

**LIBRO 2 FOLIO 2 ACTA No. 197 PARA LA OBTENCION DEL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO QUIMICO POR EXPOSICIÓN DE INFORME
POR EXPERIENCIA LABORAL**

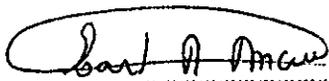
El día Diecinueve de Agosto del Dos Mil Catorce, siendo las 16:00 horas, se reunió el **JURADO DE EXPOSICIÓN** de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes Docentes Ordinarios de la Universidad Nacional del Callao :

Ing. CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE	Presidente
Ing. CARLOS ERNESTO ANGELES QUEIROLO	Secretario
Ing. CARMEN GILDA AVELINO CARHUARICRA	Vocal
Ing. JOSE ANGEL PORLLES LOARTE	Asesor

con el fin de dar inicio a la Exposición del Informe de Experiencia Laboral del señor Bachiller ONCOY CALISAYA FRANK KEVIN titulado "PRODUCCIÓN DE $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ -CARNALITA-OBTENIDA DE SALMUERAS DEL DESIERTO DE SECHURA", para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.

Con el quórum reglamentario de Ley, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU, de fecha 29 de abril del 2011, y su modificatoria aprobada mediante Resolución No. 221-2012-CU el 19 de Septiembre 2012. Luego de la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes se **ACORDÓ**: Dar por NO PROBADO con el calificativo MUY BUENO al expositor Señor Bachiller ONCOY CALISAYA FRANK KEVIN.

Se dio por cerrada la Sesión a las 17:20 horas del día diecinueve del mes y año en curso.



Ing. Carlos Alejandro Ancieta Dextre
Presidente



Ing. Carlos Ernesto Angeles Queirolo
Secretario



Ing. Carmen Gilda Avelino Carhuaricra
Vocal



Ing. José Ángel Porlles Loarte
Asesor

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL
CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“PRODUCCION DE $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ -CARNALITA- OBTENIDA
DE SALMUERAS DEL DESIERTO DE SECHURA”**

Empresa: Américas Potash Perú S.A.

INFORME

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR

ONCOY CALISAYA FRANK KEVIN

ASESOR

ING MBA JOSE ANGEL PORLLES LOARTE

CALLAO – PERÚ

2014

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	.....	5
II.	RESEÑA DEL PROYECTO	.....	6
III.	RESEÑA DE LA EMPRESA	.....	6
IV.	OBJETIVO		
	4.1 OBJETIVO GENERAL	.....	8
	4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	.....	8
V.	RESUMEN	.....	9
VI.	FUNDAMENTO TEÓRICO	.....	11
	6.1 SALMUERAS	.....	11
	6.1.1 Definición	.....	11
	6.1.2 salinas en el mundo	.....	11
	6.2 CARNALITA $KCaMgCl_2 \cdot 6H_2O$	.....	14
	6.2.1 Características y Aplicaciones	.....	14
	6.2.2 Cloruro de Potasio KCl	.....	15
	6.3 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	.....	15
	6.3.1 Temperatura	.....	15
	6.3.2 Velocidad del viento	.....	16
	6.3.3 Radiación	.....	16
	6.3.4 Humedad relativa	.....	16
	6.4 EQUIPOS	.....	16
	6.4.1 Grupos electrógenos	.....	16
	6.4.2 Bombas sumergibles	.....	18
	6.4.3 motobombas	.....	18
VII.	EVOLUCIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	.....	20
	7.1 ETAPA DE ESTUDIO A NIVEL DE LABORATORIO	.....	20
	7.1.1 Estudio del comportamiento físico		
	químico de la salmuera del desierto de Sechura	...	20
	7.1.2 Estudio del comportamiento físico		
	químico del agua de mar de Sechura	.....	25

7.1.3	Tecnología de BRINE MIXING	29
7.1.4	Lixiviación de carnalita	30
7.1.5	Lixiviación de silvinita	32
7.2	ETAPA DE ESTUDIO A NIVEL DE PLANTA PILOTO.....	32
7.2.1	Evolución climatológica a lo largo del proyecto.....	33
7.2.1.1	Temperatura	33
7.2.1.2	Humedad relativa	35
7.2.1.3	Velocidad del viento	36
7.2.1.4	Radiación solar	38
7.2.1.5	Lluvias	38
7.2.1.6	Grado de evaporación	39
7.2.1.7	Nubosidad	40
7.2.2	Bombeo de salmuera	41
7.2.3	Proceso de evaporación solar	43
7.2.3.1	Diseño de la planta	44
7.2.3.2	Etapas en el proceso	44
7.2.3.3	Producción de carnalita	45
7.2.4	Evolución fisicoquímica del proceso	46
7.2.4.1	Etapa de Halita	46
	a). Comportamiento de densidades	46
	b). Comportamiento químico	50
	c). Producción de halita	54
7.2.4.2	Etapa de sales mixtas	55
	a). Comportamiento de densidades	55
	b). Comportamiento químico	57
	c). Producción de sales mixtas	60
7.2.4.3	Etapa de carnalita	62
	a). Comportamiento de densidades	62
	b). Comportamiento químico	63
	c). Producción de carnalita	66
7.2.5	Evolución de temperaturas en la salmuera	67

VIII.	ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA EMPRESA	.....	71
8.1	ACTIVIDADES COTIDIANAS	.....	71
8.1.1	Gestión de Operaciones en la Planta		
	Experimental	.....	71
8.1.1.1	Logística y personal.	.....	71
8.1.1.2	Evaluación y análisis de pruebas desarrolladas.	.....	71
8.1.2	Gestión de Operaciones en la Planta Piloto.	.....	73
8.1.2.1	Logística y personal.	.....	73
8.1.2.2	Evaluación y análisis de operaciones en planta	.....	73
8.1.2.3	Diseño de procesos.	.....	74
8.1.2.4	Determinación y ejecución de operaciones en planta.	.....	75
8.1.3	Gestión de Operaciones en el área de la concesión.	.....	75
8.2	APORTES REALIZADOS EN BENEFICIO DE LA EMPRESA..		76
IX.	EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	.....	77
X.	CONCLUSIONES	.....	79
XI.	RECOMENDACIONES	.....	80
XII.	REFERENCIALES	.....	82
XIII.	ANEXO	.....	83
13.1	EQUIPOS USADOS EN LA ESTACION DE BOMBEO.....		83
13.2	EQUIPOS E INSTRUMENTOS USADOS EN LA PLANTA EXPERIMENTAL	.....	83
13.3	EQUIPOS E INSTRUMENTOS USADOS EN LA PLANTA PILOTO	.....	84
13.4	INFORMES DE ANALISIS QUIMICOS EMITIDOS POR EL LABORATORIO.	.....	84

I. INTRODUCCIÓN

La región Piura viene teniendo un desenvolvimiento económico positivo durante los últimos 5 años, tanto en el sector servicios, manufactura y comercialización, la región muestra indicadores económicos no vistos antes en esta región, este desarrollo económico trae consigo una mejora en la calidad de vida de los piuranos y profesionales que llegan para aportar en los proyectos de la región, es en este marco que el estado a través de Pro Inversión licitó el proyecto de salmueras del Sechura, resultando ganador la empresa Américas Potash Perú S.A., es a través de esta que me permitió ser parte de un equipo profesional y técnico enfocado en la obtención de carnalita y halita usando tecnología de evaporación solar. La carnalita es materia prima para producir "KCl", compuesto ampliamente usado en la fabricación de fertilizantes; mientras que la halita se usa para producir la sal de mesa, industrial y la sal de deshielo.

La producción de carnalita " $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ " usando la tecnología de evaporación solar es un proceso que data de muchos años, sin embargo este proceso varia de un lugar a otro ya que las salmueras no son las mismas. La tecnología esta vez aplicada a las salmueras del desierto de Sechura nos mostrara la factibilidad de un proyecto buscado desde los años 60's en el norte peruano. Este informe nos mostrara todas las aristas técnicas de un proyecto que busca desarrollar minería no metálica generando trabajo y canon para regiones ricas en recursos que se inician a explotar en el presente siglo.

En resumen, se trata de reflejar el aporte y la participación del proponente de este documento por un periodo de dos años, desde setiembre 2011 hasta la fecha, lográndose resultados que serán muy importantes en la obtención del "KCl", que servirá como materia prima para la producción posterior de fertilizantes potásicos, elemento fundamental en la agricultura.

II. RESEÑA DEL PROYECTO

El proyecto de Salmueras Bayovar, ubicado en el desierto de Sechura, Piura, data de mediados de los años 60s. En ese entonces la empresa americana Kaiser Chemicals construyo y opero una planta piloto usando tecnología de evaporación solar, en la cual se produjo carnalita y sal industrial, tanto la carnalita y silvinita fueron lixiviadas y se obtuvo "KCl" al 99.4% de pureza, lo cual equivale a 62.8% de "K₂O".

En el gobierno del general Juan Francisco Velazco Alvarado, esta empresa americana tuvo que detener sus operaciones. En 1976 Minero Perú operó y produjo "KCl" de alta pureza, usando la misma planta y tecnología.

El 4 de agosto del 2008, luego del concurso internacional se adjudicó la buena pro del proyecto Bayovar a Américas Petrogas Inc.

Según contrato de opción firmado el 30 de Septiembre del 2008, las Concesiones Mineras de Salmuera del proyecto Bayovar administrado en ese entonces por la empresa nacional Activos Mineros S.A.C., fue cedido en concesión con un periodo de opción de 4 años, a la empresa Américas Potash Perú S.A. desde entonces, se viene desarrollando el estudio de factibilidad con el objetivo de explotar este recurso y producir "NaCl", "KCl", y otros elementos como "Li" y "Mg".

Hoy en día la empresa Américas Potash Perú S.A. (optante) ya presento su decisión de ejercer la opción, y se encuentra a la espera de la firma del contrato de transferencia, para iniciar la etapa de construcción de plantas de producción y posterior comercialización.

III. RESEÑA DE LA EMPRESA

AMERICAS POTASH PERÚ S.A. empresa creada en agosto 2008 con oficinas en Lima y Piura, opera como subsidiaria de GrowMax Agri Corp. A su vez GrowMax Agri Corp es subsidiaria de la canadiense Américas Petrogas Inc.

Américas Potash Perú S.A. en una empresa involucrada en el desarrollo del estudio de factibilidad en las Concesiones Mineras de Salmuera del proyecto Bayovar, desierto de Sechura.

La empresa realiza actividades de exploración minera dentro de las 82000 Ha de la concesión. A su vez ha logrado acuerdos con la comunidad local para poder explotar la concesión por 99 años.

Dentro de sus actividades ha desarrollado un programa de perforación de pozos y pruebas de bombeo bajo supervisión de la empresa alemana Ercosplan Ingenieur gesellschaft Geotechnik, con la finalidad de determinar las reservas para el proyecto. En el plano local ha formado un equipo de profesionales en todos los aspectos de la recuperación del mineral, tales como procesos de salmuera por evaporación solar, análisis químicos de salmuera y sales, evaluación de reservas y construcción de instalaciones para la evaporación solar.

El proceso de evaporación solar desarrollado, involucra una baja huella de carbono, lo cual la hace ambientalmente amigable. Como potencial adicional se buscara lograr la explotación de elementos como el bromo, litio, cloruro de magnesio y otros.

Con respecto al mercado que la empresa planea cubrir, la concesión esta idealmente localizada en relación al creciente mercado de fertilizantes de potasa y fosfato, como son los mercados de Perú, Brasil, Ecuador, Colombia, Argentina y otros países latinoamericanos, así como también los mercados asiáticos de la India, China y USA.

IV. OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GENERAL

Dar a conocer el desarrollo de un proyecto de producción de "Carnalita", obtenida con un proceso de evaporación solar usando salmueras del desierto de Sechura como materia prima; la cual luego de unas lixiviaciones puede llevarse a KCl,

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dar a conocer el desarrollo a escala experimental del proceso de obtención de "KCl".

Dar a conocer el desarrollo a escala de planta piloto del proceso de obtención de " $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ " –carnalita- usando tecnología de evaporación solar.

V. RESUMEN

El presente informe resume años de trabajo en la evaluación de la factibilidad de producción de carnalita en el desierto de Sechura.

Luego de dar a conocer pozas de evaporación alrededor del mundo, describir la carnalita, definir parámetros climatológicos y detallar equipos usados en el proyecto; nos introducimos en el detalle del estudio de factibilidad revisando las dos etapas iniciales de la misma, como son la escala experimental o de laboratorio y la escala de planta piloto, una tercera etapa contemplada para el proyecto de factibilidad de la empresa es la etapa de producción, que se dará siempre y cuando el estado dé el visto bueno del mismo.

A través de este informe, en la sección de estudio a nivel experimental describimos las pruebas realizadas con salmuera del desierto de Sechura, como también las realizadas con el agua de mar de Sechura. A nivel experimental también se han realizado pruebas de brine mixing (mezcla de salmueras) y lixiviación de carnalita, dando muy buenos resultados en ambos casos, el primero como catalizador de proceso es muy efectivo y el segundo es una operación para llevar la carnalita a silvinita (materia prima para obtener "KCl"). Una prueba que aún necesita de más investigación es la lixiviación de la silvinita, operación necesaria para obtener el "KCl".

En la sección de estudio a nivel de planta piloto, mostramos el comportamiento de diversos parámetros medioambientales, parámetros que influyen de manera directa sobre el proceso ya que se trata de evaporación solar. Estas condiciones climatológicas estudiadas generan información que se podría usar para evaluar procesos similares en otras latitudes del planeta. El informe continua con una descripción de la operación de bombeo de salmuera desde un pozo ubicado a 3.5 Km de la planta piloto, esta evaluación muestra que el acuífero es recargable y no sufre mayor disminución de nivel luego de todo este tiempo de operación. Información crucial es la que presentamos en la etapa del proceso, el cual es descrito a través de tres etapas, la de halita, sales mixtas y carnalita. Durante

esta descripción por etapas se muestra el comportamiento de parámetros fisicoquímicos que están muy bien diferenciados entre una etapa y otra.

Pasamos luego a detallar las actividades y aportes del autor de este informe, al desarrollo del proyecto.

Se culmina este informe generando conclusiones tales como, que es totalmente factible la producción de carnalita a escala de producción en el desierto de Sechura, entre otras. Mientras que en las recomendaciones se propone realizar pruebas a nivel piloto de operaciones como el brine mixing y lixiviación de carnalita, las cuales dieron excelentes resultados a nivel experimental o de laboratorio.

VI. FUNDAMENTO TEÓRICO

6.1 SALMUERAS

6.1.1 Definición

Se denomina salmuera a aquella solución altamente concentrada en sales. Las deposiciones de salmuera en la superficie terrestre son conocidas como salinas, son de estas que por evaporación solar se obtienen diversos tipos de sales.

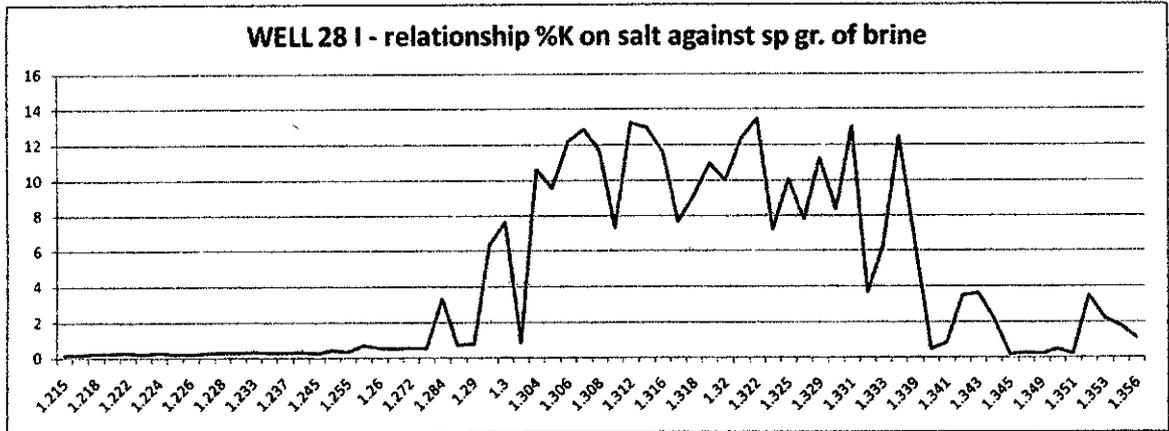
6.1.2 Salinas en el mundo

PAIS	LOCALIDAD	PRODUCCION	ETAPA
Chile	Antofagasta	KCl, LiCl	Producción
Israel	Sdom	KCl, $MgCl_2$, NaCl	Producción
Bolivia	Uyuni	LiCl, NaCl, KCl	Piloto
Jordania	Al Karak	MgO, $Mg(OH)_2$	Producción
Jordania	Safi	NaCl industrial y de mesa	Producción
Cuba	Caimanera	NaCl	Producción
México	Baja California Sur	NaCl	Producción
México	Yucatan	NaCl	Producción
Francia	Isla de Ré	NaCl	Producción
España	Torre vieja	NaCl	Producción
Venezuela	Araya	NaCl	Producción
Perú	Huacho	NaCl	Producción
Perú	Ica	NaCl	Producción

ANÁLISIS QUÍMICO

El comportamiento de la concentración porcentual del "K" en la sal precipitada con respecto a la densidad de la salmuera es el siguiente:

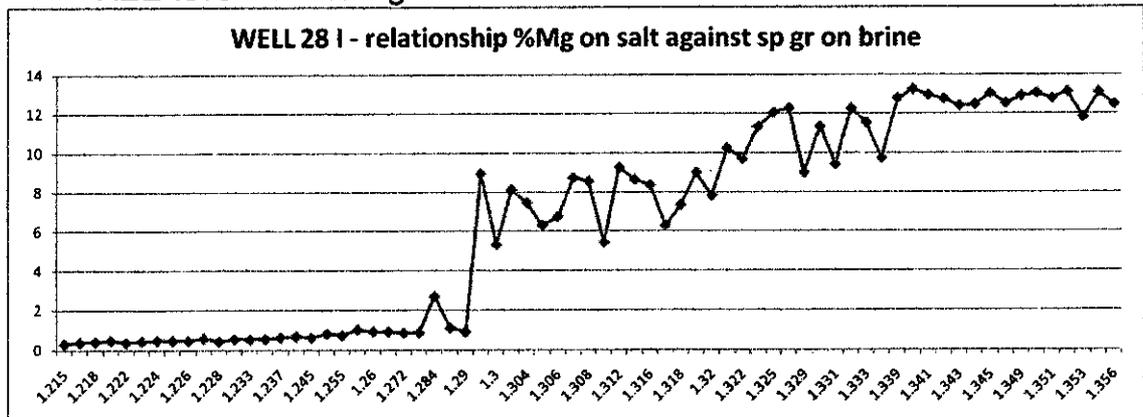
GRÁFICO N° 2
RELACIÓN DE PORCENTAJE DE K EN LA SAL RESPECTO A LA DENSIDAD DE LA SALMUERA



Elaboración propia.

El comportamiento de la concentración porcentual del "Mg" en la sal precipitada con respecto a la densidad de la salmuera es el siguiente:

GRÁFICO N° 3
RELACIÓN DE % Mg EN LA SAL & DENSIDAD DE LA SALMUERA



Elaboración propia

El comportamiento de la concentración porcentual del "SO₄" en la sal precipitada con respecto a la densidad de la salmuera es el siguiente:



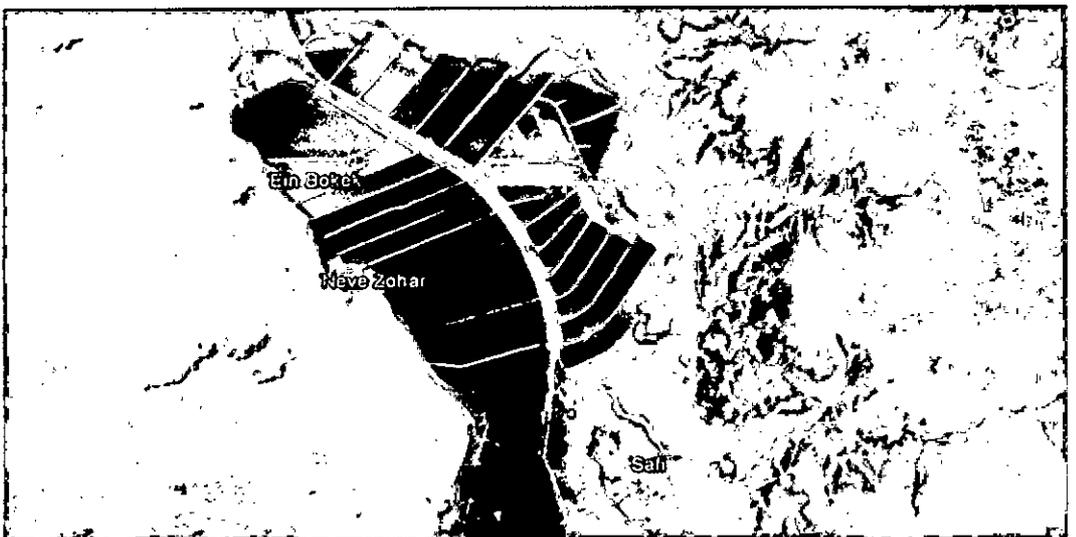
Yucatán, México

Fuente: Google Earth



Baja California Sur, México

Fuente: Google Earth



Mar muerto, Israel y Jordania

Fuente: Google Earth



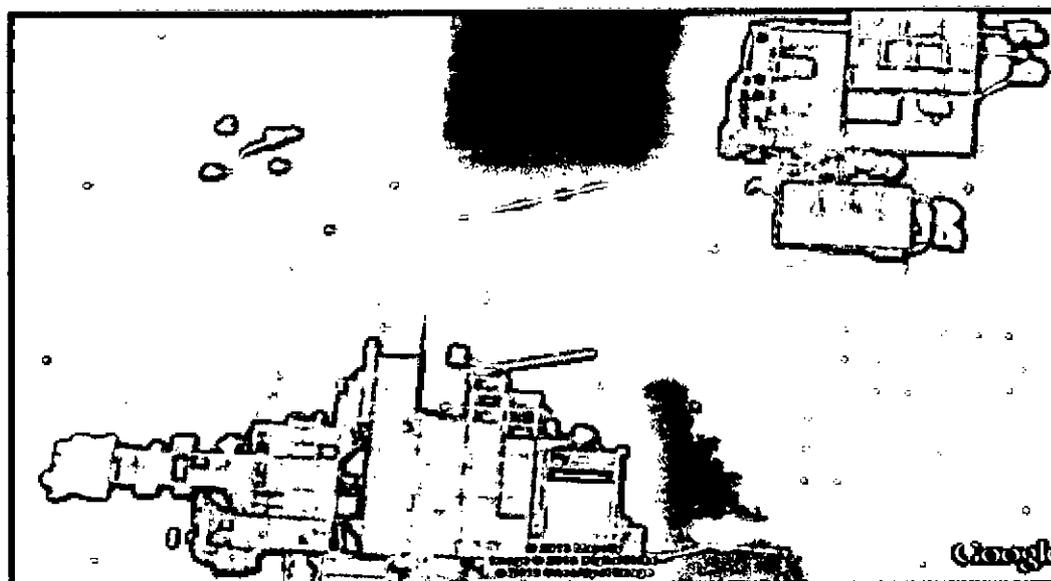
Sdom, Israel

Fuente: Google Earth



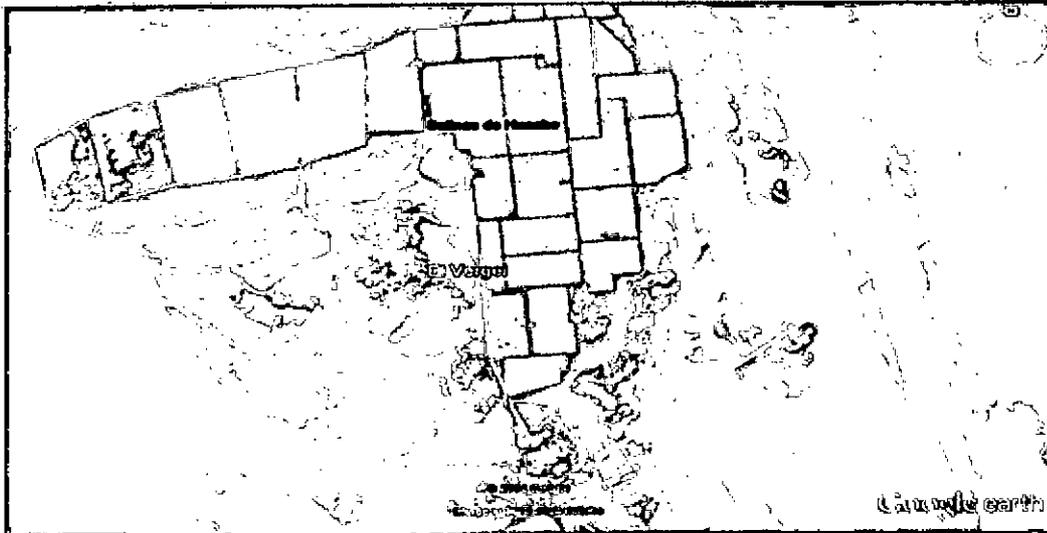
Antofagasta, Chile.

Fuente: Google Earth



Antofagasta, Chile.

Fuente: Google Earth



Huacho, Perú

Fuente: Google Earth



Huacho, Perú.

Fuente: Google Earth

6.2 CARNALITA $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$

6.2.1 Características y Aplicaciones

La carnalita es un mineral compuesto de cloruro de potasio y de magnesio hexa hidratado $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$. Cristaliza en el sistema ortorrómbico, en cristales con apariencia hexagonal, rómbica e incluso pulverulenta. De sabor amargo, soluble en el agua.

Se forma en numerosas minas de sal, como uno de los principales minerales de potasio. Como precipitado de aguas marinas o salmueras en salinas.

Hace tiempo se la consideraba material de desecho, junto con otras sales no utilizables, y se amontonaba fuera de las minas, dejando que se estropeará. Con la llegada de la industria química, la carnalita se convirtió en un material interesante, de ella se obtienen fertilizantes, cloro y cantidades considerables de bromo, siendo ésta una de las fuentes principales. Aunque este elemento no aparezca representado en la fórmula, puede sustituir al cloro en proporciones relativamente importantes.

6.2.2 Cloruro de Potasio "KCl"

En su estado puro es inodoro. Se presenta como un cristal vítreo de blanco a incoloro, con una estructura cristalina cúbica centrada en las caras que se fractura fácilmente en tres direcciones. Se presenta naturalmente como el mineral silvita y en combinación con cloruro de sodio como silvinita.

La mayoría del cloruro de potasio producido es utilizado en la fabricación de fertilizante, ya que el crecimiento de muchas plantas es limitado por el consumo de potasio. Como reactivo químico es utilizado en la manufactura de hidróxido de potasio y potasio metálico. Se utiliza en cantidades importantes como fundente, junto con el cloruro de sodio, para la recuperación del aluminio a partir de la fusión en horno rotativo de los desperdicios y las escorias/espumas, de ese metal. También es utilizado en medicina, en casos de diarrea, vómitos y en el post quirúrgico del aparato digestivo, en aplicaciones científicas, procesamiento de alimentos y en ejecuciones judiciales a través de inyección letal.

6.3 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

6.3.1 Temperatura

El seguimiento al comportamiento de la temperatura en el área del proceso es un factor determinante para determinar el logro o no, de la producción de carnalita. La temperatura del entorno tiene un efecto directo en la evaporación

de la salmuera. Conforme es mayor la temperatura, mayor es la transferencia de calor a la salmuera, mayor la evaporación y mayor la cristalización.

6.3.2 Velocidad del viento

El viento cumple un papel importante en cuanto a la transferencia de masa, en entornos donde la velocidad de viento es alta la concentración de vapor que se encuentra sobre la superficie está constantemente en desequilibrio, puesto que este vapor es alejado por la fuerza del viento. Es por ello que la velocidad del viento favorece la evaporación, ya que el sistema se encuentra constantemente en búsqueda del equilibrio.

6.3.3 Radiación

La transferencia de energía por radiación es otro parámetro medido, pues la energía transferida de esta forma también ayuda a la evaporación y por ende acelera la cristalización.

6.3.4 Humedad relativa

La relación entre la humedad relativa y la evaporación es inversamente proporcional. Un entorno con alta humedad podría inferir en la salmuera, esto sucede principalmente en las salmueras de mayor concentración, ya que estas se encuentran saturadas o en algunos casos sobre saturadas, la transferencia de masa en entornos de alta humedad se dan desde el medio hacia la salmuera.

6.4 EQUIPOS

6.4.1 Grupos electrógenos

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

Motor. El motor representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: motores de gasolina y de gasoil (diésel). Generalmente los motores diésel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas. Estos cuentan con silenciadores.

Regulación del motor. El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

Sistema eléctrico del motor. El sistema eléctrico del motor es de 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una/s batería/s, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Normalmente, un motor dispone de un manocontacto de presión de aceite, un termocontacto de temperatura y de un contacto en el alternador de carga del motor para detectar un fallo de carga en la batería.

Sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua/aceite consta de un radiador, un ventilador interior para enfriar sus propios componentes.

Alternador. La energía eléctrica de salida se produce por medio de una alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto excitado, autorregulado y sin escobillas acoplado con precisión al motor, aunque también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo

funcionamiento vaya a ser limitado y, en ninguna circunstancia, forzado a regímenes mayores.

Depósito de combustible y bancada. El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga.

Sistema de control. Sirve para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el grupo eléctrico.

Interruptor automático de salida. Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo eléctrico con control manual. Para grupos eléctricos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida.

6.4.2 Bombas sumergibles

Las bombas sumergibles son equipos capaces de bombear fluidos desde pozos perforados ya sean de petróleo, agua, salmueras, etc. Una bomba sumergible trabaja con un motor vertical que le transfiere la energía necesaria para el bombeo, un eje axial, inyección, turbina, un caso interno y otro externo.

6.4.3 motobombas

El principio de funcionamiento de una motobomba es igual al de cualquier bomba hidráulica normal, consiste en transformar la energía mecánica en energía cinética, la gran diferencia es que en vez de ser accionadas por un motor eléctrico son accionadas por un motor de combustión que usará gasolina o diesel.

Existen muchos tipos de motobombas pero el más utilizado en la industria es la centrífuga.

El funcionamiento de una motobomba centrífuga consiste en un rotor de paletas giratorio que se encuentra sumergido en el líquido. El líquido entra a la bomba axialmente desde la tubería de aspiración hasta el centro del rotor (rodete) el cuál es accionado por un motor, las paletas (alabes) lo impulsan hacia afuera en dirección radial haciendo que gane energía y adquiriendo velocidad.

Los álabes del rodete ejercen sobre el líquido un movimiento de rotación, de este modo el fluido es proyectado hacia al exterior debido a la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación; en la voluta se transforma parte de la energía dinámica adquirida en el rodete, en energía de presión, siendo lanzados los filetes líquidos contra las paredes del cuerpo de bomba y evacuados por la tubería de impulsión.

Partes de una motobomba centrífuga

La carcasa o voluta: Es la parte que recubre a la bomba y su principal función es la de transformar la velocidad del líquido gracias al impulsor en presión. Esto es gracias a que la velocidad se reduce debido a un aumento gradual del área.

Los impulsores o rodetes: es la parte móvil y la más importante de la bomba, se encuentra unido al eje y está conformado por álabes que pueden tener diferentes formas y que giran dentro de la carcasa.

Eje: es el encargado de transmitir el movimiento impartido por el motor, todos los elementos de la bomba giran en torno a él.

Anillos de desgaste: su función principal es sellar las posibles fugas que puedan existir entre el impulsor y la carcasa, en estos puntos el desgaste es muy probable, por lo que los anillos son una parte que fácilmente pueden ser extraídos y cambiados.

Estoperas y sellos: estos elementos evitan las fugas del líquido hacia afuera y de líquido hacia el interior de la bomba.

Cojinetes: su función es la de soportar el eje del rodete.

VII. EVOLUCIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

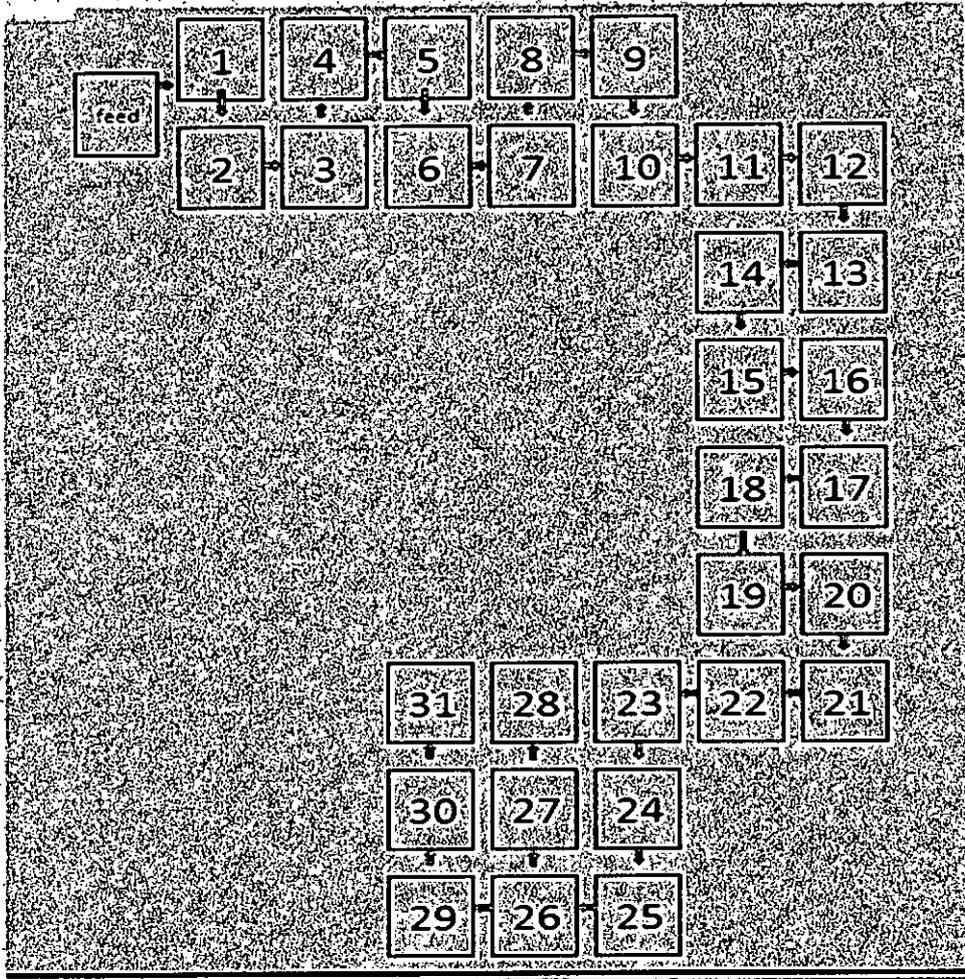
7.1 ETAPA DE ESTUDIO A NIVEL DE LABORATORIO

El estudio de factibilidad se inició a escala de laboratorio para lo cual se instala en el desierto de Sechura una planta experimental para simular los procesos de producción en situ. Durante esta etapa se estudió el comportamiento fisicoquímico de la salmuera fresca, así como de la concentrada conocida como "Bittern". Se hicieron pruebas de comportamiento de la densidad con respecto a la profundidad así como el comportamiento fisicoquímico del agua de mar.

En una segunda etapa de este estudio a nivel experimental se realizaron pruebas de precipitación de carnalita usando la tecnología del brine mixing, así como también se procuró la obtención del "KCl" por operaciones de lixiviación.

7.1.1 Estudio del comportamiento físico químico de la salmuera del desierto de Sechura.

El siguiente fue el diagrama de proceso usado para incrementar la densidad de la salmuera en sistema continuo. Este proceso consistió de 31 bandejas conectadas por vasos comunicantes en sistema continuo, durante las cuales las densidades de la salmuera y concentración de las sales precipitadas en ellas iban variando.



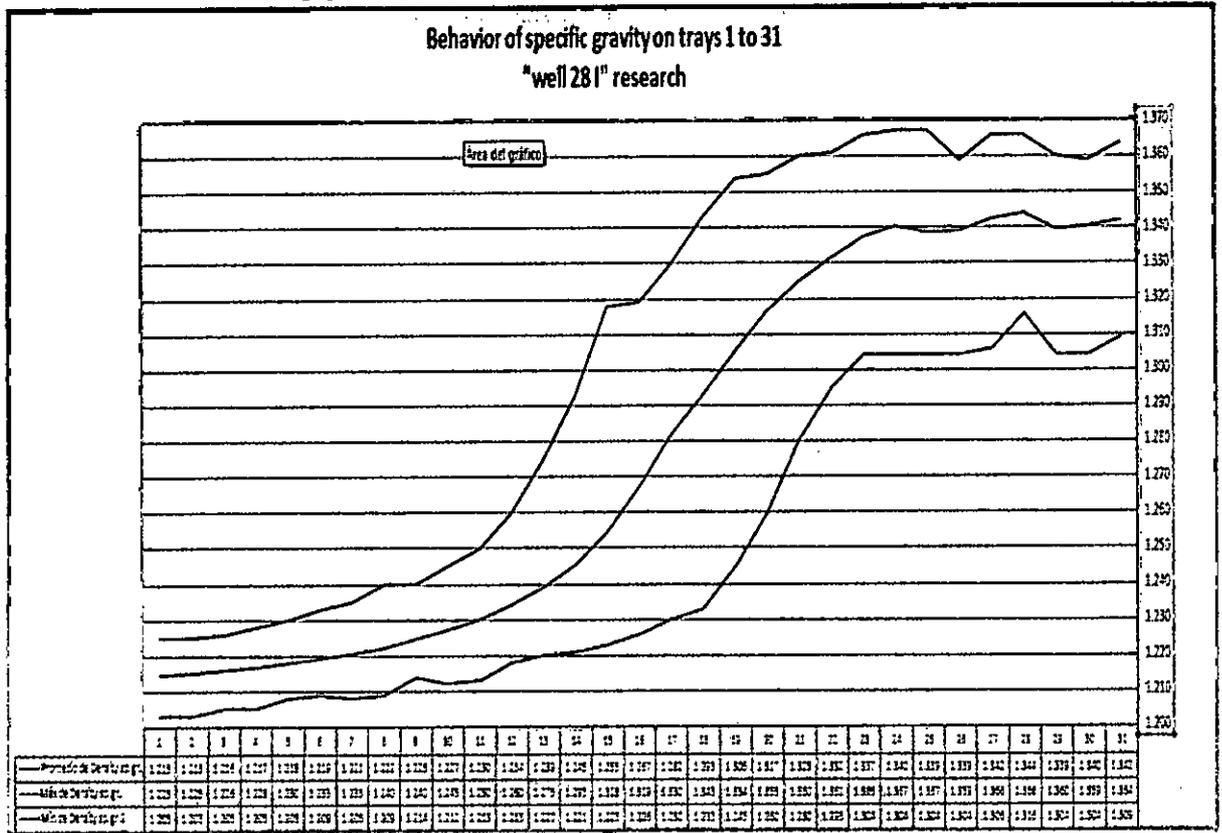
PLANTA EXPERIMENTAL I

ELABORACION PROPIA

ANÁLISIS FÍSICO

Mientras que el comportamiento de la densidad en la secuencia del proceso anterior, era el siguiente:

GRÁFICO N° 1 COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES



Elaboración propia

Se pueden distinguir 6 etapas en este comportamiento

La primera está entre la bandeja 1 y 10 donde la densidad se va incrementando con una gradiente de 0.001 puntos de milésima.

Una segunda etapa va de la 11 a la 14 donde la densidad se va incrementando con una gradiente de 0.005 puntos de milésima.

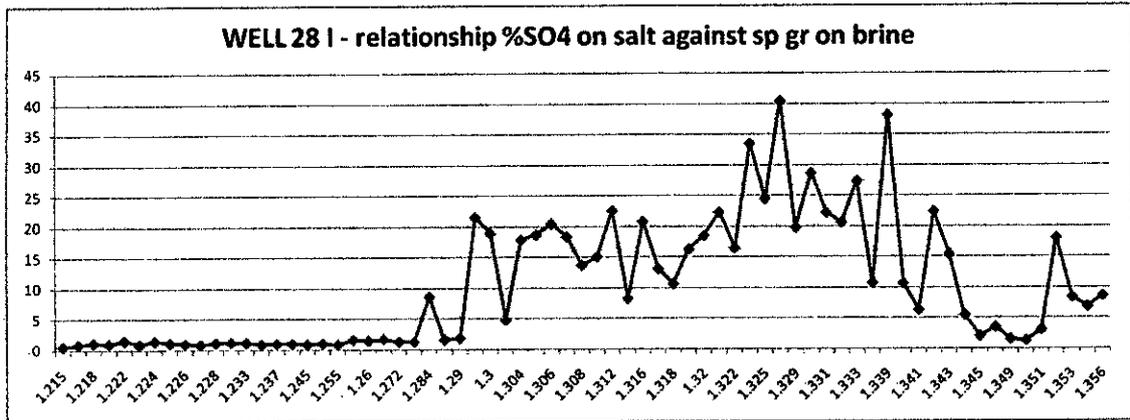
Una tercera etapa va de la 15 a la 21 donde se registra el más rápido incremento de la densidad, con una gradiente de 0.011 puntos de milésima.

Una cuarta etapa va de la 22 a la 24 con una gradiente de 0.005 puntos de milésima.

Una quinta etapa va de la 25 a la 28 con una gradiente de 0.002 puntos de milésima.

Y una sexta etapa va de la 29 a la 34 con una gradiente de 0.001 puntos de milésima.

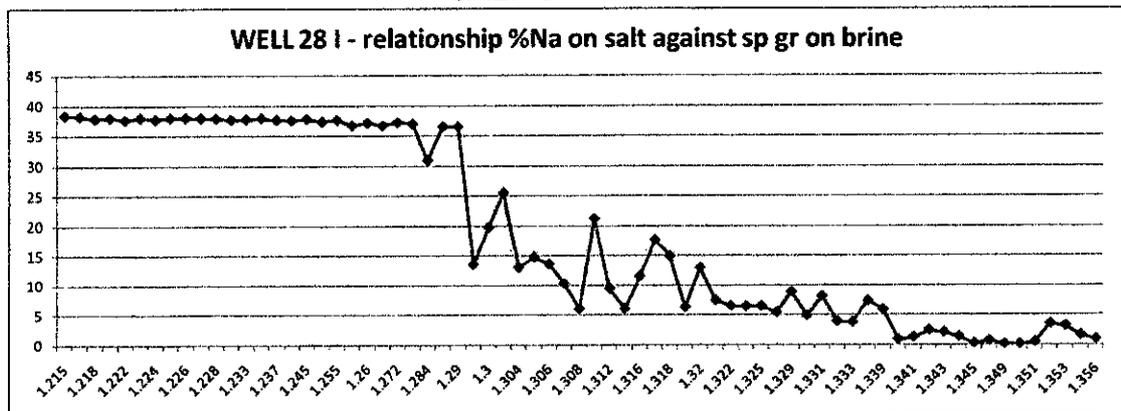
GRÁFICO N° 4
RELACIÓN DE PORCENTAJE DE SO_4 EN LA SAL & DENSIDAD DE LA SALMUERA



Elaboración propia

El comportamiento de la concentración porcentual del "Na" en la sal precipitada con respecto a la densidad de la salmuera es el siguiente:

GRÁFICO N° 5
RELACIÓN DE PORCENTAJE DE Na EN LA SAL & DENSIDAD DE LA SALMUERA



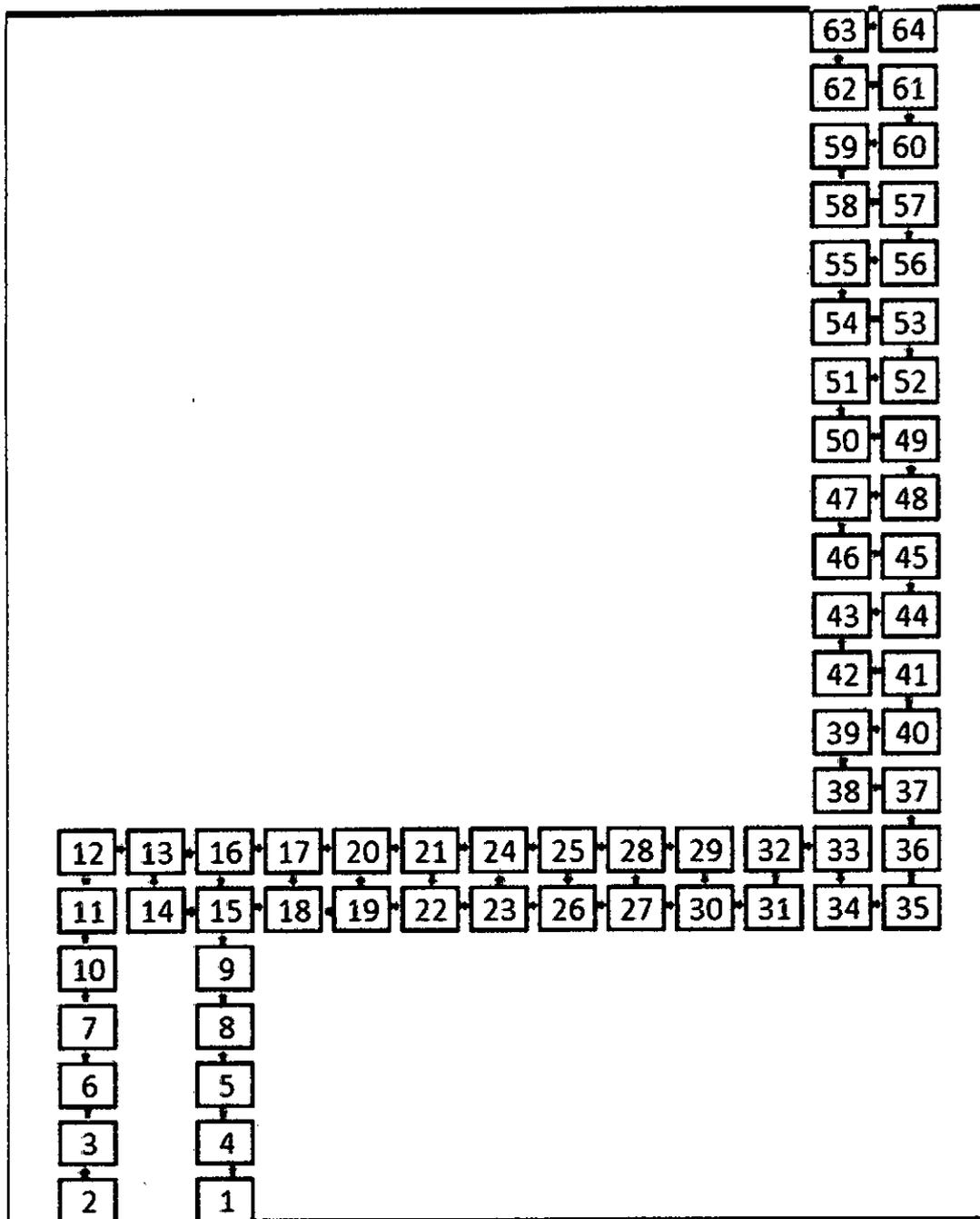
Elaboración propia

Según lo revisado se puede observar que existe un patrón determinado en el comportamiento químico de las sales precipitadas en las diversas etapas del proceso, este comportamiento predice que la obtención de sales ricas en "K" con bajo contenido de "Na" (carnalita), es factible a partir de una densidad promedio de 1.310. Este estado se obtendrá luego que la salmuera ha seguido un proceso

de transferencia a través de vasos comunicantes durante unas 20 bandejas en sistema continuo.

7.1.2 Estudio del comportamiento físico químico del agua de mar de Sechura

El siguiente fue el diagrama de proceso usado para incrementar la densidad del agua de mar en sistema continuo. Este proceso consistió de 64 bandejas conectadas por vasos comunicantes en sistema continuo, durante las cuales las densidades de la salmuera y concentración de las sales precipitadas en ellas iban variando.



PLANTA EXPERIMENTAL II

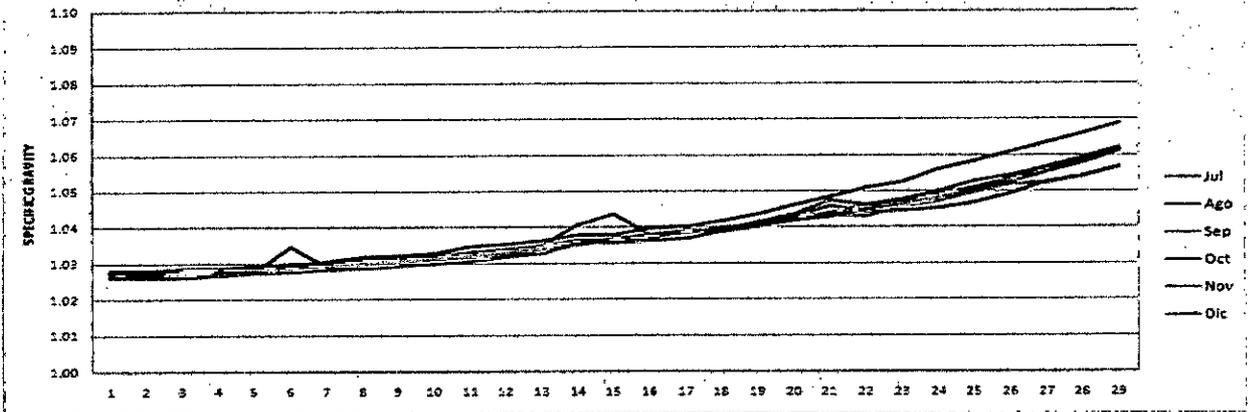
ELABORACIÓN PROPIA

ANÁLISIS FÍSICO

Mientras que el comportamiento de la densidad en la secuencia del proceso anterior, era el siguiente:

GRÁFICO N° 6 COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES POR BANDEJA Y MES

BEHAVIOR OF SPECIFIC GRAVITY BY TRAY AND MONTH

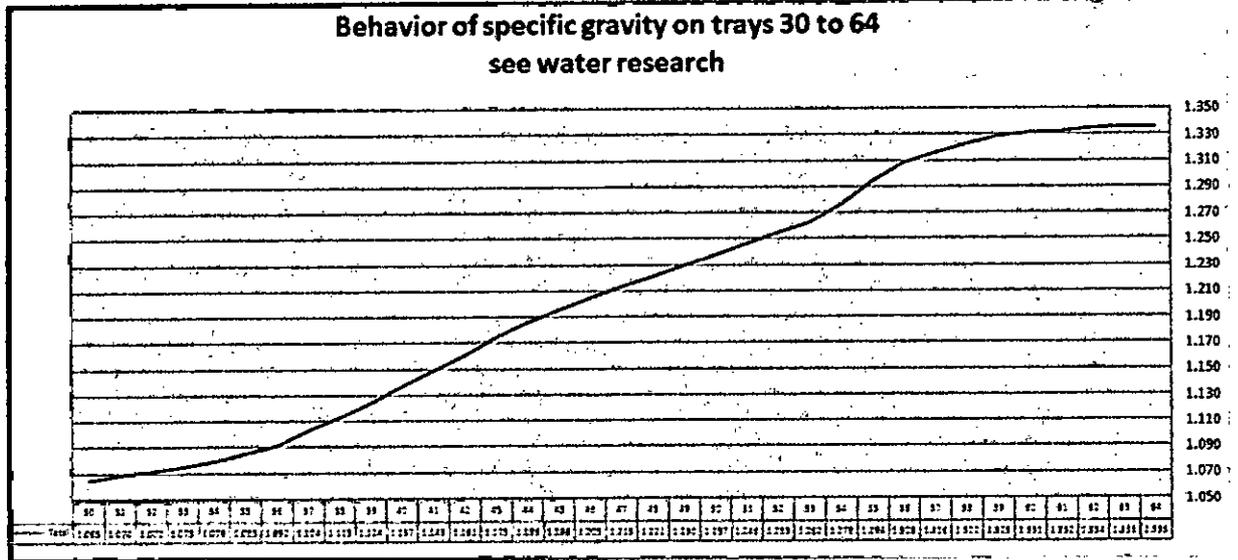


Elaboración propia

Esta grafica representa una etapa inicial a la que podríamos llamarla "etapa 0", es esta etapa de 29 bandejas se observa un incremento de 0.030 milésimas, debemos también observar que según el diagrama, estas bandejas no se encontraban en sistema continuo.

La siguiente grafica muestra un consolidado del comportamiento de la densidad del agua de mar desde la bandeja 30 a la 64.

GRÁFICO N° 7
COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES EN BANDEJAS 30 AL 64
INVESTIGACIÓN AGUA DE MAR



Elaboración propia

Se pueden distinguir 6 etapas en este comportamiento

La primera está entre la bandeja 30 y 36 donde la densidad se va incrementando con una gradiente de 0.004 puntos de milésima. Va de 1.065 a 1.092.

Una segunda etapa va de la 37 a la 44 donde la densidad se va incrementando con una gradiente de 0.012 puntos de milésima. Va de 1.104 a 1.186.

Una tercera etapa va de la 45 a la 53 con una gradiente de 0.008 puntos de milésima. Va de 1.196 a 1.262.

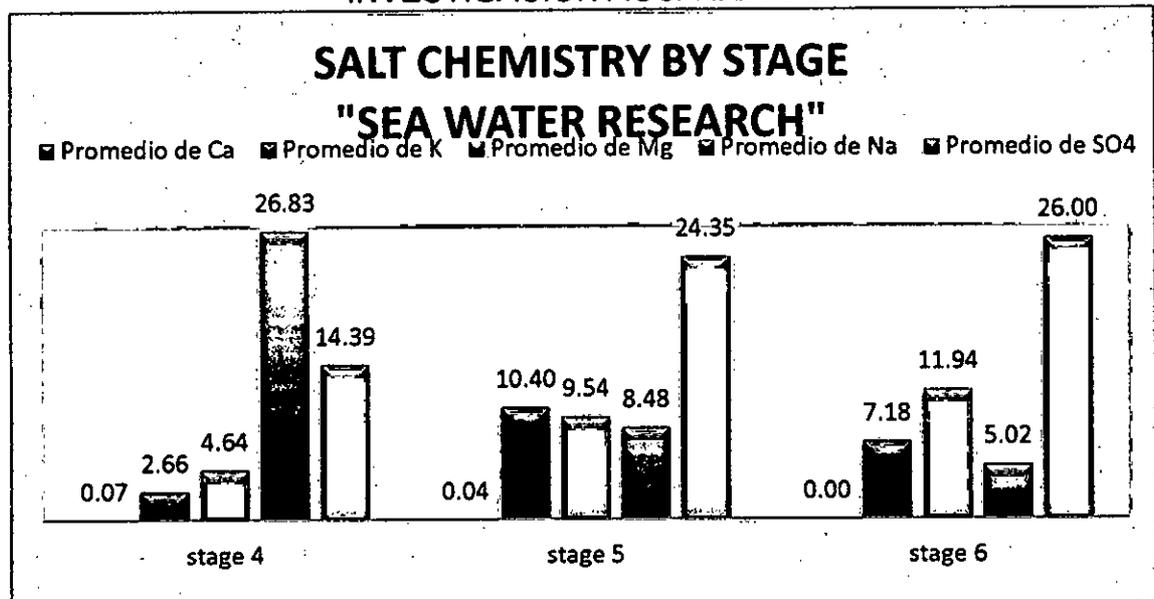
Una cuarta etapa va de la 54 a la 56 con una gradiente de 0.015 puntos de milésima. Va de 1.276 a 1.308.

Una quinta etapa va de la 57 a la 59 con una gradiente de 0.007 puntos de milésima. Va de 1.316 a 1.328.

Y una sexta etapa va de la 60 a la 64 con una gradiente de 0.001 puntos de milésima. Va de 1.331 a 1.335.

ANÁLISIS QUÍMICO

GRÁFICO N° 8
QUÍMICA DE LA SAL POR ETAPAS
INVESTIGACIÓN AGUA DE MAR



Elaboración propia

Según la gráfica se puede observar que existe una alta concentración de "Na" en la etapa 4, mientras que la concentración de "K" mejora en las últimas etapas. Y la composición de "Mg" también es significativa en las 2 últimas etapas.

La presencia de SO₄ en la sal de las últimas etapas hace prever que sería factible la producción de K₂SO₄.

7.1.3 Tecnología de BRINE MIXING

La producción de la carnalita a partir de la salmuera del desierto de Sechura a nivel experimental es factible. La producción de esta sal a nivel experimental fue a través del incremento gradual de la concentración de las salmueras, con la consiguiente precipitación de sales con menor contenido de sodio y mayor contenido de potasio.

A este proceso de cristalización se le denomina cristalización fraccionada, ya que es por etapas gradualmente. Si no se llega a las condiciones básicas para que la carnalita empiece a precipitarse este proceso podría tomar mucho tiempo.

Para acelerar la precipitación de la carnalita es que se desarrolló la tecnología del Brine Mixing.

En ella se mezclan dos salmueras una llamada "brine" que ya contiene baja concentración de "Na" y está cerca de la etapa de producción de carnalita. Y la otra se le llama "bittern" que es una salmuera amarga, rica en "Mg", puesto que ya supero la etapa de producción de carnalita por cristalización fraccionada.

Con esta mezcla, la precipitación de la carnalita es catalizada por efecto del magnesio (altamente soluble) en la solución. La calidad y cantidad de carnalita obtenida por este método son mejores que la obtenida por la cristalización fraccionada, a esto se le debe sumar el hecho que la velocidad de precipitación es mucho mayor.

Aplicando un tiempo de residencia corto se puede cosechar la carnalita, puesto que luego de este tiempo la producción de carnalita es muy reducida con respecto al inicio de la operación.

El licor remanente de esta operación es un amargo rico en "Mg", aun con trazas de "Na" y "K", muy factible para ser reutilizado en otra operación de Brine Mixing.

7.1.4 Lixiviación de carnalita

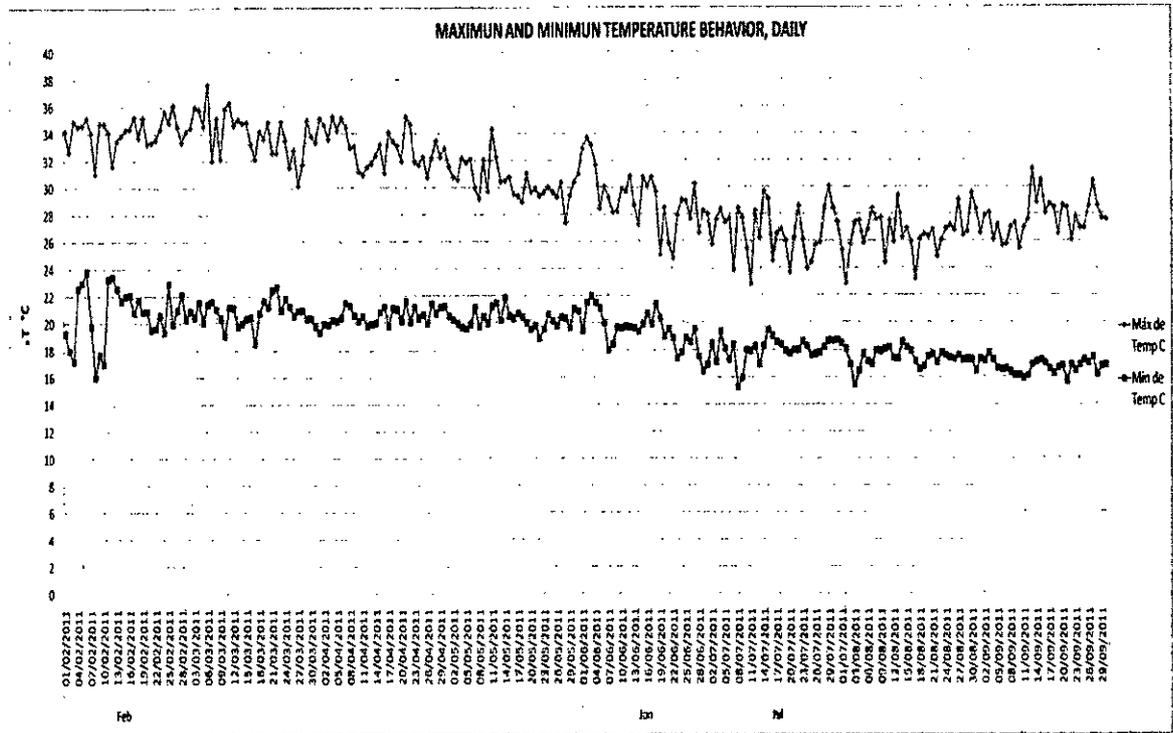
La carnalita es considerada mineral no metálico tipo sal doble hexa hidratado " $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ ", es la materia prima para la obtención de la silvita "KCl".

Una primera operación que se realiza para poder obtener la silvita, es la lixiviación de la carnalita para obtener silvinita " $NaClKCl$ ". En esta operación el solvente es agua o podría ser salmuera.

Durante esta operación gran parte del "Mg" presente en la carnalita pasa hacia la solución obteniéndose así, un bittern factible a re inyectarse al proceso de cristalización fraccionada. La torta o lodo obtenido al separar el brine y los sólidos, es rica en "Na" y "K", quedando un mineral conocido como silvinita quien también será sometido a otra operación de lixiviación.

temperatura diaria promedio de 14°C, durante los meses de verano. Mientras que este valor se reduce a 9 durante los meses de invierno.

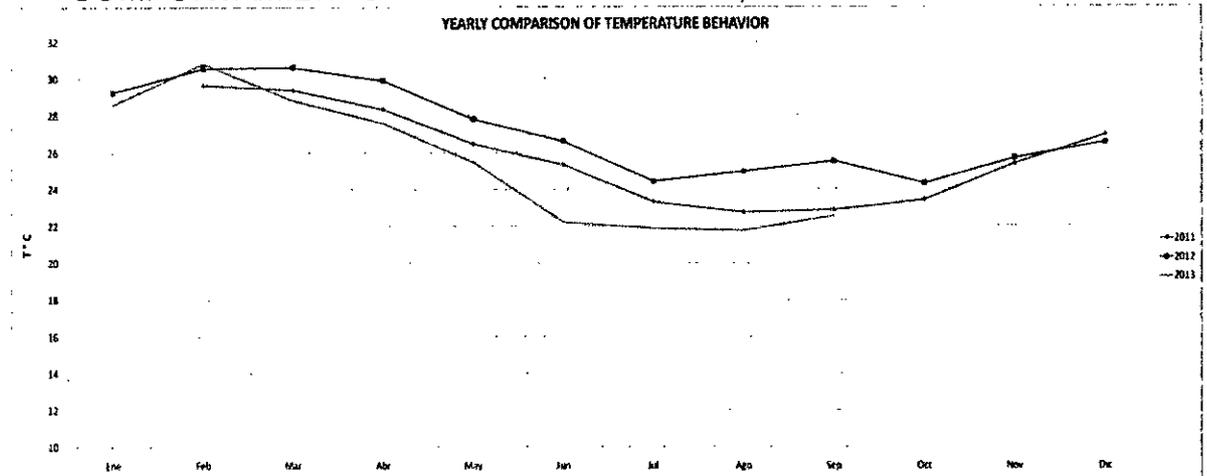
GRÁFICO N° 10
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA, DIARIAMENTE



Elaboración propia

La gráfica 11 demuestra que el invierno del 2013 inicio en el mes de Mayo, mientras que en el 2011 inicio en Julio.

GRÁFICO N° 11
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA, COMPARACIÓN ANUAL



Elaboración propia

7.1.5 Lixiviación de silvinita

La silvinita es un mineral intermedio quien necesita una operación de lixiviación o flotación para llegar a silvita.

En la industria mundial del KCl, el método usual que se usa para separarlo del NaCl presentes en forma de silvinita, es la operación de flotación; para ello se usan equipos y reactivos que permitan la separación de ambos.

Sin embargo en esta etapa a nivel experimental se buscara optimizar la separación del “Na” y el “K” por lixiviación, un proceso sencillo, económico y totalmente ecológico; cabe mencionar que esta operación ya fue realizada en una etapa anterior del proyecto, por los años 60’s con la empresa Kaiser.

Para la lixiviación de la silvinita se usa agua en una cantidad suficiente como para disolver todo el mineral, la cantidad está basada en función a las solubilidades y concentraciones del “KCl” y el “NaCl”.

Una vez disueltas todas las sales se procede a filtrar la solución y así eliminar las impurezas en suspensión, en esta etapa también se separan los sólidos insolubles que quedan en los fondos.

El licor limpio rico en “K” y “Na”, entra en una etapa de evaporación, luego de unos días de evaporación, la solución llega a concentrarse llegando a iniciar la precipitación de sales, estas sales son en su mayor composición “KCl”, mientras que el “Na” aún se mantiene en la solución. La precipitación del “KCl” continúa hasta el momento en que ya comienzan a precipitar una mezcla de “KCl” y “NaCl”; en este momento la concentración del “Na” y el “K” están muy cerca al valor máximo de sus solubilidades.

Una vez detenido el proceso, se procede a separar la solución de los sólidos, la solución podría volver al sistema de cristalización fraccionada mientras que los sólidos pasan a una etapa de secado.

El resultado es una sal de “KCl” de alta concentración.

Esta operación de lixiviación esta aun en evaluación, ya que no se han obtenido sales (actualmente) de cantidad ni calidad que el mercado del KCl pueda absorber.

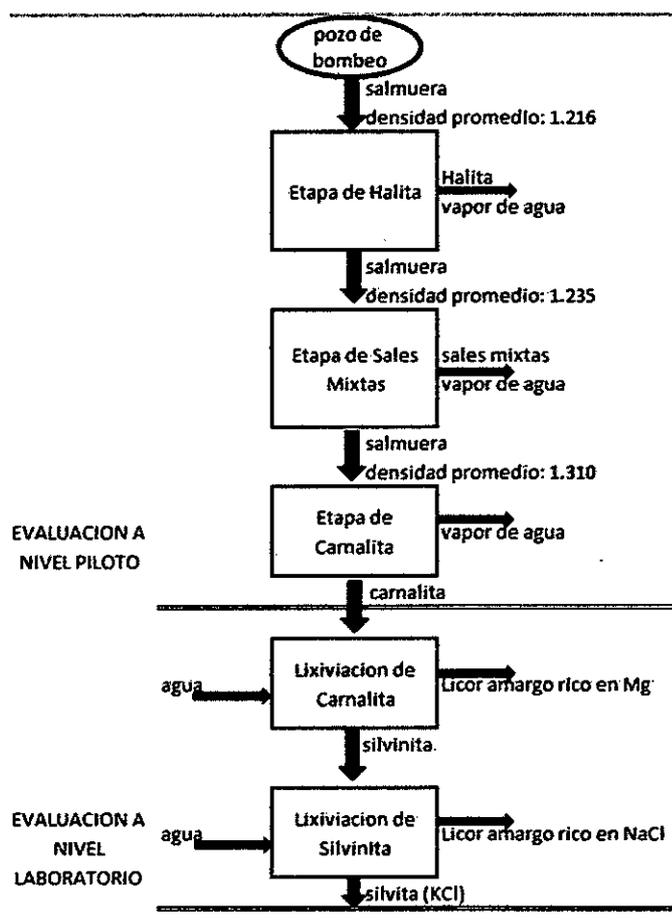
7.2 ETAPA DE ESTUDIO A NIVEL DE PLANTA PILOTO

Actualmente el proyecto de salmueras del desierto de Sechura se encuentra a puertas de ejercer la opción de explotación, durante los 3 últimos años la empresa ha venido desarrollando el estudio de factibilidad del proyecto, para ello se han llevado operaciones en una planta piloto recupera que fue construida y operada en los años 60's por Kaiser Chemicals.

El proceso es totalmente limpio y con bajo consumo de energía o combustible ya que se trata de un proceso de evaporación solar. Debido a esto, el seguimiento al comportamiento climatológico del área de trabajo es trascendental.

Durante este proceso se han definido 3 etapas, iniciando por la etapa de precipitación de halita, seguido de precipitación de sales mixtas y culminando con la precipitación de la carnalita.

El diagrama de proceso es el siguiente:



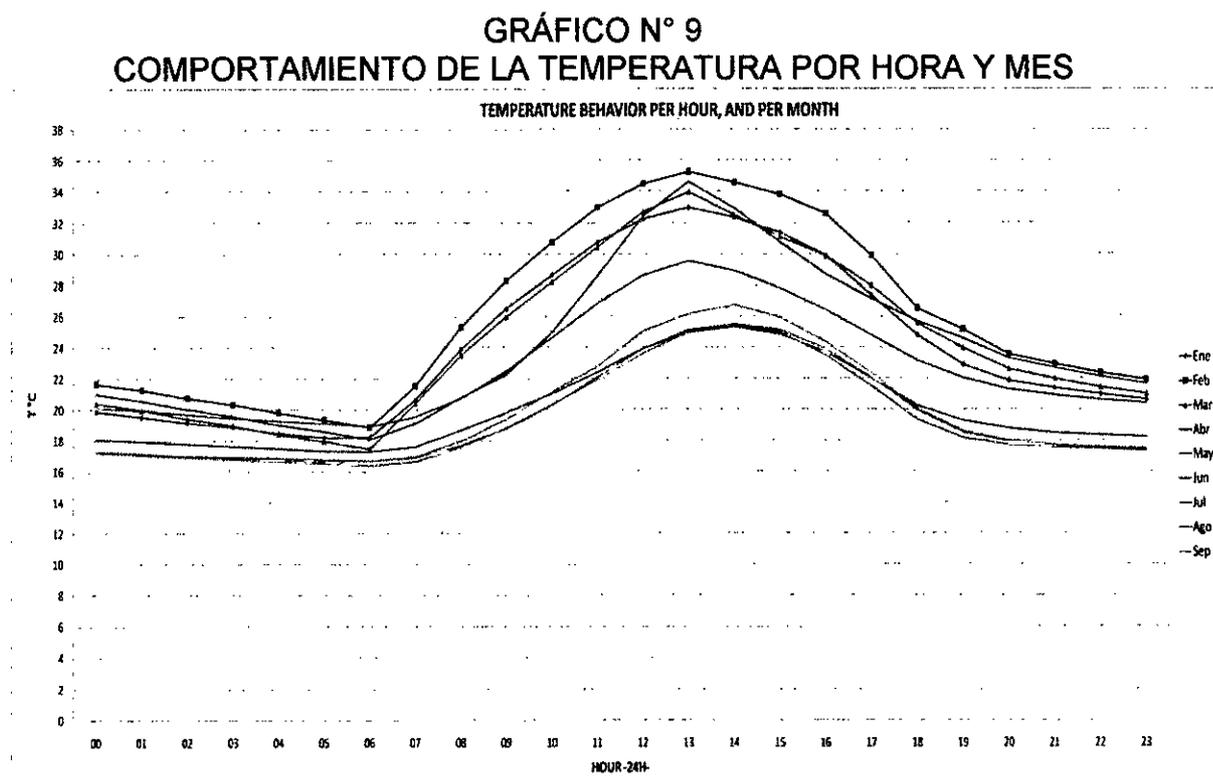
7.2.1 Evolución climatológica a lo largo del proyecto

Para el seguimiento de las condiciones climáticas, la empresa Américas Potash Perú S.A. instaló una estación meteorológica en el desierto de Sechura, dentro del área del proyecto. Lo observado hasta la fecha es lo que se presenta a continuación.

7.2.1.1 Temperatura

En la gráfica 9 se puede observar el comportamiento promedio de la temperatura en el transcurso del día. En el área de trabajo, durante este año 2013 la más alta temperatura promedio mensual se alcanzó en el mes de febrero llegando a casi $36^{\circ}C$.

Se puede apreciar que los meses de mayor temperatura son de Enero a Abril.



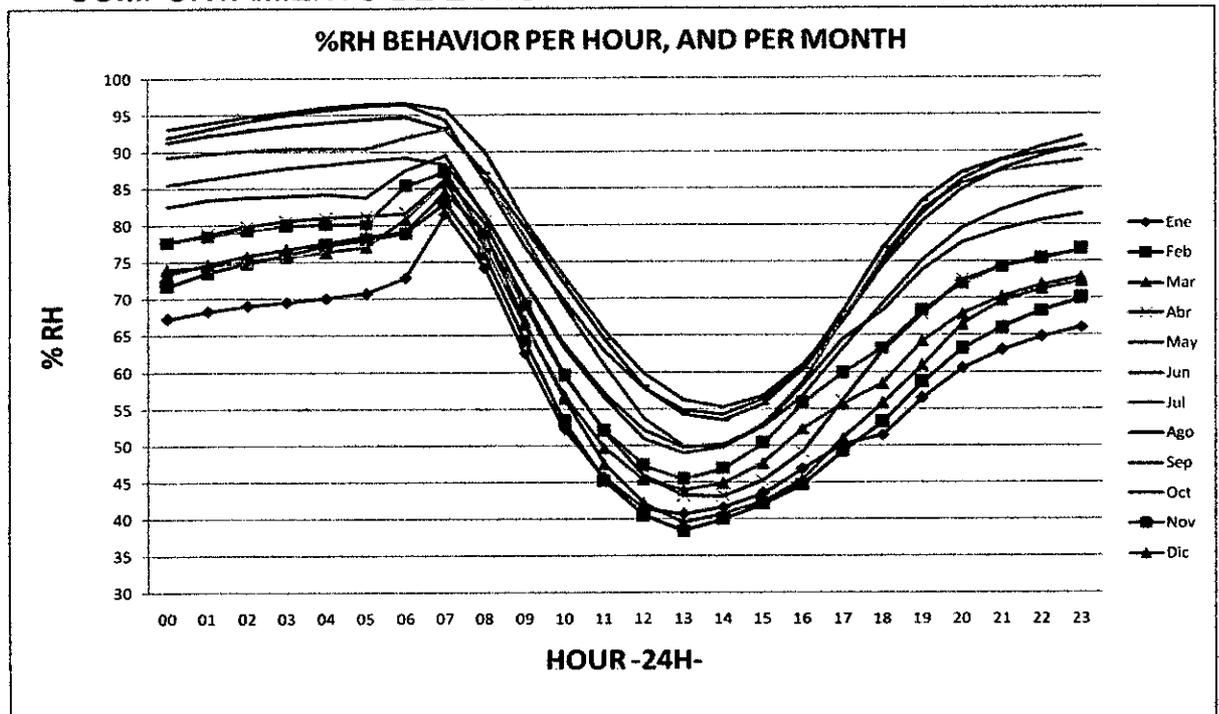
Elaboración propia

La gráfica 10 describe una temperatura máxima alcanzada de $38^{\circ}C$ y una mínima de $16^{\circ}C$ en el mes de Febrero. También se puede apreciar una diferencia de

7.2.1.2 Humedad relativa

La gráfica 12, nos muestra que la humedad relativa más alta se da a las 7:00, mientras que la más baja a las 13:00 horas. Estos valores promedio llegan a 97% durante meses de invierno y a 38% durante meses de verano.

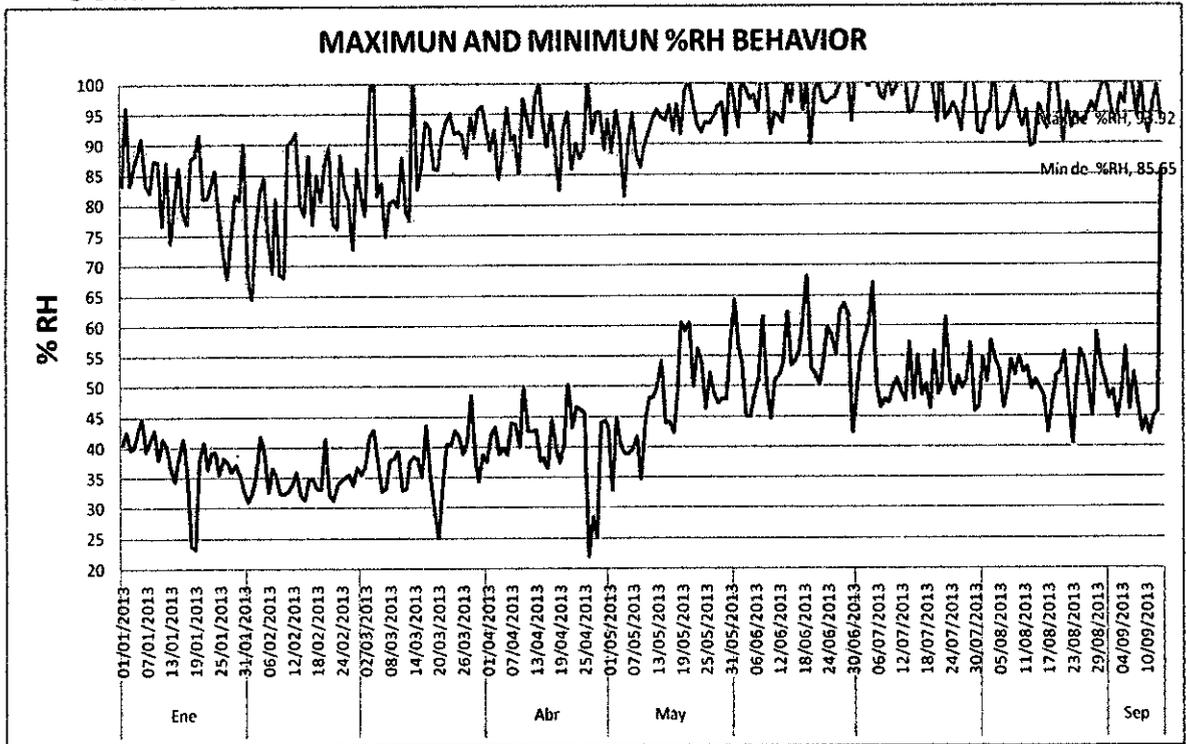
GRÁFICO N° 12
COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA POR HORA Y MES



Elaboración propia

Sin embargo un análisis diario nos muestra que el % de humedad llega a 100% y puede descender hasta un 25%.

GRÁFICO N° 13
COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA Y MÍNIMA



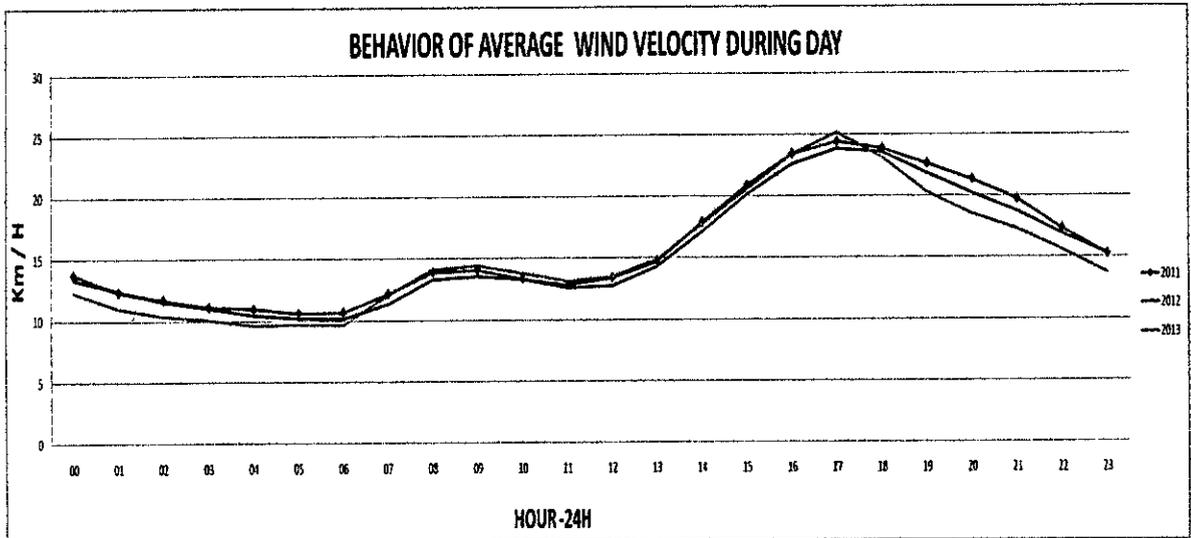
Elaboración propia

7.2.1.3 Velocidad del viento

Tal como se mencionó en la teoría, la velocidad del viento es un parámetro que influye fuertemente en la concentración de la salmuera, a mayor velocidad de viento mayor transferencia de masa.

En la gráfica 14 se observa que la mayor velocidad de viento se da entre las 16 y 18 horas, y que el comportamiento de un año versus otro es muy similar.

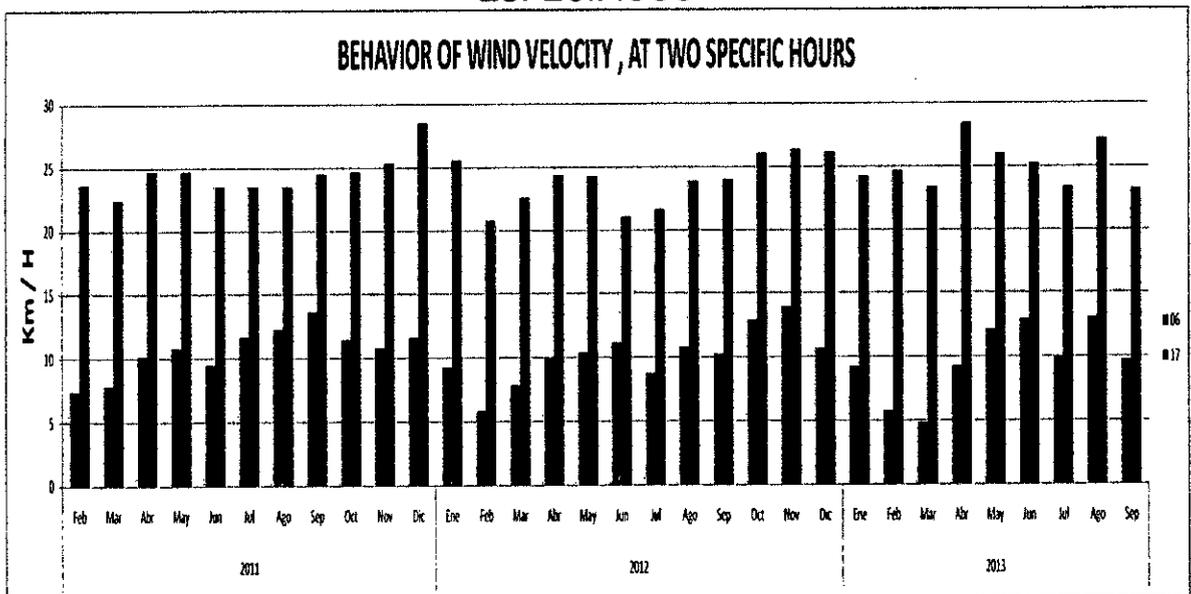
GRÁFICO N° 14
COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO DURANTE EL DIA



Elaboración propia

En la gráfica 15 se observa un evento cíclico con respecto a la velocidad del viento, se puede observar que en los meses de verano es cuando se tienen las más bajas velocidades, mientras que estas se incrementan en los meses de setiembre u octubre.

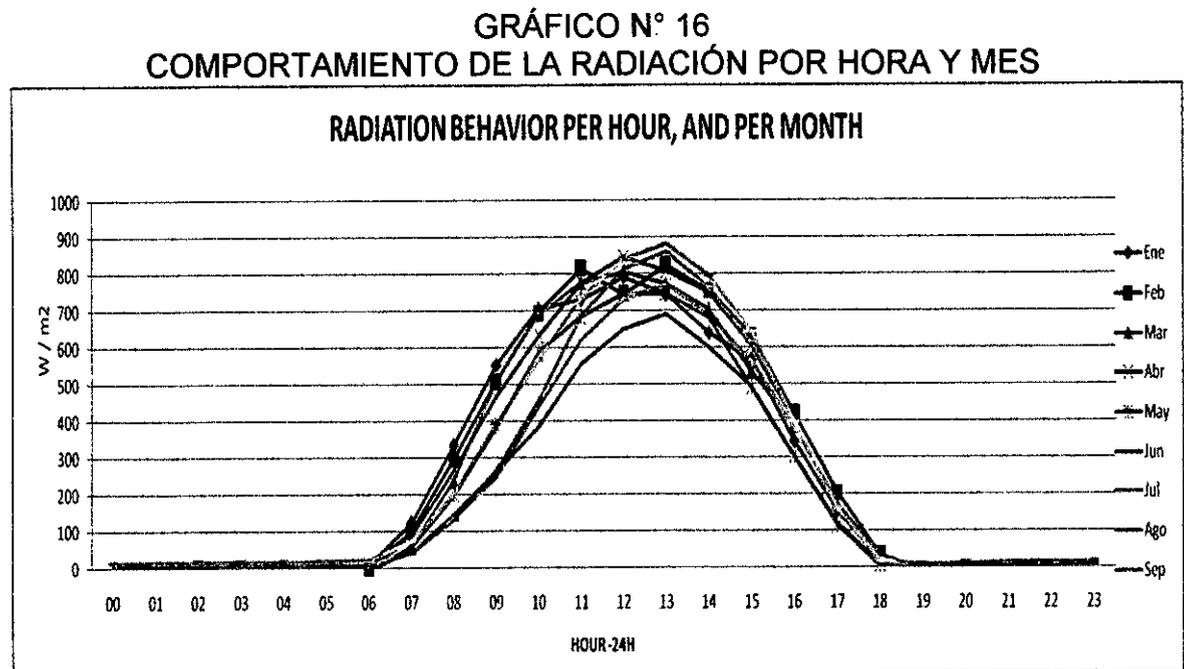
GRÁFICO N° 15
COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN 2 MOMENTOS ESPECÍFICOS



Elaboración propia

7.2.1.4 Radiación solar

El calor recibido por la salmuera también se da por radiación, en la gráfica 16 se puede observar que el pico de incidencia de la radiación se da entre las 11 y las 14 horas. Este tipo de transferencia de calor solo se da entre las 06 y 18 horas, siendo nula la transferencia por radiación durante horas de la noche.



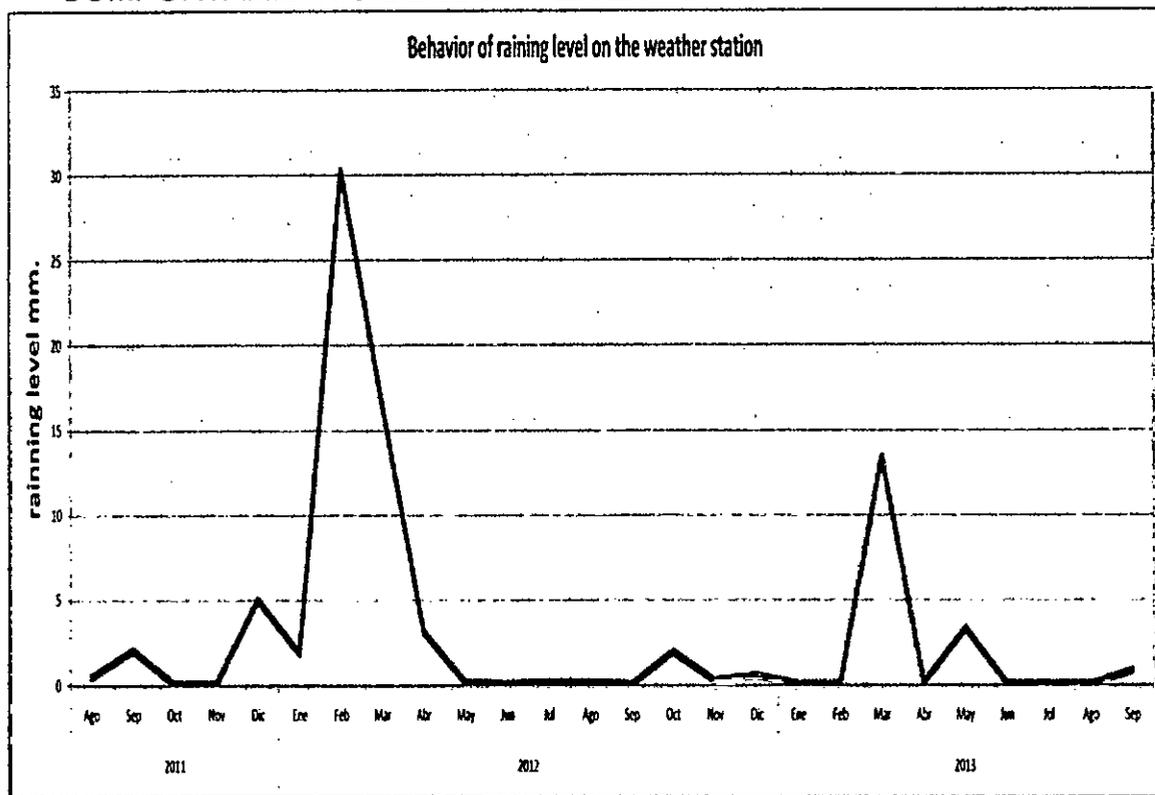
Elaboración propia

7.2.1.5 Lluvias

Las lluvias juegan un rol importante en el desarrollo del proyecto, ya que el proceso es totalmente solar, es muy dependiente del clima, sumado a ello, debemos considerar que las areas de las pozas son grandes, por lo que se descarta algun tipo de cubierta de las mismas durante periodo de lluvias. El efecto negativa de las lluvias se acentua en las pozas de produccion de carnalita, ya que son en estas en donde tenemos las salmueras de mayor densidad, son estas salmueras altamente hidrofílas, lo que genera que luego de un periodo de lluvia las densidades y con ello las concentraciones, bajen.

En la siguiente gráfica se observa que es en los meses de febrero y marzo en los que hay un mayor volumen de lluvias, mientras que en el mes de setiembre se presentan ligeras lloviznas.

GRÁFICO N° 17
COMPORTAMIENTO DE LLUVIA EN LA ESTACIÓN METEREOLÓGICA

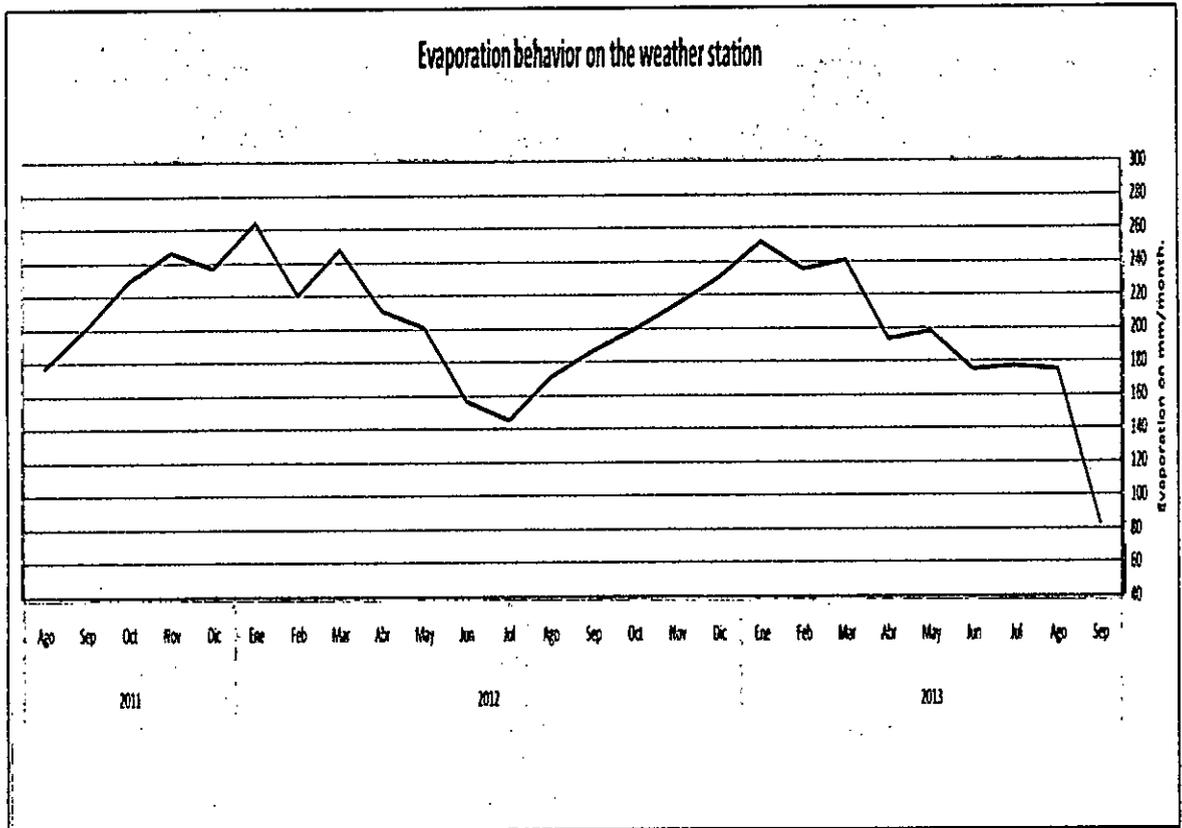


Elaboración propia

7.2.1.6 Grado de evaporación

También analizamos el grado de evaporación de agua dulce en el desierto, en la siguiente gráfica, se observa que la mayor evaporación se da durante el periodo de Noviembre a Marzo.

GRÁFICO N° 18
COMPORTAMIENTO DE LA EVAPORACIÓN EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

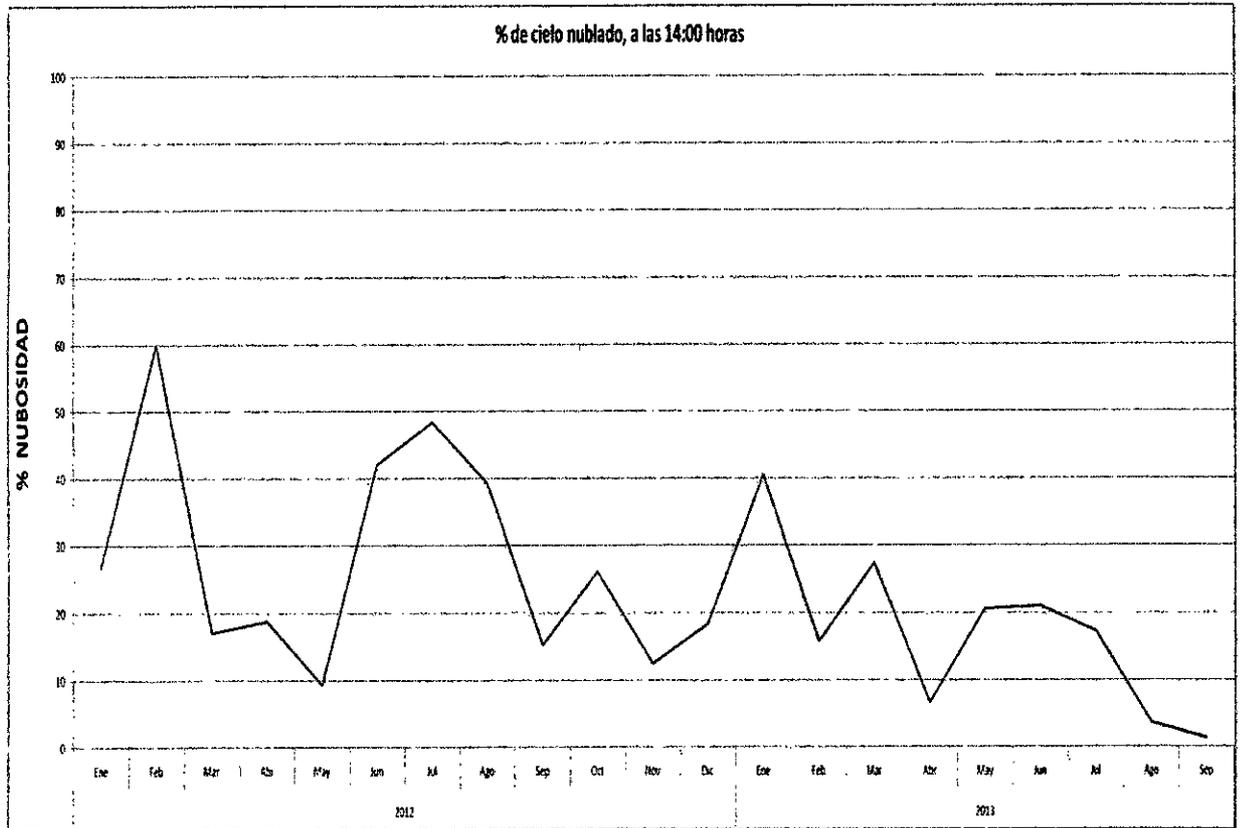


Elaboración propia

7.2.1.7 Nubosidad

Con una subjetividad reducida, se evalúa la porción de cielo cubierto de nubes, el objetivo es lograr comprender un comportamiento cíclico de la nubosidad que se encuentra sobre el área de trabajo. En la gráfica de nubosidad se observa un mayor grado de la misma en los meses lluviosos de enero y febrero, este valor también se incrementa en los meses de junio y julio. Otra observación que se rescata que el año 2012 esta nubosidad alta a las 14 horas se incrementó desde el mes de junio, mientras que en el 2013 se incrementó en el mes de mayo.

GRÁFICO N° 19
PORCENTAJE DE CIELO NUBLADO A LAS 14:00 HORAS



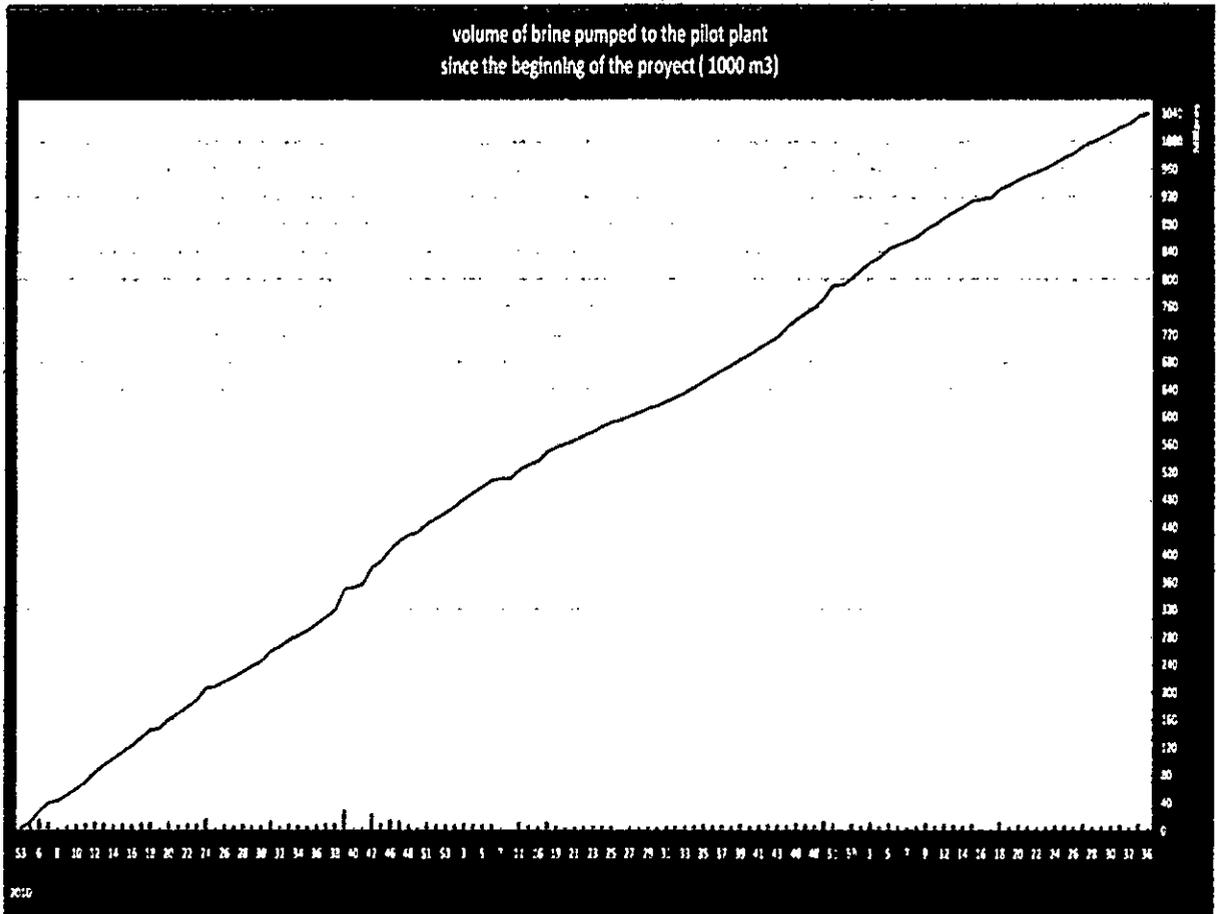
Elaboración propia

7.2.2 Bombeo de salmuera

La materia prima para el proceso es una salmuera que se encuentra bajo el desierto de Sechura. Para poder extraerla, usamos un equipo que consta de un grupo electrógeno de 100 Kw, un tablero variador de velocidad, y una bomba sumergible de motor de 100 Hp, el tazón de la bomba se encuentra a una profundidad de 10 m. Esta salmuera es impulsada a través de una línea de PVC de 12" con una distancia de 3.5 Km.

El bombeo se realiza diariamente en función a las condiciones del clima y el nivel de evaporación de la salmuera. Esta operación se inició en diciembre 2010 y hasta la fecha se mantiene constante el bombeo, así como la precipitación de sales en las pozas de evaporación.

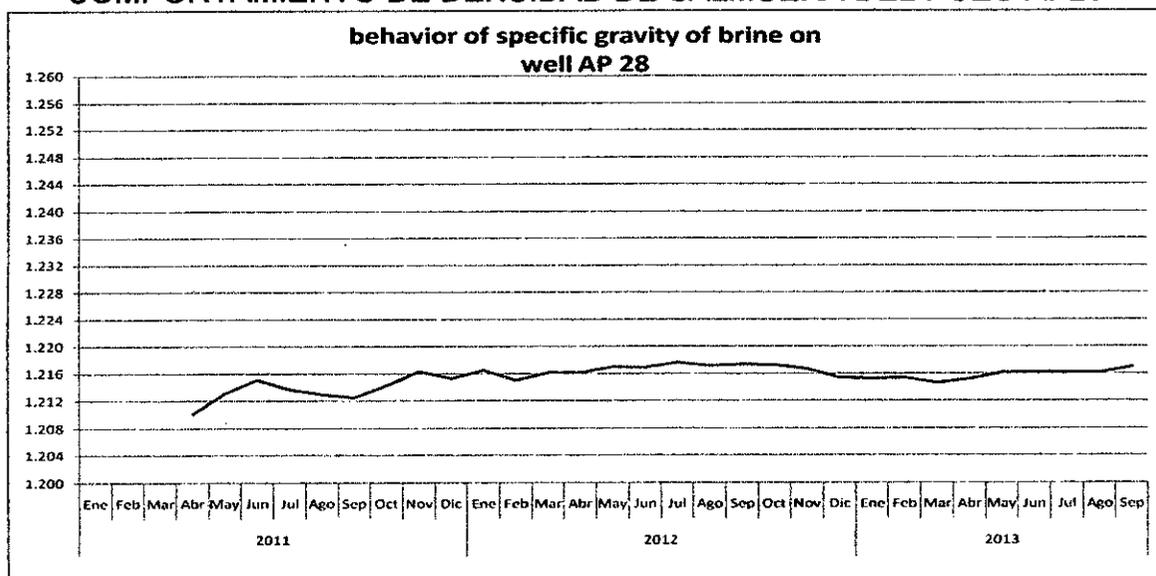
GRÁFICO N° 20 VOLUMEN DE SALMUERA BOMBEADA A LA PLANTA PILOTO DESDE EL INICIO DEL PROYECTO (MILES DE M3)



Elaboración propia

La calidad de la salmuera extraída es monitoreada a través de su densidad, la cual se mantiene sin mayor alteración, mientras que el nivel de recuperación hidráulica de la salmuera en el pozo es evaluado a través de la medida del nivel estático en un pozo de observación el cual describe un nivel constante.

GRÁFICO N° 21
COMPORTAMIENTO DE DENSIDAD DE SALMUERA DEL POZO AP28



Elaboración propia

7.2.3 Proceso de evaporación solar

La tecnología aplicada en este proceso es ampliamente utilizada en el mundo, se trata de la cristalización de los minerales usando la energía solar, la salmuera alimentada a una poza de recepción avanza por gravedad a través de varias pozas, conforme transcurre el tiempo, se va generando una gradiente de densidades entre las pozas que se encuentran al inicio del sistemas y las del final.

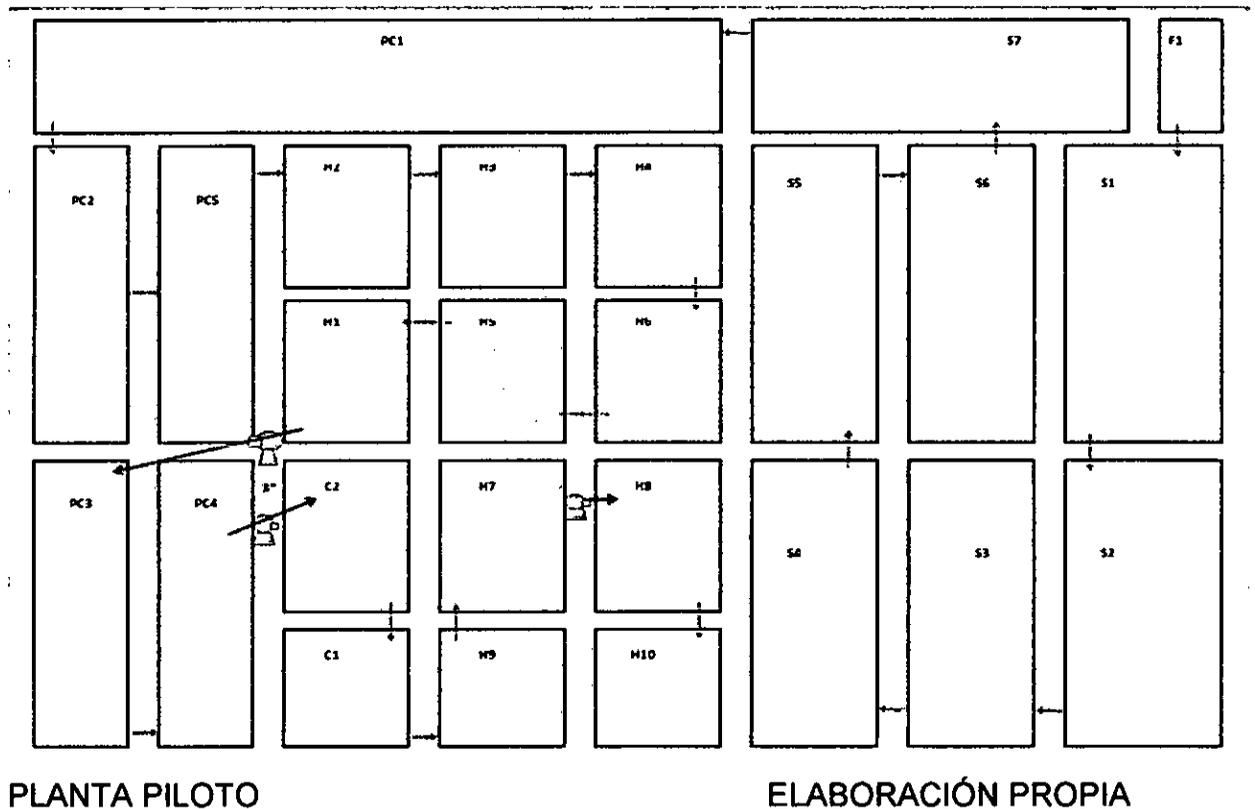
Este sistema continuo y natural, tiene como limitantes el clima del área en donde estén construidas las pozas, el área dispuesta para estas y el tiempo en el que se quiere obtener los productos.

Evaluando estos limitantes es que se diseña una operación en la que se considera un área determinada para cada etapa del proceso, sistemas de compuertas, sistemas de transferencia de salmueras por bombeo, y tiempos de residencia en función de las densidades.

7.2.3.1 Diseño de la planta

La planta diseñada para la producción de carnalita en el desierto de Sechura, es fruto de la información obtenida en la etapa a nivel experimental o de laboratorio; así como análisis de diseños previos en modo de prueba y error.

El actual diseño es el siguiente:



7.2.3.2 Etapas en el proceso

Durante todo el proceso se van generando sales en cada poza, los análisis químicos de los mismos, así como de las salmueras nos permitieron determinar la clasificación de estas en 3 etapas.

La primera de ellas se denomina etapa de Halita o NaCl, esta etapa inicia en la poza de recepción hasta la poza PC3, durante esta etapa el mineral precipitado es NaCl, con un porcentaje por encima de 97%. El sistema contempla un flujo continuo impulsado por la gravedad y compuertas hasta la poza H1, luego de

esta, la salmuera es transferida por bombeo hacia la poza PC3, en la cual se concentra debido al uso de un tiempo de residencia.

La segunda etapa se denomina etapa de sales mixtas, esta etapa inicia en la poza PC4 y continúa en la C2 y C1. El mineral precipitado en esta etapa es una mezcla de sales de "Cl", "SO4", "Na", "K" y "Mg", a las cuales se les da el nombre de sales mixtas, pues ya no se trata de un "NaCl" de alta pureza, ni de una carnalita. El subsistema es alimentado con salmuera proveniente de la PC3 con un flujo por gravedad hasta alcanzar la cobertura total de su área de evaporación. Con la salmuera contenida en la PC4, se da otro tiempo de residencia hasta llegar a una densidad establecida. El sistema continúa en la poza C2 la cual es abastecida por bombeo con salmuera de la PC4. La poza C2 se encuentra conectada con la poza C1 entre ambas existe una gradiente de densidad, que permite obtener salmuera con baja concentración de Na, lista para ser transferida a la siguiente etapa.

La tercera etapa es la más importante de todo el proceso, se trata de la etapa de carnalita. Se tratan de 4 pozas en las cuales se inicia el proceso de precipitación de la carnalita, una vez llegado a determinados valores de densidad y temperatura.

7.2.3.3 Producción de carnalita

La producción de carnalita se da por "cristalización fraccionada", debido a que es gradual en el tiempo y en la poza en la que se encuentra. La carnalita a diferencia de la Halita, es una sal granulada, no dura, con formas diversas mientras que la Halita es un cuerpo sólido de cristalización cúbica. También es característico de esta etapa que la salmuera es oleaginosa. Es en esta etapa donde con transferencia por gravedad y por bombeo se administra la salmuera, con el fin de cosechar la carnalita, así como poder desarrollar pruebas de brine mixing, slurry pumping y carnallite leaching a nivel piloto.

7.2.4 Evolución fisicoquímica del proceso

Durante la evolución del proyecto a escala piloto, se han venido definiendo etapas, procesos, control de parámetros, entre otros. Todos estos con la finalidad de obtener la mejor cantidad y calidad del mineral carnalita.

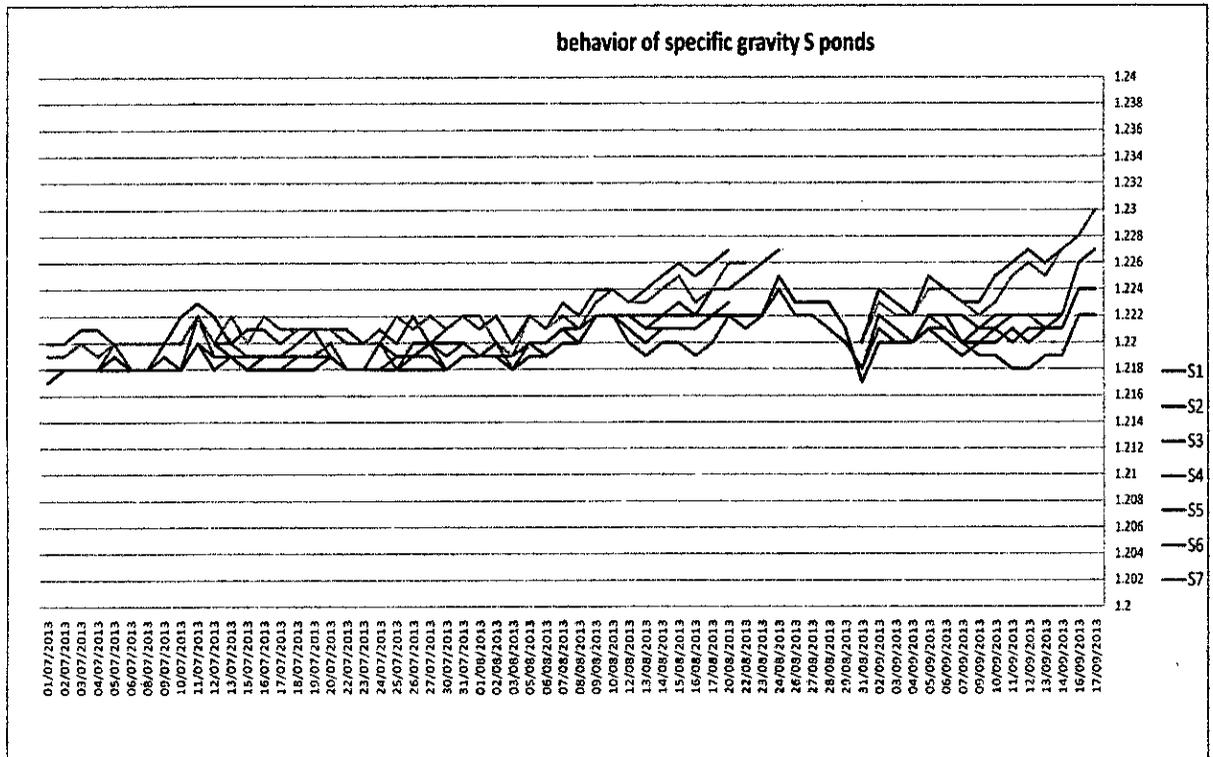
Los parámetros de control en cada etapa han sido densidades, comportamiento químico de salmuera así como de sal, producción de sal por poza, volúmenes de salmuera por poza y temperatura.

7.2.4.1 Etapa de Halita

a). Comportamiento de densidades

La grafica 22 muestra una gráfica de control del valor de las densidades en las pozas de la etapa de Halita, esta grafica de control, muestra una evaluación del día a día de la densidad. Lo mismo se hace con todas las pozas durante todo el proceso. Este tipo de grafica en cada etapa es usado como indicador para hacer las transferencias, alimentación de materia prima, evaluación de sales de producción, entre otros.

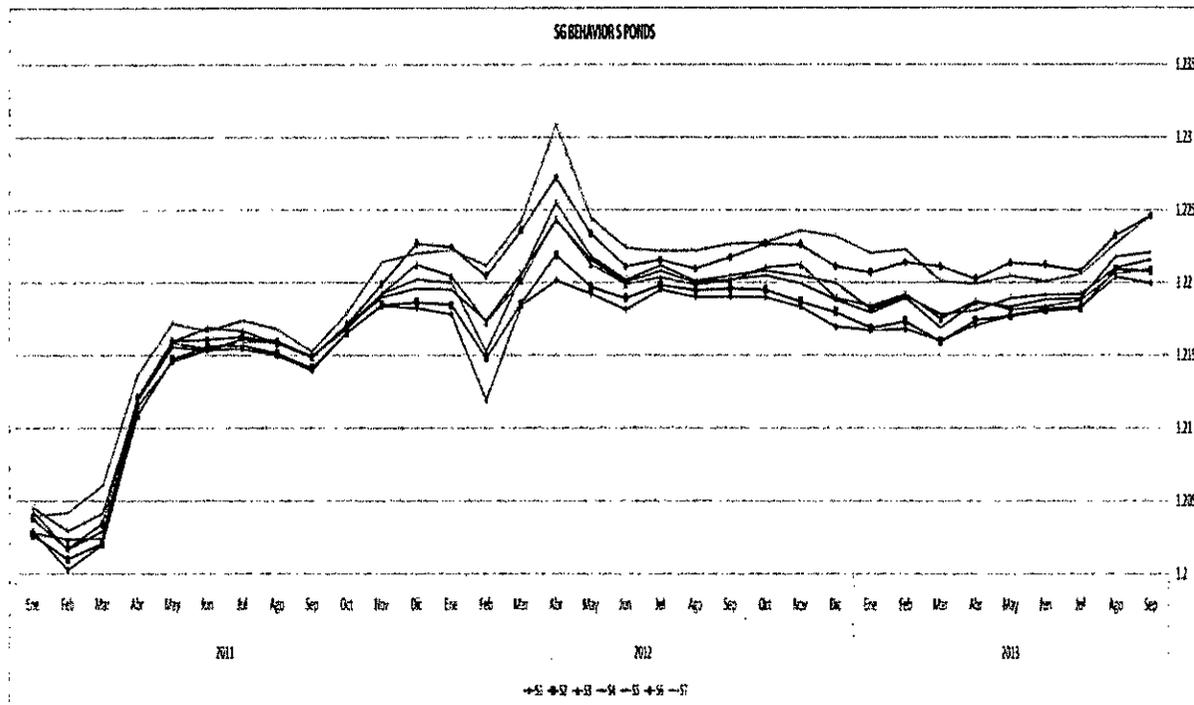
GRÁFICO N° 22
COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES EN POZAS S



Elaboración propia

La grafica 23 muestra el comportamiento de la densidad del grupo de pozas "S" durante toda la etapa del proyecto actual. En ella se puede apreciar como la densidad en este grupo de pozas al inicio del proyecto tubo valores de 1.200, valores que hoy en día están en el promedio de 1.220. En esta curva se pueden apreciar 3 puntos de quiebre bien definidos, el primero se da en setiembre del 2011, el segundo en febrero 2012 y el tercero en abril 2012. Todos ellos son debidos a factores externos que en todo proyecto de este tipo deben considerarse. El primero fue a causa de un represamiento necesario puesto que el abastecimiento iba a ser suspendido debido a una elevación de la plataforma de bombeo; el segundo fue a causa de lluvias fuertes que se presentaron en toda la provincia, el tercero fue a causa de ruptura de la línea de abastecimiento por problemas sociales.

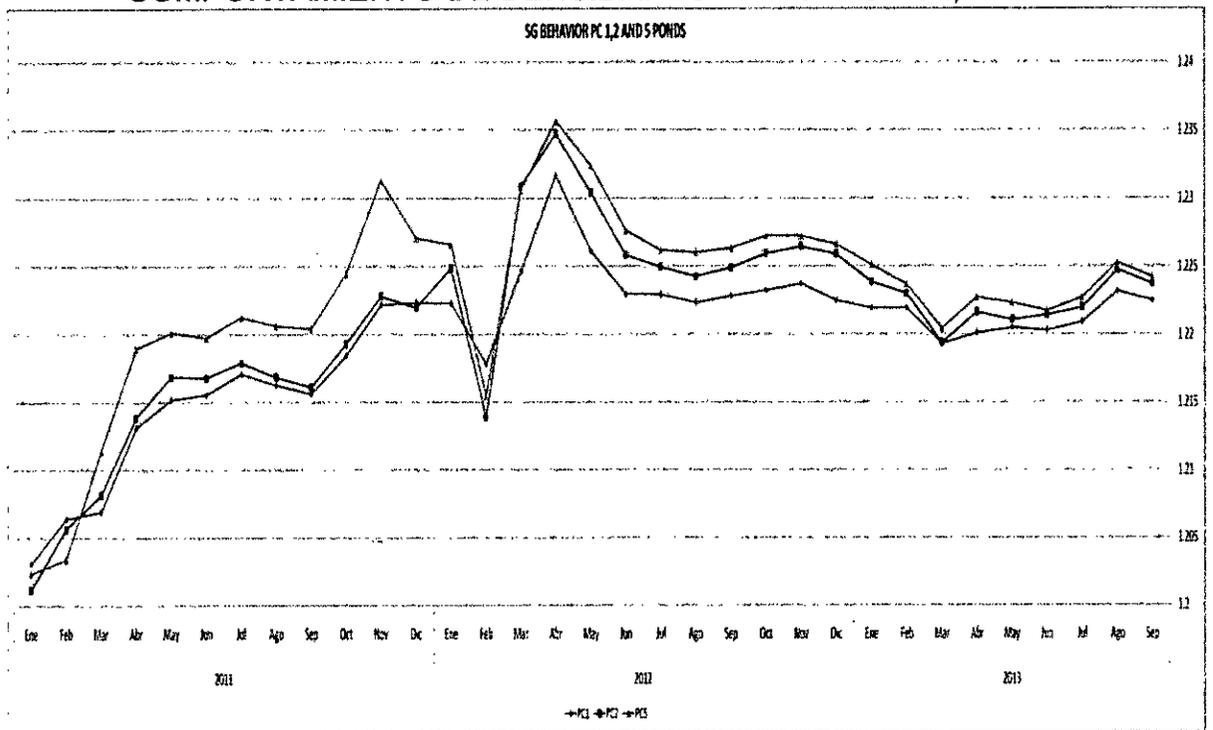
GRÁFICO N° 23
COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES EN POZAS S, DESDE INICIO DEL PROYECTO



Elaboración propia

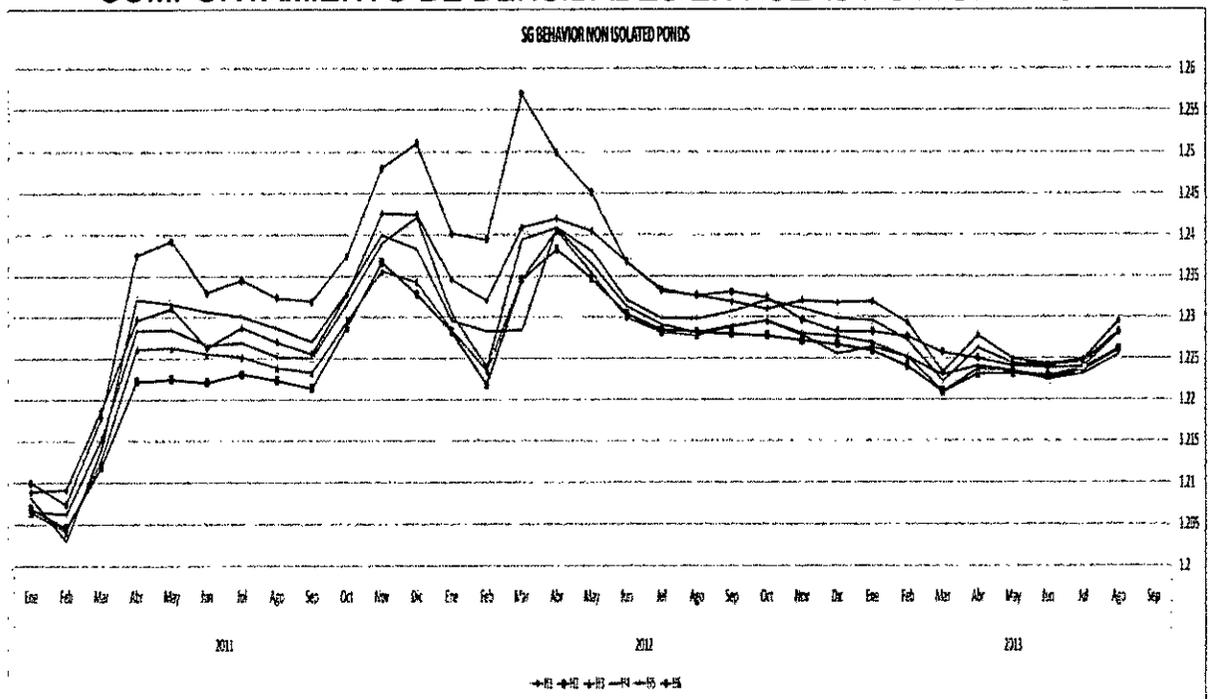
La grafica 24 y 25 muestra el comportamiento de las densidades de pozas que se encuentran aún en la etapa de halita, en ellas se puede apreciar incremento de densidades desde el inicio del proyecto con un valor de 1.205 a 1.225 actualmente. En ambas graficas se pueden apreciar también los efectos de factores externos ya mencionados anteriormente.

GRÁFICO N° 24
COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES EN POZAS PC1, 2 Y 5



Elaboración propia

GRÁFICO N° 25
COMPORTAMIENTO DE DENSIDADES EN POZAS NO AISLADAS



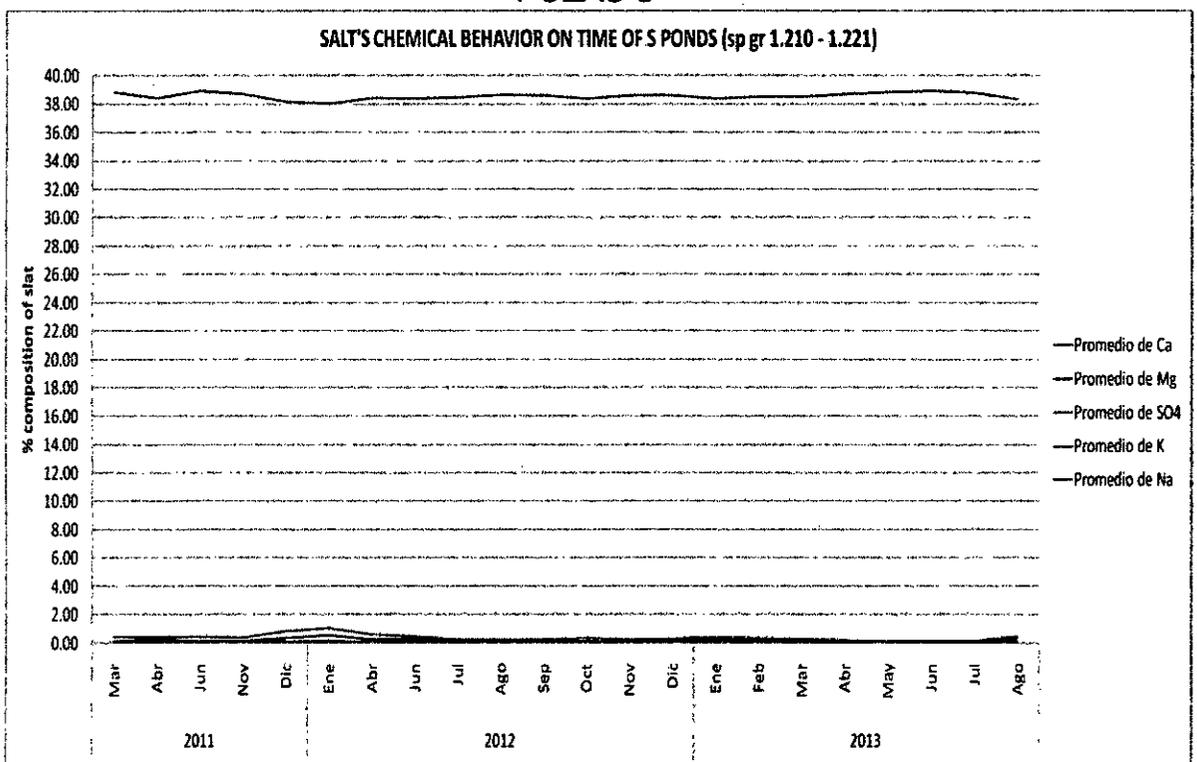
Elaboración propia

b). Comportamiento químico

➤ **SAL**

El comportamiento químico de la sal a través de todo el desarrollo del actual proceso en la etapa de halita se observa en la gráfica 26, en esta se aprecia un dominio total de la presencia de sodio.

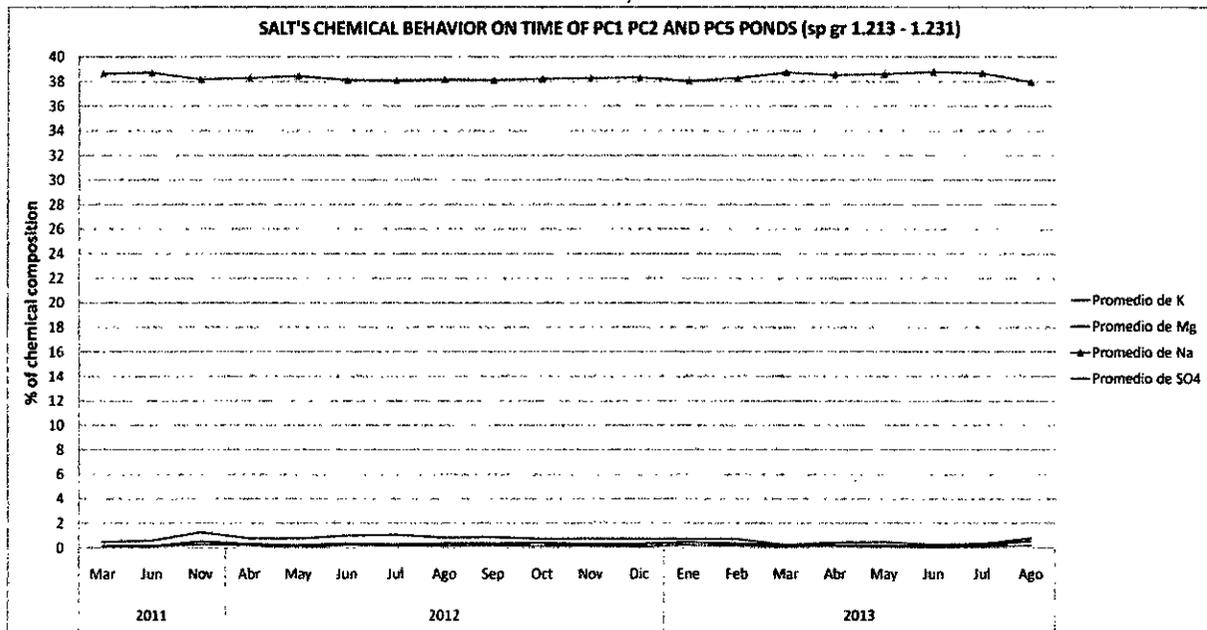
**GRÁFICO N° 26
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SAL A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS S**



Elaboración propia

Este comportamiento químico gráfico, fue elaborado en base a los informes periódicos emitidos por el laboratorio conteniendo análisis de las sales y salmueras. Algunos de estos informes se presentan en el anexo.

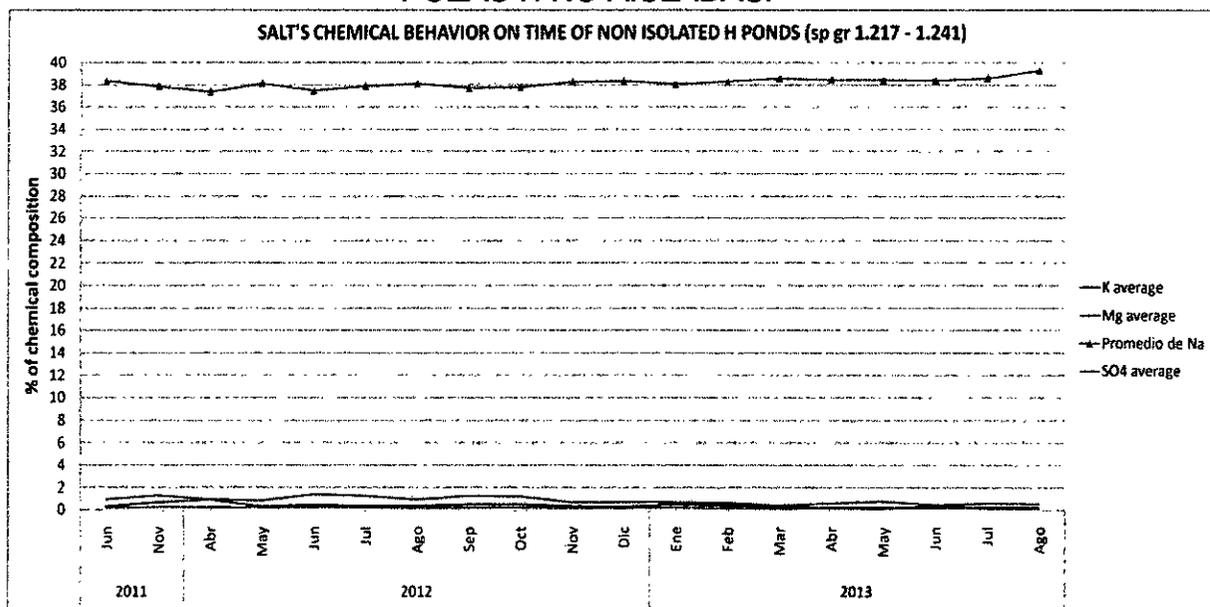
GRÁFICO N° 27
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SAL A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS PC1, 2 Y 5.



Elaboración propia

El mismo comportamiento de la gráfica 26, se observa en la gráfica 27 y 28, aunque la presencia de otros elementos en el grupo de pozas "H no aisladas", se incrementó ligeramente.

GRÁFICO N° 28
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SAL A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS H NO AISLADAS.



Elaboración propia



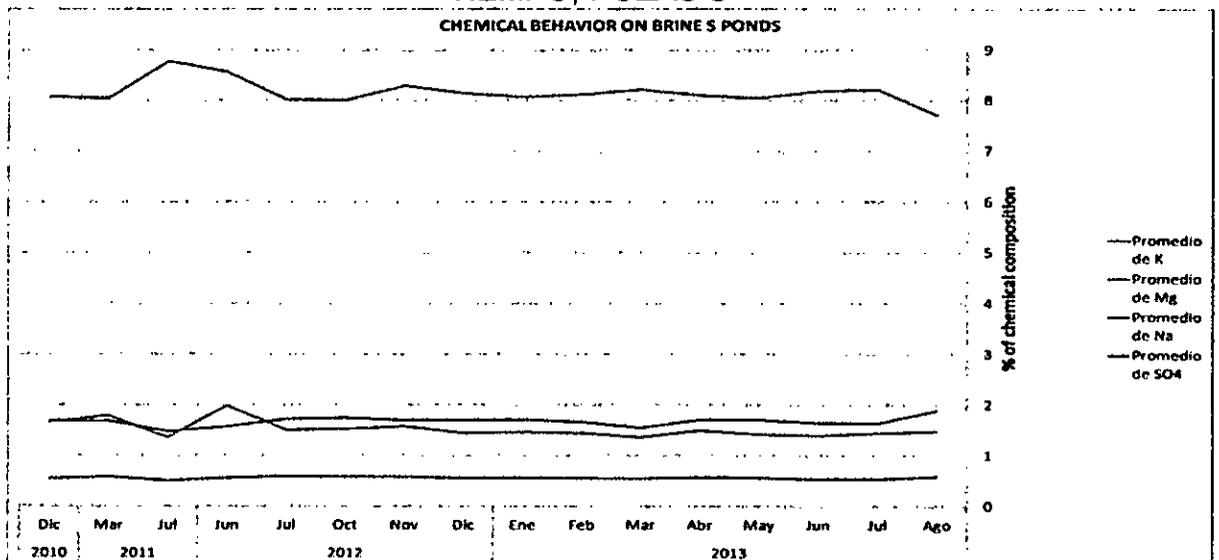
Halita – NaCl

Fuente propia

➤ **SALMUERA**

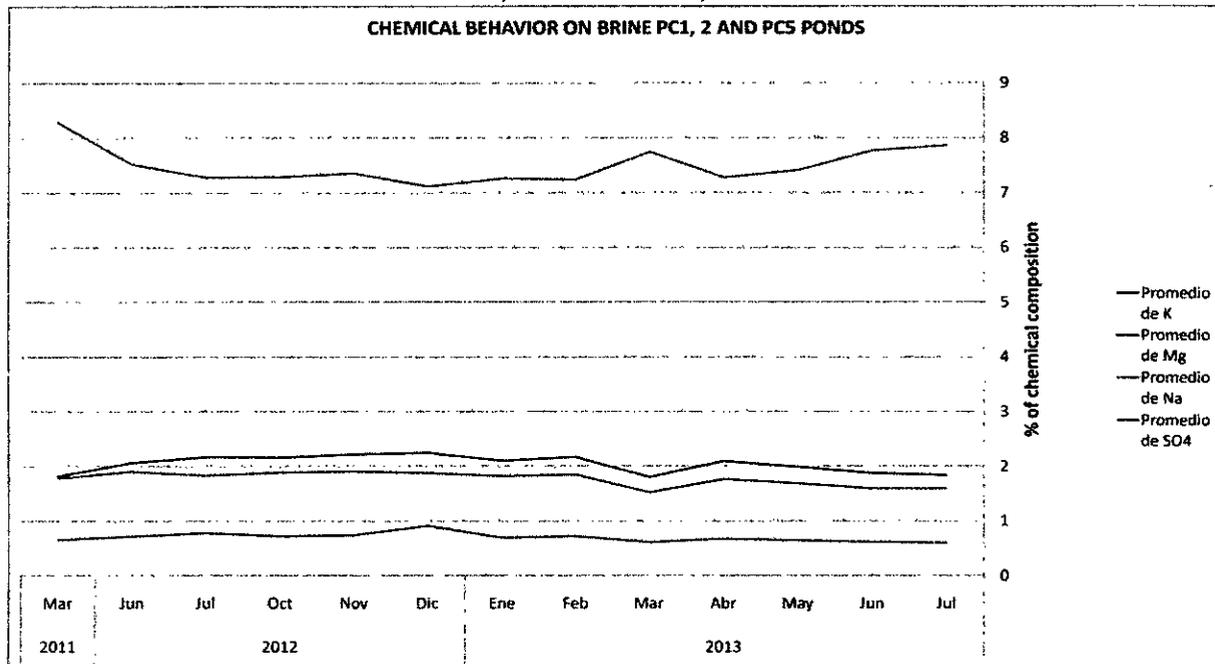
El comportamiento químico de la salmuera durante la etapa de halita, se muestra en la gráfica 29, 30 y 31. En estas se puede apreciar la predominante presencia del sodio en la salmuera, la cual tiene una tendencia a decrecer conforme se avanza de un grupo de pozas a otro. Con respecto al "Mg" y el "K", estos tienen una ligera tendencia hacia el incremento de su concentración, inverso a lo que sucede con el "Na".

GRÁFICO N° 29
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SALMUERA A LO LARGO DEL
TIEMPO, POZAS S



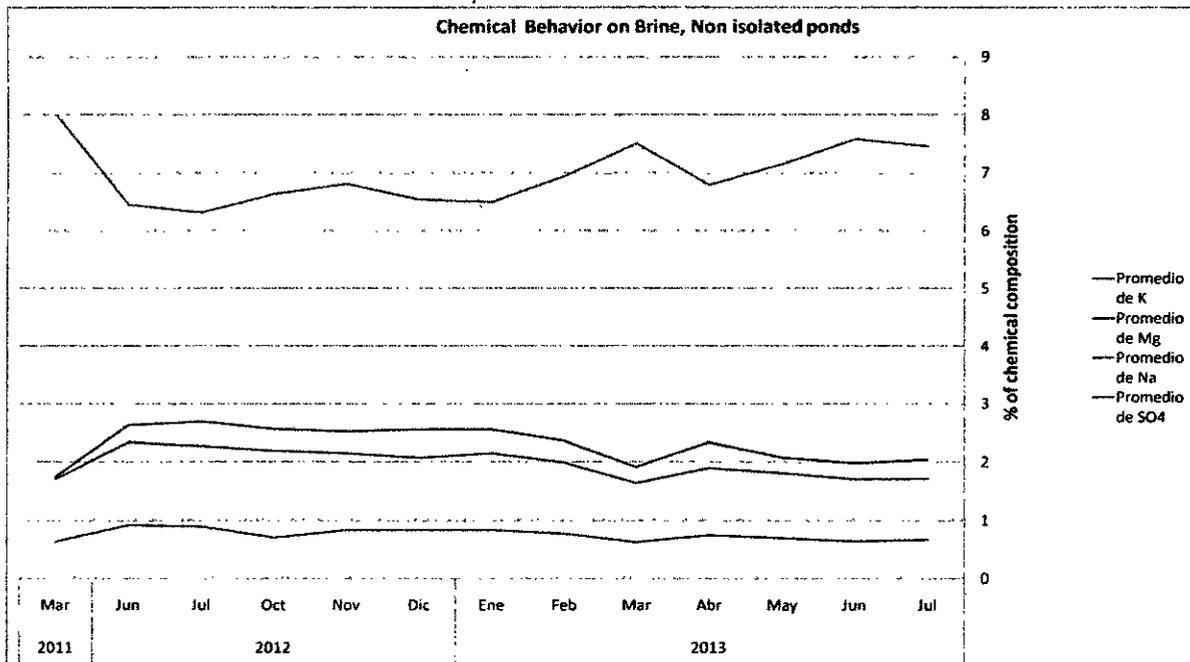
Elaboración propia

GRÁFICO N° 30
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SALMUERA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS PC1, 2 Y 5.



Elaboración propia

GRÁFICO N° 31
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SALMUERA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS NO AISLADAS.

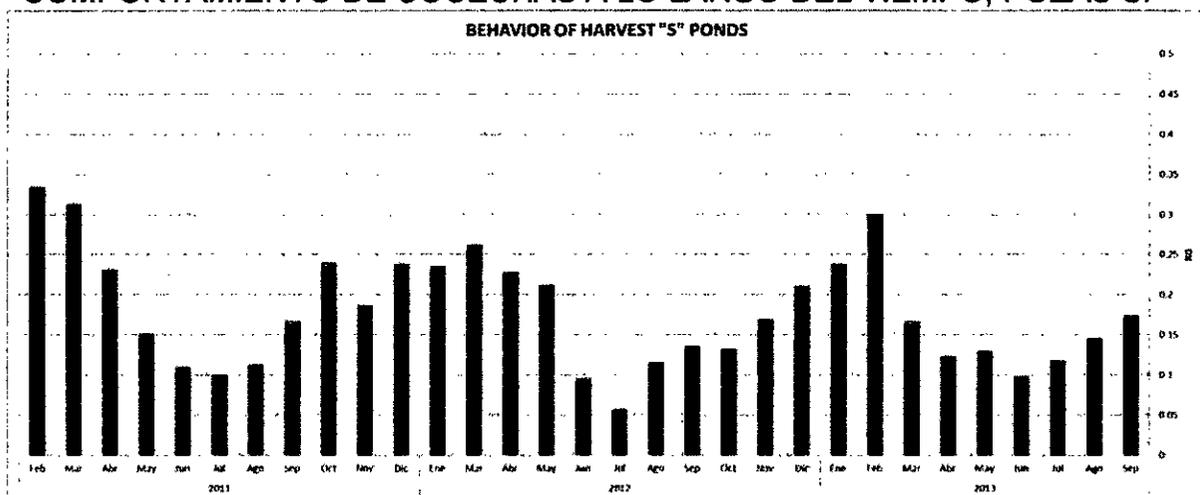


Elaboración propia

c). Producción de halita

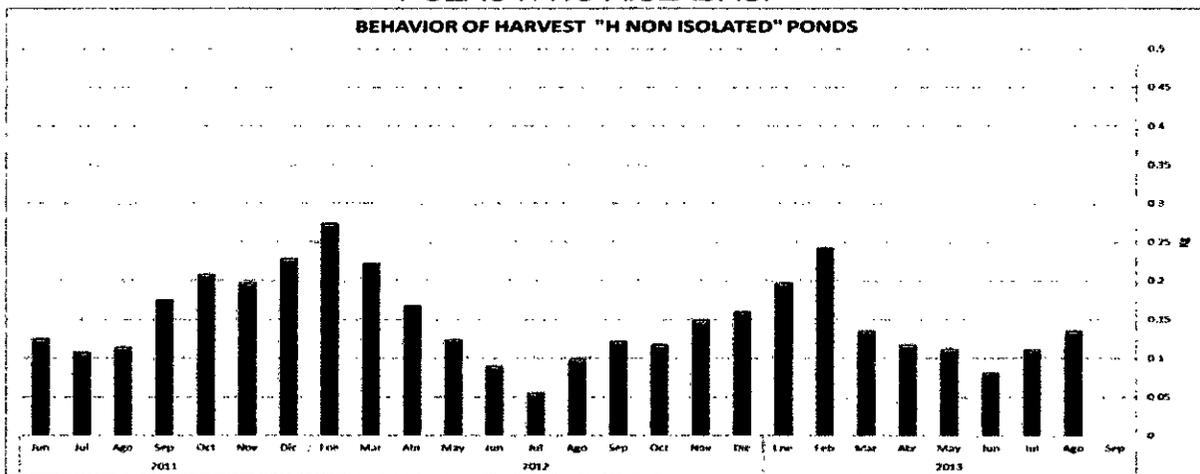
La producción de halita en las pozas "S", muestra un comportamiento cíclico a través de los meses de un año, la producción se incrementa en los meses de verano, esto es, de noviembre a marzo; mientras que en invierno disminuye. Lo mismo sucede en las pozas "H no aisladas". Vale decir que este comportamiento cíclico varía solo en cantidad de sal precipitada, mas no en su composición química, revisada en la sección anterior.

GRÁFICO N° 32
COMPORTAMIENTO DE COCECHAS A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS S.



Elaboración propia

GRÁFICO N° 33
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA COCECHA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS H NO AISLADAS.



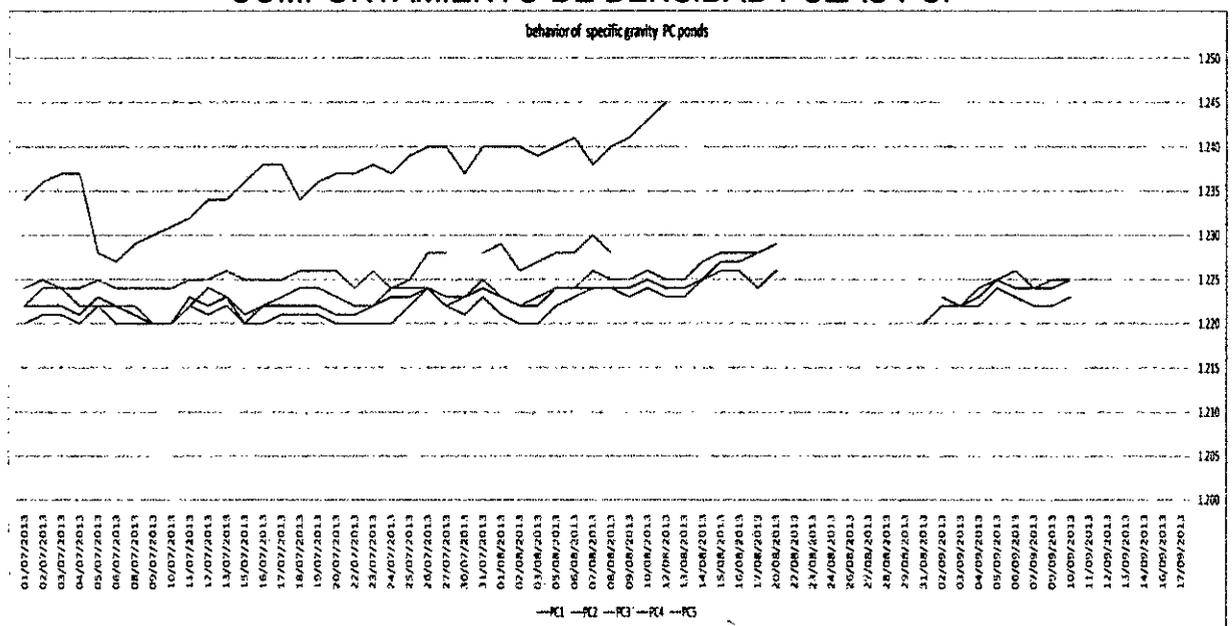
Elaboración propia

7.2.4.2 Etapa de sales mixtas

a). Comportamiento de densidades

La grafica 34 muestra una gráfica de control del valor de las densidades en las pozas de la etapa de sales mixtas, esta grafica de control, muestra una evaluación del día a día de la densidad.

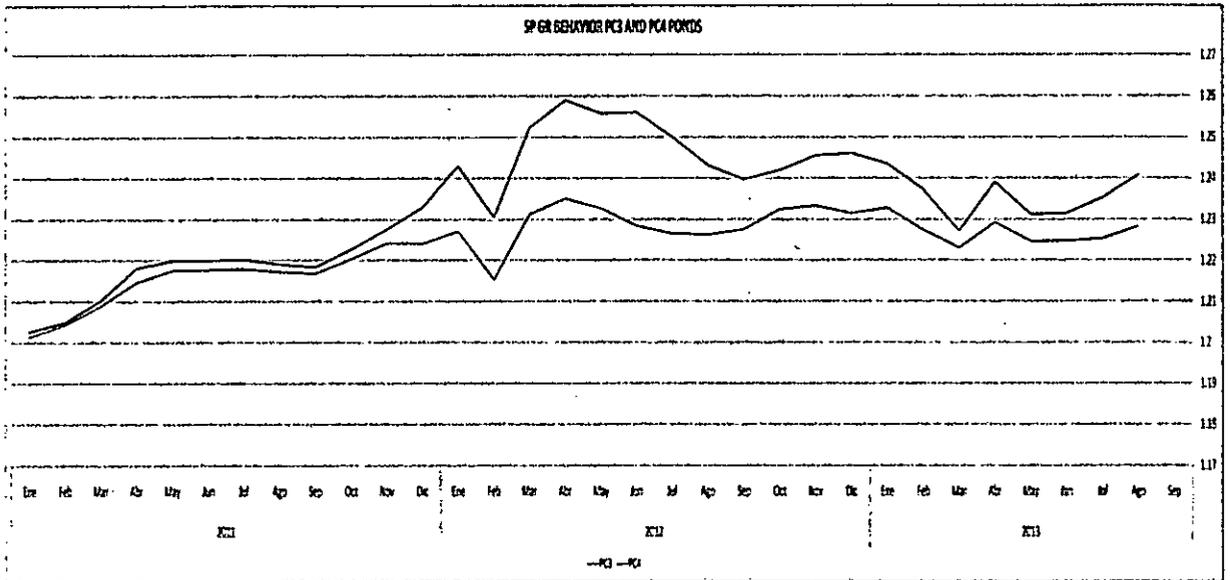
GRÁFICO N° 34
COMPORTAMIENTO DE DENSIDAD POZAS PC.



Elaboración propia

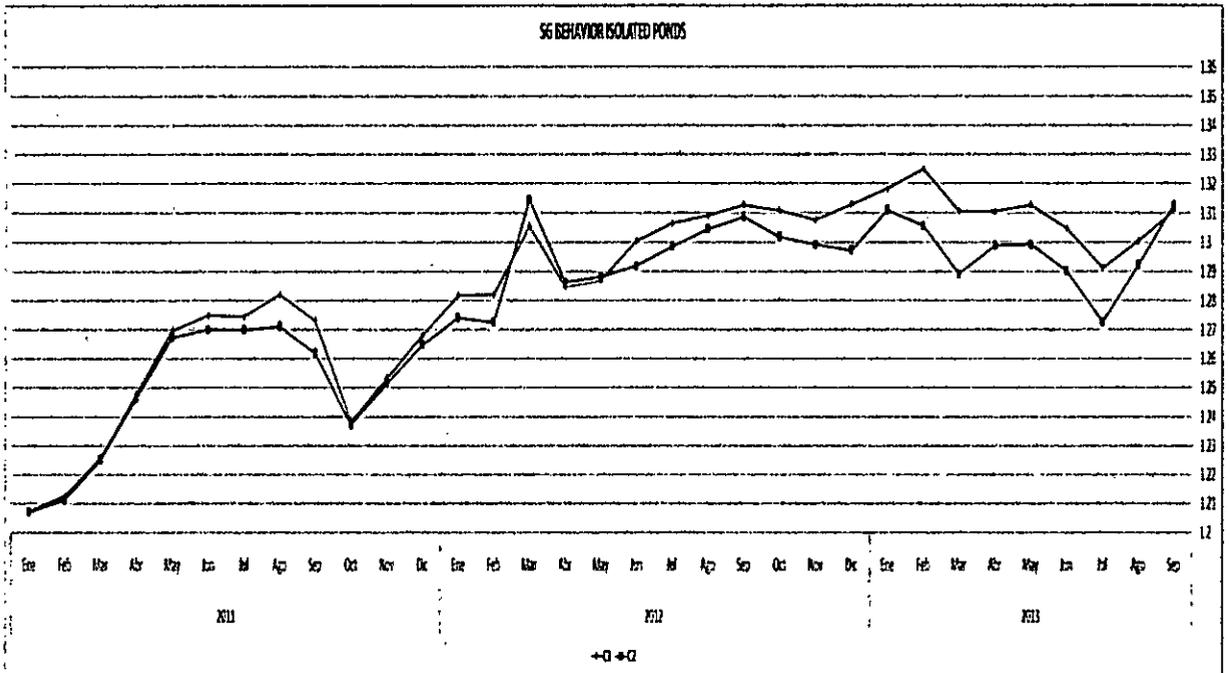
Las gráficas 35 y 36 muestran el comportamiento de la densidad del grupo de pozas de sales mixtas, durante toda la etapa del proyecto actual. En ella se puede apreciar como la densidad en este grupo de pozas al inicio del proyecto tuvo valores de 1.205, valores que hoy en día están en el promedio de 1.240 en el primer grupo y 1.310 en el segundo.

GRÁFICO N° 35
COMPORTAMIENTO DE DENSIDAD A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS PC3
Y PC4.



Elaboración propia

GRÁFICO N° 36
COMPORTAMIENTO DE DENSIDAD A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS C1
Y C2



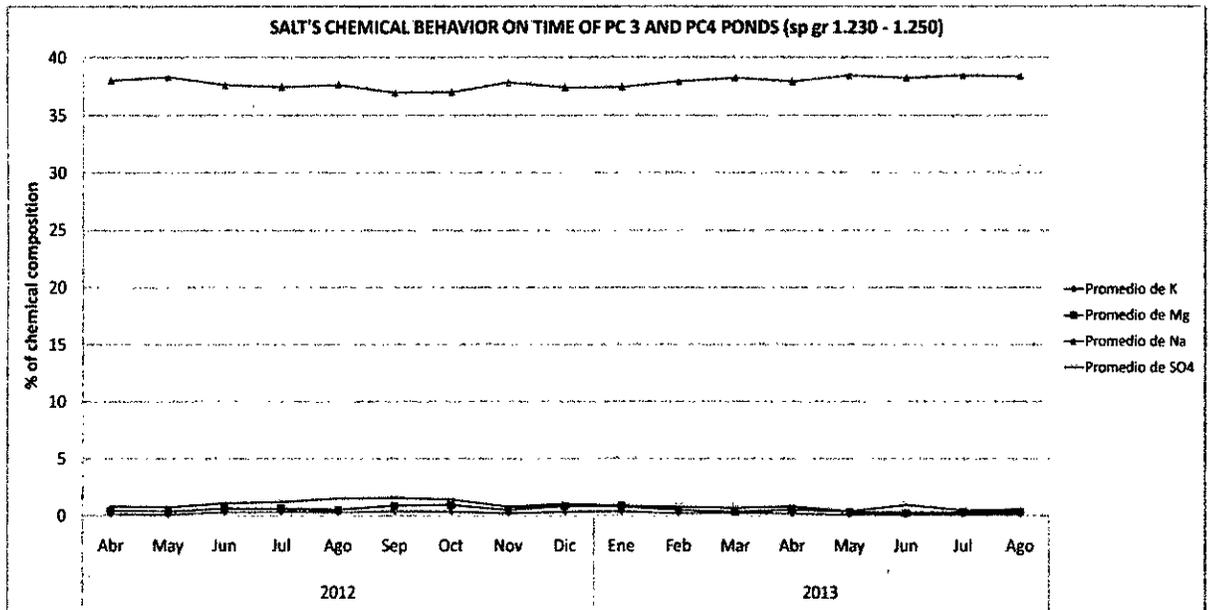
Elaboración propia

b). Comportamiento químico

➤ **SAL**

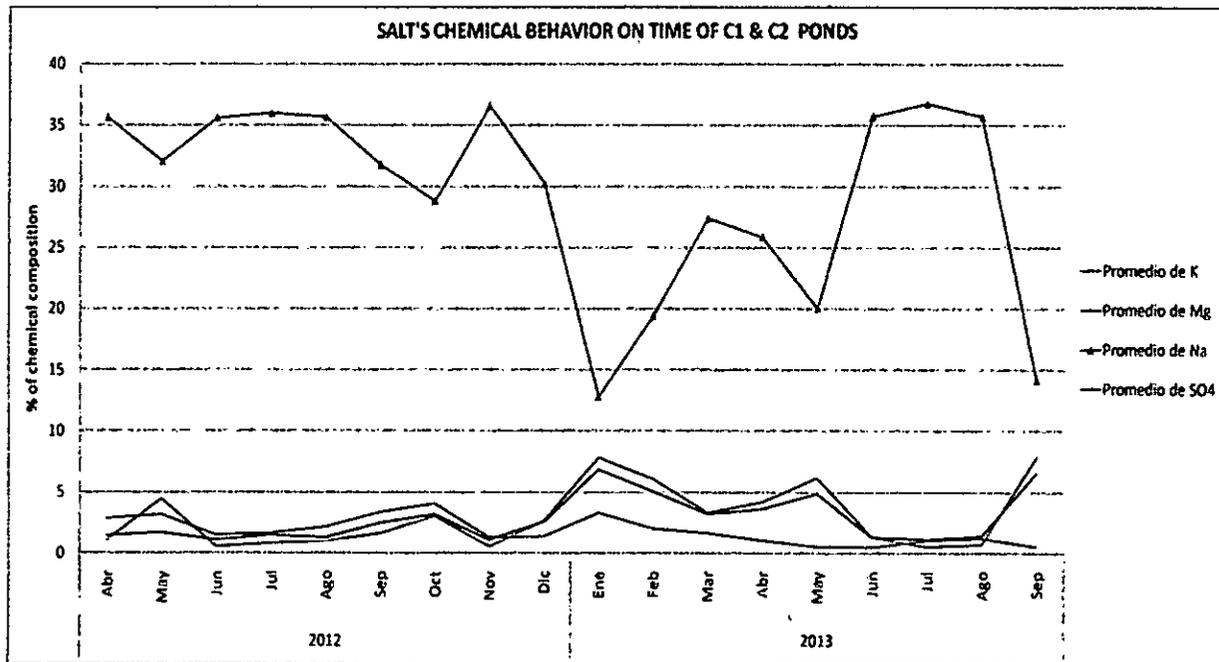
El comportamiento químico de la sal a través de todo el desarrollo del actual proceso en la etapa de sales mixtas se observa en las gráficas 37 y 38, en la primera se aprecia un dominio total de la presencia de sodio durante todo el desarrollo del proyecto. Mientras que en la segunda este comportamiento ya no es estable, se observa que en los meses de verano la composición del "Na" en la sal precipitada es bastante menor a lo observado en etapas previas; la presencia de los otros minerales en esta etapa también mostraron una tendencia distinta a lo hasta ahora observado. Vale rescatar que en los puntos con menor concentración de "Na", son los de mayor concentración de "Mg" y "K".

**GRÁFICO N° 37
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SAL A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS PC3 Y PC4**



Elaboración propia

GRÁFICO N° 38
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SAL A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS C1 Y C2



Elaboración propia



SALES MIXTAS

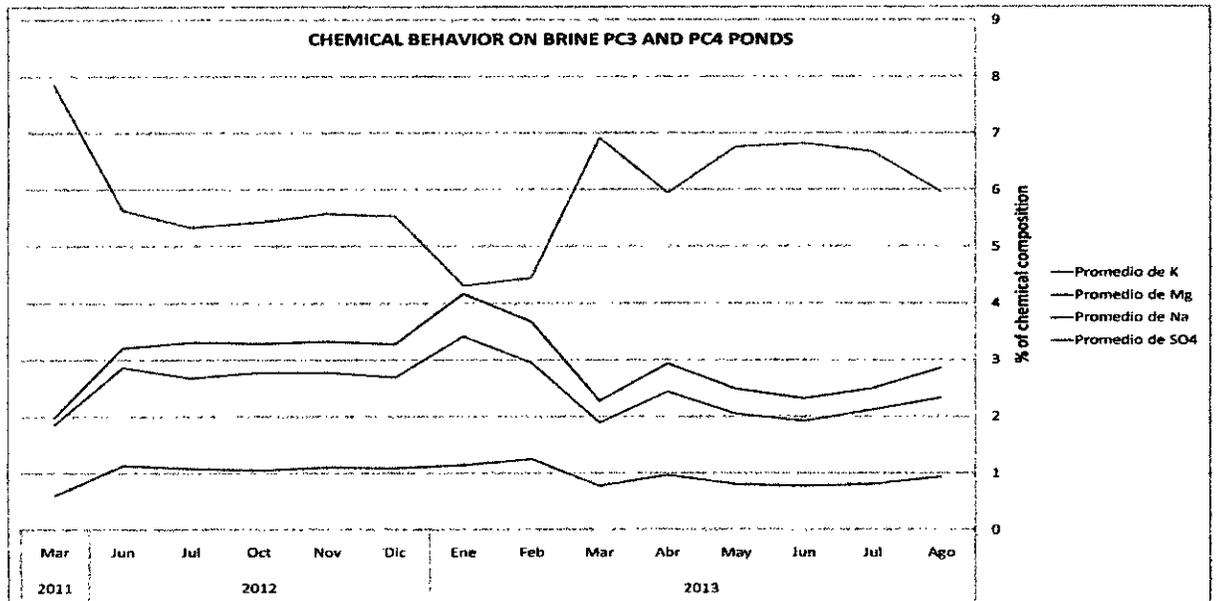
FUENTE PROPIA

➤ **SALMUERA**

El comportamiento químico de la salmuera durante la etapa de sales mixtas, se muestra en la gráfica 39 y 40.

En la primera grafica se observa que la en los meses de verano, la concentración del "Na", disminuye hasta casi igualar a la concentración del "Mg".

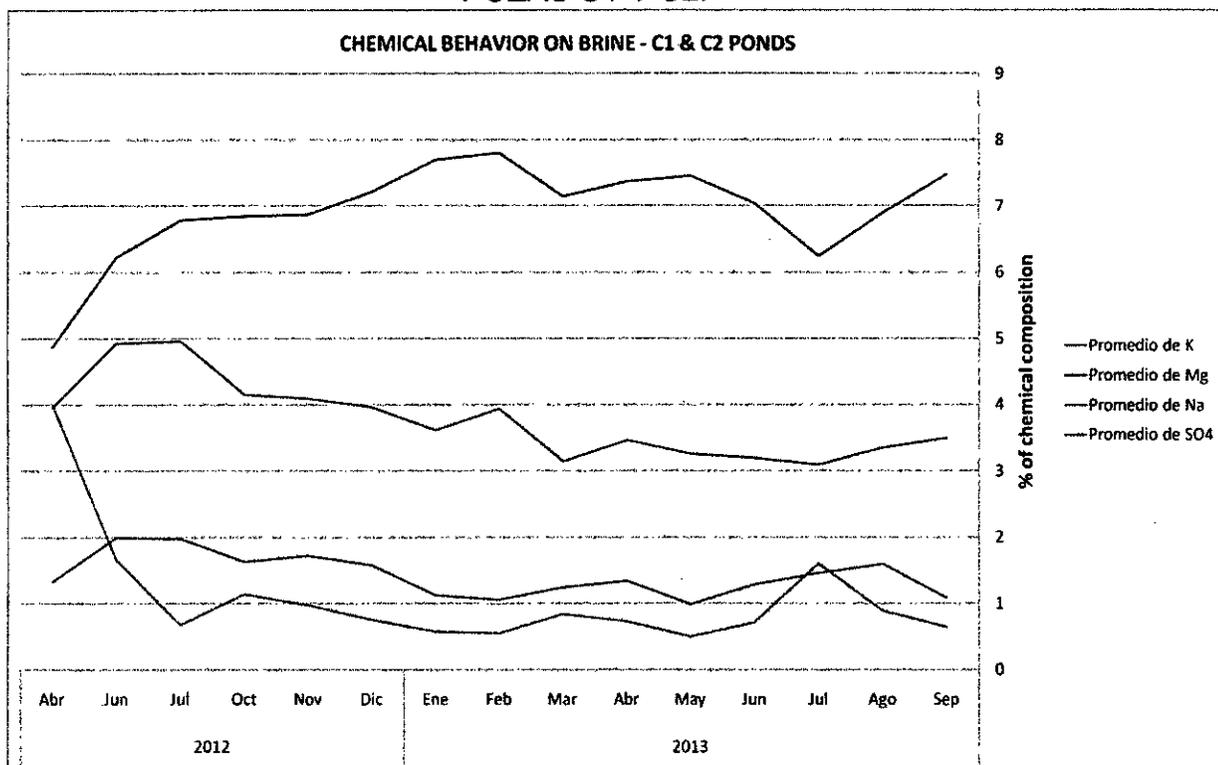
GRÁFICO N° 39
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE SALMUERA A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS PC3 Y PC4



Elaboración propia

En esta grafica se representa a las últimas dos pozas de la etapa de sales mixtas, se observa que la concentración del "Mg" y el "Na" tienen sus valores invertidos con respecto a lo que representaban en la etapa de halita. Mientras que la concentración del "K" se encuentra alrededor del 1.5% y el "SO₄" alrededor del 3.5%.

GRÁFICO N° 40
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE SALMUERA A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS C1 Y C2.

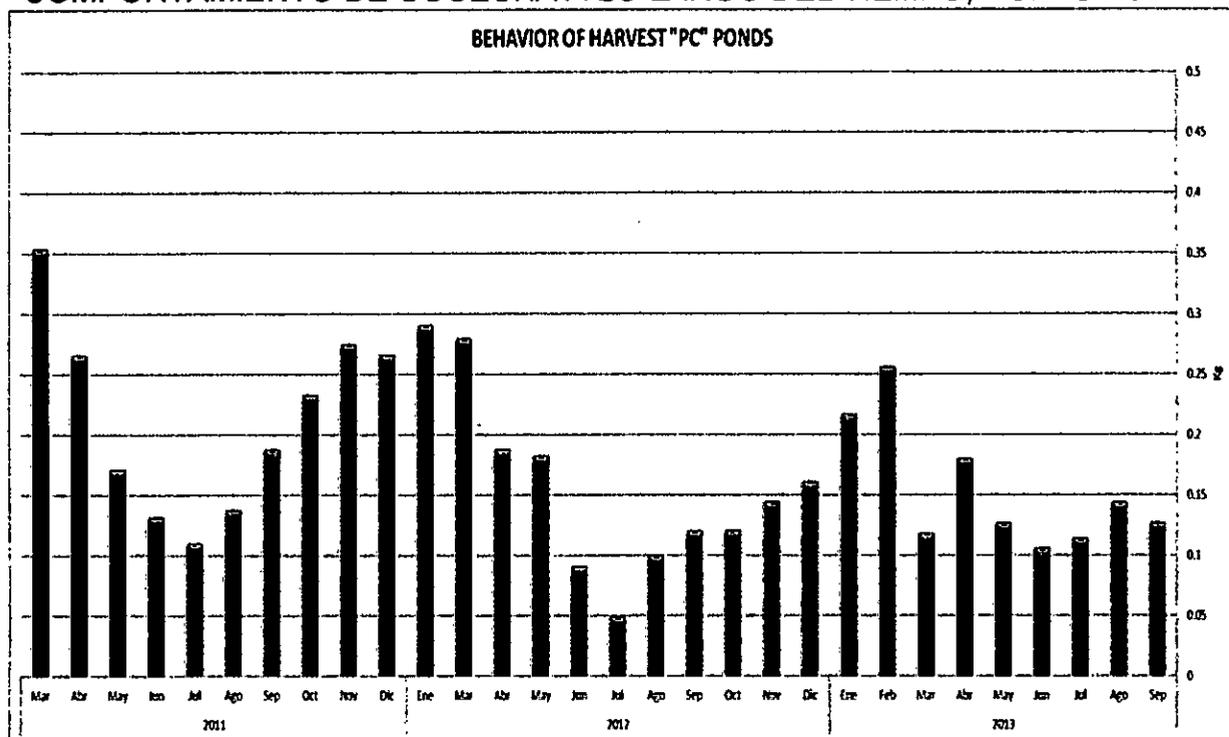


Elaboración propia

C). Producción de sales mixtas

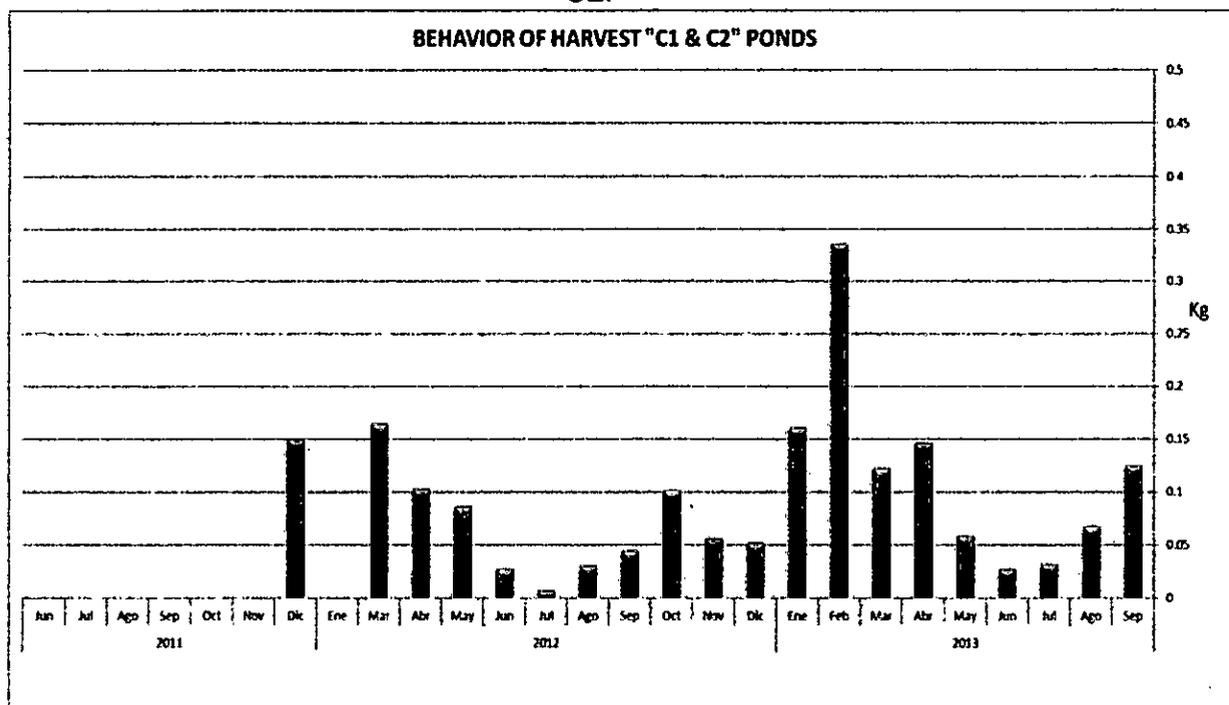
La producción de sales mixtas en las pozas PC4, C1 y C2, también muestran un comportamiento cíclico a través de los meses de un año. Vale decir que este comportamiento cíclico varía tanto en cantidad de sal precipitada, como en su composición química, revisada en la sección anterior.

GRÁFICO N° 41
COMPORTAMIENTO DE COCECHA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS PC.



Elaboración propia

GRÁFICO N° 42
COMPORTAMIENTO DE COCECHA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS C1 Y C2.



Elaboración propia

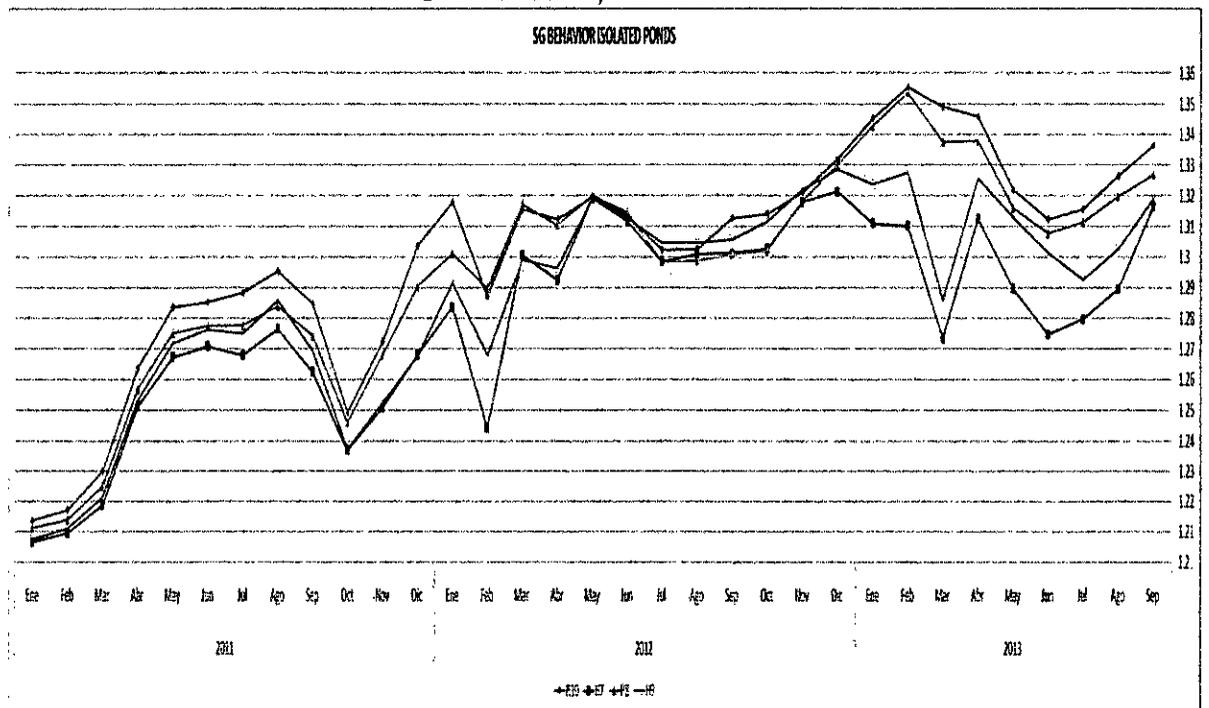
7.2.4.3 Etapa de carnalita

a).Comportamiento de densidades

En la gráfica 43 se observa el comportamiento de la densidad en las pozas más importantes para todo el proyecto; se aprecia que se inició con valores alrededor de 1.210 y han llegado alrededor de 1.350.

La salmuera que se encuentra en este rango de densidades, tiene una evaporación más lenta que la del agua, también es bastante susceptible a caídas fuertes en el valor de sus densidades luego de un periodo corto de una alta humedad relativa.

GRÁFICO N° 43
COMPORTAMIENTO DE DENSIDAD A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS DE CARNALITA, H7 A H10.



Elaboración propia

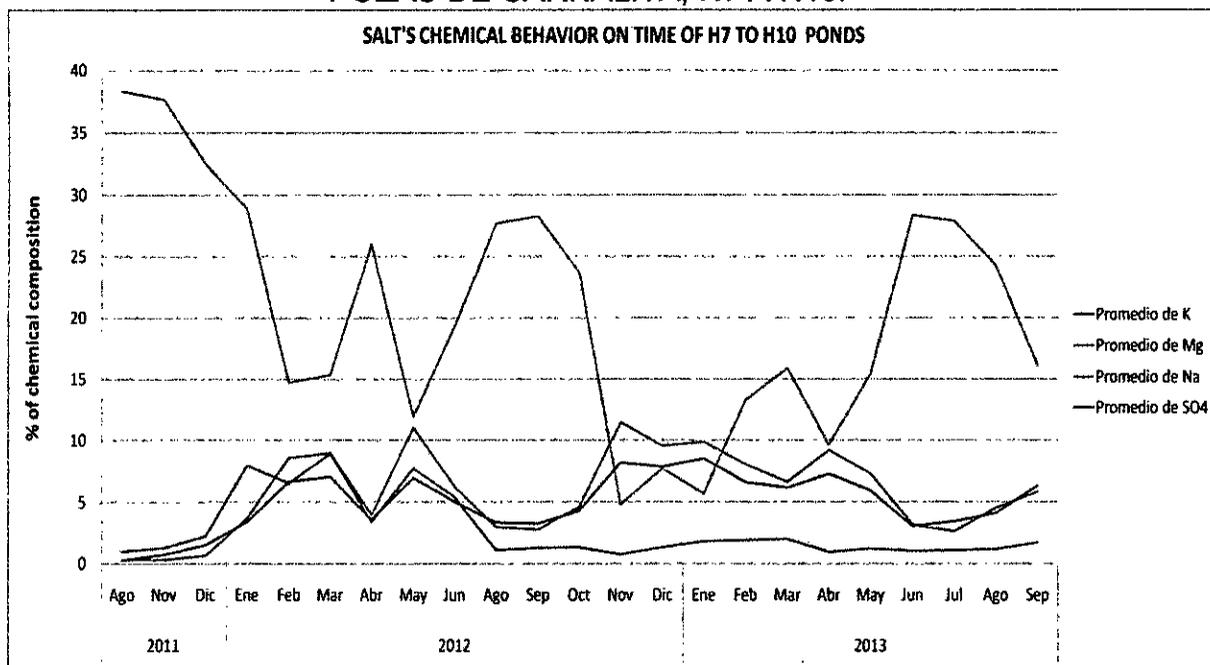
b). Comportamiento químico

➤ **SAL**

De noviembre del 2012 a abril del 2013, se puede apreciar un porcentaje bastante bajo del "Na" en el mineral cristalizado, paralelamente se aprecia que la concentración de "Mg" y "K" en este periodo es la más alta. Esta grafica es un promedio de 4 pozas de producción de carnalita, un análisis más detallado de cada poza, ha podido determinar a partir de que valores de parámetros de densidad y temperatura se obtiene un mineral con la menor concentración de "Na" y mayor concentración de "K".

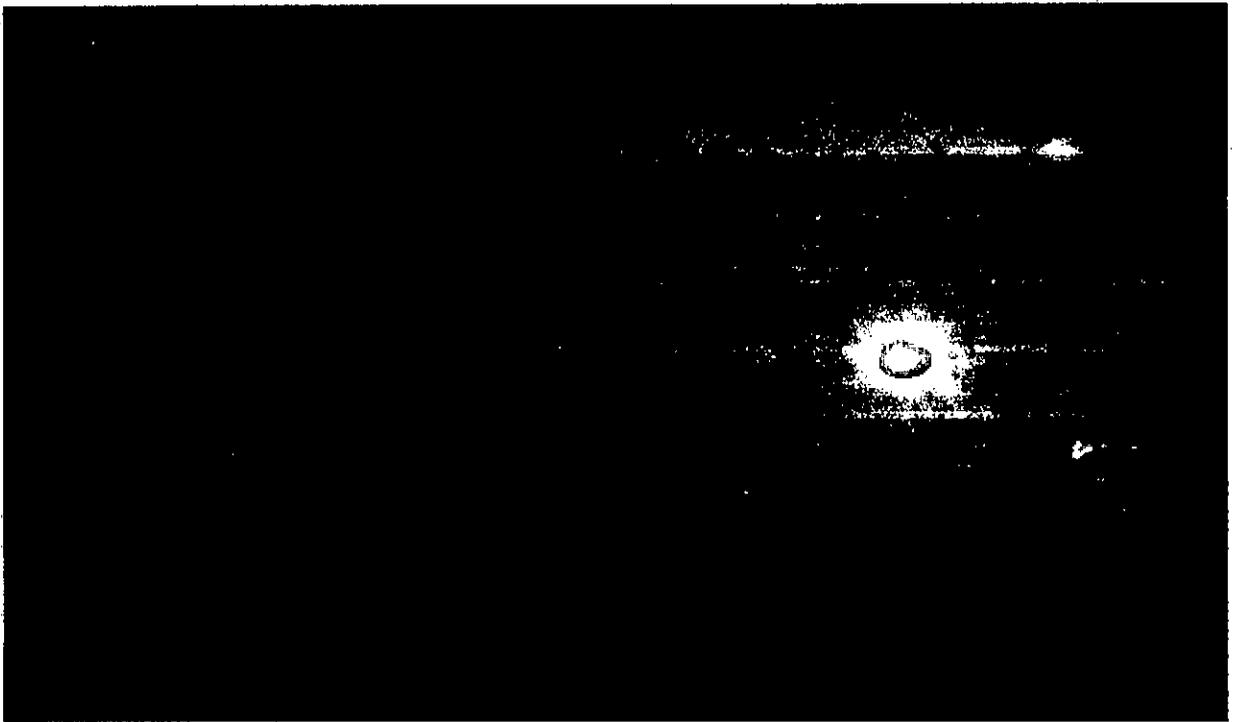
Bajo estas condiciones es que se obtuvo por primera vez en esta etapa del proyecto el mineral llamado "CARNALITA", la cual será materia prima para producir "KCl", luego de dos procesos de lixiviación.

**GRÁFICO N° 44
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SAL A LO LARGO DEL TIEMPO,
POZAS DE CARNALITA, H7 A H10.**



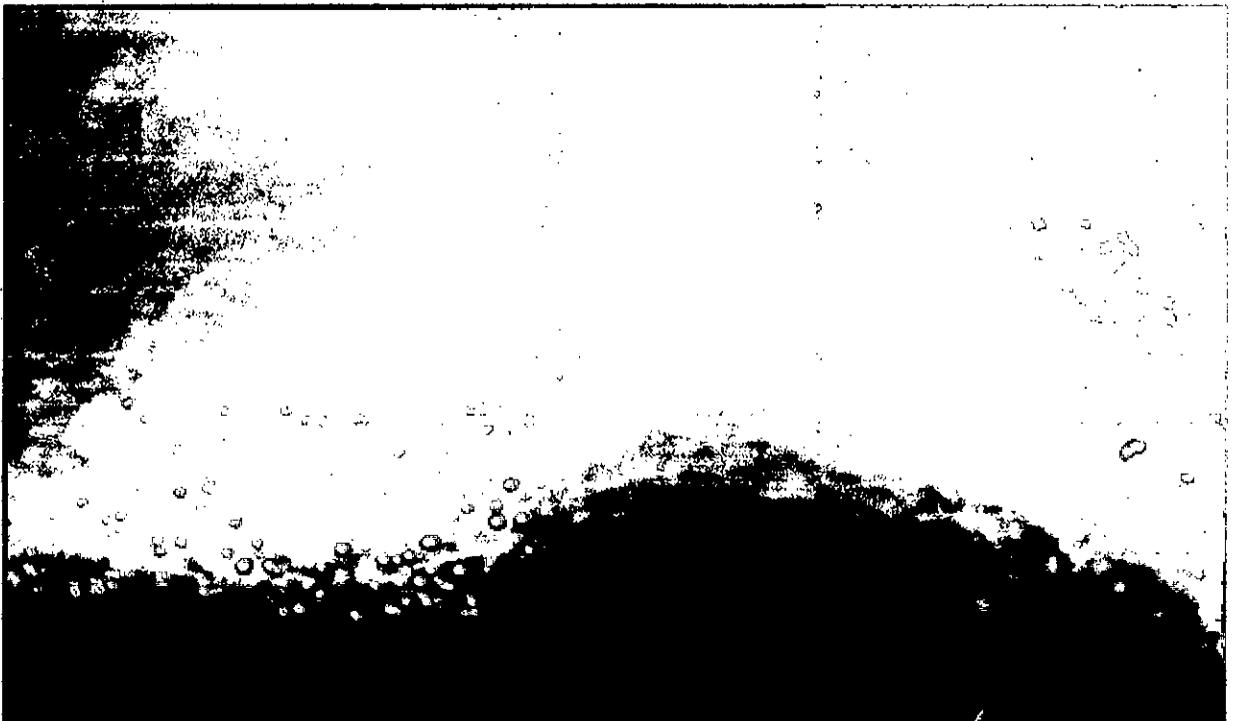
Elaboración propia

La formación de los cristales de carnalita se da en forma granulada, a diferencia de la halita que es un cuerpo solido cubico. Las siguientes imágenes muestran el detalle.



CARNALITA EN POZAS DE EVAPORACIÓN

FUENTE PROPIA



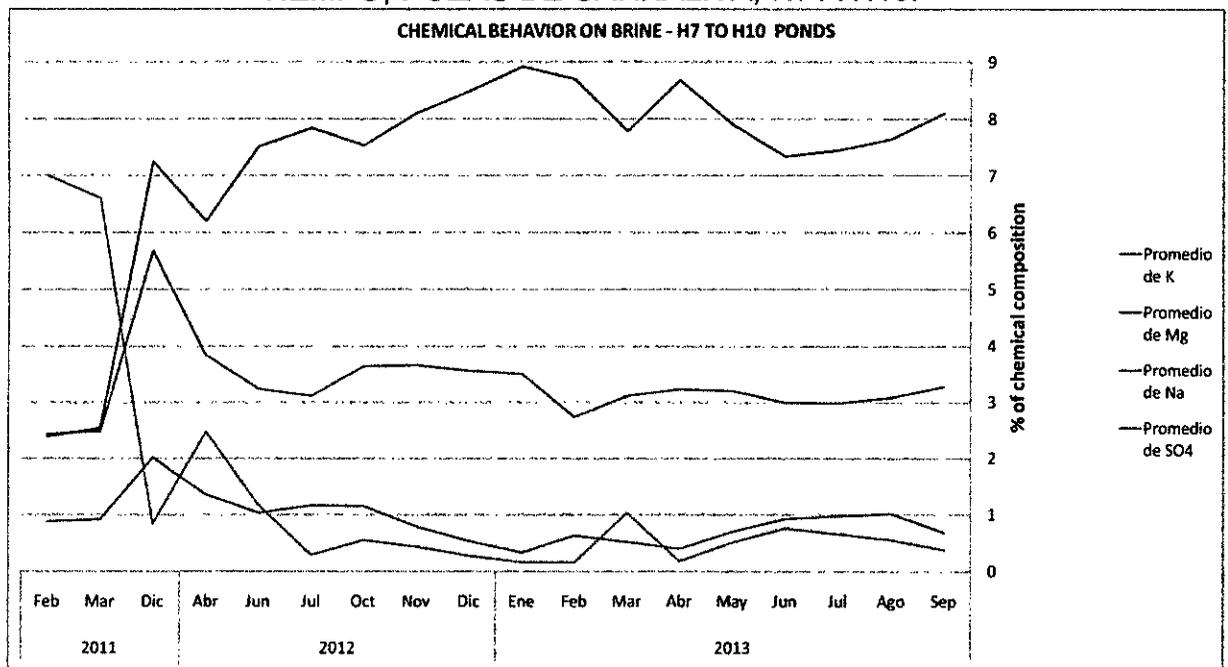
CARNALITA EN PROCESO DE COCECHA

FUENTE PROPIA

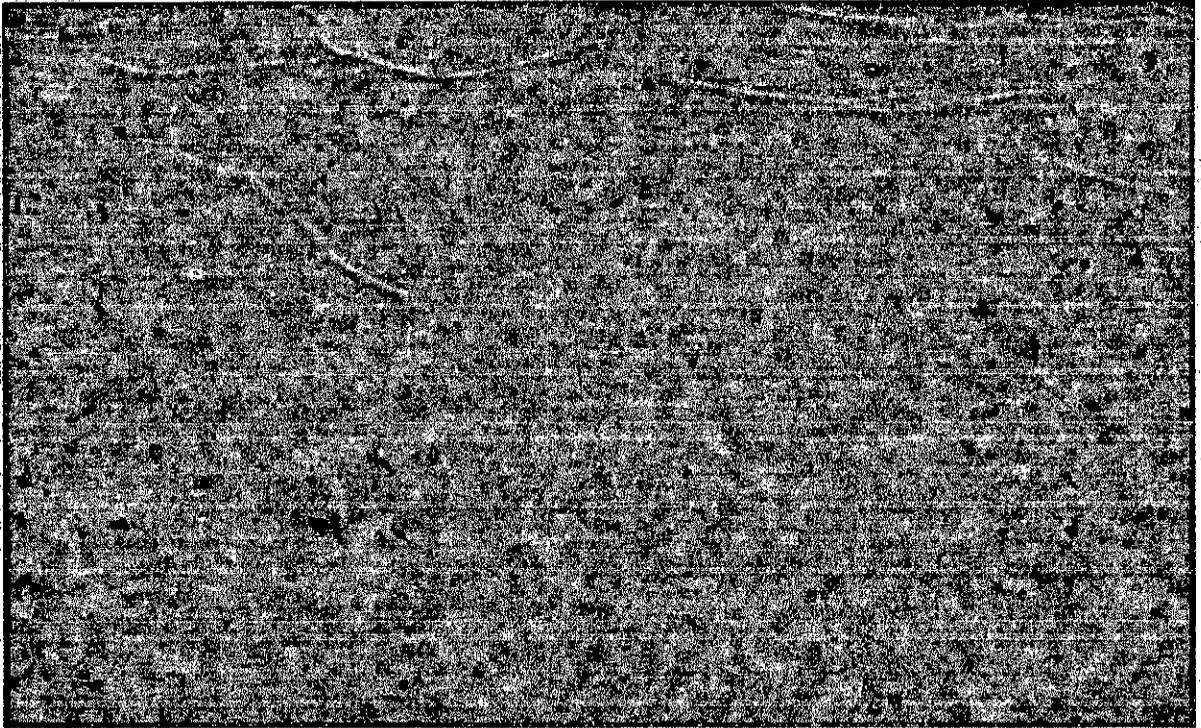
➤ **SALMUERA**

El comportamiento de la salmuera en la etapa de carnalita muestra que recién en junio del 2012 se tiene una composición favorable para la cristalización de carnalita, antes de este periodo la composición es similar a la que muestra la salmuera de la etapa de halita. Se puede observar que a partir de noviembre 2012 a abril 2013 la concentración de K disminuyo, esto es debido a que el K durante ese periodo se fue precipitando en forma de carnalita. Antes de este periodo la concentración se encontraba encima del 1%, si revisamos la composición de la salmuera en la etapa de halita podremos observar que el valor en esa etapa era de 5%, lo cual significa que durante el sistema y a través del tiempo el K se fue concentrando en la salmuera para luego con las condiciones medioambientales de verano en el desierto de Sechura, pasar a la sal.

GRÁFICO N° 45
COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA SALMUERA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS DE CARNALITA, H7 A H10.



Elaboración propia



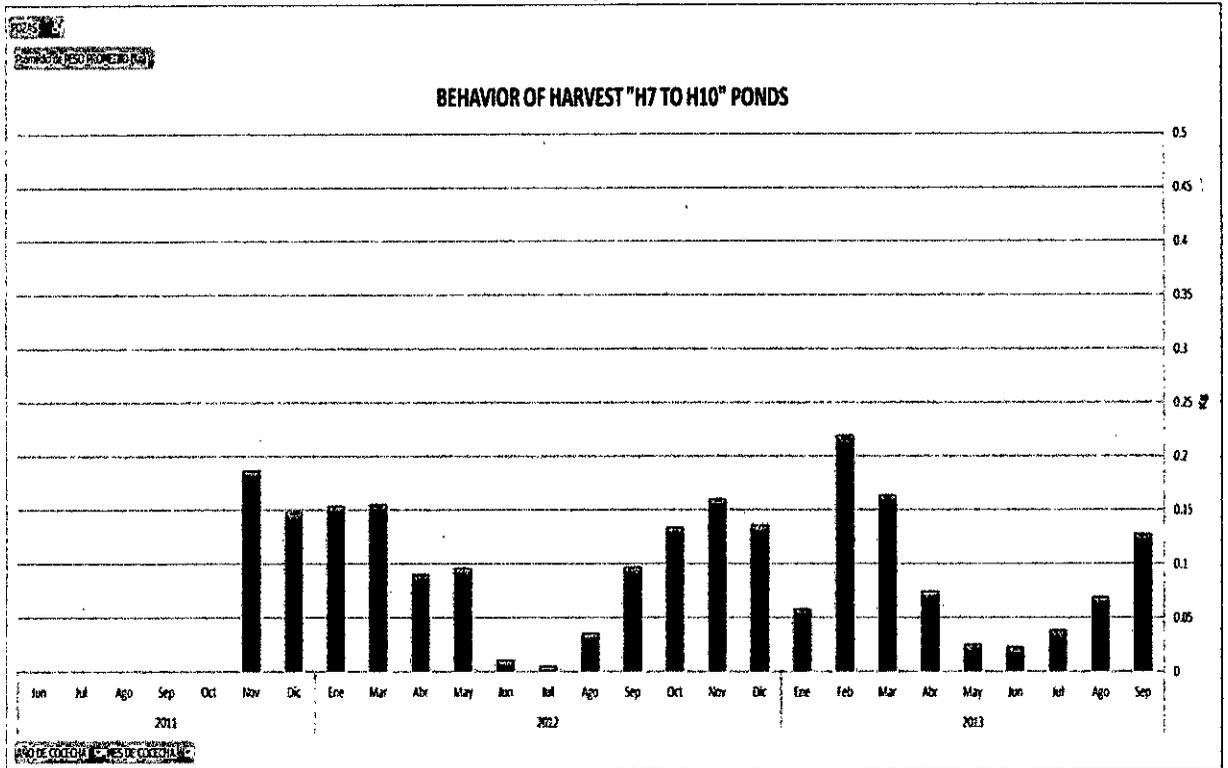
SALMUERA EN LA ETAPA DE CARNALITA

FUENTE PROPIA

c). Producción de carnalita

La producción de carnalita es cíclica y está influenciada por las condiciones de verano, la producción de carnalita se genera desde el mes de octubre hasta el mes de abril. Los demás meses también se va produciendo carnalita pero en cantidades no representativas, ni factibles de cosecha por el método habitual.

GRÁFICO N° 46
COMPORTAMIENTO DE COCECHA A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS DE CARNALITA, H7 A H10.

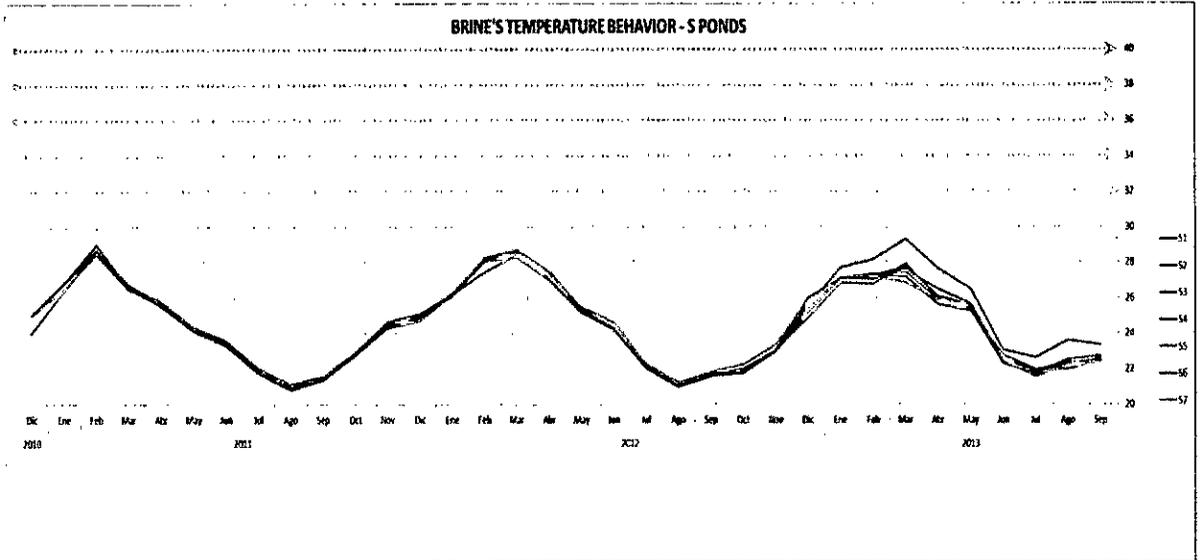


Elaboración propia

7.2.5 Evolución de temperaturas en la salmuera

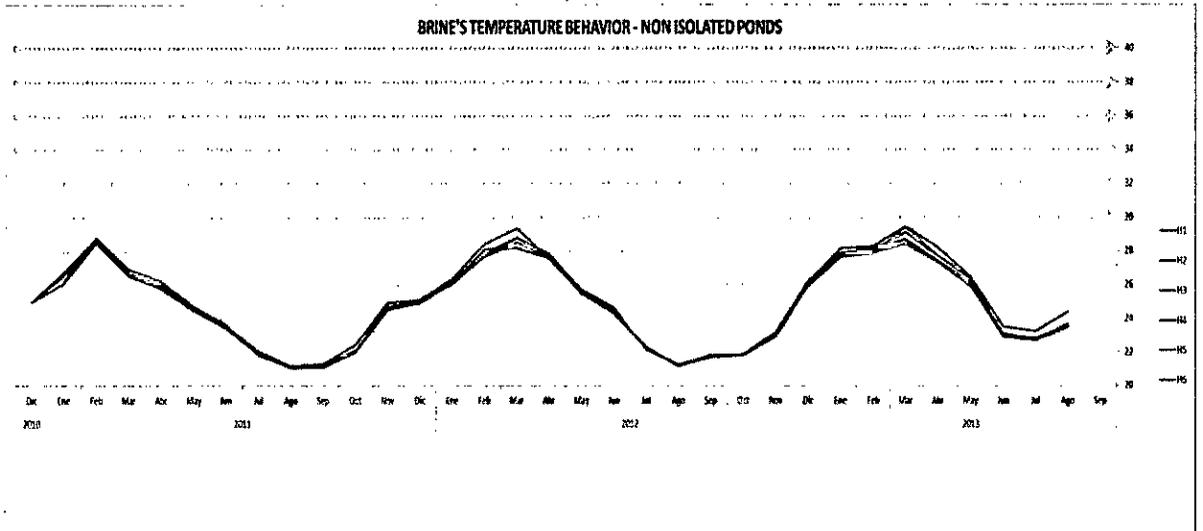
La temperatura en la salmuera en cada poza juega un papel transcendental. En las siguientes graficas se podrá apreciar como este parámetro tiene un comportamiento cíclico, así como un incremento entre una y otra etapa. En la etapa de carnalita (pozas H7 a H10) la temperatura ha venido teniendo un incremento año tras año hasta llegar a mostrar las condiciones adecuadas, durante el último verano, para la producción de carnalita.

GRÁFICO N° 47 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA SALMUERA, A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS S



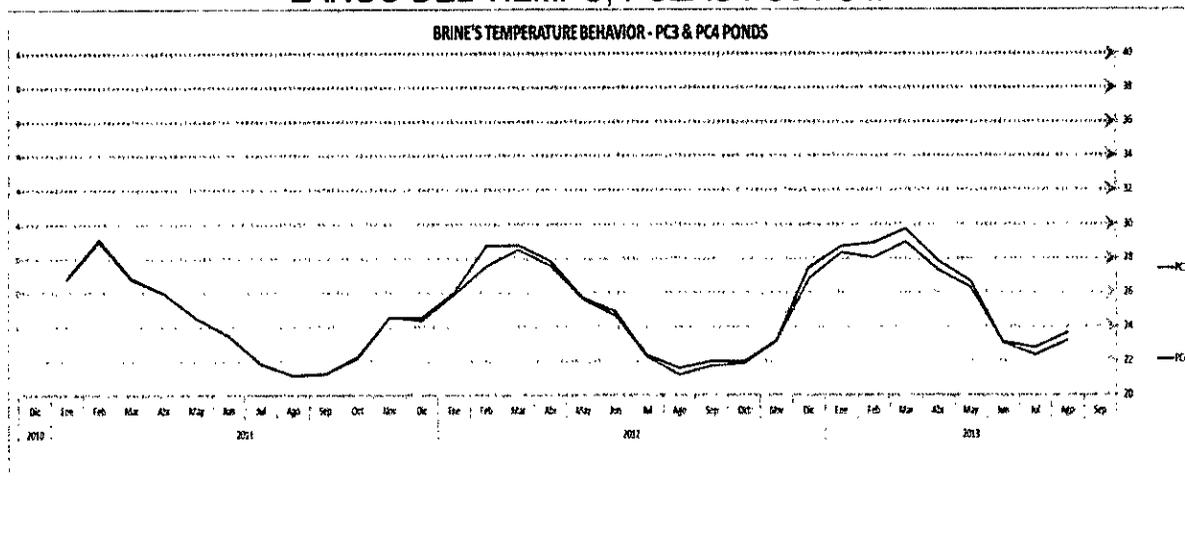
Elaboración propia

GRÁFICO N° 48 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA SALMUERA, A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS NO AISLADAS.



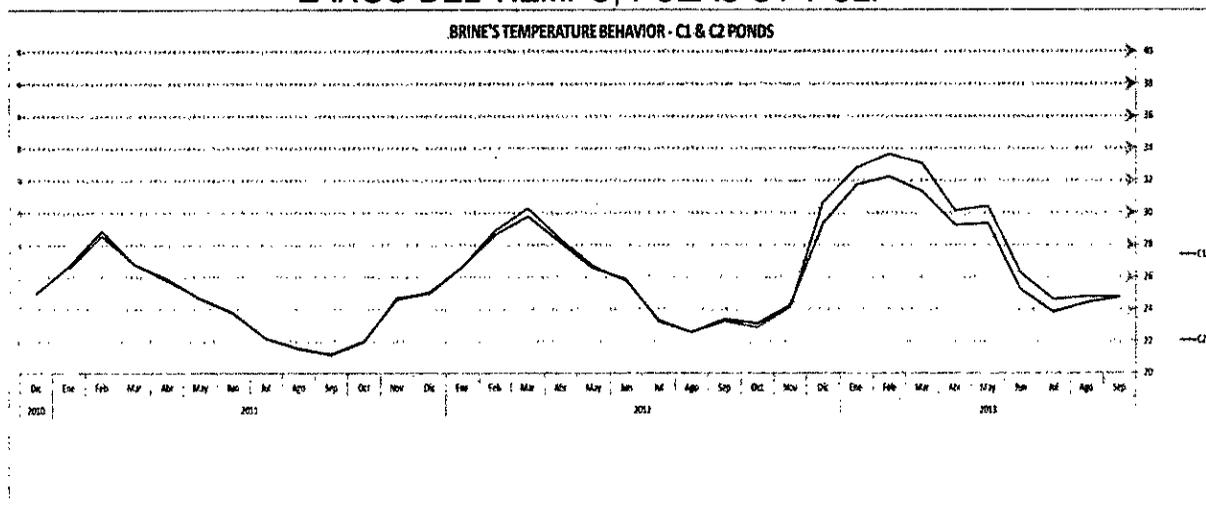
Elaboración propia

GRÁFICO N° 49 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA SALMUERA, A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS PC3 PC4.



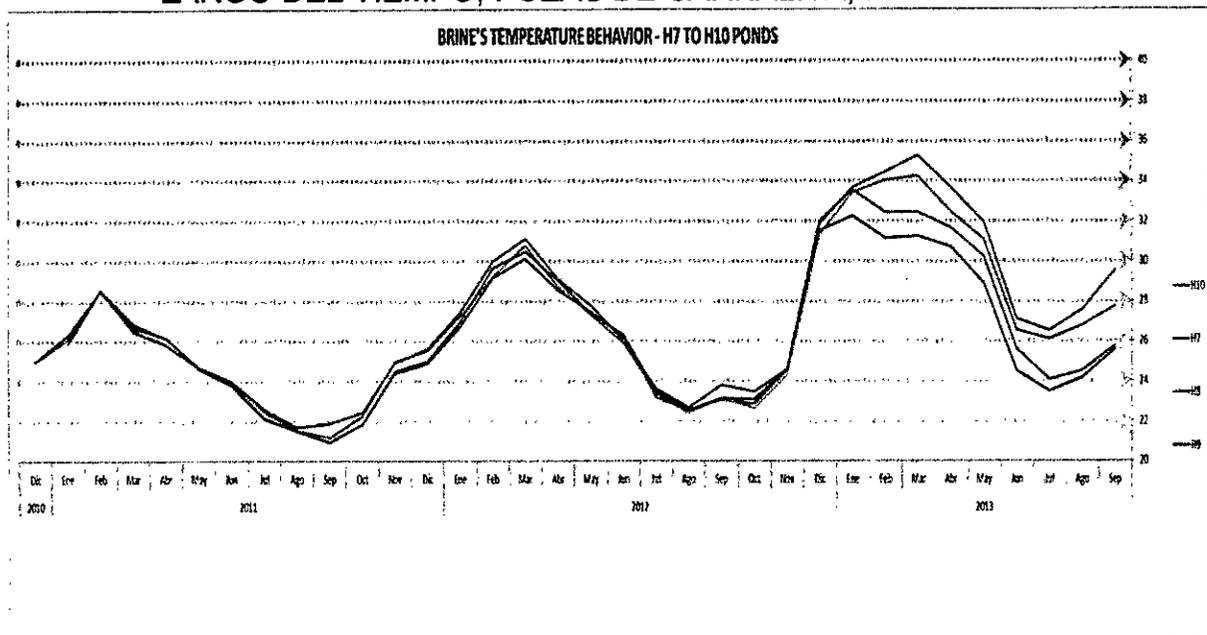
Elaboración propia

GRÁFICO N° 50 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA SALMUERA, A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS C1 Y C2.



Elaboración propia

GRÁFICO N° 51
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA SALMUERA, A LO LARGO DEL TIEMPO, POZAS DE CARNALITA, H7 A H10.



Elaboración propia

VIII. ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA EMPRESA

8.1 ACTIVIDADES COTIDIANAS

Durante el desarrollo del proyecto mi función ha sido de Ingeniero de Procesos, como tal eh venido gestionando todas las áreas de operación que el proyecto implica. A la vez hemos podido analizar el comportamiento de los procesos así como definir nuevos procesos.

8.1.1 Gestión de Operaciones en la Planta Experimental.

8.1.1.1 Logística y personal.

En la planta experimental tengo la responsabilidad de gestionar toda la logística necesaria para las operaciones y pruebas del día a día; Como son las pruebas de agua de mar, Well 28 I, Well 28 II, brine mixing technology, carnallite leaching, silvinit leaching, entre otros. En las instalaciones de la planta experimental también contamos con la estación meteorológica, información que es descargada, procesada y difundida.

El personal implícito en las operaciones en estas instalaciones está bajo mi dirección directa, por lo cual es mi responsabilidad toda gestión que derive de este personal.

8.1.1.2 Evaluación y análisis de pruebas desarrolladas.

Las pruebas que se desarrollan en la planta experimental y sus actividades son:

Prueba de agua de mar; la materia prima es como su propio nombre lo dice, "agua de mar" específicamente de la playa "Chulliyachi", Sechura. Los parámetros medidos diariamente son densidad, temperatura, altura de solución y alimentación al sistema; mientras que la cosecha de sales precipitadas se realiza en frecuencias determinadas según la temporada climatológica.

Prueba Well 28 I; la materia prima es salmuera de densidad 1.216. Los parámetros medidos diariamente son densidad, temperatura, altura de solución y alimentación al sistema; mientras que la cosecha de sales precipitadas se realiza en frecuencias determinadas según la temporada climatológica.

Prueba Well 28 II; la materia prima es salmuera de densidad 1.325. Los parámetros medidos diariamente son densidad, temperatura, altura de solución y alimentación al sistema; mientras que la cosecha de sales precipitadas se realiza en frecuencias determinadas según la temporada climatológica.

Brine Mixing Technology; esta prueba consiste en mezclar salmueras para acelerar la precipitación de carnalita. Los parámetros medidos son volumen, densidad, temperatura, tiempos y cantidades de producción. Las sales se envían al laboratorio y se recibe el análisis químico de las mismas.

Carnallite Leaching; esta prueba consiste en la lixiviación de la carnalita para obtener silvinita. Los parámetros medidos son volumen, densidad, temperatura, tiempos de agitación y reposo, tiempos y cantidades de producción. Las sales se envían al laboratorio y se recibe el análisis químico de las mismas.

Silvinita Leaching; esta prueba consiste en la lixiviación de la silvinita para obtener silvinita (KCl). Los parámetros medidos son volumen, densidad, temperatura, tiempos de reposo, tiempos y cantidades de producción. Las sales obtenidas luego de una semana se envían al laboratorio y se recibe el análisis químico de las mismas, luego de iniciada la precipitación se realiza cosechas diarias hasta que la sal precipitada empieza a mostrar concentraciones mayores de Na.

Análisis de malla; las sales obtenidas por brine mixing, carnallite leaching, silvinita leaching, etc, son sometidos a un análisis de malla para conocer su granulometría.

Efecto de profundidad en la salmuera; con esta prueba se monitorea el cambio en la densidad de la salmuera con respecto a la profundidad de la misma dentro de un tubo colocado de manera vertical.

Cada una de estas pruebas está bajo responsabilidad de mi jefe directo y la mía. Con la información obtenida de cada prueba a través del personal operativo, se realiza análisis de procesos y llegamos a conclusiones; estas conclusiones son base para los procesos que luego se realizan a nivel de planta piloto.

8.1.2 Gestión de Operaciones en la Planta Piloto.

8.1.2.1 Logística y personal.

En la planta piloto tengo la misma responsabilidad de gestionar toda la logística necesaria para las operaciones del día a día, usando indicadores de control para diversos artículos. A tres kilómetros de las instalaciones de la planta piloto contamos con una estación de bombeo, estación sobre la cual también tenemos todas las responsabilidades.

El personal implícito en las operaciones en estas instalaciones está bajo mi dirección directa, por lo cual es mi responsabilidad toda gestión que derive de este personal.

8.1.2.2 Evaluación y análisis de operaciones en planta

El proceso desarrollado en la planta piloto es controlado y evaluado diariamente por un equipo bajo mi cargo, los parámetros que se toman en cada poza o etapa son: densidad, temperatura, nivel estático de salmuera y cobertura de salmuera; mientras que la cosecha de las sales precipitadas en cada poza se realiza semanalmente, estas sales son enviadas al laboratorio y obtenemos reportes de la composición química de cada muestra enviada.

También monitoreamos el clima y los espejos de agua que se encuentran alrededor del área de procesos.

En la estación de bombeo se controlan parámetros como caudal, presión, densidad, y todos los disponibles en los tableros de control de cada equipo usado en esta área.

Toda la información obtenida tras la evaluación de cada parámetro, la administro en bases de datos diseñados por mí, con las cuales podemos analizar el comportamiento de cada parámetro evaluado, este análisis nos responde a la pregunta de ¿cuál será el efecto de una determinada acción en cada poza o en todo el proceso? Así como generar data para poder llevarla a la etapa de producción.

8.1.2.3 Diseño de procesos.

A través del tiempo, bajo las condiciones climatológicas y adversas, hemos tenido que ir rediseñando el proceso. Esta labor de rediseño lo hemos realizado el ingeniero consultor del proyecto, quien a la vez hacía de gerente técnico del proyecto (mi jefe directo) y yo. La definición de cada etapa, los cambios y solución de condiciones adversas, nos llevaron durante toda la etapa del proyecto a ir modificando hasta lo que es hoy el diseño presentado en este informe. Diseño que logro por primera vez en esta etapa del proyecto, producir el ansiado mineral carnalita.

Con la carnalita obtenida en la planta piloto, hemos iniciado las pruebas de lixiviación de carnalita y silvinita para obtener el diseño del proceso definitivo hasta obtener el KCl, usando tecnología de evaporación solar.

El análisis de datos del proceso en cada etapa y operación es parte esencial de mis labores en el proyecto, con ello apuntamos a seguir optimizando el proceso de forma continua.

8.1.2.4 Determinación y ejecución de operaciones en planta.

La determinación de que operación ejecutar la tomamos mi jefe y yo, luego de analizar cada etapa y definir cuál es el objetivo buscado. La ejecución se da con mi equipo del área de operaciones, para lo cual se les da las pautas y toda la logística necesaria. Operaciones como transferencia de salmuera o lodos, cosechas de carnalita con personal, adición de componentes, evaluación de producción, nivelación de pozas de NaCl con maquinaria pesada, apertura o anulación de pases entre pozas, preparación y despachos de cargas de carnalita, refacción de pozas, habilitación de calicatas en torno a la planta, seguimiento a poza específica por todo el día y área, operación de brine mixing en las pozas, evaluación de esponjamiento de la sal, etc. Con respecto a la estación de bombeo, se gestiona su operación, mantenimiento correctivo, preventivo y todo lo necesario para que brinde el servicio de abastecimiento de la materia prima para el proceso.

8.1.3 Gestión de Operaciones en el área de la concesión.

En cuanto al área total del proyecto tenemos la responsabilidad de mantener en buen estado los 16 pozos perforados tanto de producción como de observación. A su vez mantenemos un monitoreo mensual de sus parámetros de densidad, temperatura y nivel estático.

8.2 APORTES REALIZADOS EN BENEFICIO DE LA EMPRESA

El principal aporte es el haber logrado en equipo, "producir carnalita", teniendo en cuenta que algunos asesores de los inversionistas pusieron en tela de juicio la posibilidad de lograrlo.

Entregar el diseño de planta, con el cual se obtiene carnalita, teniendo bajo control determinados parámetros. Cabe mencionar que se deben seguir con pruebas como el aislamiento de toda el área de las pozas, ya que en la actualidad el volumen de salmuera que retorna al acuífero por filtraciones subterráneas es significativo.

Diseñar y administrar información del proceso a través de gráficos de control.

Capacitar a todo un equipo de trabajadores de la comunidad para poder cubrir posiciones durante la etapa de explotación.

Desarrollar pruebas de lixiviación de carnalita y silvinita con la cual se optimizara el modelo matemático para determinar la producción de KCl y % de recuperación de K.

IX. EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la etapa experimental o de laboratorio del estudio de la salmuera del desierto de Sechura, se pudo apreciar una relación de la concentración de minerales en la sal precipitada, con respecto a la densidad de la salmuera.

En la etapa experimental o de laboratorio del estudio de agua de mar de Sechura, se pudo apreciar una relación de la concentración de minerales en la sal precipitada, con respecto a las etapas definidas.

En la etapa experimental o de laboratorio del estudio de tecnología del brine mixing se han obtenido buenos resultados, ya que la carnalita producida es de buena calidad y cantidad. Debemos también tener en cuenta que esta operación se realizó durante meses de verano, en los que las condiciones del clima eran las adecuadas para la precipitación de carnalita.

En la etapa experimental o de laboratorio del estudio de lixiviación de carnalita, hasta el momento se han realizado pruebas de lixiviación dando buenos resultados en la obtención de silvinita usando agua.

En la etapa experimental o de laboratorio del estudio de lixiviación de silvinita, se han venido realizando pruebas que muestran una probabilidad de éxito. Para lograr el objetivo aún se tienen que evaluar sistemas, métodos y estandarizar parámetros, con el fin de obtener silvinita de calidad que requiere el mercado global.

De acuerdo al seguimiento de los valores de parámetros del clima como son temperatura, % de humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, lluvias, evaporación y nubosidad, se puede determinar cuáles son las diferencias de clima entre el verano e invierno, observando las condiciones de clima durante el verano que son las que favorecen el proceso.

Se puede analizar el comportamiento durante el día de los diversos parámetros evaluados, generando un panorama del día a día.

El bombeo continuo de salmuera luego de casi 3 años, muestra valores constantes en tanto a densidad como nivel estático.

La etapa inicial de halita muestra un análisis del comportamiento de parámetros físicos y químicos que llevan a definir los parámetros adecuados para la formación de la misma.

Durante la etapa de sales mixtas, se pudo observar la transición que se da entre la producción de halita y la de carnalita, en esta etapa se analizó los parámetros físicos y químicos de la salmuera y sal precipitada.

La etapa de carnalita ha demostrado la formación de la misma luego de transcurridos casi 2 años de operación, el proceso necesitó de gradientes de densidad entre posas, tiempos de residencia y condiciones medioambientales propias del desierto.

El objetivo del proyecto a nivel piloto fue comprobar la producción de carnalita usando tecnología de evaporación solar. Con este objetivo comprobado, la siguiente etapa comprenderá llevar la carnalita a "KCl", y optimizar la producción de carnalita en las pozas de evaporación piloto.

X. CONCLUSIONES

De la etapa experimental del estudio se concluye:

- a) La obtención de sales con alta concentración de "K" a partir de salmuera del desierto de Sechura es posible bajo las condiciones de sistema continuo y sometido a las condiciones climatológicas del ambiente de la planta como es el desierto. Resultados que forman parte del estudio de factibilidad ya presentado a las instancias gubernamentales para su aprobación.
- b) En base a las pruebas ya realizadas con el agua de mar de Sechura la obtención de " K_2SO_4 ", es aparentemente factible.
- c) La tecnología del brine mixing acelera y optimiza la obtención de carnalita.
- d) La lixiviación de carnalita es una operación eficiente, eficaz y efectiva, con la que se obtiene silvinita.
- e) La lixiviación de silvinita muestra una probabilidad de éxito, apoyando su desarrollo el hecho de ser una tecnología limpia o ecológica.

Se han determinado los parámetros climatológicos que son más favorables para el proceso de obtención de carnalita.

De la etapa a nivel piloto del estudio se demuestra que la tecnología de evaporación solar es totalmente factible para la producción de carnalita, materia prima fundamental en la producción de KCl (silvita) que a su vez es insumo para la producción de fertilizantes.

XI. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda para la etapa experimental del estudio del agua de mar de Sechura que se siga estudiando este proceso para tener mayor información y con ello mayor certeza de la posible obtención de " K_2SO_4 ".
- b) Se recomienda de la etapa experimental del estudio de la tecnología del brine mixing que se aplique a nivel de planta piloto, ya que está demostrado a nivel experimental que es un proceso que acelera la producción de carnalita de buena calidad.
- c) Se recomienda para la etapa experimental del estudio de lixiviación de carnalita que se realice las evaluaciones usando salmuera con la finalidad de reducir el uso de agua que implica el proyecto.
- d) Se recomienda para la etapa experimental del estudio de lixiviación de silvinita que se realicen más pruebas para estandarizar métodos y procedimientos con parámetros controlados que puedan lograr una producción de " KCl " de calidad apta para el mercado global.
- e) Continuar con el seguimiento a los parámetros del clima para dar mayor soporte a lo obtenido hasta el momento.
- f) El control del nivel estático o piezométrico del pozo de observación se debe sostener a través del tiempo, ya que este nos mostrara algún cambio en la capacidad de recuperación del acuífero. La evaluación de la densidad de la salmuera de bombeo debe mantenerse a través del tiempo, para determinar la calidad de la misma.
- g) La etapa de halita presenta una cristalización sin mayor dificultad, se recomienda hacer pruebas de brine mixing con el fin de catalizar la precipitación del " Na " y así reducir el área usada para la misma. El área

recuperada en este proceso se podría usar para mayor producción de carnalita y operaciones de lixiviación.

- h) Se recomienda generar una gradiente con más pozas sin incrementar el área total, a nivel experimental. En la etapa de halita a través del tiempo se puede observar que esto es factible. La finalidad es de reducir el tiempo de residencia en cada poza de esta etapa, logrando así un incremento del volumen de salmuera lista para la etapa de carnalita.
- i) En la última etapa del proceso, hasta el momento se ha producido carnalita por cristalización fraccionada, el trabajo realizado a nivel experimental ha demostrado la factibilidad de la cristalización usando brine mixing. Se recomienda aplicar esta operación a nivel piloto y evaluar la calidad y cantidad de carnalita obtenida con esta operación.

XII. REFERENCIALES

Data del proyecto de salmueras del desierto de Sechura, ejecutado por la empresa Américas Potash Perú S.A.; Septiembre 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Dead_Sea_Works; Agosto 2013.

<http://www.elpotosi.net/2011/0820/60.php>; Agosto 2013.

<http://www.monografias.com/trabajos94/salinera/salinera.shtml>; Julio 2013.

http://www.quimpac.com.pe/descripcion_sal.htm; Junio 2013.

Googleearth; Septiembre 2013.

Enciclopedia Encarta 2000. Microsoft Corporation, 1993-1999; Junio 2013.

http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_potasio; Agosto 2013

Grupo electrógeno - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht; Marzo 2013.

<http://blog.industrial.com/el-nuevo-hidrolimpiador-de-comet/>; Agosto 2013.

[http://www.Peru - GrowMax Agri Corp.htm](http://www.Peru-GrowMaxAgriCorp.htm); Enero 2014.

XIII. ANEXO

13.1 EQUIPOS USADOS EN LA ESTACION DE BOMBEO

Grupo electrógeno Cummins de 100 Kw.

Tablero variador de Velocidad Pumping Systems

Bomba sumergible American de 75 Kw.

Válvula Check

Flujo metro

Válvula compuerta

Manómetro

Válvulas de alivio

Muestreador de nivel

Línea de bombeo subterránea de PVC 12" por 3.5 Km.

13.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS USADOS EN LA PLANTA EXPERIMENTAL

Equipo tamizador Rotap

Secadora centrifuga

Probetas

Densímetro

Termómetro

Evaporímetro

Pluviómetro

Estación total meteorológica

Balanza electrónica

13.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS USADOS EN LA PLANTA PILOTO

Probetas

Densímetro

Termómetro

Balanza electrónica

Motobombas de 2", 3" y 4".

13.4 INFORMES DE ANALISIS QUIMICOS EMITIDOS POR EL LABORATORIO.

Code	Description	Date	Sp. Gr.	T(°C)	Composition Weight %													
					Ca	Mg	SO4	Cl	K	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
B-1328	PC1	11/03/2011	1.203	32	0.013	1.821	1.784	17.386	0.653	8.288	70.05	1.2456	0.044	0	2.1954	5.3949	0	21.07
B-1327	PC4	11/03/2011	1.205	30	0.011	1.981	1.854	17.063	0.604	7.841	70.65	1.1511	0.037	0	2.2901	5.9457	0	19.93
B-1326	H9	11/03/2011	1.215	30	0.009	2.546	2.481	16.631	0.921	6.607	70.80	1.7570	0.030	0	3.0826	7.5321	0	16.79
B-1325	H5	11/03/2011	1.205	31	0.017	1.745	1.706	16.769	0.635	8.001	71.13	1.2098	0.057	0	2.0868	5.1831	0	20.34
B-1324	S7	11/03/2011	1.200	31	0.023	1.678	1.785	16.543	0.579	8.046	71.35	1.1031	0.077	0	2.1674	4.8562	0	20.45

Analyst:

HM

DATE:

14/03/2011

Code	Description	Date	Sp. Gr.	T(°C)	Composition Weight %													
					Ca	Mg	SO4	Cl	K	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
B-1462	POZO AGUA DULCE "RAMON"	20/05/2011	1.000		0.002	0.001	0.010	0.050	0.001	0.034	99.90	0.0017	0.005	0	0.0027	0.0000	0.005	0.080
B-1461	PLANTA PILOTO APP- SALMUERA DE DESCARGA	20/05/2011	1.214	24	0.000	1.312	1.219	16.645	0.468	8.624	71.73	0.8925	0	0	1.5275	3.9290	0	21.92

Analyst:

CC

DATE:

23/05/2011

Code	Description	Date	Sp. Gr.	T(°C)	Composition Weight %													
					Ca	Mg	SO4	Cl	K	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
B-2537	P.P BRINE DE POZA: PC5	17/12/2012	1.226	28	0.000	2.300	1.924	16.771	0.747	7.008	71.25	1.4249	0	0	2.4111	7.1020	0	17.81
B-2536	P.P BRINE DE POZA: PC4	17/12/2012	1.246	28	0.000	3.805	3.030	16.786	1.138	4.471	70.77	2.1690	0	0	3.7974	11.898	0	11.36
B-2535	P.P BRINE DE POZA: PC3	17/12/2012	1.232	28	0.000	2.861	2.345	16.977	0.937	6.170	70.71	1.7868	0	0	2.9381	8.8826	0	15.68
B-2534	P.P BRINE DE POZA: PC2	17/12/2012	1.222	27	0.000	2.248	1.819	16.536	1.112	6.689	71.60	2.1205	0	0	2.2789	7.0023	0	17.00
B-2533	P.P BRINE DE POZA: PC1	17/12/2012	1.222	26.5	0.000	1.990	1.635	17.116	0.887	7.600	70.77	1.6917	0	0	2.0493	6.1709	0	19.32
B-2540	P.P BRINE DE POZA: PC5	24/12/2012	1.225	27	0.000	2.322	2.008	16.206	0.896	6.553	72.02	1.7079	0	0	2.5162	7.1039	0	16.66
B-2539	P.P BRINE DE POZA: PC2	24/12/2012	1.225	27	0.000	2.223	1.883	16.784	0.882	7.065	71.16	1.6824	0	0	2.3600	6.8388	0	17.96
B-2538	P.P BRINE DE POZA: PC1	24/12/2012	1.222	26.5	0.000	2.268	1.880	16.826	0.737	7.090	71.20	1.4057	0	0	2.3561	7.0191	0	18.02

Analyst:

DR

DATE:

12/02/2013

Code	Description	Date	Sp. Gr.	T(°C)	Composition Weight %													
					Ca	Mg	SO4	Cl	K	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
B-2926	P.P BRINE DE POZA: H10	20/05/2013	1.324	33	0.000	8.814	2.969	24.097	0.346	0.170	63.60	0.6597	0	0	3.7202	31.579	0	0.431
B-2925	P.P BRINE DE POZA: H9	20/05/2013	1.318	30	0.000	8.347	3.159	22.862	0.505	0.250	64.88	0.9625	0	0	3.9590	29.560	0	0.636
B-2924	P.P BRINE DE POZA: C1	20/05/2013	1.315	29	0.000	7.904	3.125	22.106	0.761	0.431	65.67	1.4518	0	0	3.9158	27.859	0	1.095
B-2923	P.P BRINE DE POZA: C2	20/05/2013	1.284	28	0.000	6.674	3.231	19.879	1.144	1.138	67.93	2.1817	0	0	4.0485	22.939	0	2.893
B-2922	P.P BRINE DE POZA: H7	20/05/2013	1.291	32	0.000	7.062	3.537	20.320	1.159	0.829	67.09	2.2102	0	0	4.4328	24.152	0	2.107
B-2921	P.P BRINE DE POZA: PC5	20/05/2013	1.224	26	0.000	2.086	1.740	16.798	0.666	7.392	71.32	1.2692	0	0	2.1803	6.4435	0	18.79
B-2920	P.P BRINE DE POZA: PC4	20/05/2013	1.238	27	0.000	3.142	2.556	17.181	1.033	5.816	70.27	1.9688	0	0	3.2029	9.7725	0	14.78
B-2919	P.P BRINE DE POZA: PC3	20/05/2013	1.229	27	0.000	2.275	1.919	16.730	0.740	7.031	71.30	1.4113	0	0	2.4048	7.0075	0	17.87

Analyst:

CC-DR

DATE:

29/05/2013

Code	Description	Date	Sp. Gr.	T(°C)	Composition Weight %													
					Ca	Mg	SO4	Cl	K	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
B-2989	BRINE DE POZA: S7	07/22/2013	1.220	22	0.000	1.794	1.616	16.853	0.580	7.972	71.19	1.1063	0	0	2.0252	5.4223	0	20.26
B-2988	BRINE DE POZA: S6	07/22/2013	1.221	22	0.000	1.832	1.606	16.839	0.595	7.877	71.25	1.1352	0	0	2.0130	5.5822	0	20.02
B-2987	BRINE DE POZA: S5	07/22/2013	1.218	22.5	0.000	1.617	1.419	16.881	0.538	8.255	71.29	1.0253	0	0	1.7778	4.9259	0	20.98
B-2986	BRINE DE POZA: S4	07/22/2013	1.218	22.5	0.000	1.617	1.402	16.881	0.527	8.253	71.32	1.0040	0	0	1.7567	4.9426	0	20.98
B-2985	BRINE DE POZA: S3	07/22/2013	1.218	22	0.000	1.597	1.389	16.881	0.530	8.283	71.32	1.0099	0	0	1.7406	4.8772	0	21.05
B-2984	BRINE DE POZA: S2	07/22/2013	1.218	22.5	0.000	1.517	1.354	16.881	0.499	8.435	71.31	0.9510	0	0	1.6961	4.5996	0	21.44
B-2983	BRINE DE POZA: S1	07/22/2013	1.218	22	0.000	1.497	1.330	16.881	0.502	8.460	71.33	0.9579	0	0	1.6669	4.5446	0	21.50
B-2982	BRINE DE POZA: PC5	07/22/2013	1.220	22	0.000	1.933	1.663	16.853	0.624	7.704	71.22	1.1898	0	0	2.0835	5.9225	0	19.58

Analyst:

CC

DATE:

08/08/2013

Code	Description	Date	SpGr	T(eC)	Ca	Mg	SO4	Cl	K	Insol	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
S-1955	P.P SAL DE POZA S7	12-Abr-12			0.000	0.420	0.787	59.944	0.154	0.177	38.380	0.139	0.2927	0	0	0.9859	0.8649	0	97.57
S-1954	P.P SAL DE POZA S6	12-Abr-12			0.000	0.458	0.777	59.890	0.127	0.272	38.285	0.192	0.2418	0	0	0.9737	1.0215	0	97.33
S-1953	P.P SAL DE POZA S5	12-Abr-12			0.000	0.325	0.526	60.127	0.128	0.150	38.569	0.175	0.2446	0	0	0.6593	0.7512	0	98.05
S-1952	P.P SAL DE POZA S4	12-Abr-12			0.000	0.304	0.405	60.271	0.122	0.235	38.647	0.016	0.2323	0	0	0.5070	0.7901	0	98.25
S-1951	P.P SAL DE POZA S3	12-Abr-12			0.000	0.339	0.504	59.838	0.100	0.408	38.360	0.451	0.1909	0	0	0.6312	0.8296	0	97.52
S-1950	P.P SAL DE POZA S2	12-Abr-12			0.000	0.270	0.433	59.962	0.112	0.298	38.530	0.394	0.2135	0	0	0.5425	0.6285	0	97.95
S-1949	P.P SAL DE POZA S1	12-Abr-12			0.000	0.215	0.304	60.049	0.122	0.222	38.623	0.463	0.2328	0	0	0.3815	0.5407	0	98.19

Analyst: CC

RptDate: 26/04/2012

Code	Description	Date	SpGr	T(°C)	Ca	Mg	SO4	Cl	K	Insol	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
S-2026	P.P SALT DE POZA: H6	12-Abr-12	N/E	N/E	0.195	1.162	0.919	60.183	0.248	0.003	36.918	0.372	0.4727	0.6621	0	0.5655	4.1051	0	93.85
S-2025	P.P SALT DE POZA: H5	12-Abr-12	N/E	N/E	0.258	0.881	0.977	60.172	0.211	0.002	37.422	0.076	0.4025	0.8757	0	0.4498	3.0941	0	95.13
S-2024	P.P SALT DE POZA: H4	12-Abr-12	N/E	N/E	0.244	0.689	0.868	59.908	0.182	0.002	37.595	0.511	0.3474	0.8286	0	0.3551	2.4165	0	95.57
S-2023	P.P SALT DE POZA: H3	12-Abr-12	N/E	N/E	0.195	0.876	0.910	60.050	0.204	0.003	37.396	0.366	0.3887	0.6606	0	0.5562	2.9899	0	95.07
S-2022	P.P SALT DE POZA: H2	12-Abr-12	N/E	N/E	0.296	0.778	1.041	60.060	0.193	0.008	37.542	0.081	0.3687	1.0027	0	0.4175	2.7180	0	95.44
S-2021	P.P SALT DE POZA: H1	12-Abr-12	N/E	N/E	0.187	1.019	0.913	60.152	0.238	0.003	37.180	0.308	0.4534	0.6360	0	0.5810	3.5327	0	94.52

Analyst: CC

RptDate: 29/05/2012

Code	Description	Pond	Date	SpGr	T(°C)	Ca	Mg	SO4	Cl	K	Insol	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
S-3310	P.P SAL DE POZA: C2		08-Jul-13	1.258	25	0.030	0.962	0.687	60.333	0.289	0.069	37.445	0.185	0.5510	0.1007	0	0.7722	3.1579	0	95.19
S-3309	P.P SAL DE POZA: C1		08-Jul-13	1.282	26	0.000	0.888	0.509	60.232	0.437	0.067	37.382	0.486	0.8331	0	0	0.6379	2.9723	0	95.03
S-3308	P.P SAL DE POZA: H9		08-Jul-13	1.291	25	0.147	1.105	1.165	59.919	0.424	0.009	36.925	0.306	0.8083	0.4972	0	1.0203	3.5189	0	93.87
S-3307	P.P SAL DE POZA: H8		08-Jul-13	1.305	27	0.025	2.537	1.007	59.994	0.602	0.232	34.219	1.384	1.1471	0.0850	0	1.1867	8.9990	0	86.99
S-3306	P.P SAL DE POZA: H7		08-Jul-13	1.279	24	0.154	0.933	0.941	59.929	0.246	0.045	37.246	0.507	0.4683	0.5233	0	0.7158	3.0862	0	94.68
S-3305	P.P SAL DE POZA: PC4		08-Jul-13	1.229	24	0.105	0.230	0.456	60.135	0.124	0.010	38.604	0.336	0.2364	0.3572	0	0.2556	0.6982	0	98.14
S-3304	P.P SAL DE POZA: PC3		08-Jul-13	1.224	24	0.114	0.275	0.542	60.043	0.136	0.005	38.482	0.402	0.2592	0.3876	0	0.3361	0.8124	0	97.83

Analyst: CC

RptDate: 07/20/2013

Code	Description	Pond	Date	SpGr	T(C)	Ca	Mg	SO4	Cl	K	Insol	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
S-3303	P.P SAL DE POZA: PC5		24-Jun-13	1.223	23	0.078	0.122	0.329	60.162	0.061	0.089	38.833	0.326	0.1162	0.2662	0	0.1767	0.3365	0	98.72
S-3302	P.P SAL DE POZA: PC4		24-Jun-13	1.232	23.5	0.305	0.245	0.934	59.634	0.111	0.057	38.262	0.451	0.2119	1.0348	0	0.2550	0.7583	0	97.27
S-3301	P.P SAL DE POZA: PC3		24-Jun-13	1.226	23.5	0.166	0.195	0.566	59.896	0.090	0.057	38.520	0.510	0.1713	0.5632	0	0.2105	0.5955	0	97.93
S-3300	P.P SAL DE POZA: PC2		24-Jun-13	1.223	23	0.059	0.089	0.207	60.066	0.103	0.050	38.771	0.655	0.1957	0.2017	0	0.0806	0.2853	0	98.56
S-3299	P.P SAL DE POZA: PC1		24-Jun-13	1.22	23	0.016	0.114	0.118	60.145	0.148	0.040	38.755	0.665	0.2814	0.0529	0	0.1005	0.3661	0	98.52
S-3291	P.P SAL DE POZA: C2		24-Jun-13	1.288	24.5	0.050	0.891	0.456	60.400	0.227	0.031	37.527	0.418	0.4330	0.1680	0	0.4224	3.1559	0	95.40
S-3290	P.P SAL DE POZA: H9		24-Jun-13	1.296	24.5	0.040	0.992	0.605	59.932	0.276	0.025	37.087	1.042	0.5259	0.1341	0	0.6399	3.3771	0	94.28
S-3289	P.P SAL DE POZA: H8		24-Jun-13	1.313	25.5	0.000	2.659	0.693	56.299	1.116	0.193	31.167	7.873	2.1288	0	0	0.8689	9.7274	0	79.23

Analyst: CC

RptDate: 07/12/201

Code	Description	Pond	Date	SpGr	T(eC)	Ca	Mg	SO4	Cl	K	Insol	Na	H2O	KCL	CaSO4	CaCl2	MgSO4	MgCl2	Na2SO4	NaCl
S-3446	SAL DE POZA: PC4		28-Oct-13	1.237	24	0.000	0.361	0.327	60.307	0.145	0.063	38.513	0.285	0.2756	0	0	0.4100	1.0882	0	97.91
S-3445	SAL DE POZA: PC3		28-Oct-13	1.225	24	0.028	0.304	0.366	60.238	0.136	0.008	38.568	0.353	0.2598	0.0949	0	0.3742	0.8936	0	98.05
S-3452	SAL DE POZA: H10		04-Nov-13	1.329	27	0.000	8.514	0.364	41.322	12.073	0.186	3.767	33.776	23.020	0	0	0.4556	32.986	0	9.576
S-3451	SAL DE POZA: H9		04-Nov-13	1.328	27	0.000	6.848	0.653	46.889	10.024	0.095	11.874	23.617	19.113	0	0	0.8180	26.176	0	30.18
S-3450	SAL DE POZA: H8		04-Nov-13	1.328	26	0.000	8.810	0.303	42.010	12.674	0.071	3.269	32.862	24.167	0	0	0.3798	34.207	0	8.311
S-3449	SAL DE POZA: H7		04-Nov-13	1.315	25	0.000	8.088	0.423	44.355	11.367	0.182	6.984	28.601	21.674	0	0	0.5305	31.258	0	17.75
S-3448	SAL DE POZA: PC4		04-Nov-13	1.237	22	0.000	0.283	0.269	60.401	0.127	0.021	38.704	0.196	0.2422	0	0	0.3366	0.8419	0	98.39
S-3447	SAL DE POZA: PC3		04-Nov-13	1.225	22	0.043	0.237	0.353	60.094	0.095	0.048	38.602	0.528	0.1819	0.1454	0	0.3139	0.6792	0	98.13

Analyst: CC

RptDate: 07/03/2014