

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "TOMÁS FRÍAS"

FACULTAD DE CIENCIAS PURAS

CARRERA DE QUIMICA



"OBTENCIÓN DEL CLORURO DE POTASIO
POR EL MÉTODO DE FLOTACION A PARTIR DE LA SALMUERA DEL
SALAR DE UYUNI-POTOSÍ"

(Trabajo de investigación)

AUTOR: Univ. Alicia Norma Cruz Gutiérrez.

TUTOR: Lic. Elena García.

POTOSÍ – BOLIVIA

2018

Resumen.

El salar de Uyuni perteneciente al departamento de Potosí, cuenta con grandes riquezas de recursos no renovables, donde contiene elevadas cantidades de iones litio y potasio al cual se puede dar valor agregado para tener beneficio socioeconómico para la región.

El presente trabajo de investigación es uno de los métodos para la obtención de cloruro de potasio por el proceso de flotación, se aplicó el diseño de plackett-Bruman en donde se identificó claramente los factores de mayor influencia, se tomó en cuenta las siguientes variables: % sólidos. Granulometría, velocidad de agitación, dosificación del reactivo y tiempo de acondicionamiento.

En esta investigación se tuvieron resultados óptimos, donde se obtuvo cloruro de potasio con una pureza de 97.02% y un rendimiento 60.97%.

Índice general

Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Justificación.....	4
Problema de investigación.....	5
Objeto de investigación.....	5
Campo de acción.....	5
Alcance de la investigación.....	5
Objetivos.....	6
Variables.....	6
Hipótesis.....	6
Diseño metodológico.....	7
Métodos de investigación empírica.....	7
CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	
1.1.- El salar de Uyuni.....	9
1.1.1.- Formación.....	10
1.1.2.-Formación de los depósitos salinos de la cordillera.....	11
1.2.- Salmuera.....	11
1.2.1.-La salmuera del salar de Uyuni.....	13

1.2.2.-Composición.....	13
1.3.-Sales de silvinita.....	14
1.3.1.-Separación por solubilidad diferencial.....	15
1.3.2.-Separación por flotación.....	15
1.4.- Potasio.....	15
1.5.- Cloruro de potasio.....	16
1.5.1.- Especificaciones técnicas del cloruro de potasio industrial.....	17
1.5.2.- Propiedades fisicoquímicas y aplicaciones.....	17
1.5.3.- Reservas de cloruro de potasio en el mundo.....	18
1.5.4.-Precios de los compuestos de potasio.....	19
1.5.5.- Principales productores de cloruro de potasio.....	21
1.5.6.- Métodos alternativos de obtención de cloruro de potasio.....	21
1.5.7.- Desarrollo del proceso.....	23
1.6.- Flotación.....	24
1.6.1.- Reactivos de flotación.....	25
1.6.2.- Flotación de sales solubles.....	28
1.6.3.- Características principales de la flotación.....	29
1.6.4.- Variables de proceso de flotación.....	29
1.7.- Solubilidad	31

1.8.- Evaporización.....	32
--------------------------	----

1.9.- Cristalización.....	32
---------------------------	----

CAPITULO II PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA

2.1.- Introduccion.....	33
-------------------------	----

2.2.- Ubicación geográfica del salar de Uyuni.....	34
--	----

2.3.- Proceso experimental de obtención de cloruro de potasio.....	35
--	----

2.3.1.- toma de muestra.....	36
------------------------------	----

2.4.- Análisis físico químico de la salmuera inicial.....	36
---	----

2.5.- proceso de flotación para la obtención de cloruro de potasio.....	37
---	----

2.5.1.- etapa I (Cristalización de la silvinita).....	37
---	----

2.5.2.- Etapa II (pre tratamiento de la silvinita).....	37
---	----

2.5.3.- Etapa III (Flotación de la silvinita).....	39
--	----

2.5.4.- Etapa IV (análisis químico y fisicoquímico del producto obtenido).....	41
--	----

CAPITULO III PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

3.1.- Introducción.....	42
-------------------------	----

3.2.- toma de muestra.....	42
----------------------------	----

3.3.- Presentación e interpretación de los resultados del proceso de flotación del cloruro de potasio.....	42
--	----

3.4.-presentación de la variable respuesta en función a los porcentajes de pureza de cloruro de cloruro de potasio.....	45
---	----

3.5.- Análisis de resultados del proceso de flotación del cloruro de potasio.....46

Conclusiones.

Recomendaciones.

Bibliografía.

Anexos.

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.1 reservas de cloruro de potasio en el mundo.....	19
Tabla 2.1.- Concentración de cationes y aniones en la salmuera original.....	37
Tabla 2.2.- Concentración de iones y cationes en los cristales silvinita.....	38
Tabla 2.3.- Variables y niveles.....	39
Tabla 2.4.- Matriz de signos de plackett – Burman para 8 pruebas y 7 variables..	40
Tabla 2.5.- Valores de las variables.....	41
Tabla 3.1.- Resultados de análisis químicos de iones presentes en la fase solida en la etapa de flotación (prueba 3).....	43
Tabla 3.2.- Resultado de análisis químico de concentración promedio de iones potasio presentes en la fase solida	43
Tabla 3.3.- Resultados del porcentaje de pureza y rendimiento en cada una de las siguientes pruebas.....	44
Tabla 3.4.- Variable respuesta en función a los porcentajes de pureza.....	45
Tabla 3.5.- Concentración de iones y cationes en los cristales silvinita.....	46
Tabla 3.6.- Resultado de la condiciones del proceso de flotación del cloruro de potasio según el diseño plackett- burman	47

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1.-foto satelital de salar de uyuni.....	10
Grafico 2.- formación de los salares.....	11
Grafica 3: salmuera.....	12
Grafico 4.-Sales silvinita.....	14
Grafico 5.- cloruro de potasio.....	16
Grafico 6.- Concentración de iones presentes en la sal de silvinita.....	38
Grafica7.- relación de porcentaje de pureza vs porcentaje de rendimiento.....	44
Grafica8.-comportamiento de porcentaje de pureza de KCl.....	45
Grafica9.-comportamiento derendimiento de KCl.....	46

ANEXOS

ANEXOS 1

TABLAS

Tablas de resultados de análisis químico de iones en los cristales obtenidos

Prueba "1"

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
----	--------	---------------------------	----------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	---	---

1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.04	0.07	13.56	798.12	512.36	0.08	0.01

Prueba "1" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.04	0.07	13.57	798.14	512.36	0.08	0.01

Prueba "2"

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.09	2.13	20.45	956.82	463.14	0.22	0.05

Prueba "2" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.12	2.13	20.53	968.24	456.03	0.02	0.04

Prueba "3"

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.03	0.09	9.41	975.42	466.03	0.00	0.02

Prueba "3" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.02	0.11	9.41	975.42	466.03	0.06	0.01

Prueba "4"

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.12	0.15	21.02	745.42	456.07	0.04	0.02

Prueba "4" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.12	0.15	21.02	745.42	456.07	0.04	0.02

Prueba "5"

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.05	0.11	12.36	875.35	487.58	0.00	0.02

Prueba "5" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.04	0.11	12.35	875.35	487.58	0.00	0.01

Prueba "6 "

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.03	0.08	10.97	952.42	478.07	0.02	0.04

Prueba "6 " (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.03	0.08	10.97	952.87	469.12	0.01	0.04

Prueba "7 "

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.03	0.09	9.41	975.42	466.03	0.00	0.02

Prueba "7" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.03	0.09	9.41	975.42	466.03	0.00	0.02

Prueba "8"

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.08	0.45	10.87	979.25	472.85	0.04	0.01

Prueba "8" (Replica)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.09	0.46	10.87	979.25	472.88	0.04	0.02

ANEXOS 2

FOTOS

✓ CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Determinación de cloruros



Determinación de magnesio



Determinación de boratos



Determinación de sulfatos



EVAPORACION PARA LA FORMACION DE SALES DE SILVINITA

Evaporización

Silvinita



Pesaje de obtención de silvinita



Reactivo a usar en la flotación



) **PROCESO DE FLOTACION:**



Producto filtrado al vacío



) OBTENCION DE CLORURO DE POTACIO:

Cloruro de potasio después del secado



Elaboración de las pruebas del diseño



Elaboración de las réplicas del diseño



Producto final de cloruro de potasio



Capítulo I

Fundamentación teórica

Capitulo II

procedimiento experimental y
metodologia

Capitulo III

Presentation e interpretacion de
resultados.

Introducción.

La flotación es una técnica de procesamiento cada vez se va aplicando más en todo tratamiento para cubrir así nuevas áreas y no solo basarse a una sola.

La flotación se patentó originalmente en el año 1906 empezando así con los complejos que hoy en día se va desarrollando en minerales oxidados, minerales no metálicos y en sales solubles.

La producción de los minerales no metálicos y de las sales solubles comprende una fracción no muy extensa. Ya que más se iban basando la minería metálica, pero conforme van pasando el tiempo el estudio de las sales por el método de flotación se va convirtiendo en algo importante esta también se denomina minerales industriales ya que se va empleando de manera importante en la industria

Durante estos últimos años se fue aprovechando considerablemente los recursos evaporíticos que se encuentran en el salar de Uyuni, donde se puede ir dando valor a varios componentes que tiene este salar, en el caso de K este elemento existe en una buena cantidad la cual pueden producirse varias toneladas de KCl el cual sería de buen uso para la agricultura de Bolivia.

Los productos de interés para la industrialización de potasio de la salmuera del salar de Uyuni son el cloruro de potasio y sulfato de potasio; el cual solo el cloruro de potasio corresponde a los procesos principales debido a que el flujo de todas las operaciones no obstruye a ninguno de los demás para seguir a otros procesos. En cambio no se puede decir, lo mismo de sulfato de potasio ya que la salmuera debe ser tratada alternativamente por otro método continuando como la obtención de carbonato de litio.

Uno de los principales compuestos del potasio es el cloruro de potasio, seguido así por el sulfato de potasio, hidróxido de potasio, carbonato de potasio, etc.

Antecedente:

Conforme va pasando el tiempo el cloruro de potasio ha sido obtenido por diversas formas, en su mayoría la obtención de este producto fue empírico, hace muy poco se fue comprobando científicamente, que durante la colonia el cloruro de potasio se obtenía a partir de las cenizas de los árboles en su mayoría de algas marinas donde por lixiviación obtenían el producto este también para entonces era usada en la industria cerámica, jabón, tintes, etc.

Esto se fue usando por siglos Estados Unidos fue uno de los principales productores en los siglos XVIII –XIX aunque después de la primera guerra mundial disminuyó la producción.

En el año 1839-1943 Alemania, realizaba unos estudios de la sal común, al realizar esto descubrieron grandes salares, donde pudieron investigar obtener otros elementos. Al mismo tiempo en Polonia se descubrió yacimientos de potasa.

Se llegó a tener yacimientos de potasa después de tantos estudios en estos países, uno de los principales abastecedores es Alemania, en la actualidad ya que su obtención y recuperación es muy buena.

En el año 1973 el departamento de geociencias de la UMSA planteaba a la office de la Recherche Scientifique Technique Outre Mer, ORSTOM de Francia estudiar cuencas evaporíticas del sud este potosino, y en el año 1974 se realizan los primeros trabajos en el altiplano, el año 1975 se implementa una infraestructura para realizar trabajos de laboratorio en la UMSA, el año 1976 ingresa en la fase de ejecución de sus programas de investigación llegando así a culminarse la primera fase en el año 1981.

Así fueron continuando los estudios que en 1985 por gestiones de la UMSA-ORSTOM, adquieren una perforadora, para sacar muestras de mayor profundidad para proseguir con los estudios que se realizaban los cuales dan resultados en el 1987 que por primera vez se da a conocer datos del Salar de Uyuni.

A partir de la iniciativa del complejo industrial de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni –CIRESU creada por la ley 719 del año 1986 se hace una invitación directamente a una transnacional donde esta es interesada en explotar principalmente el litio. En 1984 la asociación de docentes de la Facultad de Ciencias Puras Investigación la cual es "el simposio del litio".

Los recursos evaporíticos del salar de Uyuni que se tiene en Bolivia ha sido analizado extensamente por propios y extraños, durante los últimos 20 años, pero la mayoría de estas investigaciones enfocado más en el tema del litio dejando así de lado los otros componentes que tiene la salmuera tal es el caso del potasio.

En unos estudios se ha calculado que las reservas de K en el salar de Uyuni ascienden a 110 millones de toneladas el cual se dice que 57 millones de toneladas son explotables.

La explotación de potasio del salar de Uyuni sin duda es algo muy importante para el desarrollo agroindustrial de Bolivia debido a que se ahorraría mucho y así garantizando la seguridad alimentaria ya que generalmente se importa desde Canadá.

Así se realizaron investigaciones en la Universidad Autónoma Tomás Frías los cuales son:

Asimismo en 1996 Aramayo, W. y Herbas C. por la aplicación de un método propuesto la recuperación de litio en forma de LiOH a partir de la salmuera del salar de Uyuni.

Del mismo modo en 2011, Muñoz, I. propone un proceso de eliminación de iones magnesios presentes en la salmuera concentrada por el método de formación de sales de carnalita en el proceso de obtención de carbonato de litio.

Asimismo, en el 2012 Cruz, M. realiza la separación de sulfato presente en la salmuera presente en la salmuera del Salar de Uyuni cristalizado en forma de epsomita.

En 2014 Fernández, J. Realiza la obtención de cloruro de potasio por el método de lixiviación a partir de las sales de silvinita. Este trabajo se realizó en la "Universidad Autónoma Tomás Frías" en la Carrera de Química el cual es la obtención de cloruro de potasio por el método de lixiviación a partir de las sales de silvinita en donde en dicho trabajo tiene como resultado 96.87% de pureza y un rendimiento de 62.90% valores máximos que se pudo llegar a estudiar en un laboratorio

Justificación:

El propósito de la investigación es contribuir científicamente conocimientos a nivel de laboratorio aplicando el proceso de flotación del cloruro de potasio, ya que Bolivia y el departamento de Potosí hoy en día se quiere abarcar nuevas formas de desarrollo económico diferente a la explotación de los minerales más comunes; para así tener nuevas vías de explotación y beneficio para la humanidad basándose en los recursos del Salar de Uyuni, que se puede tener un buen aprovechamiento.

Hoy en día existe un método tradicional para la obtención de cloruro de potasio a partir de la sal de silvinita llamado flotación dentro de este proceso se emplea la evaporación solar o evaporación artificial para la cristalización de las sales de silvinita más o menos a una pureza del 50% acompañado de impurezas como el cloruro de magnesio entre otros los cuales pasan por un proceso de molienda para tener un tamaño de grano adecuado.

Seguidamente se realiza el proceso de acondicionamiento utilizando reactivos específicos para que de esta forma se vaya efectuando el proceso de flotación el cual se separa una gran cantidad de sales insolubles

Otra razón de esta investigación es el aprovechamiento de cloruro de potasio comercialmente, más que todo en el área de agroindustria por ser uno de los compuestos químicos esenciales para promover el crecimiento de las plantas y aumentar el rendimiento agrícola de los suelos.

El cloruro de potasio en todo el mundo utiliza de 95% para la agricultura como fertilizante y el otro 5% de esta se usa en la industria química para producir químicos de uso industrial como ser carbonatos permanganatos, fosfatos, yoduros, etc.

Problema de investigación. -

¿Cómo obtener cloruro de potasio por el método de flotación a partir de la salmuera como recurso natural del salar de Uyuni - departamento de Potosí?

Objeto de investigación. -

El objeto de estudio para el presente trabajo de investigación salmuera.

Campo de acción. -

Es la obtención de cloruro de potasio por el método de flotación a partir de la salmuera.

Alcance de la investigación. -

Temporal:

El estudio del siguiente tema tendrá una duración de 8 meses continuos del presente año.

Espacial:

Esta investigación se desarrollará para aumentar conocimientos al instituto de investigación de la “Universidad Autónoma Tomas Frías” y también a la carrera de química.

Objetivos.

Objetivo general.-

Obtener cloruro de potasio por el método de flotación, utilizando recursos naturales, del Salar de Uyuni ubicado en el departamento de Potosí.

Objetivo específico.-

- ❖ Realizar la revisión bibliográfica respecto a los procesos de flotación.
- ❖ Análisis físico- químico de los componentes principales en la salmuera y en cada etapa de proceso.
- ❖ Purificar la salmuera, para la obtención de la silvinita
- ❖ Controlar los factores que influyen en una flotación.
- ❖ Aplicar el método de flotación para la obtención de cloruro de potasio a partir de la salmuera
- ❖ Análisis físico químico de cloruro de potasio obtenido.

Hipótesis. -

Se obtendrá cloruro de potasio de calidad industrial a partir de la salmuera del Salar de Uyuni del departamento de Potosí; mediante el método de flotación utilizan de compuesto orgánico de octadecylamine, para la separación de las sales presentes en la salmuera.

Variables:

-) % sólidos
-) Tamaño de grano
-) Dosificación del colector.
-) Velocidad de agitación
-) Tiempo de acondicionamiento

Diseño metodológico.

a) Histórico lógico:

Para este trabajo se puede decir que el método que se llegara a utilizar una recopilación que se tiene de información del problema de la obtención de cloruro de potasio para así luego observar el comportamiento del fenómeno que se va a presentar en el transcurso de la practica

b) Inductivo deductivo:

A partir de las experiencias y datos que se tiene referente al problema de estudio para luego llegar a deducirlo lo más común con otras experiencias y de otros métodos que existe y para luego sacar conclusiones empíricas

c) Análisis y síntesis:

Este método se realizara durante toda la investigación ya que se necesita los datos obtenidos para realizar el análisis para luego hacer la síntesis y sacar las propias conclusiones

Métodos de investigación empírica:

-Observación científica:

Este método de observación es muy imprescindible ya que en el método de que se realizara se puede ver cambios físicos químicos flotación así como las características de los cristales de cloruro de potasio coloración solubilidad, etc.

-Experimentación:

Se va estudiando la teoría y relacionando así con la práctica es decir que se efectúa un análisis fisicoquímico de la salmuera posteriormente análisis fisicoquímico de la silvinita para posteriormente realizar la flotación de cloruro de potasio el cual permite separar los elementos que interfieren y concentrar el potasio.

-Novedad científica:

Existe elementos teóricos que van permitiendo desarrollar de forma adecuada el método experimental para la obtención de cloruro de potasio en donde se determina las condiciones experimentales optimas en las que se desarrolla la flotación de cloruro de potasio logrando separar la mayor cantidad de interferente como las sales insolubles también como los iones sodio y magnesio llegando así al producto con un grado aceptable de pureza

-Significación de la práctica:

Este trabajo de investigación tiene una significación práctica muy trascendental ya que es muy beneficioso a la sociedad boliviana, ya que con ello se puede llegar a dar un buen uso importante a otra de los componentes de la salmuera así producir un reactivo mas para la agricultura y también pueda servir para otros usos mas.

1.1.-El salar de Uyuni.

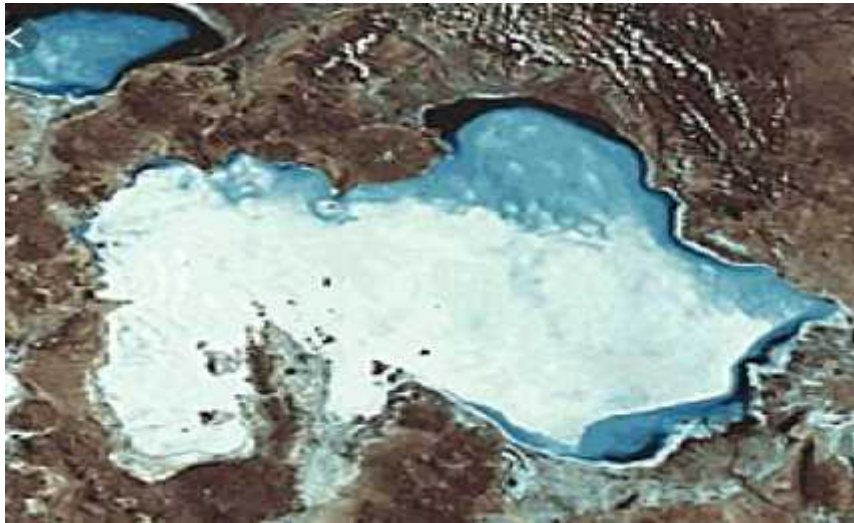
El salar de Uyuni es el mayor desierto de sal del mundo y una de las atracciones más turísticas de Bolivia que se encuentra en el departamento de Potosí. En el centro nos encontramos un conjunto de islotes, el más importante de todos es la isla del pescado, la cual se caracteriza por sus enormes cactus y alberga algunos servicios. Se pueden contratar excursiones desde Uyuni y también existe la posibilidad de ir desde Atacama en Chile a través de la cordillera de los Andes. El salar de Uyuni es el mayor desierto de sal continuo del mundo, con una superficie de 12 000 km². Está situado a unos 3650 msnm en el suroeste de Bolivia, en la provincia de Daniel Campos en el departamento de Potosí dentro de la región altiplánica de la Cordillera de los Andes.

El salar de Uyuni contiene reservas enormes, casi inagotables, de litio, potasio, magnesio y boro es la primera reserva del mundo en litio. La zona más concentrada de estos elementos se encuentra en la costra superficial al sur del salar, cerca de la desembocadura del río grande, es una anomalía geoquímica producida por los aportes del río grande desde hace 10,000 años sin embargo, esta rica “veta” no es renovable una vez agotada.

El altiplano boliviano se encuentra en una zona de fuerte inestabilidad climática, “bases húmedas y secas han seguido durante todo el cuaternario. En cada época húmeda el altiplano se inundaba. Así se establecieron sucesivos lagos salados. Cada lago probablemente disolvía una parte de la costra de sal depositada por el lago anterior. Antiguos niveles de algunos de estos lagos están marcados por costras bien desarrolladas de algas calcáreas.

En el salar de Uyuni se observa que todos los elementos se concentran notablemente al sur del salar, cerca del delta del Río Grande. Hay un aumento brusco al extremo borde de la costra de sal, la variación no es progresiva.

grafico 1: foto satelital de salar de uyuni



Fuente:googleEarth

1.1.1.- Formación.

El área que hoy ocupa este desierto estaba cubierta hace 40 000 años por el lago Minchin y posteriormente, hace 11 000 años, por el lago Tauca. El salar de Coipasa y los lagos Poopó y UruUru también son vestigios de estos grandes lagos prehistóricos. Estos alcanzaban una cota de alrededor de 100 m por encima del nivel actual del Salar, y cubrían los actuales Salares de Uyuni y Coipasa, y los lagos Poopó y UruUru. En este período una fase de clima húmedo, con más lluvias que actualmente elevó el nivel de los protolagos a aproximadamente 100 m más alto que el nivel actual, posteriormente vino un periodo seco y cálido, que produjo una gran reducción de la superficie y volumen de los lagos andinos, originando así los salares y las lagunas actuales.

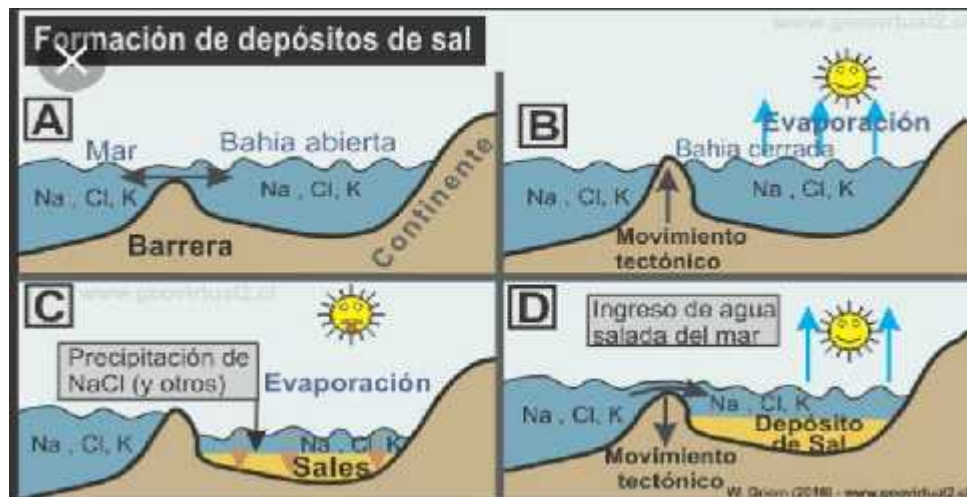
El salar de Uyuni, además de lo expuesto anteriormente, contiene compuestos muy importantes para la química básica e industrial. En Bolivia, en un pasado geológico existieron lagos extensos más vastos que los actuales, conocidos con los nombres de Ballivián, Minchín y Tauca. El primero ha sido un predecesor del Lago Titicaca; el segundo abarcaba desde Uyuni hacia el norte y el lago Tauca por evaporación dio origen al salar de Uyuni.

1.1.2.-Formación de los depósitos salinos de la cordillera.

El potasio presente en los minerales formadores de roca es exiliado y transportado en la solución y concentrados mediante evaporación debido a la alta solubilidad al formar sales dobles y triples, para formar depósitos alimentarios políticos, por lo general la vaporización es mayor que la lluvia, donde las acumulaciones o lagunas no tienen un afluente o salida normal, siendo por consiguiente la única salida del agua la evaporación.

Como las sales son más pesadas, tienen a quedarse en la laguna y se evapora solamente el agua. Poco a poco, aumenta la saturación o alta concentración de las sales en el agua, hasta que llega el momento en que las sales se precipitan. La evaporación de lagos salinos en cuencas cerradas o en conducir a la concentración de ciertos elementos en la salmuera es remanentes, como así también la cristalización de sales relativamente solubles.

Grafico2: formación de los salares.



Fuente:googlematadornetwork

1.2.- Salmuera

Salmuera es H₂O que dispone de una elevada concentración de cloruro de sodio que se encuentra disuelta. Si dicha concentración es muy alta, como ocurre en ciertos lagos, no permite que haya vida en el agua.

La salmuera es una solución acuosa de sales componentes, cuya concentración de iones es elevada y se encuentran en forma natural debajo de la corteza terrestre. Formadas por fenómenos meteorológicos, que rellenan la materia aluvial y eólico estas depresiones, en alzando el drenaje de los ríos en una zona árida de evaporación demasiado rápido, para permitir la acumulación de agua superficial originando los reservorios de salmuera subterránea.

Cuando el suelo se satura de salmuera una parte de esta desciende, mientras que las soluciones que se quedan cerca de la superficie retroceden por capilaridad y, cuando se secan la superficie, se forman las costas de sales formadas por cloruros, sulfatos de calcio y magnesio, además de carbonatos.

Gracias a sus propiedades, la salmuera tiene múltiples usos. Puede emplearse para tareas de limpieza ya que la sal contribuye a purificar los materiales. Como cuenta con un punto de congelación muy bajo, la salmuera también se emplea como refrigerante secundario en algunos sistemas. La salmuera, por otra parte, ayuda a derretir la nieve que cubre los caminos, facilitando la circulación de vehículos.

La utilización más habitual de la salmuera, de todos modos, se encuentra en el ámbito de la alimentación.

Grafico 3: Salmuera del Salar de Uyuni



Fuente: Planta de cloruro de potasio Potosí

1.2.1.-La salmuera del salar de Uyuni.

El salar de Uyuni es fuente de salmuera subterránea, formadas por lixiviación natural desde la cordillera de los andes, a través del tiempo, diversos minerales encontrados bajo la corteza son superficies saladas.

En época seca, el salar de Johnny da una apariencia de ser una superficie compacta dura y seca, sin embargo el salar es esencialmente un lago subterráneo por debajo de la capa de sal con alto contenido de salmuera o sal disuelta en el agua y sedimento.

1.2.2.-Composición.

Los componentes principales de la salmuera de Uyuni son el litio, cloruro de potasio, sulfato de potasio y ácido bórico, con una composición peculiar con características propias por la profundidad, la porosidad y la composición de sales disueltas.

Desde la década del 70 se realizaron perforaciones y análisis geoquímicos en todo el salar, a veces en pozos perforados hasta más de los 200 metros y muchos en la superficie.

Entre los trabajos de investigación se encuentra de François Risacher de la IRD, quien investigó durante veinte años varios salares de Bolivia y Chile, estudiando la formación y evolución geoquímica. Publicaron resultados de numerosos muestreos del Salar de Uyuni, definiendo que existen curvas de ISO concentraciones de litio potasio y boro.

Asimismo, en una publicación en 1998 (Risacher, conferencia ORSTOM en Bolivia), divulga los resultados de una perforación de 120 metros de profundidad en un punto central de Uyuni donde se encontró 12 capas de sal totalizando 80 metros, intercalado con capas de sedimentos lacustres.

Tanto ORSTOM como University con perforaciones de 214 metros de profundidad en el centro del salar (sin alcanzar su base) demostraron la alternación de capas de

costra de sal altamente porosa, colmada de salmuera, con capas de arcilla impermeables, también saturados en salmuera.

Se ha comprobado que casi todas las muestras contienen el mismo nivel de sales disueltas, con una ligera tendencia a bajar el contenido de litio con la profundidad.

En “Chemical Geology” de 1990, se determinó una reserva de 9 millones de toneladas métricas de litio (elemental) correspondiendo a la primera capa de sal. Se toma en cuenta las diferencias en concentraciones de litio, potasio y boro en las tres dimensiones, basadas sobre 347 muestras del Salar.(Conferencia ORSTOM en Bolivia).

1.3.-Sales de silvinita

Esta historia compartida tiene su origen en la formación de la que podríamos aventurarnos en denominar, de forma poética, “roca originaria” o, desde el argot rigurosamente científico, silvinita.

La silvinita es una mezcla de cristales de cloruro de potasio y de sodio, +1 pequeña cantidad de arcilla y otras impurezas.

El propósito de extraer el KCl, para ello hay tres técnicas que aprovechan el distinto comportamiento de ambas sales constituyentes (NaCl y KCl) en cuanto a solubilidad, densidad y flotabilidad, respectivamente.

Grafico 4: Sales silvinita



Fuente:Evaporíticos Bolivia

1.3.1.-Separación por solubilidad diferencial:

Este método de separación cuando la silvinita se disuelve en agua forma un sistema ternario por el efecto del ion común, la solubilidad de cada sal disminuye en presencia de otra, cuando se aumenta la temperatura el cloruro de potasio es más soluble. La molturación de la silvinita se lleva solo hasta 4mm además de aumentar el consumo de energía apenas incrementa la velocidad de disolución y entorpece la separación posterior de los lodos de cloruro de sodio.

La disolución de cloruro de potasio interesa producirla con la mínima cantidad de aguas madres y agotar el cloruro del mineral.

1.3.2.-Separación por flotación:

También en este caso se hace una molturación fina de la silvinita efectuándose la flotación en el seno de una disolución saturada de ambas sales. Se puede flotar el cloruro de potasio con aminas alifáticas primarias de cadena larga como agente de flotación o también se realiza con reactivos derivados del ácido nafténico pero es más frecuente el primer caso ya que los costos del segundo procedimiento son más caros y la pureza es de 85-90%

1.4.- Potasio

Potasio. Nombre con que lo bautizó Humphrey Davy al descubrirlo en 1807, siendo el primer elemento metálico aislado por electrólisis, en su caso del hidróxido de potasio KOH, compuesto de cuyo nombre latino, Kalium, proviene el símbolo químico del potasio.

El potasio es un elemento altamente reactivo y de gran afinidad con otros elementos, por lo cual no se encuentra en estado elemental en la naturaleza. Este elemento está presente en rocas sedimentarias, metamórficas y disueltas en lagos. Desde el punto de vista económico son importantes los sulfatos de cloruros de potasio, ya que su grado de disolución es mayor. Muchas veces parte del potasio en solución, migra de la fuente y alcanza el mar o bien se deposita en cuencas interiores.

1.5.- Cloruro de potasio

El compuesto químico cloruro de potasio (KCl) es un haluro metálico compuesto de potasio y cloro. En su estado puro es incoloro. Se presenta como un cristal vítreo de blanco incoloro, con una estructura cristalina cúbica centrada en las caras que se fractura fácilmente en tres direcciones. Al explicar de manera breve las propiedades que presenta el cloruro de potasio (KCl) se encuentra naturalmente como Silvita (KCl), y puede extraerse de la silvinita (KCl+NaCl). También puede extraerse de agua salada puede producirse por cristalización, señalar que es un subproducto de la fabricación de ácido nítrico a partir de nitrato de potasio y ácido clorhídrico.

El cloruro de potasio producido en su mayoría es utilizado en la fabricación de fertilizantes, ya que el crecimiento de muchas plantas es limitado por el consumo de potasio. Como reactivo químico es utilizado en la manufactura como hidróxido de potasio y potasio metálico. También es utilizado en medicina. En casos de diarrea y vómitos y en el postquirúrgico del aparato digestivo, en aplicaciones científicas, procesamiento de alimentos y en ejecuciones judiciales a través de inyección letal, en el recuadro siguientes en muestran las propiedades fisicoquímicas de sal silvina.

Grafico 5: Cloruro de potasio



Fuente: google.Ciperchile.cl

1.5.1.- Especificaciones técnicas del cloruro de potasio industrial

Los principales productos empleados como fertilizantes son el KCl, K_2SO_4 , KNO_3 , se venden sobre la base de su composición química y tamaño de partículas. La mayoría de los productos se venden sobre la base de un contenido mínimo de potasa garantizando una banda gránulo métrica especificada.

Cantidades de cloruro de potasio:

-Calidad química 99.5-99.9%

-Calidad fertilizante 95-98%

1.5.2.- Propiedades fisicoquímicas y aplicaciones.

El cloruro de potasio, KCl, es un producto exclusivamente para uso agrícola. Según la química del cloruro en los suelos, se infiere que en suelos bajo condiciones ácidas el ion cloruro (Cl^-) reemplaza a los iones hidroxilo (OH^-) que están asociados con los óxidos de hierro libres, y por lo tanto, en tales suelos se espera que se obtengan mejores resultados que con el sulfato de potasio.

Por otro lado, los iones cloruro son retenidos con menos fuerza por los coloides del suelo que son los iones sulfato. El cloruro de potasio puede ser usado con mayor seguridad en suelos pesados donde los iones cloruro no se acumulen mucho. En suelos alcalinos, la acumulación de los iones cloruro pueden ser tóxicos para los cultivos. En suelos con reacción alcalina y deficientes en potasio, cloruro de potasio puede ser utilizado acompañado de materia orgánica.

El potasio en los vegetales sirve como regulador de las funciones de la planta situándose en mayor cantidad en zonas activas de crecimiento, fundamentalmente en los tejidos jóvenes.

Interviene en la fotosíntesis, con su presencia la potasa favorece la síntesis en la hoja de los glúcidos o hidratos de carbono, así como el movimiento de estas

sustancias y sus acumulaciones en ciertos órganos de reserva. Por esto, las tantas que se cultivan por sus reservas de glúcidos (almidón de las plantas, azúcar de la remolacha y de la uva) responden especialmente bien al suministro de abonos ricos en potasio.

La reducida dimensión de la agricultura Boliviana resulta en un muy bajo consumo de fertilizantes. Según FAO; menos de 2 dos mil toneladas de fertilizantes potásicos se importaron en el año 2002, contra 25 mil de nitrogenados y fosfatados.

El cloruro de potasio es utilizado también en medicina aplicaciones científicas, procesamiento de alimentos y en ejecución legal por medio de inyección letal. Se presenta naturalmente como el mineral Silvita y en combinación con cloruro de sodio como silvinita.

1.5.3.- Reservas de cloruro de potasio en el mundo

La mayoría de los compuestos de potasio se originan en depósitos naturales de sales sólidas o en aguas saladas superficiales o sus-superficiales. Los minerales a ser extraídos para la posterior elaboración de compuestos de potasio son variados, aunque lo más usados son la silvinita (NaCl , y KCl), kainita ($\text{MgSO}_4\cdot\text{KCl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), carnalita y la extracción a partir de salmuera es.

Según las estadísticas de Estados Unidos, las reservas mundiales de potasio, de acuerdo al siguiente cuadro, se distribuye:

Tabla N° 1.1.Reservas de cloruro de potasio en el mundo

Nº	País	Reserva	Reserva base
1	Estados unidos.	90000	300000
2	Bielorrusia.	750000	1000000
3	Brasil.	300000	600000
4	Bolivia.	120000000	190000000
5	Canadá.	4400000	9700000
6	Chile.	10000	50000
7	China.	8000	450000
8	Francia.	500	Nada
9	Alemania.	710000	850000
10	Israel.	40000	580000
11	Jordania.	40000	580000
12	Rusia.	1800000	2200000
13	España.	20000	35000
14	Ucrania.	25000	30000
15	Reino unido.	22000	30000
16	Otros países.	50000	140000
TOTAL		128265500	4445000

FUENTE: Mineral CommoditySummaries 2004

El país que posee mayor cantidad de reservas de óxido de potasio es Canadá, con aproximadamente 10,000 millones de toneladas, Rusia se ubica en segundo lugar con sus 2 millones 200 mil t de óxido de potasio; Asia, Israel y Jordania poseen similar cantidad de reservas (580 mil t aproximadamente cada uno), en Europa el primer país de significativa importancia es Alemania, 850 millones de toneladas de óxido de potasio, en Estados Unidos aproximadamente totalizan 6mil millones de toneladas. La mayor parte se encuentra en profundidades entre 1800 y 3100 m.

En una área de 3.110 km² de Montana y la Dakota del Norte como una ampliación de la cuenca de Williston depositado en Saskatchewan, Canadá. La cuenca de

Paradoxen Utah contiene aproximadamente 2 mil millones de toneladas, principalmente en profundidades de más de 1.200 metros. Un recurso de óxido de potasio grande estar a 2.100 m. Bajo Michigan central en los EE.UU. la reserva incluyen aproximadamente 62 millones de toneladas de reservas en Michigan central.

Los recursos del mundo aproximadamente totalizan 250 mil millones de toneladas. Los depósitos de óxido de potasio en Rusia y Tailandia contienen cantidades grandes de carnallite; no está claro si esto puede ser buscado beneficiosamente en una economía de libre mercado. En Latinoamérica, el país de principal importancia por la cuantiosa fuente de recursos potásicos y que aún no han sido explotados es Bolivia.

1.5.4.-Precios de los compuestos de potasio.

Los fertilizantes potásicos básicos se dividen en dos tipos cloruros y sulfatos. Sin embargo los cloruros se dividen en 4 grupos de acuerdo a su calidad en su textura.

Los precios para estos fertilizantes varían de acuerdo a sus condiciones en general a cloruros y sulfatos, debido a la depresión de precios de cloruro de potasio.

La depresión de cloruros se debe principalmente a la fuerte competencia en la producción de este tipo de fertilizantes. Por ser gama de aplicaciones de cloruro de potasio más amplia que la de sulfato de potasio es que se considera el cloruro de potasio el promedio de precio es de 400US\$/t en los años 2011-2014.

El consumo de cloruro de potasio hasta el año 2014 en los estados unidos ha incrementado el fertilizante con una contribución en agrícola y una descripción razonable de demanda de potasio puede ser dado a través de las cosechas más grandes.

Existe de acuerdo a lo estudiado una demanda insatisfecha de potasio a nivel mundial y que da la esperanza de poder ingresar al mercado de los fertilizantes y derivados de potasio.

1.5.5.- Principales productores de cloruro de potasio.

La producción de compuestos de cloruro de potasio se encuentra dispersa por todo el mundo pero Canadá y Rusia abarcan más de la mitad de la capacidad mundial. Sin embargo respecto al mundo occidental es de gran importancia la capacidad de Alemania las dos compañías más grandes son la Potash Corporation of Saskatchewan, de Canadá, y la Kali und Salz AG R.F.A. en Israel tiene aproximadamente 65% de la capacidad del mundo y es poseído de los Estados Unidos.

Brasil, es el país de mayor capacidad instalada más de 250000 ton/año de óxido de potasio están concluidas dos plantas de gran importancia, la primera está ubicada en la Amazonia brasileña con una capacidad instalada de 90000 ton/año de óxido de potasio a partir de silvinita, y la segunda está ubicada en Bayovar, Perú, con una capacidad de 90000 ton/año óxido de potasio.

En los siguientes 5 años a fines del 2003 otro productor de nitrato de potasio, compañía de salitre yodo cuenta con una mina y pozo en Chile del norte anunciado una nueva empresa en noviembre con una capacidad de 90000 ton/año, usando insumos canadienses y rusos como materias primas.

La demanda mundial de potasio tiene sus altibajos, siendo el año de mayor consumo en 1998 con una tasa de consumo de crecimiento de 14.9% en el año 1999 se debe sobre todo a cambios internos en los países productores respecto a los derivados de potasio y en los precios internacionales, que llega a efectuar bastante al consumo pero poco a poco retoma hasta alcanzar nuevamente un crecimiento de 10.5%

1.5.6.- Métodos alternativos de obtención de cloruro de potasio:

Para el cloruro de potasio, la característica principal para que tenga grado fertilizante es alrededor de 95% de pureza. En cambio, para fines de manufactura,

especialmente sales potásicas, el grado químico debe ser el 99.9 %existiendo diferentes métodos para la obtención.

a) Proceso trona:

Este proceso es diseñado y aplicado en el pueblo del mismo nombre cerca del mismo lago Searles en california, USSA.

La salmuera se bombea llevando a si a los cristalizadores al vacío, esta se evapora con evaporadores de triple efecto del cloruro de potasio acompañado del tetra borato de sodio caliente, es separado mediante enfriamiento rápido a 38°C.

El cloruro de potasio se cristaliza en unos enfriadores- cristalizadores de tres etapas, al vacío. Luego de la centrifugación se procede al secado del cloruro en secadores rotatorios, obteniendo así cloruro de potasio al 95%.

b) Proceso a partir de la silvinita:

Este proceso es cuando una solución saturada de las sales mezcladas en agua se enfría desde su punto de ebullición el cloruro de potasio se separa contaminando solamente con cloruro de sodio que arrastra el licor madre frio se calienta a 110° C empleando cambiadores de calor que emplea el calor de escape. El licor de madre caliente pasa a través de una serie de disolventes calentados por vapor. El cloruro de potasio pasa a solución junto con una pequeña cantidad de cloruro de sodio.

Por medio de un espesador se sedimenta el lodo insoluble .este se lava por decantación a contracorriente y la solución excedente saturada y turbia se bombea así unos enfriadores y cristalizadores al vacío. En estos recipientes la solución se enfría a 27°C es así que se obtiene cloruro al 95% de pureza.

Proceso de obtención de cloruro de potasio granular al 50%:

El mineral triturado y clasificado suspendido en una salmuera saturada con cloruros de sodio y potasio se lleva a un banco de mesas wilfley, donde se separa el cloruro de sodio y el potasio por su diferencia en peso.

c) Proceso de flotación de jabón:

El mineral de silvinita se alimenta a una trituradora. Luego el mineral se muele en húmedo en molinos de bolas, el producto de molino de bolas se trata en dos series de celdas de flotación para flotar un concentrado de cloruro de sodio y deprimir un concentrado de cloruro de potasio.

El otro es realizando la separación en un clasificador en fracciones finas y gruesas.

d) Proceso de tratamiento de potasa Saskatchewan, en Saskatchewan, Canadá, la internacional mineral and Chemical Corp. comienza su proceso a partir de mineral silvinita ($x\text{NaCl} - \text{KCl}$) y carnalita ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Se muele y se clasifica el mineral. Éste se trata con una salmuera que exhibía la carnalita, desenloda el mineral y luego se para las sales de potasio el material fino y grueso. Después de esta separación se desenlodan los finos por medio de un hidroseparador, se tratan con una amina y con almidón y se combinan con las sales gruesas. Las sales finas y gruesas se llevan a celdas de flotación para separar las sales de potasio del cloruro de sodio

e)Proceso tradicional de obtención de cloruro de potasio:

El proceso más apropiado está estructurado según el método trona, modificando al medio, mediante la flotación.

1.5.7.- Desarrollo del proceso:

- **Evaporación:** la salmuera extraída se introduce a pozas de evaporación solar para la cristalización de sales de forma secuencial. La salmuera superior es enviada a la segunda poza de evaporación y el residuo es devuelto al salar. Se obtiene salmuera con aproximadamente 15% de silvinita.

- **Trituración y cribado:** los cristales de cloruro de potasio, cloruro de magnesio y cloruro de sodio, que se encuentra en conjunto, pasan a la molienda para reducir el tamaño de grano.
- **Flotación:** mediante la flotación se separa materiales insolubles para obtener cloruro de potasio relativamente puro con un mínimo porcentajes de interferentes.
- **Lixiviación:** en esta etapa el producto obtenido del proceso de flotación es llevado a un proceso de lixiviación, donde se obtiene el cloruro de potasio libre de interferente con un mayor porcentaje de pureza.
- **Secado:** se procede al proceso de secado de los cristales de cloruro de potasio para la eliminación de humedad de arrastre del producto, mediante secadores rotatorios de corrientes paralelas.
- **Clasificación y compactado:** luego de estar seco el cloruro de potasio se refina para obtener el producto final con las condiciones especificadas para el caso de 95% de pureza.

1.6.- Flotación:

La flotación es un proceso físico - químico de la concentración de partículas finamente molidos. El proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa a fin de crear condiciones favorables para la adhesión de ciertas partículas de minerales a las burbujas de aire. Tiene por objeto la separación de especies, divididos a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas o útiles constituyen una fracción menor del mineral, mientras que las especies no valiosas o estériles constituyen la mayor parte.

El carácter hidrofílicas o de afinidad hace que estas partículas se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse. El carácter hidrofóbico o de repulsión evita el mojado de las partículas minerales que pueden adherirse a las burbujas y ascender.

-Hidrofílicas

Son mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que generalmente representan la mayoría de los minerales estériles o ganga. Haciendo que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse.

-Hidrofóbicas

Son aquellos minerales que no son mojables o son poco mojables por el agua, dentro de ellos tenemos: Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como: Grafito, carbón bituminoso, talco y otros, haciendo de que evite el mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender.

Además se puede observar, que los minerales hidrofóbicas son aerofílicos, ósea tienen afinidad con las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicas son aerofóbicos, ósea no se adhieren normalmente a ellas

1.6.1.- Reactivos de flotación.

a)Colectores.

Son compuestos químicos orgánicos, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no polar. El anión o catión del grupo polar permiten al ion del colector quedar adsorbido a la superficie también polar, del mineral.

Por consiguiente, las partículas de mineral hidrofobadas por una película de colector se adhieren a las burbujas de aire que van subiendo, arrastrando consigo el mineral a la superficie de la pulpa

Estos reactivos se asocian más a los sales que se quiere y al aire, pero muy poco a la ganga.

La parte no polar de la molécula es un radical hidrocarburo, el cual difícilmente reacciona con los dipolos del agua, por ende, tiene propiedades fuertes para repeler el agua, in consecuencia proporcionan las propiedades hidrofobicas al mineral, por estar este extremo funcional orientado al agua.

La parte polar o iónica en la que puede absorberse selectivamente en la superficie del mineral ya sea por reacción química con millones de la superficie del mineral o por atracción electrostática a la superficie mineral.

Los colectores se clasifican de acuerdo a su habilidad para disociarse en una solución acuosa y considerando también el tipo de ion que produce el efecto repelente al agua. Por lo tanto, se puede clasificar en dos grandes grupos, a saber:

- Colectores ionógenos, que se disocian en millones.
- Colectores no ionógenos, que actúan en forma molecular.

-Colectores oxhídricos:

Fuertes propiedades colectoras.

Poco selectivos, lo que impide una eficiente separación de los sulfuros de sus gangas.

Se usan actualmente en la flotación de minerales oxidados, sales y no metálicos.

-Colectores Catiónicos

Se derivan de un ion complejo de amonio.

El grupo polar que se adsorbe en los minerales tiene carga positiva.

Son usados para flotar óxidos, silicatos y aluminio-silicatos.

Son menos selectivos que los reactivos aniónicos.

Amina primaria: R-NH₂ Amina secundaria: R₂-NH.

Amina terciaria: R₃-N Amina cuaternaria: R₄-N-Cl.

Colectores derivados del xantato.

-) xantoformiatos.
-) Tionocarbamatos.
-) Ésteres xanticos.
-) mercaptanos.

b)Espumantes.

Los espumante son sustancias orgánicas tensoactivas (superficies activas) hetero polares que pueden adsorberse en la superficie de la interfase aire-agua. Su función principal es proporcionar una adecuada resistencia mecánica de las burbujas de aire, manteniendo las diversas y previniendo su coalescencia o unión, de modo que puede presentar superficies de adherencia adecuada de las partículas del mineral flotante, y por consiguiente lograr la estabilidad de la espuma de flotación, la cual reduce su energía libre superficial y la tensión superficial del agua.

La fuerza de un espumante está directamente relacionada a la estructura y longitud del grupo no polar, ya que, para que una sustancia sea efectiva como espumante, se requiere que el grupo polar tenga un mínimo de seis átomos de carbono.

La técnica de flotación de espumas es un proceso extractivo basado en el fenómeno físico-químico de superficies de mineral sólido, en el cual se aprovechan las propiedades hidrofóbicas de los minerales, donde la mena triturada y finamente molida a un grado de liberación de la partícula .

- Función de los espumantes

Estabilizar la espuma y Disminuir la tensión superficial del agua

Mejorar la cinética de interacción burbuja –particular.

Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas.

Origina la formación de burbujas más finas, es decir, mejora la dispersión Del aire en la celda de flotación.

Regula la velocidad a la cual las burbujas suben hacia la superficie de la pulpa.

-Selección de los espumantes

Debe actuar a bajas concentraciones y producir una espuma devolumen y estabilidad adecuada.

Las espumas deben destruirse fácilmente al salir de la celda.

Las espumas deben permitir el drenaje o desaguado o lavado delas partículas finas arrastradas pero no colectadas.

El espumante debe ser de bajo precio y efectivo.

El espumante debe ser poco sensible a las variaciones Del pH y alas sales disueltas en la pulpa.

-Clasificación de los espumantes

- **Espumantes ácidos:** Alquilaril sulfonatos, Fenoles.

- **Espumantes neutros:** Alcoholes alifáticos, Sustancias con enlaces éter, Polialcoxialcanos, Monoéterespoglicéricos, DialquilOftalatos, Alcoholes aromáticos y alicíclicos.

1.6.2.- Flotación de sales solubles:

Yacimientos contienen mezclas de cloruro; Halita, Silvita y carnalita, y/o sulfatos: kainita. La recuperación se hace por cristalización fraccionada.

En salmuera saturada primero se separa por cicloneo las arcillas (ocasionan alto consumo de reactivos y aumentan viscosidad de la solución), se flota Silvita con n-alquila mina o sulfonato, o Halita con n-Alquil carboxílico de metales pesados y un aceite no polar.

1.6.3.- Características principales de la flotación

Flotación en soluciones acuosas saturadas en las sales a flotar (salmuera). La salmuera debe ser deslamada y flotada alto (soluciones saturadas).

Las Fuertes propiedades de espumación de las soluciones de sales concentradas, permiten a menudo una flotación sin adición de espumantes especiales y, algunas veces, incluso sin ningún reactivo.

El valor Del pH no es una variable tan importante Como en la flotación de minerales insolubles, aunque tiene una cierta incidencia especialmente Como factor limitante.

1.6.4.- Variables de proceso de flotación

Algunas de las variables de operación de mayor importancia para el proceso de flotación son:

-Granulometría.

Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies minerales útiles tenga un gradode liberación adecuado para su concentración. La recuperación es baja para partículas finas, seguido de un máximo, para partículas grandes también decrece la recuperación.

-Tipo de reactivos.

Los reactivos de flotación son el componente y la variable más importante del fenómeno de flotación, debido a que no se efectúa esta sin la participación de ellos. Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumante es y modificadores.La

eficiencia del proceso depende de la selección de los mejores reactivos, la absorción de los reactivos se basa en el equilibrio de iones de la pulpa que determina el potencial cinético, el potencial electroquímico y la hidratación de las partículas del mineral.

-Dosis de reactivo.

La cantidad de reactivos requerida en el proceso depende de las pruebas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos.

-Densidad de pulpa.

Esta es una variable importante en el diseño de los circuitos de flotación porque es uno de los factores determinantes en el tamaño y número de celdas de flotación que se necesite. Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos, en la recuperación del valioso y la cantidad del concentrado obtenido.

-Aireación.

La característica de aireación de la celda de flotación puede ser expresada en términos de aire entrante. El aire que entra inmediatamente depende del camino que sigue, del tamaño de la burbuja y de la velocidad de la pulpa. La aireación permite aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua.

-Regulación del pH.

La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de los reactivos tienen un pH óptimo, ambiente en el cual se obtiene el mejor resultado operacional.

-Tiempo de acondicionamiento.

Es el tiempo necesario para lograr la separación del concentrado y los relaves, depende de los factores tales como el tamaño de las partículas y los reactivos usados y deben ser conocidos para la determinación del tamaño y número de las celdas de flotación a ser empleados.

-Calidad de agua.

El conocimiento de la calidad de agua a usarse en la planta es importante porque puede drásticamente afectar los resultados de la flotación. En las plantas concentradoras la disponibilidad de agua es un problema latente. De ahí que normalmente se utiliza el agua de circulación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión con las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación.

1.7.- Solubilidad:

Cuando un compuesto se disuelve en un solvente, se puede disolver máximo una cantidad de soluto en una cantidad dada de solvente a una temperatura importante.

Esta máxima cantidad se denomina solubilidad del soluto a una temperatura dada y constituyen una solución saturada.

Cuando se lleva a la solubilidad de un soluto se establece un fenómeno reversible en el cual, a la velocidad que se disuelve las moléculas del soluto, ellas se juntan de nuevo en una fase aparte, es un proceso dinámico. Este fenómeno se conoce como equilibrio de solubilidad.

Cuando se trata de un soluto sólido, en el equilibrio de sus iones o moléculas se unen para precipitar como un sólido, a la misma velocidad con que se disuelven. Cuando la cantidad de soluto es menor a la solubilidad, se constituye lo que se denomina una solución insaturada.

Cuando una solución se satura en muchas ocasiones es posible seguir disolviendo soluto aumentando la temperatura de la solución después de enfriarla es posible obtener una solución relativamente estable, conocida como una solución saturada.

1.8.- Evaporización:

Es un cambio de un estado de menor energía, líquido, a uno de mayor energía, gaseosos, requiere por lo tanto de una fuente de energía que la proporcione a las moléculas de agua. El fenómeno está condicionado por el número de moléculas de agua con energía cinética suficiente para vencer las fuerzas de atracción que las retiene en la masa líquida y por la capacidad del aire que le rodea a la superficie evaporante para admitir el vapor de agua.

1.9.- Cristalización:

Es un proceso en el que se realiza un cambio de fase, pasando el sistema de un estado de desequilibrio al estado de equilibrio. En este proceso del sistema incrementa en el orden, ya que pasa de un sistema relativamente desordenado a un sistema mucho más ordenado por tanto, de acuerdo con las leyes de la termodinámica para que el proceso sea espontáneo debe producirse un descenso de energía que compense el incremento de orden, ya que la naturaleza tiene un sistema tiende a un mínimo de energía y a un máximo de desorden.

La mayoría de los cambios de fase ocurridos en la práctica es por presión constante, así que para la descripción de sistemas cuyas están en estado de equilibrio, se utiliza la energía libre de Gibbs. Esta acción que está unida al descenso de la energía total de Gibbs del sistema, ósea $G < 0$, a presión y temperatura constantes. Así cuanto mayor es la disminución en la energía de Gibbs mayor es también la fuerza impulsora de la cristalización.

Si la variación de la energía de Gibbs es negativa, el cambio de fase es posible. Sin embargo, esto no significa que el proceso ocurra rápidamente.

2.1.- Introduccion

Los estudios que se va realizando al salar de Uyuni empieza desde el año 1974 un 4 de abril gracias al convenio que se tenia con la U.M.S.A – ORSTOM con el propósito de estudiar las cuencas evaporíticas, geoquímica de los sales existentes en todo Bolivia, como así también la génesis de dichos salares y determinación de concentración de elementos susceptibles a ser explotados económicamente.

El servicio geológico de los estados unidos (USGS) junto con otro servicio similar que tenia Bolivia van realizando estudios donde mediante servicios ultramar realizan en esa época perforaciones en diferentes lugares del salar en la cual identifican 3 capas de salmuera, donde están disueltos minerales no metálicos descubriendo así importantes concentraciones de litio, potasio, magnesio, sodio, boro y calcio los estudios que se fueron realizando en el transcurso de los años fueron demostrando volúmenes considerables de salmuera.

En el año 1981 se publica el primer libro llamado "los salares del altiplano boliviano métodos de estudio y estimación económica" por O. Ballivian y F. Risacher en París Francia es editado por ORSTOM. En 1982 R.Lopes y J.Zapata presentan el trabajo "método de concentración de cloruro de litio a partir de la salmuera del salar de Uyuni".

Actualmente Bolivia se viene trabajando en la industrialización de los recursos naturales no metálicos del salar de Uyuni con relación a otros países se tiene diversos estudios referente a la industrialización de salmuera y a la obtención de cloruro de potación empleando métodos tradicionales.

La investigación de salar de Uyuni es extensa pero con los datos que se tiene de esta nos permite llegar a la conclusión de que existen trabajos relacionados a la obtención de cloruro de potasio

La investigación que se propone en este trabajo es obtener cloruro de potasio por el método de flotación. Por lo tanto el alcance de la investigación trata de obtener

cloruro de potasio por el método de flotación a partir de la salmuera cuando son sometidas a un proceso de flotación provocado por el efecto de separación del cloruro de potasio a condiciones distintas de trabajo.

En este trabajo de investigación para no tener ningún inconveniente es necesario contar con algunos equipos e instrumentos para el proceso de flotación del cloruro de potasio, los cuales permitieron realizar la investigación de manera adecuada, entre ellos esta balanza analítica, secador, mufla de alta temperatura, equipo de espectroscopia de absorción atómica, y el equipo de flotación.

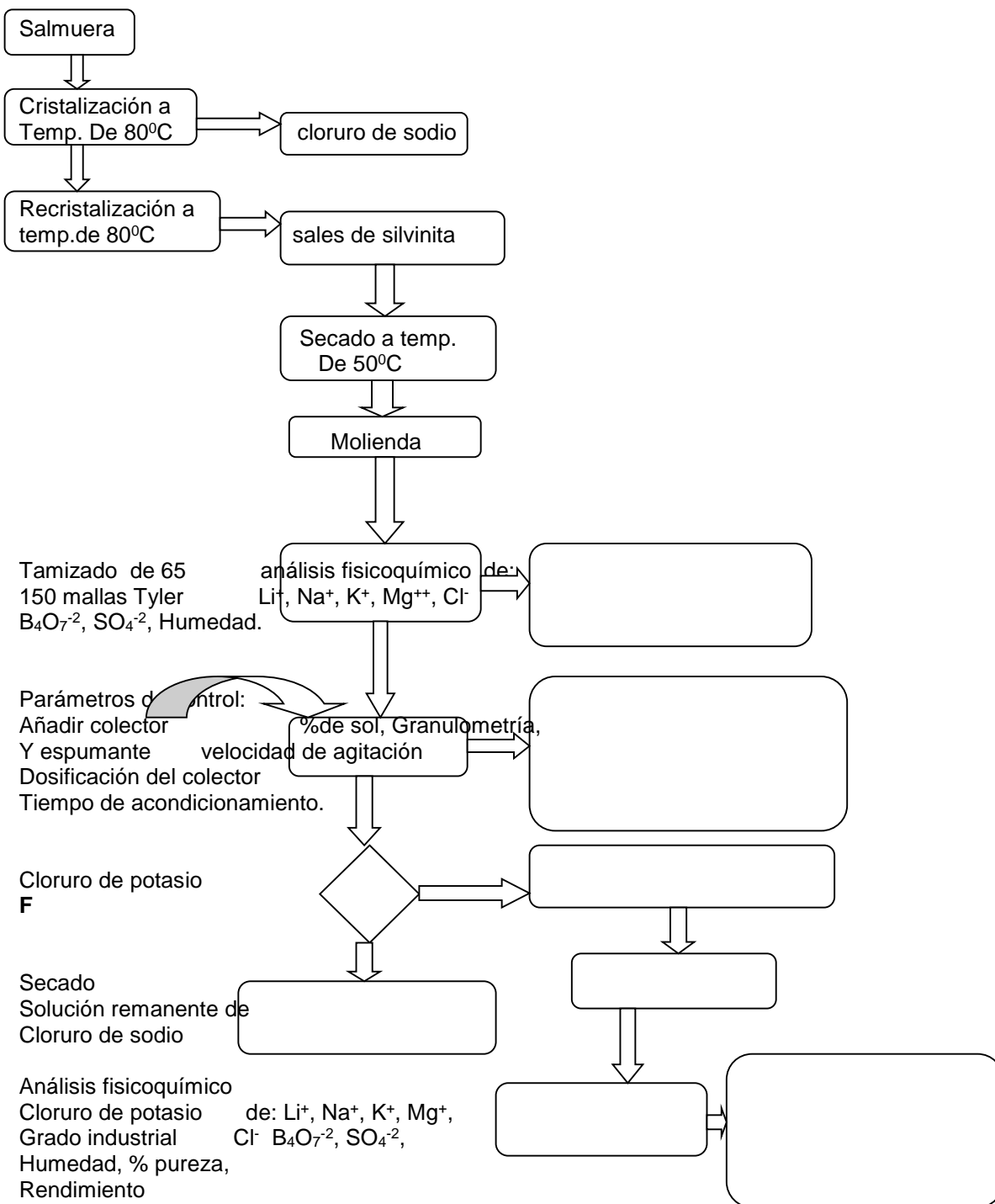
La investigación fue desarrollada en los laboratorios de la Carrera de Química de la Universidad Autónoma Tomás Frías donde cuenta con una gran parte de los equipos y reactivos que se requieren para el proceso; el equipo de flotación el cual se hizo fue de laboratorio de concentración de minerales de la Facultad de Minas

2.2.- Ubicación geográfica del salar de Uyuni:

El salar de Uyuni es el mayor desierto de sal continuo del mundo, con una superficie de 12 000 km² en las coordenadas geográficas 19° y 22° 30'. Está situado a unos 3650 msnm en el suroeste de Bolivia con la latitud de 68° 41' y 67°, en la provincia de Daniel Campos en el departamento de Potosí dentro de la región altiplánica de la Cordillera de los Andes a una altura de 3.653 m sobre el nivel del mar. El salar de Uyuni se constituye también en una de las mayores reservas de litio en el mundo, igualmente cuenta con importantes cantidades de potasio, boro y magnesio.

2.3.- Proceso experimental de obtención de cloruro de potasio.

El flujo grama muestra cada una de las etapas en el proceso investigativo experimental de flotación del cloruro de potasio a partir de la salmuera



2.3.1.-Toma de muestra:

Para realizar el muestreo correspondiente para el trabajo de investigación, los investigadores del proyecto de sales y salmueras de la U.A.T.F. se encargaron de dicho muestro tomando en cuenta así las líneas de iso- concentración.

Una vez que la muestra esta recolectada correctamente del sector que se requiere es llevada a los laboratorios de la carrera de química que se encuentra en la Ciudadela Universitaria donde es almacenada correctamente en tanques, los cuales se debe evitar la evaporización de esta.

Se tomo 10 litros de muestra para llevar a cabo la presente investigación.

Inicialmente se realiza el análisis químico para determinar la concentración inicial de todos los componentes de la salmuera original para así tener referencia del punto de partida

2.4.-Análisis físico químico de la salmuera inicial:

La muestra fue analizada los cationes y aniones que estaban presentes en la salmuera. El análisis de magnesio, cloruros y boratos se analizó por el método volumétrico; los elementos litio, sodio y potasio se realizo por el método de espectrofotometría de absorción atómica con llama y la determinación de sulfatos fue por analizado por el método gravimétrico cada análisis de cada catión y anión se hizo por triplicado cada muestra.

En cuanto al análisis físico de la muestra se mido:

PH=5.2

= 1.25

%humedad=58.4

Tabla 2.1.- Concentración de cationes y aniones en la salmuera original

Muestra.	Li⁺ (g/L)	Mg⁺² (g/L)	Na⁺ (g/L)	K⁺ (g/L)	Cl⁻ (g/L)	SO₄⁻² (g/L)	B₄O₇⁻² (g/L)
Salmuera original	2.02	43.76	85.70	17.75	237.80	27.86	3.73

Fuente: propia

De acuerdo a los resultados de la muestra original de salmuera esto permitieron desarrollar pruebas de cristalizaciones hasta 3 re cristalizaciones, es cuando recién se obtuvo la silvinita.

2.5.- proceso de flotación para la obtención de cloruro de potasio:

El proceso de flotación para la obtención de cloruro de potasio es a partir de la salmuera el cual las etapas a seguir son:

Etapas I: Cristalización de la silvinita

Etapas II: Pre tratamiento de la silvinita

Etapas III: Flotación de la silvinita

Etapas IV: análisis químico y fisicoquímico del producto obtenido

2.5.1.- Etapa I (Cristalización de la silvinita):

Ya teniendo la muestra principal que es la salmuera se lleva a cristalizar y recrystallizar tres veces ya que las concentraciones estaban muy altas en sodio para así obtener la silvinita el cual se evapora a una temperatura de 80 °C

Esta evaporización se realiza alrededor del 40 % de agua presente en la salmuera.

2.5.2.- Etapa II (pre tratamiento de la silvinita):

Prosiguiendo a la etapa anterior se realiza un pre tratamiento a la silvinita el cual consiste en:

-) Secar la muestra a una temperatura de 50°C
-) Realizar la molienda en un molino de bolas o barras.
-) Tamizar la muestra en malla 150 y 65.
-) Realizar el análisis químico y fisicoquímico de todos los parámetros que tiene como ser: Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Cl^- , $\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$, SO_4^{-2} , Humedad.
-) Pesar la silvinita variando las proporciones para el porcentaje en sólidos según el diseño aplicado.
-) Eliminar el remanente agua por filtración
-) Preparar el colector a distintas concentraciones para que la dosificación que se haga en la flotación sea la que se requiere.

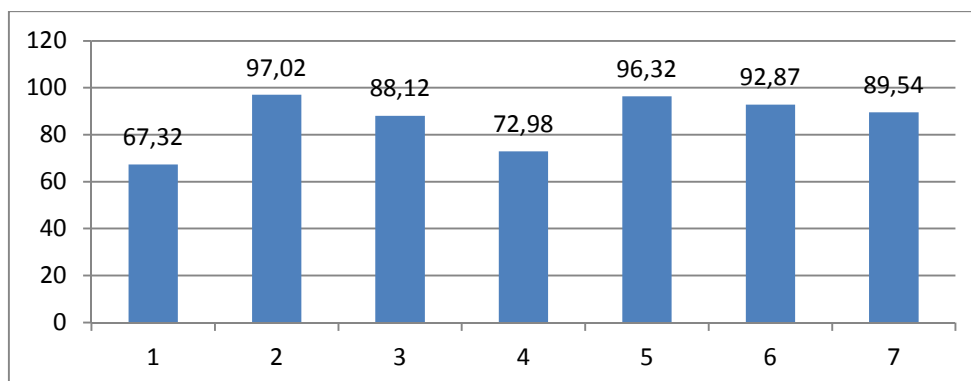
Análisis químico de la silvinita: En este análisis químico se emplea los métodos tradicionales como se volumetría para los iones Mg^{++} , Cl^- , $\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$, SO_4^{-2} y también se uso el método instrumental de espectrofometria de absorción atómica para los iones Li^+ , Na^+ , K^+ .

Tabla 2.2.- Concentración de iones y cationes en los cristales silvinita

Muestra.	Li^+ (g/kg)	Mg^{+2} (g/kg)	Na^+ (g/kg)	K^+ (g/kg)	Cl^- (g/kg)	SO_4^{-2} (g/kg)	$\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$ (g/kg)
Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01

Fuente: propia

Grafico 6.- Concentración de iones presentes en la sal de silvinita



Fuente: propia

2.5.3.- Etapa II (Flotación de la silvinita):

En esta parte del proceso se puede decir que es la parte principal del trabajo de investigación el cual en este proceso de flotación se toma en cuenta todas las variables ya anteriormente señaladas por lo tanto cada uno de ella trabaja con un nivel alto y un nivel bajo.

Aplicación del diseño factorial de plackett–Burman:

Para este proceso de flotación es necesario realizar varias pruebas experimentales con el propósito de identificar la influencia de cada una de la variables posibles dentro del proceso por lo que se vio conveniente que en este proceso es necesario el estudio de varias variables, por ello se determino trabajar con el diseño factorial de plackett – Burman donde se aplica o es necesario el uso de 7 variables y 8 pruebas experimentales con sus respectivas replicas.

Tabla 2.3.- Variables y niveles

Nº	Parámetros	Variables	unidades	Nivel (-)	Nivel(+)
1	% sólidos	A	gr	20	35
2	Ficticia	(B)	-	-	-
3	Tamaño de grano	C	Tyler	65	150
4	Dosificación del colector	D	gr/ton	15	20
5	Velocidad de agitación	E	rpm	600	1000
6	Tiempo de acondicionamiento	F	min	5	10
7	ficticia	(G)	-	-	-

Fuente: propia

Justificación de las variables:

Variables A (% sólidos):este se controla desde más mínimo hasta el máximo con el objetivo de observar la cantidad de % sólidos que es conveniente usar ya que es muy importante para una buena flotación.

Variable C (Tamaño de grano): Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies a flotar tenga un grado de liberación adecuado para su concentración y así su liberación de la silvinita

Variable D (Dosificación del colector): La cantidad de reactivos requerida en el proceso depende de las pruebas preliminares.

Variable E (Velocidad de agitación): es muy importante ya que mantiene que las partículas estén suspendidas y el reactivo añadido ataque a todas en conjunto

Variable F (Tiempo de acondicionamiento): este nos permite saber el tiempo adecuado de acondicionamiento necesario para la reacción con el colector por que si se pasa con el se puede recuperar las mas colas.

Tabla 2.4.- Matriz de signos de plackett – Burman para 8 pruebas y 7 variables

Nº	Nº de pruebas	variables de control						
		A	(B)	C	D	E	F	(G)
1	1	+	+	+	-	+	-	-
2	2	+	+	-	+	-	-	+
3	3	+	-	+	-	-	+	+
4	4	-	+	-	-	+	+	+
5	5	+	-	-	+	+	+	-
6	6	-	-	+	+	+	-	+
7	7	-	+	+	+	-	+	-
8	8	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: propia

Se realizó el remplazo de las variables de acuerdo a la matriz de signos mencionada en la tabla anterior de esta manera se continua con el proceso experimental investigativo

Tabla 2.5.- Valores de las variables:

Nº	Nº de pruebas	variables de control						
		A(g)	B(ficticia)	C(tyler)	D(g/t)	E(rpm)	F(min)	G(ficticia)
1	1	35	-	150	15	1000	5	-
2	2	35	-	65	20	600	5	-
3	3	35	-	150	15	600	10	-
4	4	20	-	65	15	1000	10	-
5	5	35	-	65	20	1000	10	-
6	6	20	-	150	20	1000	5	-
7	7	20	-	150	20	600	10	-
8	8	20	-	65	15	600	5	-

Fuente: propia

En esta tabla se dio los valores en cada variable que se considera como un máximo y mínimo.

ANALISIS FISICO QUIMICO DEL PRODUCTO DEL PRODUCTO OBTENIDO

2.5.4.- Etapa IV (análisis químico y fisicoquímico del producto obtenido):

Del producto obtenido y la solución remanente se controló peso del sólido y volumen del líquido donde se verificó; lo que se obtuvo fue realmente cloruro de potasio.

Finalmente se realizó el análisis químicos de los siguientes parámetros magnesio, cloruros y boratos se analizaron por el método volumétrico; litio, sodio y potasio se realizó por el método de espectrofotometría de absorción atómica con llama y la determinación de sulfatos fue por analizado por el método gravimétrico

3.1.- Introducción:

Los resultados que se presentan en este trabajo son mediante tablas también se puede interpretar en graficas, donde se llegó a controlar varios parámetros, particularmente es importante la concentración de potasio en el producto obtenido ya que los demás elementos no tiene valor y mas bien sus concentraciones deben ser bajas; pero se al ver los resultados después de la flotación se observa notoriamente que el incremento del ion potasio frente a los otros iones.

3.2.- Toma de muestra.-

Para realizar el muestreo correspondiente se menciono que los investigadores del proyecto de sales y salmueras de la U.A.T.F. se encargaron de dicho muestro tomando en cuenta así las líneas de iso- concentración; toman muestra de distintos lugares como ser rio grande, Ilipi, etc.

Hacen unas excavaciones de 5-10 metros de profundidad para realizar un muestreo global y uniforme se dan distancias considerables para cada punto de muestreo conde con la ayuda de una bomba sacan cantidades necesarias para el estudio que se requiere

3.3.- Presentación e interpretación de los resultados del proceso de flotación del cloruro de potasio:

a) Análisis químico en la etapa de flotación del cloruro de potasio.

Al realizar el trabajo de investigación se va controlando varios parámetros químicos donde se debe dar mucha importancia al contenido en concentrado de potasio en el producto obtenido en relación a los demás componentes. En este proceso de flotación de cloruro de potasio se fue empleando el diseño deplackett – Burman el cual permite realizar el calculo de porcentaje y rendimiento del producto obtenido.

Tabla 3.1.- Resultados de análisis químicos de iones presentes en la fase solida en la etapa de flotación (prueba 3)

Nº	Etapas	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
1	Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01
2	Flotación	0.03	0.09	9.41	975.42	466.03	0.00	0.02

Fuente: propia

En la tabla anterior se puede observar los resultados obtenidos de la prueba N° 3 que son relativamente buenos en relación a las demás pruebas donde la obtención de potasio es relativamente buena en el que se ve el incremento de concentración del ion potasio que es de 287.37 a 975.42 (g/kg) también se observa que el colector en la cantidad que se llegó a usar hizo un buen trabajo ya que se observa y verifica que sodio fue deprimido en su gran parte también hay disminución de magnesio litio sulfatos y boro asumiendo que los mismos se transfieren a la fase líquida (colas).

Tabla 3.2.- Resultado de análisis químico de concentración promedio de iones potasio presentes en la fase sólida

Pruebas	A (%) sólidos)	C (Tamaño de grano)	D (Dosif. del colector)	E (Veloc.de agitación)	F (Tiempo de acond.)	Conc. de K ⁺ promedio(g/kg)
Prueba1	35	150	15	1000	5	483.12
Prueba2	35	65	20	600	10	364.80
Prueba3	35	150	15	600	10	603.04
Prueba4	20	65	15	1000	10	465.58
Prueba5	35	65	20	1000	5	478.45
Prueba6	20	150	20	1000	10	583.41
Prueba7	20	150	20	600	5	458.05
Prueba8	20	65	15	600	5	497.31

Fuente: propia

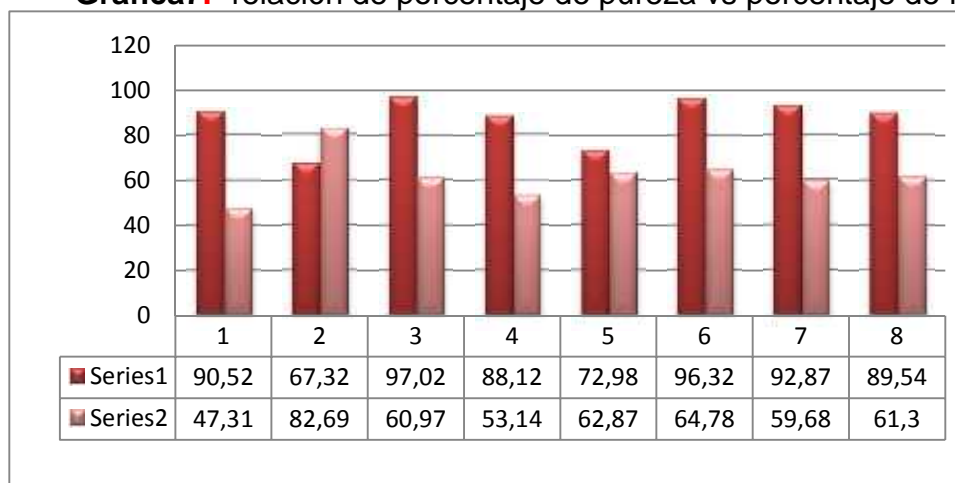
Tabla 3.3.- Resultados del porcentaje de pureza y rendimiento en cada una de las siguientes pruebas

Nº	pruebas	% de pureza del KCl	% de rendimiento
1	Prueba 1	90.52	47.31
2	Prueba 2	67.32	82.69
3	Prueba 3	97.02	60.97
4	Prueba 4	88.12	53.14
5	Prueba 5	72.98	62.87
6	Prueba 6	96.32	64.78
7	Prueba 7	92.87	59.68
8	Prueba 8	89.54	61.30

Fuente: propia

A través de esta tabla se puede ver el análisis estadístico realizado y considerado cada una variables establecidas se puede observar que en la prueba N° 3 es la mas optima con un porcentaje de pureza del 97.02 y con un rendimiento alcanzado de 60.97 así considerando una de las mejores pruebas con respecto a las demás sin embargo también se puede observar que la prueba N° 6 se tiene un buen porcentaje de pureza y un buen rendimiento.

Grafica7.- relación de porcentaje de pureza vs porcentaje de rendimiento



Fuente: propia

3.4-Presentación de la variable respuesta en función a los porcentajes de pureza de cloruro de cloruro de potasio:

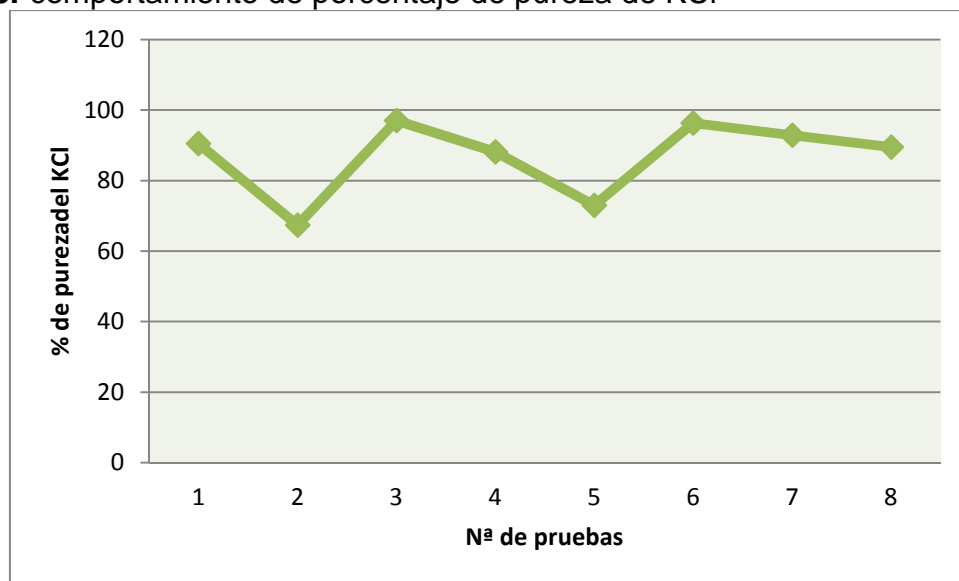
Para hacer el análisis estadístico del trabajo de investigación es muy importante calcular la variable respuesta. Estos datos se obtuvieron de los cálculos estadísticos para determinar los factores que influyen dentro de este trabajo de investigación

Tabla 3.4.- Variable respuesta en función a los porcentajes de pureza

Nº	Variable respuesta
1	90.52
2	67.32
3	97.02
4	88.12
5	72.98
6	96.32
7	92.87
8	89.54

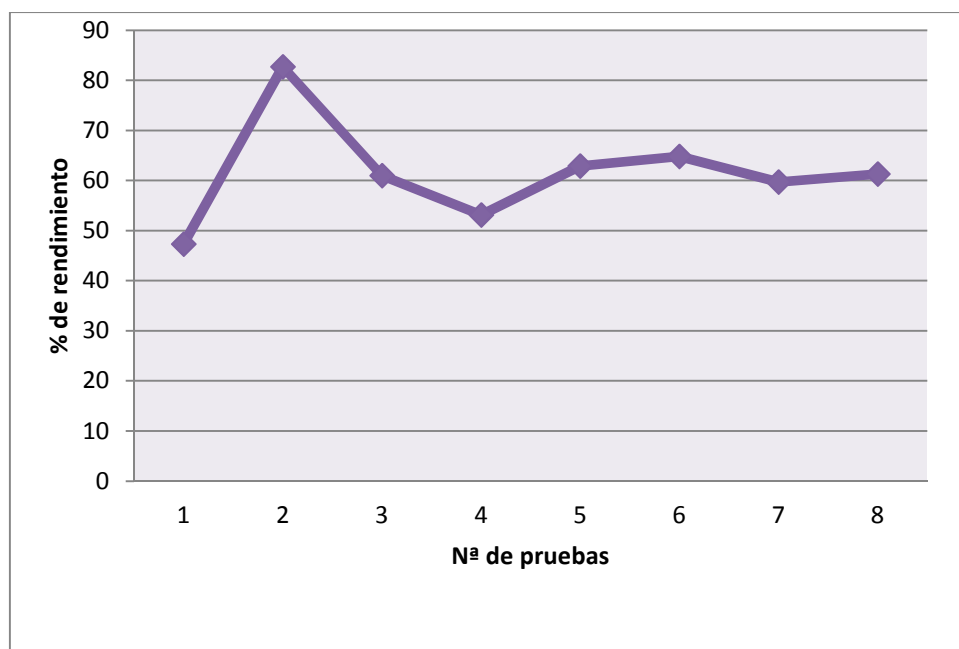
Fuente: propia

Grafica8.-comportamiento de porcentaje de pureza de KCl



Fuente: propia

Grafica9.-comportamiento de rendimiento de KCl



Fuente: propia

3.5.- Análisis de resultados del proceso deflotación del cloruro de potasio:

Cada una de las variables tiene mayor incidencia en la obtención del producto como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 3.5.- Concentración de iones y cationes en los cristales silvinita

Muestra.	Li ⁺ (g/kg)	Mg ⁺² (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ⁻² (g/kg)	B ₄ O ₇ ⁻² (g/kg)
Muestra de silvinita	0.65	55.76	140.37	287.37	422.59	17.25	2.01

Fuente: propia

Tabla 3.6.- Resultado de la condiciones del proceso de flotación del cloruro de potasio según el diseño plackett- burman

Pruebas	A (% sólidos)	C (Tamaño de	D (Dosif. del colector)	E (Veloc.de agitación)	F (Tiempo de	% de pureza del KCl	% de rendimiento
---------	------------------	-----------------	----------------------------	---------------------------	-----------------	---------------------	------------------

		grano)			acond.)		
Prueba1	35	150	15	1000	5	90.52	47.31
Prueba2	35	65	20	600	10	67.32	82.69
Prueba3	35	150	15	600	10	97.02	60.97
Prueba4	20	65	15	1000	10	88.12	53.14
Prueba5	35	65	20	1000	5	72.98	62.87
Prueba6	20	150	20	1000	10	96.32	64.78
Prueba7	20	150	20	600	5	92.87	59.68
Prueba8	20	65	15	600	5	89.54	61.30

Fuente: propia

Según esta tabla se puede observar que los resultados alcanzados en cada una de las pruebas a diferentes condiciones de trabajo, indican que la prueba tres presenta mejores resultados en la flotación del cloruro de potasio tomando en cuenta que la muestra inicial de silvinita tiene una concentración del 24.06% de cloruro de potasio por lo tanto se considera que las pruebas realizadas tienen mayor influencia ya que se trabajó con un % de sólidos el cual es 35 % de sólidos, a una malla de 150 Tyler en tamaño de grano, con una agitación de 600 rpm y con un tiempo de acondicionamiento de 10 min. Esta variables permite alcanzar resultados favorables con una concentración de 97.02% de pureza y un rendimiento del 60.97%.

Conclusiones:

Las conclusiones a las que se llegó en el presente trabajo de investigación después de analizar e interpretar cada uno de los resultados.

Se llegó a obtener cloruro de potación por el método de flotación partiendo así de la salmuera natural donde se tenía un alto contenido de cloruro de sodio con un 85.70(g/L) pero en la primera cristalización, solo se cristalizó cloruro de sodio y así en una segunda ya se pudo cristalizar la silvinita un poco más pura. Así teniendo como punto de partida la sal de silvinita con un contenido de 287.37 (g/kg) de potasio teniendo así un aumento muy significativo en la concentración del ion potasio el cual es 975.42 (g/kg) después de la flotación.

En el análisis físico- químico de los componentes principales en la salmuera se fue verificando en cada una de ellas la recuperación y el porcentaje de pureza que se obtuvo de acuerdo a las variables

Los resultados estadísticos muestran que la prueba "3" es la más óptima en el diseño aplicado para esta investigación, donde presenta un porcentaje de recuperación del 60.97 y un 97.02 de pureza. De acuerdo al análisis estadístico las variables en esta prueba tienen mucha influencia en el proceso de flotación los cuales son los siguientes porcentaje de sólidos es de 35%, la granulometría es de 150 Tyler y la velocidad de agitación es de 600rpm.

La adición del colector que se utilizó en el proceso jugó un papel muy importante ya que contribuye de gran manera a la parte de la química ya que generó con facilidad la separación de los iones sodio y potasio de la muestra de silvinita además cabe resaltar que dicho reactivo tiene la propiedad de volver una hidrofóbica y además trabajar como espumante en dicho proceso.

Los resultados que muestra en el método que se aplicó en esta investigación se puede decir que es ventajoso ya que se tiene una buena recuperación en la obtención de cloruro de potasio, la aplicación del reactivo no es contaminante para

el medio ambiente solo que el costo de dicho reactivo es un poco alto ya que se adquirió el reactivo por que en la carrera de Química no existía el reactivo para hacer las pruebas que se requerían; pero es el único que se usa en dicho proceso ya que no es necesario el uso del espumante o algún estabilizante por que este tiene esas funciones de trabajar como espumante y colector que en anteriores estudios se usaba colectores y espumantes para la obtención del cloruro de potasio.

Recomendaciones:

Profundizar y optimizar dicho trabajo para así obtener mejores resultados ya que para el área de química se requiere un reactivo al 99.9 % de pureza para diversificar su uso

Mejorar en la investigación el porcentaje de recuperación y abarcar un poco más de lo que se logó en este trabajo de investigación.

Realizar investigaciones para encontrar nuevos métodos alternativos para la obtención del cloruro de potasio ya que existen métodos los cuales todavía no se han investigado para la obtención de este producto.

Bibliografía.

ALBIS CONDORI, ABAD. “estudio térmico de la cristalización fraccionada en la salmuera del salar de Uyuni”, tesis de grado para optar el título de Lic. químico Potosí -Bolivia Universidad Autónoma Tomas Frías , 2010.

ALIBABA. “Productos cloruro de potasio KCl – Fertilizantes para la agricultura”, CHINA (2013).

BARONA O. FERNANDO A., “influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotación”, Santiago de Chile 2009.

CAMPOS ARANDA DANIEL FRANCISCO, Proceso del ciclo hidrológico Universidad de San Luis Potosí, San Luis Potosí – México

CAMBI YANA MARCOS, estudio básico de flotación – lixiviación para refinación de la sal común “proyecto de grado ” la paz- Bolivia; 1997

CRUZ ANCE MIGUEL A. separación de sulfato presente en la salmuera del salar de Uyuni Cristalizado en forma de epsomita, tesis de grado para optar el título de licenciado químico, Potosí –Bolivia Universidad Autónoma Tomas Frías, 2012.

DIRECCIÓN DE RECURSOS EVAPORITICOS DE BOLIVIA – COMIBOL.” Proyecto de industrialización integral de la salmuera del salar de Uyuni 2009”

DEAN JOHN A.,” Lange manual de química “tomo IV, 13a edición editorial McGRAW-HILL, 1990.

ESCALERA, S.J. (1984). “Desarrollo de un Nuevo Agente Promotor-Espumante para la flotación.

ESCALERA, S.J. (2014). “Planta de Potasio en Bolivia – ¿Dependencia Tecnológica de Alemania?”, Enero, 2014.

GUARDIOLA J., “ las menas potásicas como materia prima ”, 1982

Flotación de Silvita”. Tesis de Grado inédita, Facultad Nacional de Ingeniería, UTO, Oruro, Bolivia (1984).

FRANCOIS. RISACHER, estudio económico del salar de 1989uyuni

RISACHER F, BALLIVIAN O, “Los salares del altiplano boliviano, métodos de estudio y estimación económica”, Orstom en Bolivia ,1981.

Salager Jean-Louis y Ana Forgiarini” Fundamentos de flotación”, laboratorio FIRP, ingeniería química, universidad de los Andes, Merida Venezuela, 2007.

SQM, (2013). “Nueva Planta de Secado y Compactado de KCl en SQM de Chile”.

SUTULOV ALEXANDER, instituto de investigación tecnológica concepción, flotación de minerales ,1998.

URQUIDI, F. “Proyecto del Salar de Uyuni”, Academia Nacional de Ciencias deBolivia, Informe Final, Septiembre 1984.

VOIGHT, W., (2012). “Universidades Avanzan en Proyecto de Industrializar Litio y el Salarde Uyuni”.

Paginas de internet:

<http://spanish.alibaba.com/productgs/potassium-chloride-kcl-agriculture-1222387045.html>. Acceso marzo 16, 2018.

http://www.eldiario.net/noticias/2014/2014_02/nt140204/opinion.php?n=28&-planta-de-potasio-en-bolivia-dependencia-tecnologica-de-alemania, acceso marzo17, 2018.

ttp://seia.sea.gob.cl/archivos/Capitulos_1_al_3.pdf acceso marzo 22, 2018.