (separadores, ánodos de grafito, sistema de gestión de baterías BMS y films de aluminio). Se han realizado esfuerzo para concretar las siguientes actividades conjuntas:

- Realización de videoconferencia con equipo técnico binacional (GNRE, CNTQ, FIIDT, MPPEUCyT y Cancillería).
- Envío a Venezuela para su caracterización de electrolito (Hexafluoruro de Fosfato Litio – LiPF<sub>6</sub>), el cual es disuelto en diferentes sales según la química de las baterías (Electrolito para LCO - LBE-301 y Electrolito para LFP- LBC-3215D).
- Envío de muestra de tubo para FOIL de ALUMINIO para su análisis por parte de la empresa ALUCASA de Venezuela
- Reprogramación de visita técnica de los funcionarios del CNTQ y la FIIDT a Planta Piloto de Baterías en La Palca Potosí.

Por otro lado, durante la gestión 2016 se tienen los siguientes avances operativos alcanzados:

## 2. PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATÓDICOS

Dando continuidad a la Estrategia de Industrialización de los Recursos Evaporíticos, es necesidad de la GNRE-COMIBOL contar con la última tecnología para el desarrollo de materiales catódicos que nos permita concatenar las diferentes etapas y procesos de industrialización del Litio y también nos permita producir materiales avanzados para baterías de Ión-Litio.

*Equipos de la Planta Piloto de Materiales Catódicos, ya se encuentran en almacenes de la GNRE de La Palca*





Ing. Norka Lorena Blanco Patiño (centro) y Lic. Jorge Rodrigo Balboa Zalles (segundo de lado izquierdo) profesionales de la GNRE, junto a técnicos de la empresa Green Tech ECM en un curso de capacitación en Francia

Después de la suscripción del contrato, las responsabilidades y funciones de cada una de las partes son:

Empresa ECM Green Tech, se encargará del:

- Suministro de los equipos y materiales, instalación, supervisión técnica, puesta en marcha de la Planta Piloto de Materiales Catódicos, formación, ajustes y calibración de los equipos instalados y la transferencia de tecnología de las líneas de producción piloto de Óxido de Manganeso Litiado (LMO) y Níquel Manganeso Cobalto Litiado (NMC).

- Suministrar el anteproyecto del diseño (Lay out) el cual incluye:

- \* Distribución de equipos y requerimientos de infraestructura
- \* Requerimiento de agua y electricidad
- \* Requerimiento de instalación para líneas de gases.
- \* Requerimiento de válvulas tubos y tuberías.
- \* Requerimiento de aislamiento, aire acondicionado
- \* Requerimientos de ventilación y calefacción

La GNRE-COMIBOL se hará cargo de:

- Realizar el Diseño Final y construcción de la infraestructura
- Mobiliario
- Equipos Menores.

Ítem	Material Catódico	Material Catódico	Método de síntesis compuesto
1	LMO (Óxido de Manganeso Lito)	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Reacción química en estado sólido
2	NMC (Óxido de Níquel Manganeso Cobalto Lito)	LiNi <sub>1/3</sub> Mn <sub>1/3</sub> Co <sub>1/3</sub> O <sub>2</sub>	Co-precipitación vía húmeda

## 2.1. El proyecto

La Planta Piloto de Materiales Catódicos tiene el propósito de alcanzar los siguientes objetivos:

- Contar con el anteproyecto del diseño (Lay Out) necesario para operar la Planta Piloto, además del aval de los planos del Diseño Final proporcionados por la GNRE-COMIBOL y la validación del lugar destinado a la implementación del mismo.
- Adquirir los equipos especializados, insumos y materiales necesarios para la operación de la Planta Piloto en sus dos líneas.
- Realizar el montaje, instalación, calibración y puesta en marcha de todos los equipos de la Planta Piloto.
- Realizar la transferencia de tecnología para obtener materiales catódicos LMO estándar y NMC estándar, de acuerdo a los requerimientos del mercado mundial.
- Realizar las pruebas de verificación de correcto funcionamiento de los equipos y del producto final para garantizar la calidad en conformidad a los estándares.
- Entrenamiento y formación de personal técnico boliviano de la COMIBOL-GNRE en Francia, y en La Palca-Potosí (Bolivia).
- Contar con una guía de procesos definidos para la obtención de material catódico y experimentación.

Además, se realizará un Estudio de Proyección de los materiales catódicos con la finalidad de evaluar la factibilidad técnico-económica para un emprendimiento a escala industrial, para la producción de materiales catódicos en Bolivia, la cual contemplará:

- Establecer un diagnóstico de la oferta y demanda de materiales catódicos en Bolivia, Latinoamérica, Norte América, Europa del Este, Europa del Oeste, Asia Pacífica, Medio Oeste y África
- Descripción del impacto ambiental en la producción de materiales catódicos y detalle de los servicios necesarios para su implementación.

## 2.2. Líneas de producción Piloto

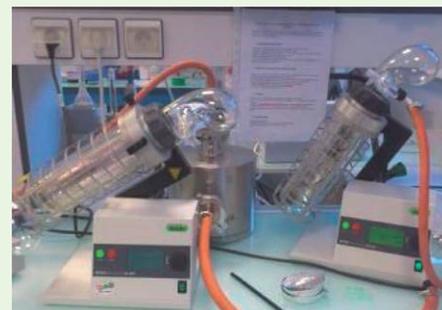
- Una línea de producción del Óxido de Manganeso Litio (LMO) con una capacidad mínima de 1,2 kg. cada 100 horas continuas.
- Una línea de producción del Óxido de Níquel Manganeso Cobalto Litio (NMC) con una capacidad mínima de 1 kg. cada 100 horas continuas.

## 2.3. NMC simboliza el Óxido de Cobalto Manganeso Níquel Litiado o "LiNi<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub>"

La ruta de síntesis propuesta para este material es un método húmedo con el siguiente diagrama de flujo.



Measurement of specific area (BET method)



Drying device (heating under ~vacuum)



Automatic scale for nano powders

- \* La co-precipitación: Preparación de una mezcla de precursores Ni/Co/Mn
- \* Mezclado de precursores previamente sintetizados con una fuente de Litio
- \* Calcinación para obtener el producto final.

Una cuarta etapa puede ser implementada para garantizar una distribución de partículas adaptado para la procesabilidad y rendimiento de los electrodos. Esta cuarta etapa es llamada "Clasificación".

#### 2.4. LMO Simboliza el Óxido de Manganeso Litiado o "LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>"

La ruta de síntesis propuesta para este material es un método solido con el siguiente diagrama de flujo.



La síntesis del material activo LMO requiere 2 etapas:

- Molienda de precursores (Fuentes de Manganeso y Litio)
- Calcinación de la mezcla previa para obtener la fase de LMO requerida.

Al igual que para el material NMC, una cuarta etapa de clasificación puede ser implementada para garantizar una distribución de tamaño de partícula adaptada.

#### 2.5. Caracterización del material

Antes de enviar los lotes de material catódico a la línea piloto de baterías, los materiales activos serán caracterizados y calificados, mínimamente según:

- Distribución de tamaño de partícula
- Medida de la superficie específica (BET)
- DRX (no está en el alcance de los suministros)
- MEB (no está en el alcance los suministros)
- Pruebas electroquímicas (Para hacer celdas botón).

Un área determinada es utilizada para realizar pruebas del material catódico. Para controlar la humedad y la atmosfera de las pruebas electroquímicas, el área es equipada con una campana de humos de laboratorio y "glove boxes".

Alguno de los quipos que serán instalados en el "área de testeo de materiales activos":



Laboratory fume cabinet



Glove box (under inert gas and positive pressure)



*Planta Piloto de Materiales Catódicos en trabajos de reacondicionamiento*

Después de un proceso identificación y adjudicación de 6 meses, en julio de 2016 se realizó la firma del contrato con la Empresa Boliviana Consulcad S.R.L. para el reacondicionamiento, instalación y provisión llave en mano de un sistema integral de refrigeración, aire acondicionado, extracción de gases, climatación local y refacción de ambientes para la Planta Piloto de Materiales Catódicos.

- En abril de 2016, el personal de ECMGREENTECH realizó una visita inspección a La Palca –Potosí en la cual se trataron varios puntos técnicos.
- Se realizó la capacitación en Francia de profesionales bolivianos de la GNRE - COMIBOL: Ing. Norka Lorena Blanco Patiño, Responsable de Planta Piloto de Materiales Catódicos y Lic. Jorge Rodrigo Balboa Zalles - Técnico II en Procesos.

Por último, las actividades complementarias ejecutadas en la implementación de la Planta Piloto de Materiales Catódicos en esta gestión son:

- Capacitación de 2 profesionales bolivianos de la COMIBOL-GNRE por un periodo de 30 días en las instalaciones de la Empresa (Francia).
- Capacitación en La Palca-Potosí durante 5 meses, a profesionales bolivianos de la COMIBOL-GNRE.
- Evaluación final de las líneas de Oxido de Manganeso Litio (LMO) y Níquel Manganeso Cobalto (NMC), con la elaboración de baterías botón, que serán probadas utilizando materiales bolivianos
- Como precursor el Carbonato de Litio grado batería ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), proveniente de la Planta de Llipi del salar de Uyuni
- Como precursores, el Carbonato de Manganeso ( $\text{MnCO}_3$ ) y el Sulfato de Manganeso ( $\text{MnSO}_4$ ) suministrado por el proyecto de investigación con la Universidad Mayor de San Andrés - UMSA.



*Módulo de control de ciclaje de baterías de ion Litio*

### 3. PLANTA PILOTO BATERÍAS DE LITIO

La Planta Piloto de Baterías (PPB) de ion Litio inicio el montaje, calibración de equipos y puesta en marcha, el 2 de diciembre del 2013. La misma, incluye dos líneas de ensamblado de celdas para elaboración de baterías terminadas, que son:

- Celdas de ion-Litio de 800 mAh (1000 celdas/día)
- Celdas de ion-litio de alta capacidad 10 Ah (40 celdas/día).

Entre los logros alcanzados en la PPB hasta la fecha están:

- Dominio en ensamblado de baterías de alta capacidad (10 Ah – 3,2 V)
- Dominio en ensamblado de baterías de baja capacidad (0,8 Ah – 3,7 V)
- Dominio en la realización de pruebas de calidad y performance a las baterías
- Garantía “propia” de 370 ciclos de carga y descarga de baterías de alta capacidad (10 Ah).
- Garantía “propia” de 80 ciclos de carga y descarga de baterías de baja capacidad (0,8 Ah).

### 3.1. Ensamblado de diferentes configuraciones de baterías de ion Lito



Ensamblado experimental de diferente configuración de celdas de baterías de Lito

Los productos que se ensamblan a partir de celdas unitarias de capacidad 10 Ah son los siguientes:

<b>LiFePO4 = Litio fosfato de hierro - Baterías</b>		
<b>UNIDAD BASE 1865130/10A</b>	<b>BATERIA PARA SFV</b>	<b>BATERIA E-BIKE</b>
 <p>Dimensiones : 18 x 65 x130 mm                      Voltaje nominal: 3,2 V                      Capacidad nominal:10 Ah</p>	 <p>- Dimensiones : 112x72x245 mm                      - Voltaje nominal: 12,8 V                      - Capacidad nominal:10 Ah</p>	 <p>- Dimensiones : 112x72x387 mm                      - Voltaje nominal: 25,6 V                      - Capacidad nominal:10 Ah</p>
<b>PACK DE BATERIAS</b>		
<b>TIPO 6S2P</b>	<b>TIPO 6S</b>	<b>TIPO 14S2P</b>
 <p>Dimensiones : 113x130x155 mm                      Voltaje nominal: 19,2 V                      Capacidad nominal:20 Ah</p>	 <p>- Dimensiones : 110x65x150 mm                      - Voltaje nominal: 19,2 V                      - Capacidad nominal:20 Ah</p>	 <p>- Dimensiones : 265x130x155 mm                      - Voltaje nominal: 44,8 V                      - Capacidad nominal: 20 Ah</p>
<b>TIPO 2(16S2P)</b>	<b>PACK 24S</b>	<b>4 PACK 8S</b>
 <p>Dimensiones : 300x130x290mm                      Voltaje nominal: 51,2 V                      Capacidad nominal: 40 Ah</p>	 <p>- Dimensiones : 113 x 130 x 295 mm                      - Voltaje nominal: 76,8 V                      - Capacidad nominal: 10 Ah</p>	 <p>- Dimensiones : 75x65x290 mm                      - Voltaje nominal: 25,6 V                      - Capacidad nominal: 10 Ah</p>

### 3.2. Capacitación e inducción al personal técnico operativo de la Planta Piloto de Baterías (PPB)

Se han realizado cursos de capacitación en la planta piloto de baterías de la Palca tanto teórico como práctico, dirigido a los operadores y nuevos técnicos de la PPB en:

- Orden , limpieza y manejo de materiales para la preparación de la mezcla
- Mezclado de materiales
- Recubrimiento y preparación de electrodos
- Ensamblado de baterías
- Control de calidad
- Formación, envejecimiento, almacenaje y aplicaciones



*Operadores de la PPB en curso de capacitación teórico-practico*

### 3.3. Otras pruebas de aplicación de las baterías de ion Litio

Se realizó el reacondicionamiento y puesta en funcionamiento de un vehículo eléctrico de transporte de carga con las baterías EV1865130/10Ah.

Se trata de un pequeño vehículo eléctrico de fabricación rusa, que fue traído a Bolivia en los primeros años de la década de los 80´ cuando se implementó la Planta procesadora de complejos mineralógicos, desde esas fechas se encontraba en almacenes del complejo industrial sin operar.

Este vehículo era impulsado por un motor eléctrico de las siguientes características:

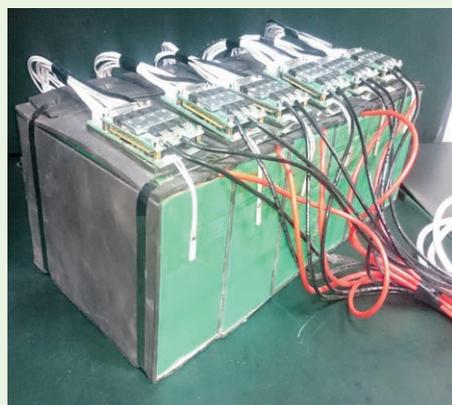


*Transporta carga "Chapulín" condicionado con baterías de ion Litio*



TRANSPORTA-CARGA (CHAPULIN)	
FABRICADO POR:	CCCP
MODELO:	3K-2
AÑO:	1974
TIPO DE MOTOR:	MOTOR DC
MODELO DEL MOTOR:	MT-4
POTENCIA DEL MOTOR:	1.5 [KW]
VOLTAJE:	31 [V]
CORRIENTE MAXIMA:	75 [A]
VELOCIDAD DEL MOTOR:	1200 [Rev./min]
COMPARTIMIENTO PARA BATERIAS:	810x410x290 mm

Con los datos de la tabla se dimensionó un pack con las celdas de la tecnología 1865130/10Ah con referencia a la potencia del motor; de las siguientes características:



CONFIGURACION:	6P10S (6 bloques en paralelo de 10 baterías en serie)
PCM:	14S (6 unidades)
VOLTAJE NOMINAL:	32 V
CAPACIDAD NOMINAL:	60 Ah
PESO TOTAL:	20,05 Kg
DIMENSIONES:	190 x 402 x 165 mm
CORRIENTE MAXIMA DE DESCARGA:	75 Ah
CORRIENTE DE CARGA:	15 A

Con el remplazo de las baterías de plomo con baterías de ión Litio de 32 voltios se logró optimizar su rendimiento, peso y área ocupada por las baterías en los compartimentos. Paralelamente se cumplió con la revisión y mantenimiento del sistema mecánico y eléctrico del transportador de carga, las pruebas de funcionamiento se realizaron con éxito, lo que permitirá coadyuvar y optimizar el transporte de materiales en instalaciones de la Planta Piloto de baterías de La Palca-Potosí.

Las pruebas para dar una evaluación del rendimiento de los packs con respecto al vehículo continúan en la PPB. Sin embargo, toda la experiencia es un primer paso al diseño de packs y su uso en vehículos eléctricos.

### 3.4. Propuesta de investigación, diseño y desarrollo de baterías cilíndricas de ion Litio

Con el objetivo de experimentar el alcance y versatilidad de la PPB en su área de elaboración de electrodos para la elaboración de baterías cilíndricas modelo 18650, es que se desarrolló el proyecto: Diseño y desarrollo de baterías cilíndricas de ion Litio en Planta Piloto de baterías.

Los resultados alcanzados demuestran que, si es posible obtener los electrodos para las baterías cilíndricas en la PPB a escala bench. Sin embargo, para fines de investigación tanto el enrollado como su respectivo ensamblado fue realizado a escala laboratorio en celdas de prueba cilíndricas, obteniéndose los siguientes resultados.



Prueba de ciclabilidad de una batería cilíndrica modelo 18650 ensamblada en laboratorios de la Planta Piloto de baterías



Ing. Giovana Diaz, Jefa de la Planta Piloto de Baterías con la Prensa local de Potosí.



Celda de prueba cilíndrica

#### 4. OTRAS ACTIVIDADES EN LA PLANTA PILOTO DE BATERÍAS

Durante la gestión 2016 se han realizado una serie de proyectos destinados a optimizar el proceso de elaboración de las celdas de alta capacidad (10Ah) modelo 1865130. Entre los proyectos realizados destacan:

- Establecimiento del orden de adición de los materiales y tiempos en el proceso mezclado para el material catódico y anódico en baterías de 10Ah (PPB -CICYT)
- Determinación de diferentes parámetros experimentales como el coeficiente de variación, viscosidad, temperatura, concentraciones, etc.
- Determinación de la concentración adecuada de sólidos totales para la mezcla anódica y catódica (PPB-CICYT).
- Determinación de condiciones límite para el proceso de recubrimiento
- Determinación de parámetros para la variación de la dosificación de agentes conductivos en mezclas de ánodo y cátodo para baterías 1865130
- Diseño e implementación de un Sistema Documentado de Gestión de Calidad según la Norma ISO 9001-2015, para la elaboración de baterías en la Planta Piloto de baterías La Palca Potosí
- Diseño y desarrollo de software para la línea de producción en la PPB
- Catálogo de insumos y materias primas

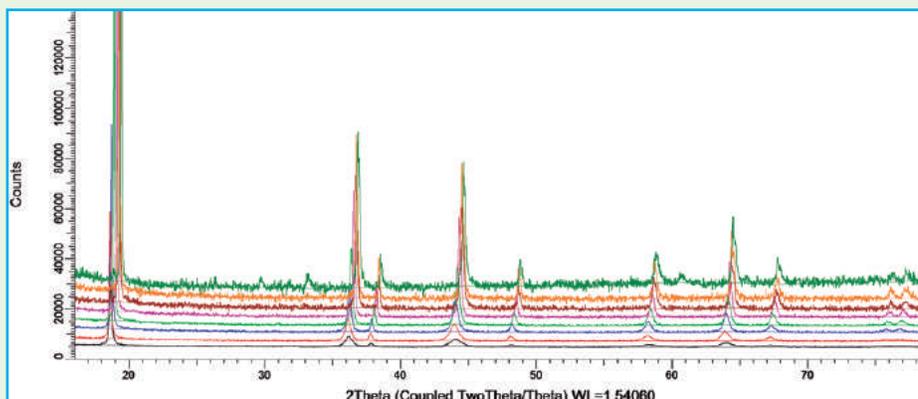
#### 5. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS EVAPORÍTICOS DE BOLIVIA, CICYT MAT-REB

##### 5.1. Investigación en materiales catódicos

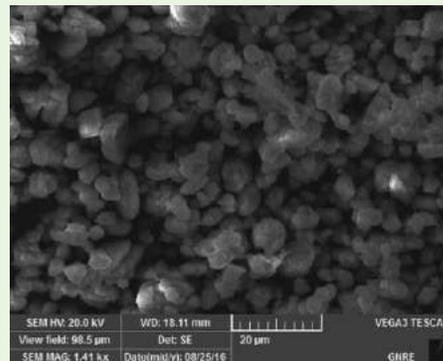
En el CICYT MAT-REB se realizan investigaciones en el desarrollo de materiales de cátodo a partir del Carbonato de Litio producido en la planta de Llipi de la GNRE. Se hace énfasis en la síntesis de dos tipos de cátodos para baterías de ion Litio, estos son:  $\text{LiM}_x\text{Mn}_{2-x}\text{O}_4$  y  $\text{LiM}_x\text{Fe}_{1-x}\text{PO}_4$ , en ambos casos para su aplicación en baterías de mayor capacidad.

El cátodo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  es un material de cátodo comercial, sin embargo, presenta ciertas desventajas con relación a otros materiales, en particular la pérdida de capacidad durante los procesos de ciclado de carga y descarga. Para evitar este defecto, es que, se realizan procesos de dopado con diferentes materiales metálicos "M".

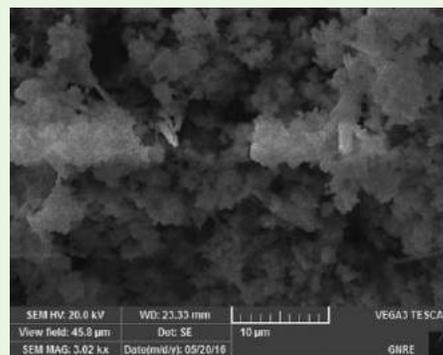
El proceso de síntesis de este material se realiza por la vía de reacción en estado sólido a partir de precursores como son el Carbonato de Litio y óxidos de Manganeso a determinadas temperaturas y tiempos de cocido. El tamaño promedio de las partículas son menores a cinco micrómetros con diferentes tipos de morfología, el cual depende del uso del tipo de óxido de Manganeso. Dentro de los resultados podemos mencionar los siguientes datos:



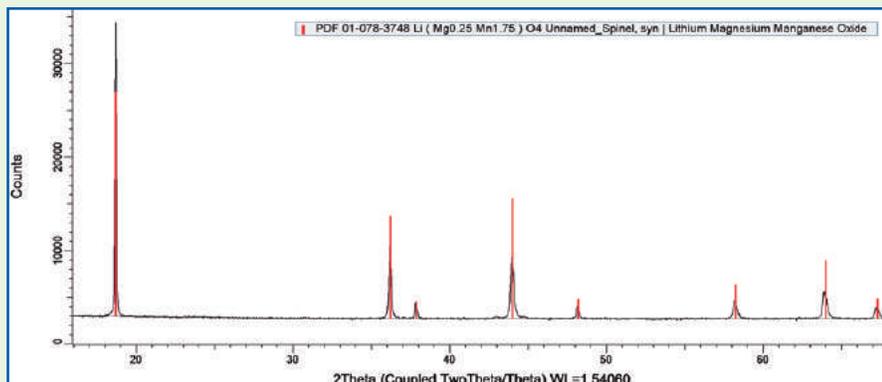
Difractómetros para optimización de temperaturas y tiempos de cocido para síntesis del cátodo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$



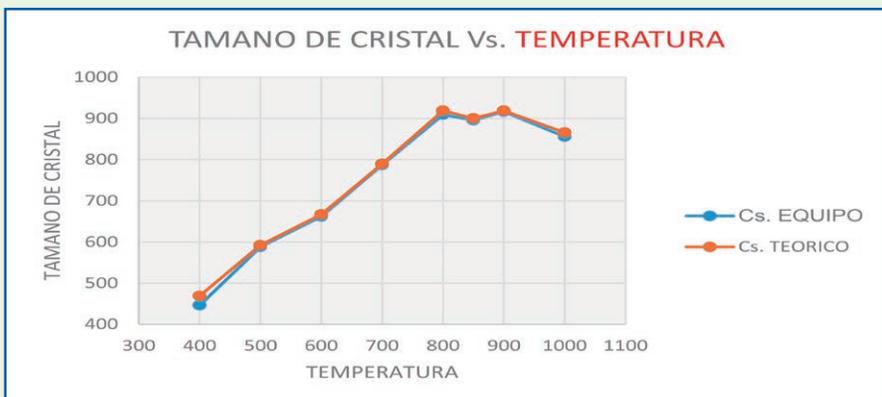
Morfología del  $\text{FePO}_4$  sintetizado por co-precipitación



Morfología del  $\text{LiFePO}_4$  sintetizado por co-precipitación

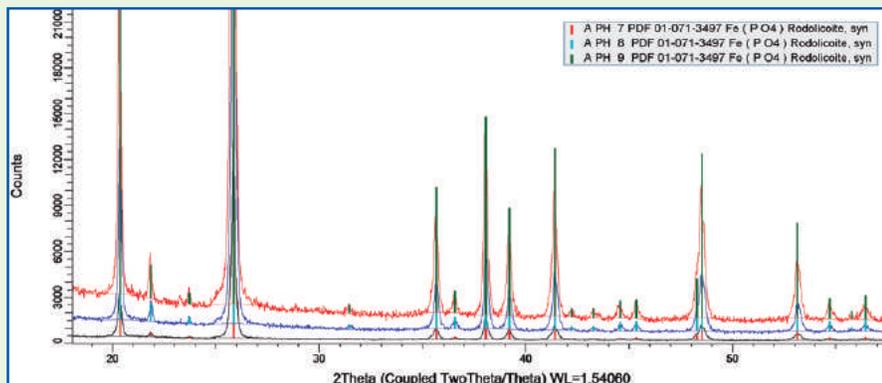


Difractómetro del cátodo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  dopado con Mg.

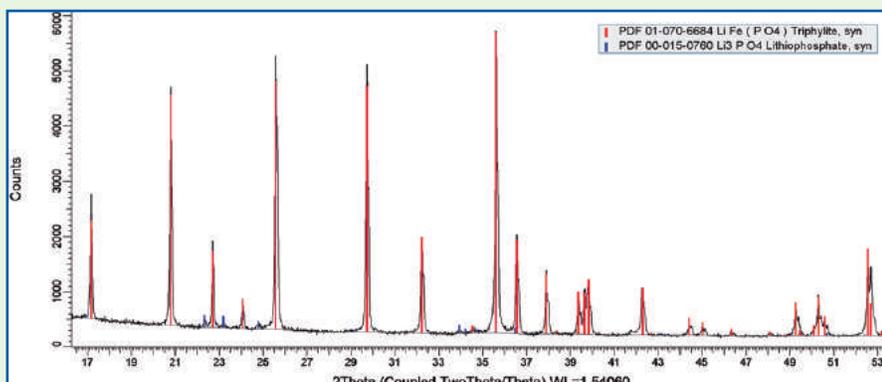


Comportamiento del tamaño de cristalito a diferentes temperaturas de cocción

El cátodo  $\text{LiFePO}_4$  tiene una estructura cristalina del tipo olivina, tiene una mejor estabilidad en su estructura con relación a otros materiales, sin embargo su conductividad eléctrica es menor. La síntesis de este material fue realizado por la vía de co-precipitación a partir del carbonato de litio de la planta de Llipi. Algunos resultados son mostrados a continuación.



Difractómetro de la síntesis del precursor  $\text{FePO}_4$  a diferentes condiciones por precipitación



Difractómetro del material de cátodo  $\text{LiFePO}_4$  sintetizado a partir de carbonato de litio de la planta de Llipi

En base al desarrollo exitoso de estos dos materiales a nivel laboratorio a partir de Carbonato de Litio boliviano es que se realiza el proceso de escalamiento a niveles piloto para una producción masiva y de abastecimiento a la Planta Piloto de baterías (PPB). Puesto que una de las tecnologías que la PPB maneja y cuenta con bastante experiencia está basada justamente en el cátodo  $\text{LiFePO}_4$  para el ensamblado de baterías de ion Litio de alta capacidad, mayor a 10Ah.

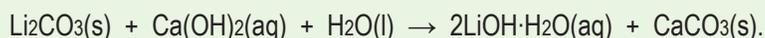
## 5.2. Obtención del Hidróxido de Litio a nivel piloto

En el marco de la cadena productiva del Litio del Salar de Uyuni, una de las prioridades de la GNRE es darle un mayor valor agregado al compuesto primario (Carbonato de Litio) de la química del Litio. Uno de los productos inmediatos al Carbonato de Litio es el Hidróxido de Litio un producto con mayor valor agregado. El 2015 la demanda de Carbonato de Litio Equivalente (LCE) fue alrededor de 188 mil toneladas, de esto el 12% – 15% representa la demanda de Hidróxido de Litio y la importancia de Hidróxido de Litio cada vez es mayor por su uso en la obtención del material de cátodo y electrolito activo en baterías para aplicaciones de alta potencia. Esto significa que la presión sobre mercado de Hidróxido de Litio es y será mucho más importante que el Carbonato de Litio.

En este sentido el Centro de Investigación CICYT MAT – REB, viene realizando investigaciones para la obtención de Hidróxido de Litio Monohidrato a escala laboratorio en base a estos resultados en la gestión 2016, se realizó el escalamiento a nivel piloto, realizando una readecuación de los equipos de cristalización adquiridos para la Planta Piloto de Purificación de Carbonato de Litio.

En este contexto los resultados de las pruebas de producción de Hidróxido de Litio Monohidrato son de pureza muy cercana al grado batería.

El proceso para la obtención de Hidróxido de Litio, a escalas laboratorio y piloto consiste en la reacción del Carbonato de Litio grado industrial producida en la Planta Piloto instalada en Llipi con Hidróxido de Calcio comercial (65 – 70%), en medio acuoso:



### 5.2.1. Reacción

En una primera etapa, el Carbonato de Litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), principal materia prima en la producción de Hidróxido de Litio Monohidratado, se alimenta en agua contenida en reactor (reactor de encalado), en donde se mezcla y se hace reaccionar con una solución de cal apagada, obteniéndose una mezcla de Hidróxido de Litio (solución) y Carbonato de Calcio (sólido).

### 5.2.2. Filtración

Las mezclas obtenidas en los reactores se separan utilizando el filtro prensa, obteniéndose una solución de Hidróxido de Litio y, una pulpa de Carbonato de Calcio con bajo contenido de humedad.

La solución de Hidróxido de Litio filtrada es traspasada al cristalizador al vacío para la etapa de evaporación, en el cual el agua es evaporada para concentrar la solución de Hidróxido de Litio.

### 5.2.3. Evaporación

La solución de Hidróxido de Litio filtrada es traspasada al cristalizador al vacío para la etapa de evaporación, en el cual el agua es evaporada para concentrar la solución de Hidróxido de Litio.



Horno rotatorio utilizado para el proceso de escalamiento en la síntesis de los cátodos  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  y  $\text{LiFePO}_4$



Técnico de la GNRE operando el equipo de absorción atómica



Técnico de la GNRE operando el espectrómetro de emisión óptica



Técnico de la GNRE operando equipo cristalizador al vacío

### 5.2.4. Cristalización

La solución de Hidróxido de Litio concentrada es filtrada en filtro centrifugo y traspasada al cristalizador al vacío para permitir la cristalización de Hidróxido de Litio, en el cual esta etapa se realiza de dos formas:

- Por evaporación y enfriamiento de la solución saturadas de Hidróxido de Litio.
- Por cristalización de salado (cambio de solvente) con adición de Etanol (5 y 10%), compuesto miscible con el agua.

### 5.2.5. Centrifugación

En la etapa de cristalización se tiene una mezcla de Hidróxido de Litio y la solución remanente a una temperatura entre 15 y 30°C, continua el proceso de centrifugación para separar los cristales de la solución saturada en Hidróxido de Litio (remanente), con impurezas de Sodio, Potasio, Cloruros y Sulfatos arrastrados.

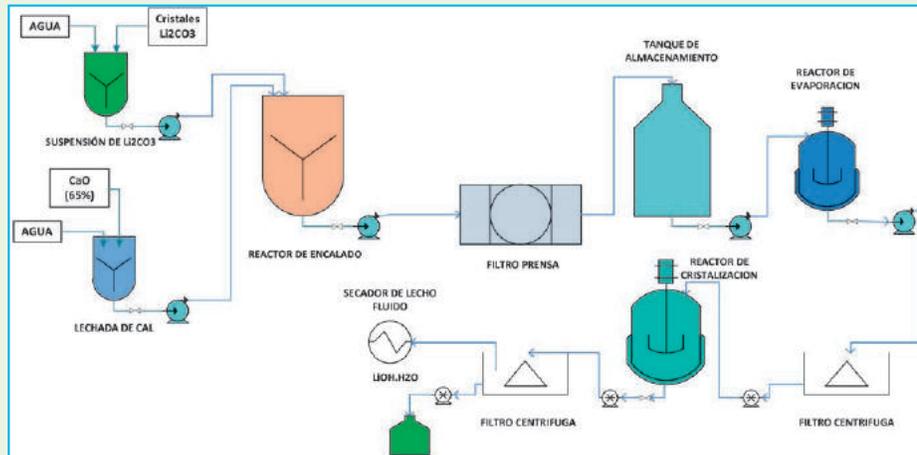
### 5.2.6. Secado y enfriamiento

El hidróxido de litio monohidratado proveniente de la centrifuga, es secado en un sistema de lecho fluidizado entre 80 – 100°C con atmosfera controlada, para posteriormente ser enfriado bajo condiciones de temperatura y ambiente controladas.

El Hidróxido de Litio Monohidratado proveniente de la centrifuga, es secado en un sistema de lecho fluidizado entre 80 – 100°C con atmosfera controlada, para posteriormente ser enfriado bajo condiciones de temperatura y ambiente controladas.

Se obtuvieron los siguientes resultados a nivel piloto. Los resultados finales del proceso de producción de Hidróxido de Litio Monohidratado

Diagrama de flujo del proceso de obtención de Hidróxido de Litio Monohidratado



muestran que estaríamos obteniendo un producto del 98%, con un rendimiento del

Análisis de productos de LiOH·H2O obtenido a escala piloto en planta Llipi

Concentración % Peso									Observaciones
Li	Mg	K	Na	Ca	OH	Cl	SO4	B	
15,93	0,002	0,02	0,05	0,03	37,48	0,15	0,13	0,01	Análisis Lab. Llipi
15,7	0,001	0,07	0,08	0,015	-	-	-	-	Análisis Lab. La Palca

Fuente: Resultados de Laboratorio de la Planta de Llipi y laboratorio CICYT MAT – REB

60%, sin embargo aclaramos que estos productos se obtuvieron con Carbonato de Litio de una pureza del 94 – 96%, todavía se está trabajando en la optimización de parámetros críticos tanto para aumentar el rendimiento del proceso como en disminuir el contenido de impurezas en el Hidróxido de Litio Monohidratado.



Difractor de rayos X



Microscopio electrónico de barrido



Espectrómetro de energía dispersiva



Técnico operando equipo Glove box con atmósfera controlada



Potenciostato

## 6. IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIOS

En anteriores gestiones, se han adquirido e instalado equipos de última tecnología, con los cuales se ha ido trabajando en la presente gestión en su manejo, manipulación y estandarización de cada uno de ellos, a la fecha se cuenta con los siguientes equipos:



*Profesional de la GNRE explicando sobre los trabajos de caracterización que se realiza en el laboratorio del CICYT-MAT REB*



## 6.1. Adquisición de equipos para el Centro de Investigación CICYT MAT REB

A partir del 3 de marzo del 2016 se realiza la primera solicitud y el 4 de abril la segunda solicitud de Adquisición de Equipos de Análisis y Caracterización. Estos equipos fueron licitados mediante convocatoria abierta el 10 de abril de 2016 en prensa de circulación nacional y en la página web de la COMIBOL-GNRE y adquiridos por medio de los diferentes proveedores y/o fabricantes de las mejores marcas y de tecnología a nivel internacional.

Los equipos se encuentran en plena fabricación, el cual dura en promedio entre unos 8 meses, estos equipos de análisis y caracterización serán la herramienta fundamental para el análisis y caracterización de los diferentes materiales, nanomateriales, cátodos, electrolitos, ánodos, sales precursoras de litio que serán sintetizados y/o analizados en el centro de Investigación CICYT MAT-REB, proporcionando a nuestros investigadores los siguientes resultados.

EQUIPOS DE ANALISIS Y CARACTERIZACION	INFORMACION PROPORCIONADA	VISUALIZACIÓN
ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE 1 (AGILENT – USA-MALASIA)  ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE 2 (GBC-AUSTRALIA)	Nos proporciona información valiosa en la elucidación estructural de acuerdo a los niveles de transición y de electrones libres de compuestos orgánicos, análisis cuantitativo de compuestos e iones mediante métodos complexométricos, colorimétrico, estudios cinéticos y otros análisis en función a la estructura del compuesto.	
ANALIZADOR SIMULTÁNEO TERMOGRAVIMÉTRICO Y DIFERENCIAL (THERMO SCIENTIFIC-USA)	Este equipo nos proporciona información sobre la degradación, modificación, alteración, descomposición, de un compuesto en función de la temperatura y la masa, así como las propiedades de: entalpía, capacidad térmica, pérdida de masa, coeficiente de expansión térmica entre otros.	
CROMATOGRAFO DE GASES (AGILENT-USA)	El cromatografo de gases es un equipo para la cuantificación de compuestos específicos así como el control de calidad de un producto orgánico que tiene un punto de ebullición menor a 350 °C	
MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN (JEOL-JAPON)	Proporciona información para caracterización morfológica, química y estructura cristalina a escala atómica de muestras sólidas como materiales de cátodo, ánodo, colectores, precursores, etc. para baterías de ion litio y materiales sólidos en general. Obtener imágenes de difracción de electrones de área seleccionada (SAED) para resolución de estructuras cristalinas.	
ESPECTROFOTÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (WDXRF) (RIGAKU-JAPON)	Para el análisis elemental químico de muestras sólidas, polvos sueltos y líquidas hasta niveles de traza, que cubra un amplio rango de detección de elementos desde el Berilio hasta el Uranio, con énfasis en elementos livianos como B, C, N, O, F, Cl, S, Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, La, Ti, V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Al, In, Si, Sn, Pb, P, Br.	
ESPECTRÓMETRO RAMAN (WITEC-ALEMANIA)	Para la caracterización molecular y química de los materiales orgánicos e inorgánicos en medio líquido, viscoso, y sólido (en forma de polvo y películas) es fundamental en el análisis de grafito, materiales carbonosos, materiales catódicos, y anódicos en a base a compuestos óxidos: Mn, Fe, Co, Li, Sn, P, Cu, Ni, Al, Ti, Ag, Si, Pb y Zn, electrolitos iónicos y no iónicos a base de F, P, Li, B, S, otros.	
ESPECTRÓMETRO FOTOELECTRÓNICO DE RAYOS X (JEOL-JAPON)	Este equipo nos proporciona datos de análisis cuantitativo para el estudio de los estados de oxidación en la superficie de materiales catódicos y anódicos como Li, Fe, Ni, Mn, Co, Sn, P, Cu, Ni, Al, Ti, Pb y Zn, O, Si; nuevos materiales, compuestos orgánicos, inorgánicos, sea en polvo o películas delgadas.	
RESONANCIA MAGNÉTICA RMN (BRUKER-ALEMANIA)	Elucidación de estructuras orgánicas en dos dimensiones y para compuestos sólidos. Un campo magnético de 500 MHz ofrece una sensibilidad muy alta y la posibilidad de estudiar moléculas muy complejas	



Vista panorámica de instalaciones de la Planta Piloto de baterías de Litio en La Palca - Potosí

## 7. DEPARTAMENTO FUNCIONAL LA PALCA – POTOSÍ, DFLPP.

Las construcciones de obras civiles realizadas en la presente gestión dentro de las instalaciones del Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP) son las siguientes:

### 7.1. Construcción de gradas de acceso a las instalaciones del Centro de Investigación Científica Tecnológica (CICYT).

Para el acceso, movimiento y traslado de personal entre los componentes ubicados en el CIDYP en instalaciones de La Palca, mismos que se encuentran físicamente ubicados en diferentes infraestructuras.

Las gradas construidas en el lado derecho (parte posterior de la PPB) son de hormigón ciclópeo de 2 metros de ancho con huellas de 0.30 metros y contrahuellas de 0.20 metros, con barandas metálicas de tubo galvanizado de 2"; y las del lado izquierdo (parte anterior de la PPB) fueron hechos de una combinación de entre hormigón ciclópeo y metálicas con las mismas características y dimensiones descritas anteriormente.

### 7.2. Refacción ambientes de almacenes

Este trabajo se lo realizo con la ejecución de las siguientes actividades:

*Ambientes del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología y Palanta Piloto de Materiales Catódicos*



- Demolición de muros de ladrillo
- Revoque interior como exterior de paredes
- Cambio de ventanas y puertas
- Pintado de muros interior y exterior como de cielos rasos
- Pintado de puertas y ventanas
- Vaciado de entresijos y retiro de escombros.

### 7.3. Construcción del comedor del Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP)

Esta construcción se la realizó en una infraestructura existente en la misma demoliéndose muros y pedestales de hormigón armado, destinados para un taller mecánico a cargo de la empresa Maní Construcciones.

Los trabajos resalta dentro de esta obra de magnitud fueron los que a continuación se describen como ser: fundaciones, columnas, vigas de hormigón armado, muros de ladrillo, revestimiento de yeso interiormente, revestimiento de cal cemento exterior, empedrado y contra piso de hormigón, revestimiento cerámico de pisos y mesones cocina, cubierta de cercha metálica con calamina ondulada, construcción de baños higiénicos para varones como para mujeres, área de refrigerado, preparado y guardado de alimentos, aceras, ventanas y puertas de madera, rejas metálicas para ventanas, instalación sanitaria, instalación eléctrica, instalación de agua potable, estructura para tanque elevado, tanque de agua, luminarias fluorescentes y cielo falso.

El comedor cuenta con un parque para estacionamiento de vehículos livianos, sin descartar la circulación de buses de mayor capacidad para llevar y recoger los comensales. Tiene una capacidad de 150 comensales simultáneos, el funcionamiento en sí de la cocina tiene diferentes ambientes para administración, aseo de personal y la elaboración de los alimentos.

### 7.4. Construcción puente vehicular acceso al Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP)

La estructura propuesta es un puente pórtico de un solo tramo que mide una longitud de 10 m de luz, que tiene una unión rígida entre la superestructura y la infraestructura, este tipo de estructura es la típica para este tipo de puente topografía y longitud de cauce.

### 7.5. Refacción instalaciones del Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)

Esta construcción se la realizó en una infraestructura existente en la misma demoliéndose muros y pedestales de hormigón armado, destinados para oficinas de la Administración de La Palca.

Los trabajos de esta obra de magnitud fueron los que a continuación se describen:

- Muros de ladrillo
- Revestimiento de yeso interiormente
- Revestimiento de cal cemento exterior
- Área de laboratorios
- Instalación sanitaria
- Instalación eléctrica
- Instalación de agua potable y otros.

### 7.6. Refacción instalaciones de la Planta Piloto de Materiales Catódicos (PPMC)

Este contrato fue firmado por la Empresa CONSULCAD INGENIERIA S.R.L. en fecha 15 de julio del 2016 por un monto de Bs. 10'280.966,90 (Diez Millones Doscientos Ochenta Mil Novecientos Sesenta y Seis 90/100 Bolivianos) para la refacción de la Planta Piloto de Materiales Catódicos en una superficie de 680 metros cuadrados, distribuidos en dos plantas.



Reacondicionamiento de ambientes para el Centro de Investigación



Comedor de la GNRE en La Palca



Precariedad del puente de paso vehicular antiguo



Proyecto de nuevo puente

## 8. OTRAS ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO

### 8.1. Acciones conjuntas GNRE-CEA (Francia)

El 5 y 6 de abril de 2016 dos expertos del CEA visitaron la PPB, para la identificación de puntos críticos en el proceso de ensamblado de baterías; cuyo resultado fue la elaboración y entrega a la GNRE de la propuesta "BATTERY CELL LINE RETROFIT OF COMIBOL EXISTING LINE", la cual fue analizada y esta siendo evaluada por la DE&B.

### 8.2. Convenio con la Universidad Autónoma Tomás Frías

En el marco de cooperación institucional entre la GNRE y la UATF es que se ha formalizado mediante un convenio entre estas dos instituciones para el desarrollo de investigaciones, prácticas en la industria y elaboración de tesis. Los resultados hasta la fecha son:

- 2 practicantes de la UATF por un periodo de 3 meses en el CICYT MAT-REB.
- 3 estudiantes tesisistas de la UATF con un avance del 70% en el CICYT MAT-REB.
- 2 trabajos de tesis culminados en el área de materiales catódicos:  $\text{LiFePO}_4$  y  $\text{LiFe}_5\text{O}_8$ .

### 8.3. Cursos de capacitación especializada en síntesis y caracterización de materiales

Como se tiene planificado por el CICYT MAT-REB, el de realizar cursos de capacitación especializada a estudiantes, investigadores y docentes de la Universidad Autónoma Tomás Frías a finales de cada gestión es que se ha organizado la llamada "Jornadas en Ciencia de Materiales y sus aplicaciones en baterías de ion Litio" en su segunda versión. El curso teórico y práctico ha sido llevado a cabo para en los siguientes temas: Difracción de rayos X, Microscopía electrónica, Absorción atómica, ICP-OES, síntesis de materiales para electrodos, electroquímica y ensamblado de baterías de ion Litio. Los cursos teóricos fueron llevados a cabo en las aulas de la Universidad Autónoma Tomás Frías y el laboratorio en el Centro de Investigación CICYT MAT-REB ubicado en la Palca-Potosí.

### 8.4. Programa "100 Becas"

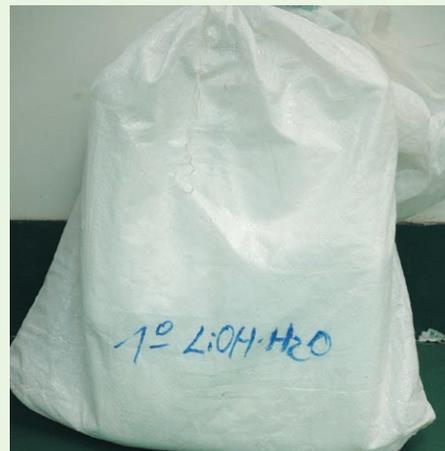
Dentro de los diferentes proyectos que forman parte de la industrialización de los Recursos Evaporíticos la GNRE-COMIBOL, tiene como objetivo incrementar la capacidad científica, tecnológica y de innovación y contribuir al desarrollo de cada una de sus fases y áreas a través de promover estudios de postgrado con carácter presencial en las mejores universidades del mundo a jóvenes profesionales de todo el territorio boliviano a través del Programa "100 Becas de estudio para la Soberanía Científica y Tecnológica" gestionado por el Ministerio de Educación, en el marco del D.S. 2100 del 1 de Septiembre de 2014.

Durante la gestión 2016 la GNRE promocionó la educación superior de cuatro profesionales, uno de ellos el Ing. Misael Ali Mita (Universidad Mayor de San Andres) se encuentra cursando el segundo semestre de sus estudios de Maestría en la Universidad Nacional de Seúl, Corea del Sur.

Por otro lado, otros tres becarios están cursando el primer semestre de sus estudios de maestría; Ing. Nataly Cabrera Morón (Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno), Ing. Karla Calderon (Universidad Autónoma Tomás Frías) Ing. Edgar Bautista Quisbert (Universidad Mayor de San Andres) se encuentran diferentes facultades de la Universidad de Grenoble, Francia.

### 8.5. Cursos de capacitación realizados en la Universidad Autónoma Tomás Frías

Se realizó la segunda versión de los cursos de capacitación para estudiantes, docentes e investigadores de la Univesidad Autónoma Tomás Frías (UATF) denominada "2da



En la primera imagen, Hidróxido de Litio proceso en Planta Piloto de Llipi, en segunda imagen, condicionado de este material ( $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) para su respectivo secado en laboratorio de Planta Piloto de baterías y CICYT-MAT REB



Ing. Misael Ali profesional de la GNRE, en el frontis de la Universidad de Seul-Corea del Sur, donde realiza cursos de maestría en materiales catódicos

Jornadas en Ciencia de Materiales y sus Aplicaciones en Baterías de ion Litio”, en estas jornadas se desarrolló 4 cursos específicos:

- Difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y microscopia electrónica de barrido
- Análisis químico por absorción atómica y emisión óptica ICP-OES
- Síntesis de materiales y ensamblado de batería de ion Litio
- Diseño de packs y control de calidad de baterías de ion Litio.

Estos cursos fueron llevados a cabo tanto teórico como práctico en los laboratorios del CIDYP ubicado en la Palca-Potosí del 06 al 08 de diciembre de 2016. La participación fue muy satisfactoria con un total de 40 personas divididas en grupos correspondientes.



Inauguración de los cursos con la participación del Vicerrector, Decano de la Facultad de ciencias Puras, Directores de las carreras de Física y Química de la UATF

## 8.6. Participación en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales

A partir de diciembre del 2015, la carrera de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, a través de su Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales y el Comité Organizador del “XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales”, de la Universidad Mayor de San Andrés, hizo llegar su “Primera Circular” de invitación para presentar trabajos y resultados de investigación para el mencionado congreso; es en ese sentido que la Fase III de la GNRE – Dirección de Electroquímica y Baterías puso a consideración del mismo, su participación con cinco trabajos, los cuales, fueron aprobados y presentados en las Plenarias del segundo día del evento, en el Auditorio del Centro de Comunicaciones La Paz.

Los trabajos presentados fueron:

- “Producción del Carbonato de Litio de alta pureza”, Fidel Usnayo, Marco Condoretty, Benigno Mamani
- “Diseño y desarrollo de baterías cilíndricas de ion-Litio en la Planta Piloto de baterías”, José Tito Churqui, Ramiro Erquicia, Giovana Diaz
- “Síntesis de materiales catódicos a partir del Carbonato de Litio boliviano y su aplicación en baterías de ion-litio”, Marcelo Gonzales
- “Síntesis y caracterización del LiCoO<sub>2</sub> a partir del carbonato de litio boliviano”, Benigno Mamani, Marcelo Gonzales, Fidel Usnayo
- “Desarrollo de materiales anódicos basado en Estaño con Carbono para baterías de ion-Litio”, Luz Quispe.



Profesionales de la GNRE en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia

## 8.7. GNRE se honró con la visita del Dr. Ernesto Calvo y destacado analista Federico Nacif

El 24 y 25 de octubre del 2016, la GNRE se honró con la visita de destacados investigadores sobre el Litio, Ernesto Calvo es Doctor en Electroquímica Molecular del Litio, Director del Instituto de Materiales, Medio Ambiente y Energía de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Buenos Aires, miembro del Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina, y destacado investigador argentino, Ernesto y Federico participaron en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales.

Ambos profesionales aprovecharon esta oportunidad para visitar a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, oportunidad en la que pudieron informarse de fuente primaria del emprendimiento asumido por el gobierno boliviano:

El Dr. Calvo se mostró muy sorprendido por los avances alcanzados en el proyecto boliviano, *“Bolivia claramente está mucho más adelantado que Argentina, lo que ustedes han hecho es extraordinario, porque han hecho toda la cadena en muy poco tiempo, han dado un salto gigante desde el punto de vista tecnológico, porque lograron adquirir conocimiento propio... Ustedes tienen un objetivo, el recurso Litio una riqueza que logran extraerlo, desarrollan la tecnología y dan valor agregado aprendiendo a fabricar baterías, esto yo no lo veo en mi país”* señaló.

Dentro de las declaraciones que realizó, además enfatizó:

*“Bolivia está hoy muy cerca de producir baterías de Litio con un valor social muy importante, lo cual permitirá llevar energía a zonas rurales e impulsar el ensamblado de vehículos eléctricos”*. concluyó

Por su parte Federico Nacif destacó el carácter estatal del emprendimiento boliviano que *“a diferencia de otros países de la región, Bolivia desarrolla su propio conocimiento científico y tecnológico con manos libres, porque cuentan financiamiento garantizado por el Estado, no dependen de las empresas del mercado mundial”* afirmó.

*“Bolivia ha logrado un avance espectacular en poco tiempo como la sintetización de materiales catódicos logrados en laboratorios de la Planta Piloto, este hecho es muy relevante e importante, ensamblar una batería no es sencillo, tiene que ver con el dominio del conocimiento tecnológico de punta y desarrolla la cadena de valor agregado, cuenta con infraestructura básica y tecnología para la investigación”* señaló.



En ambas imágenes el gerente Echazú conversando con el Dr. Ernesto Calvo (foto izquierda) y con Federico Nacif (foto derecha) de profesión sociólogo especialista en temas del Litio



# Medio Ambiente y Seguridad Industrial

## 1. CUMPLIENDO CON LA NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL

El Departamento de Medio Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional de la GNRE, ha desarrollado su trabajo cumpliendo con la normativa medioambiental de nuestras entidades matrices (Ministerio de medio Ambiente y Aguas, Dirección de Medio Ambiente de la Corporación Minera de Bolivia, Dirección de Medio Ambiente de la Gobernación de Potosí entre otros).

### 1.1. Licencias Ambientales y Monitoreo

- Todos los proyectos que desarrolla la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos cuentan con Licencia Ambiental.
- La Estación Experimental de Tauca cuenta con el Certificado de Dispensación Categoría 3 N°040801-02-CD-358-2014 y termina sus actividades este año.
- La Planta Piloto de baterías cuenta con el Certificado de Dispensación 050103-19-CD-C3-025/2013 y presentó su monitoreo anual.
- Los proyectos en desarrollo en el Salar de Uyuni son la Planta Piloto de Carbonato de Litio que cuenta con el Certificado de Dispensación 051402-CD EMAP C3 20/2009 y el Proyecto Planta Modular y Planta Industrial de Cloruro de Potasio DIA 050901/02/DIA/4544/13.

Este último presentó los informes semestrales técnicos de emisiones y efluentes y el informe anual de la gestión 1/6/2015 al 1/6/2016.

Destaca en esta gestión la permanente supervisión a las empresas contratistas y subcontratistas para que se enmarquen en las medidas de mitigación propuestas en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental.

En cuanto a las medidas de mitigación planteadas y aprobadas en nuestra Declaratoria de Impacto Ambiental (Licencia Ambiental) vamos más allá con la exigencia de certificación de emisiones de los vehículos y maquinarias que trabajan para nosotros y los propios a los cuales monitoreamos también con equipo propio:



## ORGANISMO DE INSPECCION Y CALIDAD

No.116CAM01471

**CERTIFICADO DE INSPECCIÓN A PROTOTIPO**  
 EQUIPO  
**CAMIONETA**

1.0	Solicitante:	COMIBOL
1.1	Equipo:	CAMIONETA
1.2	Fabricante:	TOYOTA
1.3	Modelo:	LAND CRUISER
1.4	Vin / Chasis:	JTEEU71J304003019
1.5	Interno:	NO POSEE
1.6	Año:	2013
2.0	Criterio de Inspección:	Emisiones atmosféricas
3.0	Alcance de la Inspección:	Verificar las emisiones atmosféricas cumplan con las Normas Bolivianas NB 62002 y NB 62003
3.1	N° Informe del TALLER:	0191
4.0	Lugar de ensayos	UYUNI
5.0	Modelo de Certificación:	ISO/CASCO 1 A

#### II.- CARACTERÍSTICAS

De acuerdo con la reglamentación establecida por OIC S.R.L., el Organismo de Inspección y Calidad tiene a bien otorgar el presente **CERTIFICADO DE INSPECCIÓN A PROTOTIPO**, declarando que los resultados de los requisitos señalados en 3.0 Alcance de la Inspección, **CUMPLEN** con los requisitos técnicos descritos en 2.0 Criterio de Inspección.

Los resultados de los ensayos obtenidos para dicho producto se detallan en 1 (una) hoja de continuación anexa, sin la cual el presente **CERTIFICADO** no tiene la validez correspondiente.

El Certificado de Inspección a Prototipo, no avala a los lotes producidos por el fabricante, cuyas características necesariamente deben ser evaluadas de acuerdo con el esquema de inspección a **LOTES**.

El presente certificado no puede ser reproducido total ni parcialmente, ni ser utilizado en publicidad en ningún medio de comunicación y tiene una validez de seis meses, en consecuencia su vigencia regirá hasta **2017-02-20**.

Es emitido en la ciudad de Santa Cruz, a los veintiséis días del mes de agosto del año dos mil dieciséis.

  
 Ing. Ernesto Siles Sanzeteña  
 GERENTE GENERAL  
 OIC S.R.L.



NOTA: Este Documento es nulo si tiene tachaduras, rasaduras o enmiendas y no es válido sin la(s) HOJA(S) DE CONTINUACIÓN ANEXA(S) emitidos por el OIC-División Inspección.

000916 ESUP  
1DI 16-CAM-01-471

HOJA 1 DE 2

Barrio Hamacas Calle Piso Firme N° 3670 • Telf: (591) 3 343 4202 • Santa Cruz - Bolivia  
 E-mail: info@oicrsrl.org • www.oicrsrl.org

Certificado de Inspección de vehículo



Inspección a volquetas, se observa el kit antiderrame, basurero, cono, extintor y otros implementos para contingencias

## 1.2. Inspecciones Ambientales realizadas a las diferentes áreas de trabajo y empresas contratistas del proyecto

Las empresas que trabajan en nuestro proyecto reciben un documento de los requerimientos de Medio Ambiente Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, para trabajar con nosotros y entre otros se encuentra su Plan de Manejo Ambiental. Periódicamente presentan informes y se les realiza inspecciones.

### 1.2.1. Monitoreo de Fauna

Para el monitoreo, contamos con las libretas de avistamiento de fauna, las cuales son llenadas por los trabajadores.

### 1.2.2. Gestión de Residuos Sólidos

En la Estación Experimental de Tauca se continúa con la selección de residuos sólidos y para esto se han establecido celdas para la disposición de llantas maderas, baterías y filtros, etc.

En La Palca y su campamento “El Rancho”, los residuos sólidos comunes, son seleccionados en origen y para esto se cuenta con clasificadores de residuos sólidos.

El área de Medio Ambiente del CIDYP en la Palca realiza una gestión ambiental en lo referente a la clasificación y disposición final de las baterías, que se generan en planta Piloto de Baterías PPB, los cuales son almacenados en contenedores que reúnen las condiciones de seguridad para su resguardo.

En la Planta Llipi y el Salar de Uyuni, siguiendo el Plan de Gestión y Valoración de Residuos Sólidos, permanentemente se mejora la selección en origen de residuos sólidos y se tiene una base de datos en la cual se registran todos los residuos generados por el proyecto como de las empresas contratistas. Para esto se solicita a los responsables de entrega de residuos sólidos que pesen y registren el peso de cada tipo de residuo previo a entregarlo, posteriormente hacemos un control y los disponemos de manera

separada, procediendo a incinerar los residuos no aprovechables. El manejo realizado permite la reutilización del material en construcciones y otros usos.

Un ejemplo destacable es la re-utilizaron de palets, restos de geotextiles y geomembranas y tubos de cartón que fueron aprovechados para la construcción de oficinas en el salar de Uyuni, con el

apoyo en el diseño y la construcción de la empresa GERIMEX P-31, contando a la fecha con un módulo de Medio Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, en el área de piscinas industriales. Este ejemplo fue seguido por otras áreas en la Planta Llipi y ahora se cuenta con más obras civiles realizadas con material reciclado.

REPORTE DE AVISTAMIENTO			
DIA	MES	AÑO	HORA
02	09	2016	11:44
NOMBRE COMÚN: <i>Gaviota</i>			
LUGAR DE AVISTAMIENTO: <i>Salar cerca a Piscinas Industriales</i>			
¿SE ENCUENTRA EN LA GUÍA? SI <input checked="" type="checkbox"/> PAG: <i>40</i> NO <input type="checkbox"/>			
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS: <i>adulto con capuchon de reproducción (apareciendo)</i>			
CLIMA: <i>Despejado</i>			
REGISTRO FOTOGRÁFICO: <i>si</i>			
<i>Reportado por: Kantuta Paleuque para medio ambiente</i>			

Reportes de avistamiento llenados por personal de la GNRE



Módulo de Medio Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional en el Salar de Uyuni, construido con material reciclado de palets y restos de geotextiles

El aceite usado producto del uso y mantenimiento de vehículos, maquinaria y equipo pesado es confinado en turriles y es entregado a una recicladora autorizada y a la Planta Industrial de Pulacayo dependiente de COMIBOL.

Durante esta gestión se hizo efectiva la construcción del galpón de almacenamiento de residuos sólidos y el área de incineración. Esto para un mejor aprovechamiento de los residuos.

### 1.2.3. Gestión del Agua

El agua es un recurso escaso en el lugar, por lo que su uso es objeto de control para lo cual en la presente gestión se instalaron medidores en lugares específicos en Llipi y el área del Salar de Uyuni lo que permite llevar un registro de carga en las cisternas que es llenado por los conductores que llevan y distribuyen el agua a las distintas áreas operativas. Estas acciones e información generada permitirá en un futuro implementar un Plan de Seguridad de Agua.

Para disminuir el volumen de aguas residuales generadas especialmente en el área del Salar de Uyuni se adquirieron más baños secos ecológicos, asimismo para el tratamiento de las aguas negras y grises generadas en los campamentos se realiza el tratamiento anaerobio en cámaras sépticas y en un biodigestor (PTAR).

En vista del incremento de la actividad en el área del proyecto que ya contará con dos plantas industriales, se ha diseñado un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales y actualmente se halla en proceso de implementación.

Los residuos líquidos (orina) son acumulados y se prevé su utilización para un proyecto de investigación para el desarrollo de fertilizantes propuesto por el Instituto de Investigaciones Farmaco Químicas de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas de la Universidad Mayor de San Andrés.



Galpón de selección y almacenamiento de residuos sólidos en el Salar de Uyuni



Clasificadores de residuos sólidos en el campamento de las empresas contratistas, para la correcta selección en origen

### 1.2.4. Áreas verdes

En la Estación Experimental de Tauca, se cuenta con un área verde establecida hace muchos años que con el esfuerzo en el cuidado y el riego permanente, se encuentra en desarrollo.

En la Planta Llipi se tiene un pequeño vivero, algunos cultivos de plántulas que fueron castigados por la nevada y áreas verdes recientemente dispuestas.

### 1.2.5. Capacitación a nuestro personal y personal de las empresas

En La Palca, capacitaciones en Gestión Ambiental y Manejo de Residuos Sólidos se realizan en cumplimiento a un cronograma de actividades mensuales.

Todo el personal de la Planta Piloto de baterías de Litio, el Departamento Funcional de La Palca Potosí y el Centro de Investigación Científica y Tecnológica, fue capacitado el 2016.

En la Planta Piloto de Llipi, el 2016 se dieron 40 eventos de capacitación en temas como la Gestión Ambiental, la Gestión de Residuos Sólidos, el Agua y su manejo y el Uso y Manejo de los Baños Ecológicos, capacitando a un 80% de todo el personal; también se efectuaron inducciones a todo personal nuevo y visitas que ingresan al área del proyecto, lo que suma más de 400 personas. Todas las semanas se brindan charlas de cinco minutos donde se consideran temas como el agua y su valor, La Ley 1333 del Medio Ambiente y la importancia del manejo adecuado de residuos sólidos.



Miembros del Comité Mixto de la Planta Llipi.



Personal de la Empresa CRETA encargada del catering en Llipi y de la GNRE pesando diferentes Residuos Sólidos para su respectivo registro



Suri (*Pterocnemia pennata*) próximo al camino de ingreso de la Planta Llipi

## 2. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

La GNRE en cumplimiento de sus políticas en materia de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, de acuerdo a normas establecidas por la DIMA-COMIBOL, La Ley 16998 de Higiene, Seguridad y Salud Ocupacional, durante la gestión 2016 ha desarrollado actividades de prevención y control de accidentes laborales en todos los proyectos en operación.

### 2.1. Implementación de normas de Seguridad y Salud Ocupacional

Actualización de la Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos en Planta Llipi .

Durante la presente gestión se esta actualizando la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos establecida en 2013 en la planta de Llipi, como un requisito enmarcado en la OHSAS 18001 para que las entidades, puedan establecer la jerarquía de controles que es la identificación de peligros y evaluación de riesgos. Su implementación será ejecutada en el 2017 una vez que sea aprobada, será difundida y comunicada a todo el personal de la GNRE mediante procedimientos,

INDUCCIÓN A PERSONAL DE LA GNRE, CONTRATISTAS Y VISITAS	CANTIDAD	%
Personal GNRE	231	32%
Personal contratista	340	47%
Visitas	149	21%
<b>TOTAL</b>	<b>720</b>	<b>100%</b>

*Inducción a personal de la GNRE, contratistas y visitas de enero a agosto 2016*

además se revisará y actualizará cada vez que ocurran incidentes cuyos riesgos o medidas de control no hayan sido considerados inicialmente.

### 2.2. Inducciones de Seguridad y Salud Ocupacional

La inducción de seguridad y salud ocupacional es una tarea permanente y recurrente en las actividades del área de Seguridad Industrial con el fin de reducir los riesgos existentes y evitar la ocurrencia de incidentes, se imparte a:

- Personal nuevo GNRE
- Visitas
- Empresas contratistas.

Como se observa en la tabla 1 alrededor de 720 personas recibieron la inducción

de enero a agosto destacándose el personal de las empresas contratistas con un 47% de participación.

### 2.3. Capacitación en Seguridad y Salud Ocupacional

Permanentemente se realizan capacitaciones para formar una conciencia de seguridad en los trabajadores mediante diferentes métodos prácticos y teóricos tanto en el proyecto Industrial en Llipi, en el Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje en la Palca y en la Estación Experimental de Tauca en Coipasa, en la tabla 2 se observa las capacitaciones realizadas en la gestión 2016 que alcanzan a 820 personas. La capacitación comprende charlas y conferencias, charlas de concientización de cinco minutos.

CAPACITACIÓN	FASE INDUSTRIAL LLIPI	Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP) La Palca	Centro Experimental Tauca	TOTAL
MANEJO Y USO DE EXTINTORES	73		14	87
MANEJO, USO Y TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS	77			77
EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL	65		21	86
MANIPULACION E INSPECCIÓN DE HERRAMIENTAS	28			28
SEÑALIZACIÓN	30		15	45
PRIMEROS AUXILIOS	10	32	29	71
SEGURIDAD SOCIAL I	15			15
GRIPES Y RESFRIOS	25			25
MANEJO MANUAL DE CARGAS	18		12	30
CONCEPTOS BASICOS DE MANEJO DE GRUA	8			8
BLOQUEO Y ETIQUETADO	49			49
PERMISOS DE TRABAJO	9			9
GIMNASIA LABORAL	12			12
USO, PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL USO DE LA AMOLADORA		9		9
INFECCIONES GASTROINTESTINALES		11	26	37
USO E INDICACIONES DE LA FAJA LUMBAR		35		35
PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIAS EN LABORATORIO		33	24	57
GASTRITIS		34	27	61
ESTRÉS LABORAL		32	26	58
ALCOHOLEMIA			21	21
<b>TOTAL</b>	<b>419</b>	<b>186</b>	<b>215</b>	<b>820</b>

*Capacitaciones realizadas en la Gestión 2016 enero-agosto 2016*

## 2.4. Implementación de inspecciones

El Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional realiza inspecciones programadas y no programadas a las distintas áreas del proyecto como a las empresas contratistas, esto con el fin de identificar actos y/o condiciones inseguras e implementar de manera oportuna medidas correctivas y/o preventivas que puedan garantizar la seguridad de los trabajadores dentro del proyecto.

Para la implementación se utilizaron formularios que sirven como respaldo del trabajo teniendo como resultado 25 formularios estandarizados internos que sirven para dar continuidad a las inspecciones realizadas.

En el caso de las empresas contratistas se estableció el documento Requisitos en Medio Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, exigiendo el cumplimiento de la Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar DL 16998 y otras normativas relacionadas con la seguridad y salud ocupacional priorizando los siguientes puntos:

- Documentación
- Personal de seguridad y salud ocupacional
- Salud ocupacional
- Capacitación
- Equipo de protección personal y ropa de trabajo
- Reuniones de seguridad y salud ocupacional
- Vehículos, equipos móviles, instalaciones
- Campamentos y comedores
- Plan de emergencia
- Comunicación e investigación de incidentes (accidentes y casi accidentes).

Resultado de estas acciones, se puede observar el desarrollo de conductas que promueven las buenas practicas, el orden y limpieza en las áreas de trabajo, reacción oportuna para efectuar el mantenimiento y/o recarga de extintores, detección de fugas de combustible y gas, reposición de medicamentos en los botiquines, etc.

		LISTA MAESTRA DE DOCUMENTOS INTERNOS					MASySO-GNRE
							SySO-FS-01
							Version: 00
							Página 1 de 1
FORMULARIOS							
CÓDIGO	Ver.	DENOMINACIÓN	REALIZADO	REVISADO	APROBADO	ARCHIVO	
SySO-FS-02	0	REGISTRO DE ASISTENCIA	Encargados SySO	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SySO-FS-03	0	ACTA DE REUNIÓN SYSO	Encargados SySO	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SySO-FS-04	0	TARJETA DE OBSERVACIÓN PREVENTIVA	Encargados SySO	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SySO-FS-05	0	PERMISO DE TRABAJO	Encargados SySO	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SySO-FS-06	0	ANÁLISIS DE RIESGO EN EL TRABAJO	Encargados SySO	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-01	0	INSPECCION DE HERRAMIENTAS MANUALES	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-02	0	INSPECCION DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-03	0	INSPECCION DE EXTINTORES	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-04	0	INSPECCION TUBERIAS DE GAS	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-05	0	INSPECCION DE EQUIPOS DE ARNÉS Y CONECTORES	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-06	0	INSPECCION DE VEHICULOS Y EQUIPOS MÓVILES	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-07	0	INSPECCION DE GENERADORES	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	
SI-FO-08	0	INSPECCION DE HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS	Equipo SI	Resp. SySO	Jefe de Depto. MASySO	Resp. SySO	

*Formulario de inspecciones, registro realizado por personal de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional de la GNRE*

*Inspección del estado operable de heramientas*



*Inspección de vehículos y equipos móviles*



*Inspección de botiquín de primeros auxilios*



## 2.5. Señalización

El uso de letreros de señalización de prohibición, prevención, obligación, es una forma de dialogo universal con las personas que se encuentran ante un riesgo, el cual funciona como el medio de comunicación preventiva para reducir las posibles lesiones al contacto con algún tipo de riesgo asociado al trabajo, sean agentes físicos, químicos, biológicos, etc., evitando posibles accidentes y enfermedades profesionales, daños potenciales que deterioren la salud del trabajador, en la presente gestión se ha ampliado la cobertura de señalización en los diferentes proyectos alcanzándose a cerca de un 70% de áreas que cuentan con su señalización correspondiente.

## 2.6. Controles operativos en seguridad industrial

La apertura de permisos de trabajo crítico en la Planta de Llipi : trabajo de izaje, trabajo en espacios confinados, trabajo en caliente, detección de fugas de combustibles, control de la velocidad de tráfico en el área del proyecto, etc., ha sido mejorada con la adquisición de equipos de medición y control como el detector multigases, medidores de velocidad. Por otra parte se realizó la implementación de análisis de riesgo para trabajos no rutinarios que sirve como constancia de que se conocen todos los peligros y riesgos antes de iniciar una actividad no rutinaria.

## 2.7. Implementos de seguridad

### 2.7.1. Ropa de trabajo y Equipos de protección personal

La protección y preservación de la integridad física de los trabajadores de los diferentes proyecto y áreas de la GNRE es tarea primordial, por lo cual la entrega de ropa de trabajo y equipos de protección personal (EPP) se realiza para minimizar los riesgos a los cuales los trabajadores se puedan exponer al momento de realizar una actividad o tarea designada, estos son asignados con previa evaluación de seguridad industrial en la que se considera



Señalización preventiva



Señalización "Punto de Encuentro" en campamento Llipi



Señalización preventiva instalaciones de generador eléctrico

los peligros y riesgos en el lugar donde se realiza la actividad, esta evaluación se realiza con el fin de garantizar que el equipo proporcionado al trabajador sea el adecuado, todo esto en cumplimiento de la Ley General de Higiene y Seguridad Ocupacional y Bienestar DL 16998.

La dotación de ropa de trabajo se ha ejecutado en todos los proyectos a inicios de gestión entre febrero y marzo y en agosto de 2016, los EPPs (botines de seguridad, cascos, gafas, protectores auditivos, ropa térmica etc.), se dotan según el requerimiento de mantenimiento y desgaste de forma permanente.

**2.7.2. Comité Mixto de Higiene, Seguridad y Bienestar Ocupacional**

En cumplimiento a la Ley General del trabajo se han implementado los Comité Mixto de Higiene y Seguridad Ocupacional y Bienestar en las plantas de Llipi (Proyecto Industrial) y La Palca (CIDYP), los cuales en uso de sus atribuciones viene realizando inspecciones a las diferentes áreas estableciendo observaciones a las condiciones de seguridad y riesgos a la salud ocupacional de los trabajadores y proponiendo sugerencias y alternativas de acción para la superación de estas. Asimismo el personal de Seguridad y Salud Ocupacional brinda capacitación continua a estos comités para mejorar su desempeño.

**2.7.3. Indices de accidentabilidad 2016**

Desde gestiones anteriores se ha realizado el control estadístico de incidentes utilizando indicadores: La tasa de incidentes de frecuencia (o Tasa de Incidentes) se calcula multiplicando el número de casos registrables por 200.000, y dividiendo esa cifra por el número de horas de trabajo en los proyectos. El Índice de Severidad es un cálculo que da a la GNRE un promedio del número de días perdidos por incidente con lesión ocurrido.

En la Tabla 1 se definen los índices de accidentabilidad esperados del año 2016 por mes. Los cuales son mostrados primero en la Gráfica 1 donde se observa que en el mes de Enero de 2016 el índice de frecuencia (LT) es de 8 (7,81) trabajadores (que han participan en una lesión con baja médica) este indicador desciende durante la gestión hasta un valor de 2 (1,81) como consecuencia de las medidas preventivas implementadas por la unidad de SlySO; de forma similar el índice (TR) muestra un valor de 8 (7,81) trabajadores que participaron en un incidente con una lesión registrable en el mes de Enero de 2016 llegando al índice más bajo con 4 (3,27) en el mes de noviembre de 2016.

Considerando el total de los incidentes en la gráfica 2 se puede observar que existe un descenso considerable desde 18 (17,84) Marzo 2016 hasta 9 (9,04) trabajadores en el mes de Noviembre que participan en una lesión .

En el gráfico 3 observamos que durante el primer trimestre del 2016 existe un incremento en días perdidos (18) por incidentes con lesiones, a partir de las medidas y acciones preventivas tomadas por SlySO este índice desciende hasta 9 (días) en el último trimestre, para un total de horas trabajadas de 620.340 considerando las tres plantas Llipi, La Palca y Tauca.

**Índices de accidentabilidad 2016**

INDICE	METODO DE CALCULO	INDICE DE FRECUENCIA ESPERADO (OBJETIVO)	METODO DE MEDICION	RESPONSABLE
ÍNDICE DE FRECUENCIA LTI	$\frac{\text{Nº Accidentes (FAT, LTI)} \times 200.000}{\text{Total Horas trabajadas}}$	0,3 Trabajadores que participan en una lesión con baja médica.	Mensual	Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
ÍNDICE DE FRECUENCIA TRFR	$\frac{\text{Nº Accidentes (FAT, LTI, RWG, MTI)} \times 200.000}{\text{Total Horas trabajadas}}$	1 Trabajador que ha participado en una lesión que es registrable.	Mensual	Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
ÍNDICE DE FRECUENCIA AIFR	$\frac{\text{Nº Accidentes (FAT, LTI, RWG, MTI, FAI)} \times 200.000}{\text{Total Horas trabajadas}}$	4 Trabajadores que participan en una lesión	Mensual	Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
ÍNDICE DE SEVERIDAD	$\frac{\text{Nº Total de días perdidos}}{\text{Total de Accidentes LTI y FAT}}$	0 Días perdidos debido a incidentes con lesiones.	Mensual	Seguridad Industrial y Salud Ocupacional

Fuente: Seguridad Industrial y Salud Ocupacional GNRE - 2016

TOTAL DE PERSONAL	VACUNA CONTRA EL TETANOS						
	DOSIS	1era	2da	3era	4ta	5ta	Refuerzo
197	Cant. Aplicadas 2016	75	50	17	7	29	8
	Total de Inmunizados hasta el 2016	172	122	75	60	46	7

Registro de vacunación 2016 de la Planta Llipi

TOTAL DEL PERSONAL	Nº DE TRABAJADORES	1º	2º	3º	4º	5º	REFUERZO
43	TOTAL INMUNIZADOS HASTA 2016	43	43	27	27	2	0

Registro de vacunación 2016 de la Planta La Palca



Capacitación en salud ocupacional y primeros auxilios en Planta Llipi

Actividades de Salud Ocupacional 2016

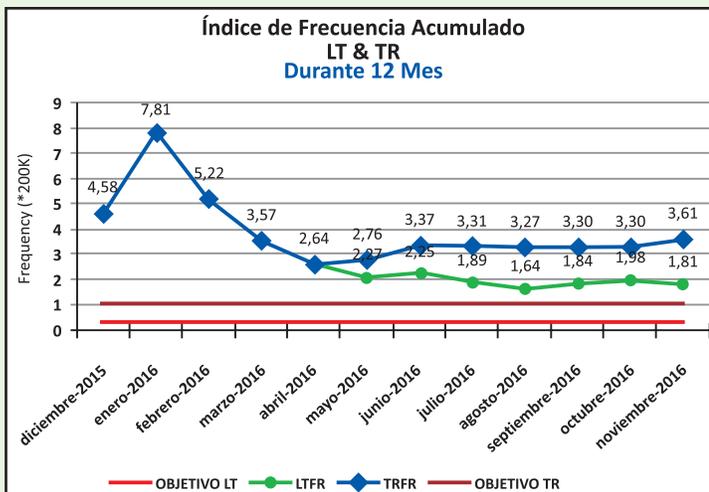
El trabajo que desarrolla el area de Salud Ocupacional en Llipi, La Palca y La Estacion Experimental de Tauca en Coipasa, es de primordial importancia debido a que estos se hallan alejados de los centros urbanos, brindando atencion oportuna y de emergencia ademas de capacitacion en primeros auxilios y salud ocupacional de forma permanente a todo el personal de las plantas.

Tanto el proyecto que se desarrolla en Llipi en el borde sur del Salar de Uyuni como la Estacion Experimental de Tauca en el Salar de Coipasa se ubican en la región altiplánica de nuestro país caracterizada por su clima frio y seco lo cual propicia la ocurrencia de cuadros de enfermedades con predominio de patologías respiratorias, seguida por las osteoneuromusculares y gastroenteritis, enfermedades comunes que se atienden en los consultorios de las plantas de la GNRE, asimismo como acciones preventivas se ejecutan campañas de capacitación y vacunación.

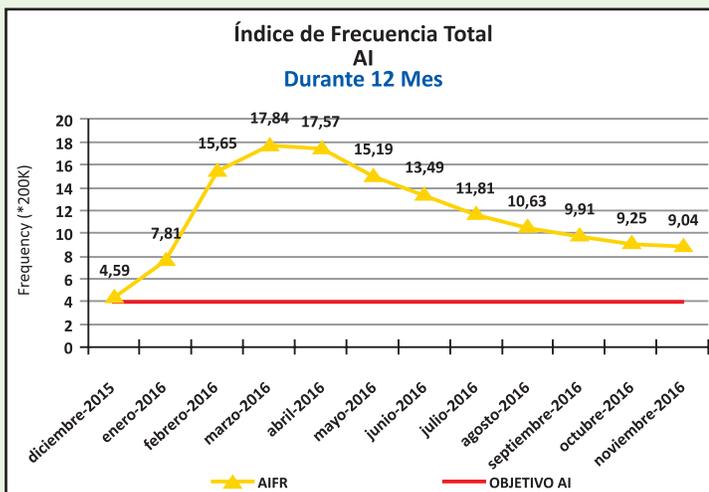
Desde la gestión 2012 se inició con la campaña contra el tétanos hasta la fecha se cuenta con el 83% de todo el personal inmunizado en sus diferentes dosis en la Planta Llipi y Tauca y un 100% en La Palca (CIDYP),

La creciente actividad constructiva en el area del Salar de Uyuni (proyecto Industrial) demanda la presencia permanente de los médicos en el sector, para lo cual se ha habilitado un consultorio en el sector de piscinas industriales que se encuentra en etapa de equipamiento.

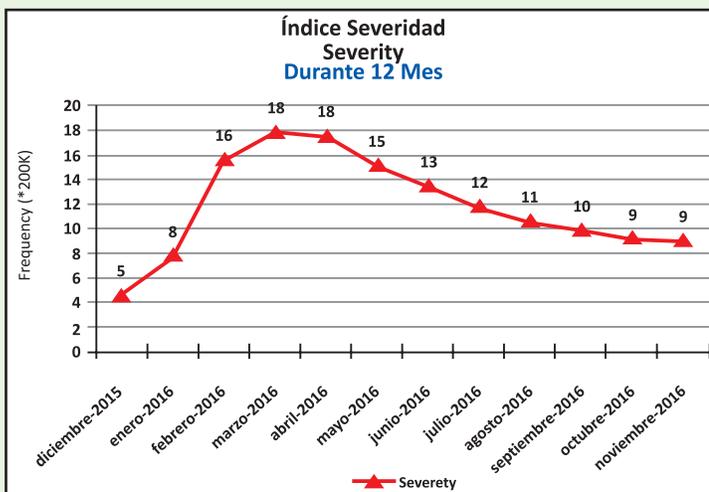
Gráfica N° 1: Índice de frecuencia de incidentes de salud gestión 2016



Gráfica N° 2: Índice de frecuencia de primeros auxilios total 2016



Gráfica N° 3: Índice de severidad de casos médicos 2016



# Dirección Administrativa



**GERENCIA NACIONAL DE RECURSOS EVAPORÍTICOS**

*Con dignidad y soberanía industrializamos:*

**Carbonato de Litio y  
Sales de Potasio**



Personal administrativo de La Paz en desfile cívico, recordando la usurpación del Litoral boliviano (marzo 2016)

## 1. DEPARTAMENTO DE RECURSOS HUMANOS

El personal administrativo de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, está conformado por un grupo diverso de profesionales, técnicos, administrativos y de planta.

El objetivo es convocar y potenciar el talento de los trabajadores respetando la diversidad de opinión y creencia, con una política social de inclusión y brindando oportunidad de promoción social en el ejercicio de sus actividades diarias.

El Departamento de RRHH es una de las unidades con funciones específicas del área administrativa y se fortalece a medida que el proyecto se va consolidando, cumpliendo las siguientes funciones:

- Organización y planificación del personal de acuerdo con la organización del Proyecto, vela por los puestos de trabajo oportunos y se provee las necesidades de personal a corto y mediano plazo.

- Reclutamiento: son los procedimientos encaminados a atraer candidatos competentes para un puesto de trabajo en el proyecto.
- Selección: esta función es muy importante, ya que uno de los factores determinantes del éxito de una actividad es la correcta elección de las personas que trabajarán en el proyecto.
- Evaluación del desempeño y control del personal: desde RR.HH. se controla aspectos como el absentismo, los movimientos de personal y las relaciones laborales. Para las evaluaciones del personal se trabaja de manera coordinada con las diferentes direcciones y jefaturas.
- Clima y satisfacción laboral: es necesario detectar el nivel de satisfacción del trabajador dentro de la organización y los motivos de descontento, con la intención de

aplicar medidas correctivas. Uno de los factores que mayor y mejor incidencia tienen en la consecución de un buen clima laboral es la conciliación de la vida laboral y familiar.

- Administración del personal: se gestiona todos los trámites administrativos que comporta el personal del proyecto, englobados en ámbitos como la selección, seguros sociales y control de los derechos y deberes del trabajador.
- Relaciones laborales: se trata de promover la comunicación entre el proyecto y sus empleados, utilizando una buena comunicación entre representantes sindicales y la GNRE.
- Prevención de riesgos laborales: las condiciones de trabajo y de los riesgos laborales asociados preceden a la implementación de medidas de prevención y de protección, a fin de



Momento de entrega de premios a los equipos ganadores (ID) del campeonato interno de la administración de La Paz

preservar la salud de las personas que trabajan en el proyecto, labor que se realiza en coordinación con el Departamento de Medio Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.

### 1.1. Capacitación al personal

A través de gestiones con el Centro de Capacitación CENCAP, dependiente de la Contraloría General del Estado, se ha llevado a cabo varios curso de capacitación a todo el personal de la GNRE (Planta Llipi, Centro de Investigación La Palca y Oficina La Paz), acerca de la Ley 1178, habiendo desarrollado los siguientes cursos:

- Gestión por Resultados
- Apoyo Administrativo
- Responsabilidad por la Función Pública
- Capacitación en administración de archivos.
- Formación sindical
- Gestión administrativa con transparencia Ley N° 28168

Logrando de este manera que gran parte del personal tenga conocimiento de la normativa que nos rige.

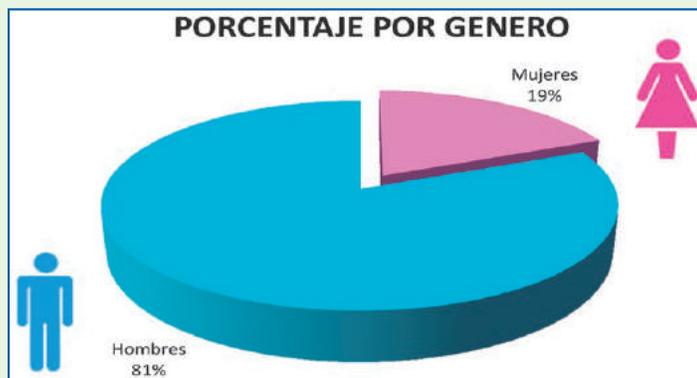
A través de un taller informativo, el personal de la GNRE se informó acerca del proceder de las administradoras del fondo de pensiones AFPs, tipos de jubilación, el destino de los aportes, del proceder de los empleadores, además de los procedimientos de jubilación.

Acerca de las becas de estudio para la soberanía científica tecnológica, se coordina, se socializa y realiza el correspondiente seguimiento para que el personal de la GNRE pueda acceder a las mismas.

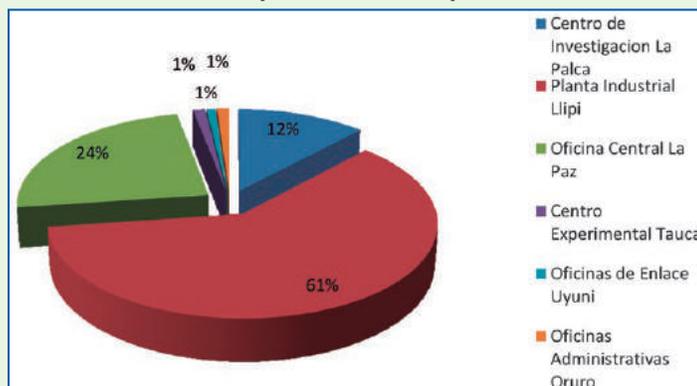
### 1.2. Actividades deportivas y de esparcimiento

El deporte como actividad de recreación incorpora varios aspectos positivos relacionados al desarrollo humano y al entorno laboral, bajo la premisa de confraternización, Se ha observado que los encuentros deportivos dentro de la institución han disminuido notablemente los niveles de estrés detectados.

### Participación porcentual del personal de la GNRE por género



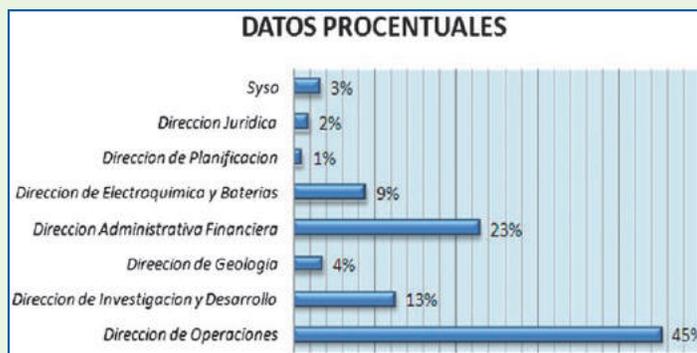
### Personal por centro de operaciones



### Total personal de la GNRE por direcciones

AREAS	DOTACION DE PERSONAL		BRECHA PORCENTUAL
	Mujeres	Hombres	
1. Direccion de Operaciones	7	155	45%
2. Direccion de Investigacion y Desarrollo	18	27	13%
3. Direccion de Geologia	2	11	4%
4. Direccion Administrativa Financiera	18	64	23%
5. Direccion de Electroquimica y Baterias	10	22	9%
6. Direccion de Planificacion	1	3	1%
7. Direccion Juridica	4	3	2%
8. Syso	7	5	3%
<b>Cantidad del Personal</b>	<b>67</b>	<b>290</b>	<b>100%</b>

### Participación porcentual del personal por áreas



### 1.3. Presupuesto y su ejecución

EL Presupuesto asignado a la Gerencia para la gestión 2016, conforme a la Ley N°. 769 de 17/12/2015 y las modificaciones presupuestarias aprobadas mediante Resolución de Directorio General; así como la ejecución proyectada; se expresa de la siguiente forma:

A nivel de Gasto Corriente, la Producción Piloto se encuentra reflejada en la Actividad denominada DESARROLLO INTEGRAL DE LA SALMUERA DEL SALAR DE UYUNI - FASE I, financiado con Recursos Propios de la COMIBOL:

PROYECTO	PRESUPUESTO VIGENTE	PRESUPUESTO EJECUTADO	PORCENTAJE DE EJECUCIÓN
Desarrollo integral de la salmuera del Salar de Uyuni - Fase I (Act. de producción)	12.811.498	5.599.890	44%

A nivel de Gasto de Inversión, se tienen asignados los siguientes proyectos:

- DESARROLLO INTEGRAL DE LA SALMUERA DEL SALAR DE UYUNI - PLANTA INDUSTRIAL - FASE II, financiado con Préstamo de Recursos del Banco Central de Bolivia.
- DESARROLLO INTEGRAL DE LA SALMUERA DEL SALAR DE COIPASA, financiado con Recursos Propios de la COMIBOL
- IMPLEMENTACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO Y PILOTAJE CIDYP LA PALCA POTOSI, financiado con Préstamo de Recursos del Banco Central de Bolivia.

PROYECTOS	PRESUPUESTO VIGENTE	PRESUPUESTO EJECUTADO	PORCENTAJE DE EJECUCIÓN
DESARROLLO INTEGRAL DE LA SALMUERA DEL SALAR DE COIPASA	6.797.846	2.731.307	40%
DESARROLLO INTEGRAL DE LA SALMUERA DEL SALAR DE UYUNI - PLANTA INDUSTRIAL - FASE II	702.824.096	603.908.458	86%
IMPLEMENTACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO Y PILOTAJE CIDYP - LA PALCA POTOSÍ	110.105.543	17.749.318	16%
<b>TOTAL INVERSIÓN BS.</b>	<b>819.727.485</b>	<b>624.389.083</b>	<b>76%</b>

### 1.4. El financiamiento del Banco Central de Bolivia

La Gerencia en el marco de la Estrategia de Industrialización de los Recursos Evaporíticos diseñada por el Presidente Evo Morales Ayma, cuenta con el financiamiento otorgado por las leyes del Presupuesto General del Estado en sus diferentes gestiones, a la fecha se cuenta con los siguientes contratos de financiamiento con el Banco Central de Bolivia y sus respectivos desembolsos:

FASE II DE PRODUCCIÓN DESARROLLO INTEGRAL DE LA SALMUERA DEL SALAR DE UYUNI - PLANTA INDUSTRIAL			
PROYECTO	MONTO DEL CONTRATO	DESEMBOLSOS	OBSERVACIONES
CONTRATO SANO 178/11 DE FECHA 13/05/11	801.050.000	801.050.000	Desembolsado en su totalidad
CONTRATO SANO 169/15 DE FECHA 18/05/2015	4.301.190.050	2.206.650.366	(Se espera que el último desembolso se realice en diciembre)

FASE III DE INDUSTRIALIZACIÓN IMPLEMENTACIÓN PLANTA PILOTO DE BATERÍAS DE LITIO EN BOLIVIA IMPLEMENTACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO Y PILOTAJE LA PALCA - POTOSÍ			
PROYECTO	MONTO CONTRATO	DESEMBOLSOS	OBSERVACIONES
CONTRATO SANO 178/11 DE FECHA 13/05/11	35.350.000	35.350.000	Desembolsado en su totalidad
CONTRATO SANO 033/14 DE FECHA 26/02/2014	237.274.016	49.597.005	(Último desembolso realizado en fecha 21-05-14)

Instantáneas deportivas



- Fotos izquierda: equipos que participaron en el campeonato interno en futbol de salón y volibol, del personal administrativo de La Paz.
- Foto superior: equipo de la GNRE logró el segundo lugar en el campeonato inter institucional de la administración central de COMIBOL, realizado en la ciudad de La Paz.



- Trabajadore se la Planta Llpi en copetencia interna en la disciplina de natación, realizado en la ciudad de Potosí



- Participación de la selección de la Planta Llpi que participó en el campeonato nacional de futbol de trabajadores mineros, organizado por la Federación Sindical de Trabajadores Mineros de Bolivia (FSTMB), que se realizó en diciembre en la ciudad de Potosí, el equipo de la GNRE logró un importante desempeño hasta llegar a octavos de final.



**Más allá de  
nuestras fronteras**

## 1. Un gran contexto internacional para el Litio

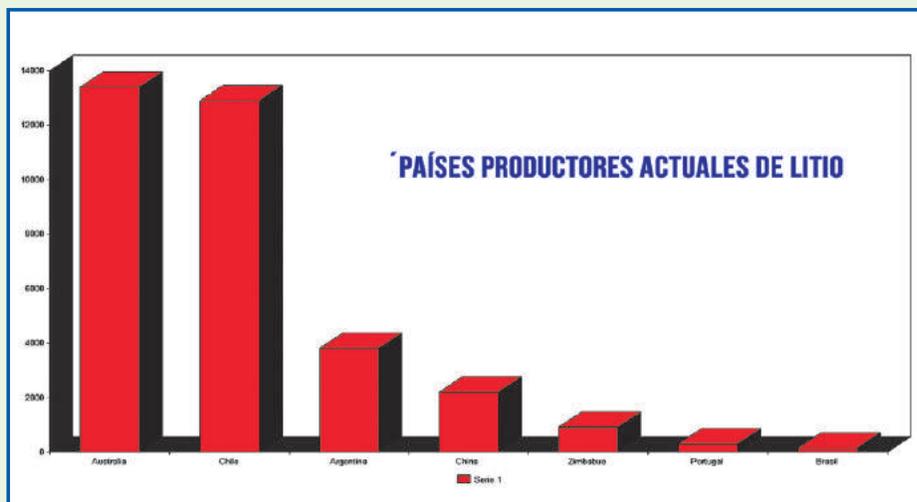
“Se visualiza a nivel mundial una mayor demanda y por lo tanto un aumento de precios”, así se manifestó el Presidente de la Cámara Minera de Catamarca, Luís Manuel Álvarez en el seminario internacional de Litio realizado en San Salvador de Jujuy Argentina (abril 2016).

La conclusión del seminario resume el contexto internacional actual del Litio, los precios del Carbonato de Litio subieron 47% en el primer trimestre de 2016 frente a la cotización promedio de 2015, según datos recientes de Benchmark Mineral Intelligence.

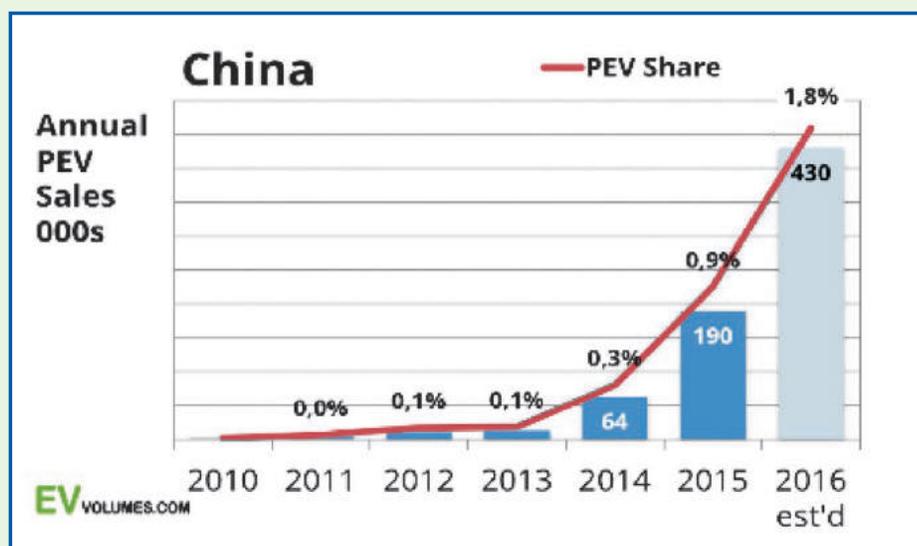
De acuerdo a otro portal especializado en minería (Minería Chilena), en 2010 una tonelada se transaba en US\$ 4 mil y en 2015, en US\$ 12 mil, según información de la industria, hoy los precios spot están sobre los US\$ 20 mil por tonelada, Cristóbal García Huidobro, CEO de Minera Salar Blanco, que tiene proyectos en el Salar de Maricunga, agrega, “al no ser un mercado muy profundo como el de otros commodities, la mayor parte de la producción se transa a través de contratos privados, en los que los precios son menores”.

Uno de los factores del incremento de la demanda del Litio, es su creciente uso en baterías, que va aumentando en forma sostenida en los últimos años debido al desarrollo de las baterías de Litio recargables para vehículos eléctricos, redes de almacenamiento, dispositivos electrónicos portátiles y su incursión acelerada en artefactos y herramientas eléctricas. La producción mundial de Litio se ha incrementado como consecuencia de la demanda de los distintos mercados especialmente asiáticos.

Frente a esta demanda creciente del Litio, en Chile ante el temor de perder el liderazgo, se replantea una política más agresiva en esta industria pero con posiciones contradictorias; la creación del movimiento “Litio para Chile”, y el reciente informe de la Comisión Investigadora del



Fuente: atdonia.wordpress.com, septiembre 2016



Evolución de la demanada de Litio en China, el gráfico corresponde al artículo: La Guerra Comercial y Política por el Litio, abril 2016, publicado en <http://dineroclub.net>

Litio plantean recuperar sus yacimientos para su explotación por el Estado, en franca oposición a la política extractivista de las dos principales operadoras SQM y Rockwood.

Mientras que la estatal Codelco plantea una política de asociación con algún inversor extranjero, en este último año se habrían aproximado muchas empresas interesadas con este propósito como afirma un titular de El Mercurio “Llega a Chile avalancha de compañías extranjeras que buscan explotar litio”. Por su lado la Corporación de Fomento (Corfo) y Rockwood, ya abría concretado

acuerdos con la norteamericana para aumentar su cuota de extracción de Litio en el Salar de Atacama.

Ante el incremento de precios del Litio, las dos principales compañías buscan incrementar sus metas de producción con una mayor inversión para sus proyectos, Rockwood busca ampliar su producción de 45.300 toneladas anuales hasta alcanzar una producción de 88.000 toneladas al año, con el mismo propósito, SQM también ha anunciado una inversión de US\$ 180 millones para aumentar su producción.

En el caso de Argentina en la industria del Litio, hay varios proyectos en etapa de factibilidad y de estudios que se tendrían que concretar en los próximos años para consolidarse como productor y exportador de Carbonato de Litio.

El cambio de régimen político con el nuevo gobierno de Argentina, capitales de Corea, Australia, Francia, China, Canadá y Japón entre otros, confirmaron su interés de implementar planes de búsqueda e inversión para la extracción de Litio en los salares del Norte.

También se confirmó que durante el primer semestre de 2018 se pondrá en marcha el proyecto de producción de Carbonato de Litio en Salar del Cauchari y Olaroz, provincia de Jujuy, que demandará la construcción de una planta de 40.000 toneladas.

Por otra parte, diferentes sectores plantean la generación de valor agregado con la incursión en la industrialización de

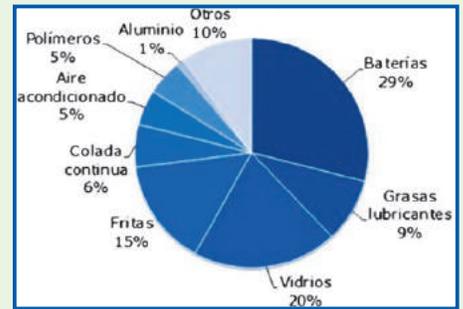
baterías de Litio y no solamente extraer materia prima.

La extracción de Carbonato de Litio está concentrada en pocos países (Chile, Australia, Argentina y China), y entre las principales empresas productoras están Talison, SQM, Albemarle y FMC), lo que impulsa a las empresas con desarrollo tecnológico que demandan este producto, a buscar alianzas estratégicas y joint ventures que les permita un acceso garantizado a esta materia prima.

El mundo entero esta lanzandose por el Litio, pues es la materia prima para las baterías eléctricas que ya está incursionando en el autotransporte aunque tímidamente pero sostenido.

Muchos especialistas en el tema Litio afirman que ya estamos ante el comienzo de la era del llamado "oro blanco" que incluso algunos se atreven a catalogar como "la nueva gasolina".

**Demanda de Litio según aplicaciones**

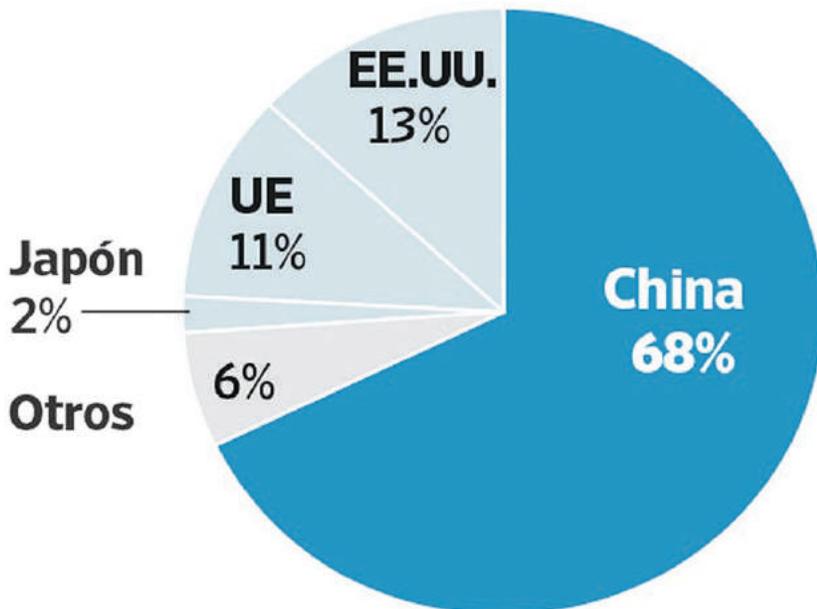


Fuente: publicación de [www.biobiochile.cl](http://www.biobiochile.cl), febrero 2016



Fuente: <http://www.litioensudamerica.com.ar>, 2013

**Cuotas del mercado global de baterías de iones de litio, estimaciones de 2015**



Fuente: Wall Street Journal, 2016

Según una publicación de BBC, Elon Musk jefe de los coches eléctricos de Tesla, afirmó que para producir 500.000 vehículos al año, básicamente necesitarían absorber toda la producción de Litio del mundo.

## 2. Recuperación del precio del Potasio se hace esperar

De acuerdo a reporte mensual del Banco Mundial, el mercado internacional de Potasio se ha caracterizado por la inestabilidad en la gestión 2016, con una tendencia a la baja, ante esta coyuntura negativa de precios, algunos productores de este fertilizante han optado por una mayor producción para compensar los precios bajos.

Por su parte uno de los mayores productores de Cloruro de Potasio, Uralkali una sociedad anónima pública, en abril dio a conocer que su producción del mineral registró una caída del 3,70% en el primer trimestre del año, en comparación con igual período del 2015.

Según Andrei Guryev CEO de otra empresa rusa importante, PhosAgro, afirmó que la industria de fertilizantes debe prepararse para una importante baja

de precios que dejaría fuera del negocio a algunos productores.

Según Andrei, los precios de los fertilizantes de Nitrógeno, Fosfato y Potasio continuarán inestables por la debil demanda de este insumo; también señaló que el mercado debe reducir las excesivas existencias para “volver a crecer de nuevo”.

Sin embargo por el comportamiento de los precios a la baja, parece que continúan las presiones por el control del mercado mundial de este fertilizante, lo que se expresa en un estancamiento de los precios.

Por su lado la otra mayor productora mundial de fertilizantes, la canadiense Potashcorp en su portal afirma que están incursionando en mercados específicos de África, China e India en un entorno de precios menos volátil.

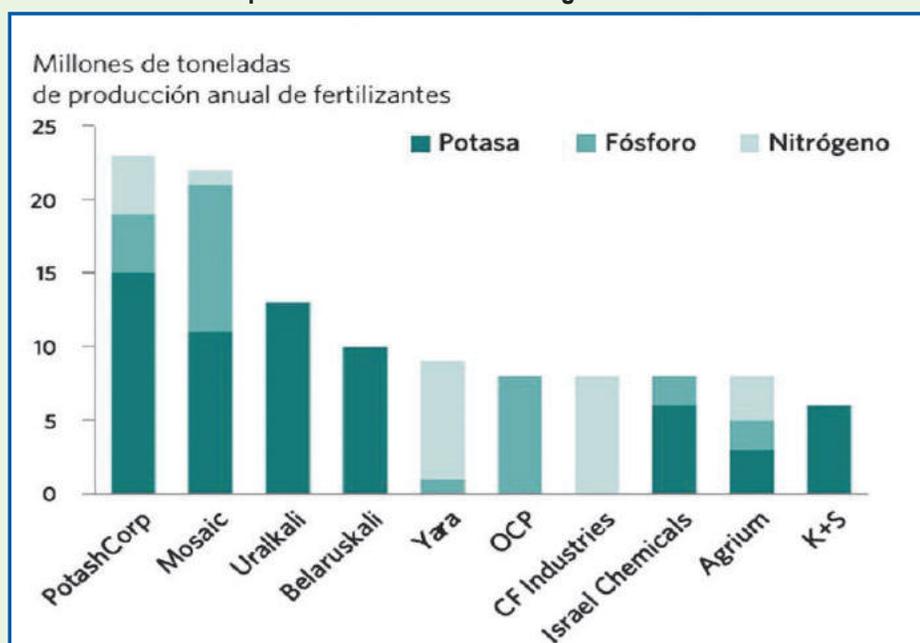
Ante la situación actual del mercado mundial, Potashcorp, optimiza sus sistemas de distribución con el objetivo de alcanzar un equilibrio de la oferta con la demanda.

## Comportamiento de precios de Cloruro de Potasio 2016

MES	PRECIO \$US/TON
Enero	290
Febrero	282
Marzo	277
Abril	269
Mayo	264
Junio	256
Julio	228
Agosto	220
Septiembre	215
Octubre	216
<b>PROMEDIO</b>	<b>257</b>

Fuente://www.indexmundi con datos del Banco Mundial

## Diez empresas de fertilizantes más grandes del mundo



Fuente:// La gráfica corresponde a www.grain.org, septiembre 2015



# INDICE

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	6
<b>DIRECCIÓN DE OPERACIONES</b>	
<b>1. FASE I – PLANTAS PILOTO</b> .....	11
1.2. Planta Piloto de Cloruro de Potasio.....	11
1.3. Planta Piloto de Carbonato de Litio (Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) .....	11
1.4. Bolivia incursiona en mercado asiático .....	12
1.5. Comercialización de productos .....	13
<b>2. FASE II – INDUSTRIAL</b> .....	14
2.1. Construcción de la Planta Industrial de sales de Potasio.....	15
2.2. Descripción de la planta de producción.....	15
2.3. Edificio de procesos .....	17
2.4. Ingeniería de Proyecto a Diseño Final de la Planta Industrial de Carbonato de Litio .....	17
2.5. Construcción de las piscinas industriales.....	18
2.6. Construcción red de bombeo para piscinas industriales.....	19
2.7. Instalación y puesta en marcha de grupos electrógenos a GLP .....	19
2.8. Proyectos sobre recursos hídricos .....	19
2.9. Diseño y construcción de la red de Media Tensión .....	20
<b>3. PARTICIPACIÓN EN FERIAS Y OTROS EVENTOS</b> .....	20
3.1. Expoagro 2016 .....	20
3.2. Fimem Bolivia 2016.....	20
3.3. Feria agropecuaria “Vidas 2016” .....	20
3.4. Expomin 2016.....	21
3.5. Campaña de siembra en Ayo Ayo .....	21
3.6. Premio Nacional a la Excelencia para el Vivir Bien 2016.....	22
<b>INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO</b>	
<b>1. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	24
1.1. Estudio de la agrupación de mezcla de pozos sector industrial.....	24
1.2. Validación de la simulación para el procesamiento de salmueras .....	24
1.3. Tratamiento de la salmuera residual .....	25
1.4. Cristalización de Sulfato de Litio en tanques reactores.....	25
1.5. Estudio del comportamiento de Boro en el procesamiento de la salmuera virgen del Salar de Uyuni, parte I .....	25
1.6. Tratamiento de sales mixtas mediante flotación inversa .....	25
<b>2. UNIDAD DE DESARROLLO EN SALAR DE UYUNI</b> .....	26
2.1. Puesta en marcha piscinas de evaporación circuito industrial.....	26
2.2. Circuito modular .....	26
2.3. Circuito acoplamiento .....	26
2.4. Cosecha de sales .....	27
2.5. Optimización en la obtención de materia prima .....	28
<b>3. DATOS METEREOLÓGICOS</b> .....	28
<b>4. UNIDAD DE LABORATORIO PLANTA LLIPI</b> .....	29
4.1. Acreditación de laboratorio planta Llipi.....	29
4.2. Optimización o implementación de nuevos métodos .....	30
4.3. Capacitación y formación al personal sobre el sistema de gestión.....	30
4.4. Capacitación Planta Piloto de Baterías y CICYT MAT-REB/ La Palca.....	30
4.5. Capacitación Planta Llipi .....	31
4.6. Curso de capacitación sobre el manejo del Software Match para la interpretación de difractogramas.....	31

<b>5. ACTIVIDADES DESARROLLADAS PROYECTO SALAR DE COIPASA</b> .....	32
5.1. Obtención de Sulfato de Potasio .....	32
5.2. Estudio del comportamiento de Boro en el procesamiento de la salmuera de Coipasa .....	32
5.3. Estudio de la ruta de cristalización de salmuera de distinta concentración .....	32
<b>6. UNIDAD DE DESARROLLO SALAR DE COIPASA</b> .....	32
6.1. Control y operación de piscinas a escala .....	32
6.2. Datos meteorológicos .....	32
<b>7. UNIDAD DE LABORATORIO - ESTACIÓN EXPERIMENTAL</b> .....	33
7.1. Investigación y desarrollo de métodos analíticos alternativos .....	33
<b>GEOLOGÍA DE SALARES</b>	
<b>1. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA EN EL SALAR DE UYUNI</b> .....	35
1.1. Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del Salar de Uyuni .....	35
1.2. Estudio de la costra superficial y semiprofunda del Salar de Uyuni .....	37
1.3. Estudio del sector sud del Salar de Uyuni .....	38
1.4. Levantamiento Geofísico (Tomografías de Resistividad y SEV) .....	44
<b>2. EXPLORACION GEOLOGICA EN EL SALAR DE COIPASA</b> .....	46
2.1. Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del Salar de Coipasa .....	46
2.2. Estudio de la costra superficial del Salar de Coipasa .....	47
2.3. Estudio del Salar de Coipasa en profundidad .....	48
2.4. Estudio geofísico en el Salar de Coipasa .....	49
<b>DIRECCIÓN DE ELECTROQUÍMICA Y BATERÍAS</b>	
<b>1. FASE III – BATERÍAS</b> .....	52
1.1. Acercamientos y negociación internacional .....	53
<b>2. PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATÓDICOS</b> .....	55
2.1. El proyecto .....	57
2.2. Líneas de producción Piloto .....	57
2.3. NMC simboliza el Óxido de Cobalto Manganeso Níquel Litiado o “LiNi <sub>1</sub> /3Mn <sub>1</sub> /3CO <sub>1</sub> /3O <sub>2</sub> ” .....	57
2.4. LMO Simboliza el Óxido de Manganeso Litiado o “LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ” .....	58
2.5. Caracterización del material .....	58
<b>3. PLANTA PILOTO BATERÍAS DE LITIO</b> .....	60
3.1. Ensamblado de diferentes diferentes configuraciones de baterías de ion Litio .....	61
3.2. Capacitación e inducción al personal técnico operativo de la Planta Piloto de Baterías (PPB) .....	62
3.3. Otras pruebas de aplicación de las baterías de ion Litio .....	62
3.4. Propuesta de investigación, diseño y desarrollo de baterías cilíndricas de ion Litio .....	63
<b>4. OTRAS ACTIVIDADES EN LA PLANTA PILOTO DE BATERÍAS</b> .....	64
<b>5. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS EVAPORÍTICOS DE BOLIVIA, CICYT MAT-REB</b> .....	64
5.1. Investigación en materiales catódicos .....	64
5.2. Obtención del Hidroxido de Litio a nivel piloto .....	66
<b>6. IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIOS</b> .....	68

<b>7. DEPARTAMENTO FUNCIONAL LA PALCA – POTOSÍ, DFLPP</b> .....	70
7.1. Construcción de gradas de acceso a las instalaciones del Centro de Investigación Científica Tecnológica (CICYT).....	70
7.2. Refacción ambientes de almacenes.....	70
7.3. Construcción del comedor del Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP).....	71
7.4. Construcción puente vehicular acceso al Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP).....	71
7.5. Refacción instalaciones del Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT).....	71
7.6. Refacción instalaciones de la Planta Piloto de Materiales Catódicos (PPMC).....	71
<b>8. OTRAS ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO</b> .....	72
8.1. Acciones conjuntas GNRE-CEA (Francia).....	72
8.2. Convenio con la Universidad Autónoma Tomas Frías.....	72
8.3. Cursos de capacitación especializada en síntesis y caracterización de materiales.....	72
8.4. Programa “100 Becas”.....	72
8.5. Cursos de capacitación realizados en la Universidad Autónoma Tomas Frías.....	72
8.6. Participación en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales.....	73
8.7. GNRE se honró con la visita del Dr. Ernesto Calvo y destacado analista Federico Nacif.....	74
 <b>MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL</b>	
<b>1. CUMPLIENDO CON LA NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL</b> .....	76
1.1. Licencias Ambientales y Monitoreo.....	76
1.2. Inspecciones Ambientales realizadas a las diferentes áreas de trabajo y empresas contratistas del proyecto.....	77
<b>2. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL</b> .....	80
2.1. Implementación de normas de Seguridad y Salud Ocupacional.....	80
2.2. Inducciones de Seguridad y Salud Ocupacional.....	80
2.3. Capacitación en Seguridad y Salud Ocupacional.....	80
2.4. Implementación de inspecciones.....	81
2.5. Señalización.....	82
2.6. Controles operativos en seguridad industrial.....	82
2.7. Implementos de seguridad.....	82
 <b>DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA</b>	
<b>1. DEPARTAMENTO DE RECURSOS HUMANOS</b> .....	86
1.1. Capacitación al personal.....	87
1.2. Actividades deportivas y de esparcimiento.....	87
1.3. Presupuesto y su ejecución.....	88
1.4. El financiamiento del Banco Central de Bolivia.....	88
 <b>MÁS ALLÁ DE NUESTRAS FRONTERAS</b>	
1. Un gran contexto internacional para el Litio.....	91
2. Recuperación del precio del Potasio se hace esperar.....	93

**Noviembre 2008**



**Noviembre 2013**





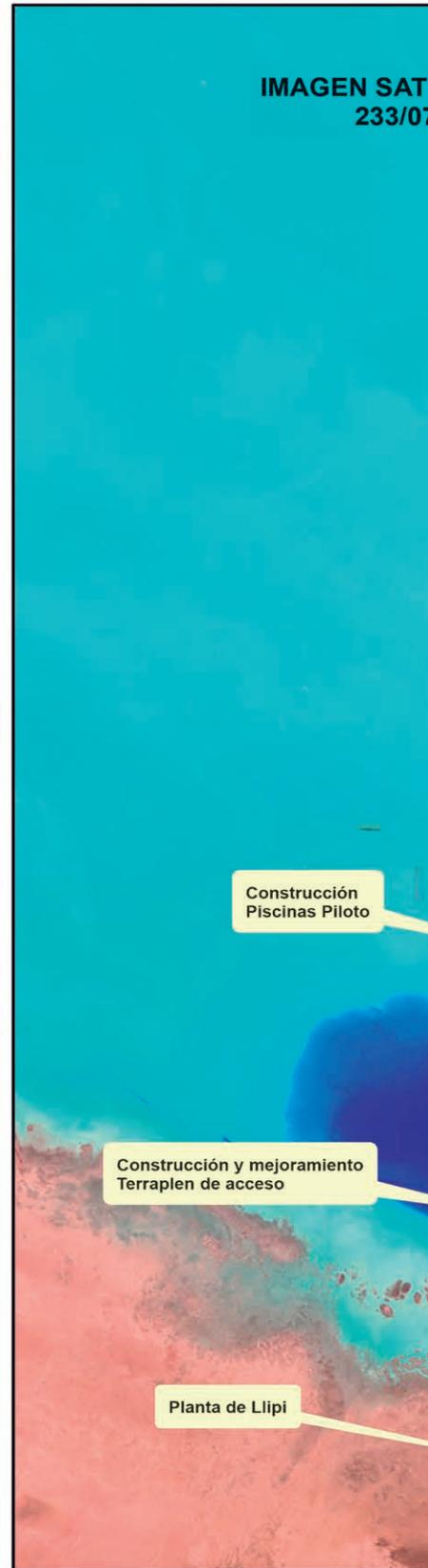


# SECUENCIA DE IMAGENES SATELITALES AVANCE DE OBRAS CIVILES DE L

IMAGEN SATELITAL LANDSAT 5 ETM  
233/074 DEL 17/07/2007



IMAGEN SAT  
233/07



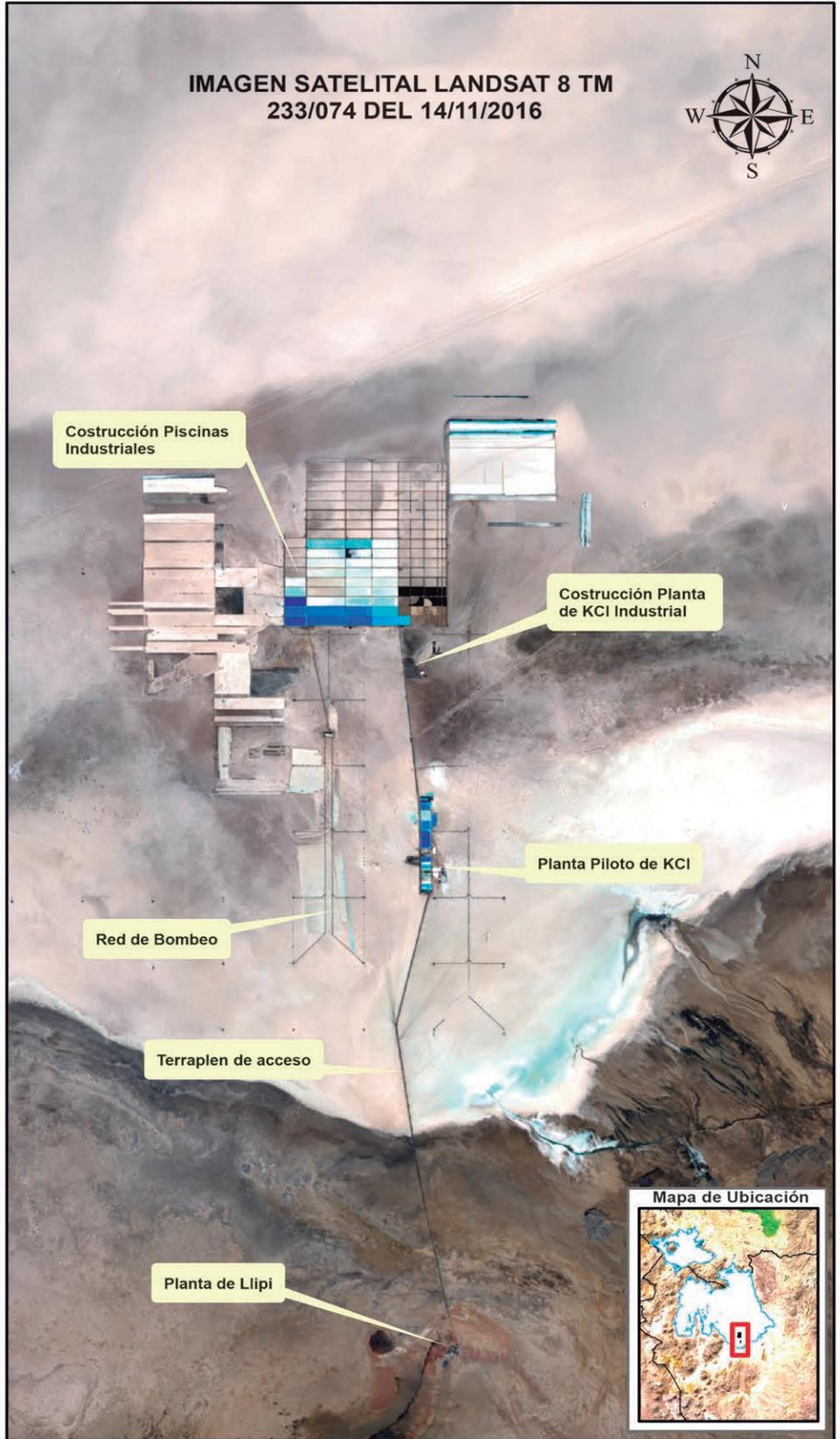
**S (PLANTA DE LLIPI, PISCINAS SALAR - GNRE)  
A GNRE - SALAR DE UYUNI (2007 - 2016)**



**SATELITAL LANDSAT 5 ETM  
233/074 DEL 29/08/2011**



**IMAGEN SATELITAL LANDSAT 8 TM  
233/074 DEL 14/11/2016**





**LA PAZ:** Av. Mariscal Santa Cruz, Esq. Yanacocha, Edificio Hansa, piso 19,  
Teléf. (591-2) 2145724 - 2145725 - 2145711

**POTOSÍ:** Av. Universitaria frente a ex Terminal de Buses, Edificio COMIBOL,  
Planta Piloto de Baterías en La Palca, Teléf. (591-2) 68213485

**ORURO:** Calle Junin, Esq. Petot s/n, Teléf. (591-2) 67201670

**UYUNI:** Calle Loa, entre Ferroviaria y Tomás Frías, zona Viviendas N° 2,  
Telef. (591-2) 67900506

**Planta Llipi:** Campamento GNRE, Teléf. (591-2) 68420305

**[www.evaporiticos.gob.bo](http://www.evaporiticos.gob.bo)**