

BIBLIOTECA  C. QUIMICAS

*Universidad Iberoamericana*

INCORPORADA A LA U. N. A. M.  
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**RECUPERACION DE CARBONATO DE SODIO DE  
LAS SALINAS DE LA BAHIA DE ADAIR, SONORA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE  
QUIMICO**

**EDUARDO LEYVA CORONA**

1964



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA**

**Incorporada a la U. N. A. M.**

**ESCUELA DE QUIMICA**

**RECUPERACION DE CARBONATO DE SODIO DE LAS  
SALINAS DE LA BAHIA DE ADAIR, SONORA**

**TESIS**

**que para obtener el título de**

**QUIMICO**

**presenta**

**EDUARDO LEYVA CORONA**

**México, D. F.**

**1964**

Deseo expresar mi reconocimiento a la Dirección Técnica y Supervisores del Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A.C., y especialmente a la Sección de Química Mineral y Metalúrgica, por la asistencia y facilidades que me fueron brindadas para la realización de esta Tesis.

**A mis padres y hermana**

**A mis abuelos**

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

#### I. - FENOMENO DE LA CRISTALIZACION

- a) Cristalización
- b) Soluciones y solubilidad
- c) Equilibrio de las fases

#### II. - MATERIAL Y METODOS

- a) Caracterización de la muestra

#### III. - PARTE EXPERIMENTAL

- a) Obtención de licores de sales de sodio
- b) Cristalización

#### IV. - RESULTADOS Y DISCUSION

#### V. - CONCLUSIONES

#### BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

El establecimiento de la industria nacional para la producción de álcalis, se inició en la década de los años de 1940 a 1950 (17). El desarrollo alcanzado a la fecha es notable y las tendencias que se observan son halagadoras lo que permite suponer un mayor desenvolvimiento para el futuro.

Los compuestos de sodio que tienen mayor importancia están constituidos por la sosa cáustica, el carbonato, el bicarbonato, el sulfato y el borato de sodio. La sosa cáustica, el bicarbonato de sodio y parte de la producción del carbonato de sodio se obtienen por diversos procedimientos químicos, las demás sales y la restante de carbonato se recuperan en su mayor parte de depósitos lacustres de las sales mencionadas. El carbonato de sodio constituye una de las materias primas básicas, de importancia vital en la producción de gran número de compuestos a base de sodio, utilizándose principalmente por las industrias del vidrio, jabonería, reactivos químicos, limpiadores, pulpa y papel, etc.

Para tener una idea acerca de la importancia que para nuestro país representa la industria de los álcalis, en la tablas 1 y 2 se han recopilado los datos sobre el consumo, producción e importación de tales productos.



**TABLA 1****PRODUCCION, IMPORTACION Y CONSUMO DE  
CARBONATO DE SODIO EN MEXICO (17).**

Toneladas anuales

<b>AÑO</b>	<b>Producción</b>	<b>Importación</b>	<b>Consumo Total</b>
1955	24 500	73 000	97 500
1956	31 000	84 000	115 000
1957	41 000	57 000	98 000
1958	46 800	61 700	108 500
1959	58 800	64 600	123 400
1960	70 000	75 200	145 200
1961	80 000	76 800	156 800
1962	90 000	86 150	176 150
1963	**	99 500	**

\*\* Datos no disponibles a la fecha de la revisión bibliográfica.

TABLA 2

PRODUCCION, IMPORTACION Y CONSUMO DE SOSA  
CAUSTICA EN MEXICO (17)

Toneladas Anuales

Año	Producción NaOH 100%	Importación	Consumo Total
1955	22 909	30 496	53 405
1956	25 589	34 538	60 127
1957	33 461	37 493	70 954
1958	39 461	36 908	73 369
1959	51 975	42 906	94 881
1960	65 888	30 000	95 888
1961	72 007	21 306	93 313
1962	**	19 328	**
1963	**	14 196	**

\*\* Datos no disponibles a la fecha de la revisión bibliográfica.

Los valores de importación del carbonato de sodio en constante ascenso, muestran la necesidad de incrementar la producción interna.

Entre las principales compañías nacionales productoras de álcalis se encuentra: Sosa Mexco, S.A. que elabora carbonato de sodio a partir de una salmuestra que contiene esa sal, así como cloruro de sodio y cantidades pequeñas de otras sales como cloruro de po

tasio, bicarbonato de sodio, boratos alcalinos, etc. (17). La capacidad de instalación de la planta es de 90 000 toneladas anuales de carbonato de sodio y 40 000 toneladas anuales de sosa cáustica.

Otras compañías recientemente instaladas o en vías de instalación son: Alkali, S.A. en Monterrey, Nuevo León, con capacidad de 90 000 toneladas anuales de carbonato de sodio y Sales y Alcalis, S.A. en Pajaritos, Veracruz con capacidad de 180 000 toneladas anuales de carbonato de sodio y 30 000 toneladas anuales de sosa cáustica (17).

En la bahía de Adair, Municipio de Puerto Peñasco, Estado de Sonora, se localizan cinco lagunas que presentan una costra sólida en la superficie, originada por la evaporación natural de las aguas salinas que constituyen estas lagunas, sobre todo a base de carbonato de sodio. Las más importantes se conocen con los nombres de Laguna de Santa Elena y Laguna de Santa Catalina.

Considerando la importancia que tiene el estudio de tecnologías sobre la recuperación del carbonato de sodio, el Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A.C., decidió estudiar mediante este trabajo de tesis las salinas que se localizan en el municipio de Puerto Peñasco, Estado de Sonora.

## II. - MATERIAL Y METODOS

Con objeto de alcanzar las metas mencionadas en la parte introductora de este trabajo, se hizo necesario efectuar un estudio bibliográfico que proporcionara la mayor información posible en relación con la recuperación de sales de sodio de las salinas que se localizan en las lagunas de Santa Catalina y de Santa Elena y planear el trabajo experimental más conveniente.

#### A. CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

La costra salina recibida para desarrollar la parte experimental procede de un pozo abierto en un lugar previamente seleccionado en la Laguna de Santa Catalina. La muestra tenía un peso de 60 kg. su humedad era de 30%; la que impartía a la muestra el aspecto de un lodo pastoso. Este material una vez seco puede considerársele como un aglomerado arcilloso de color café claro rojizo, en el que destacan cristales prismáticos de diferentes tamaños y de color claro. El material seco se disgrega fácilmente en agua requiriendo a los sumo una agitación suave.

La muestra libre de humedad se homogeneizó por trituración inicial en una quebradora de quijadas seguida de molienda en un molino de rodillos, obteniendo un producto que pasó totalmente por la criba Tyler No. 4, (abertura 4.7 mm), constituyendo así la muestra ge

neral de la que se tomaron porciones representativas para efectuar los trabajos que incluyeron:

### 1. - Análisis químico

Una fracción representativa de la muestra general, con un peso de 500 gramos, se molió a pasar la criba U.S. No. 200, (abertura 0.074 mm), y de ésta, se tomaron las porciones requeridas para efectuar el análisis químico.

El resto del material se guardó en previsión para trabajos analíticos que pudieran requerirse más adelante.

Se confirmó la presencia de carbonato y bicarbonato de sodio y trazas de calcio, magnesio y hierro. Los análisis de carbonato y bicarbonato de sodio se realizaron mediante el método de Warder (9).

La determinación de cloruros se llevó a cabo por titulación de la muestra con solución valorada de nitrato de plata en presencia de cromato de potasio como indicador (9).

El método usado para la determinación de sulfatos es el método gravimétrico; consiste en precipitar el ión sulfato como su sal de bario en presencia de ácido clorhídrico, al añadir cloruro de bario a la solución en caliente (9).

Los análisis de calcio y de magnesio se realizaron empleando versenato de sodio y eriocromo negro F como indicador, determinando de esta manera el conte-

nido de ambos elementos: y con versenato de sodio y eriocromo azul negro R (calcón) como indicador para valorar exclusivamente el calcio.

La determinación del hierro presente en la materia prima se efectuó colorimétricamente, añadiendo tiocianato de amonio a la solución de hierro a formar una coloración roja cuyo valor de transmitancia se determinó a una longitud de onda de 533 m $\mu$ , valor que se comparó con el correspondiente en una curva tipo obtenida al comparar los valores de transmitancia de una serie de diluciones tomadas de una solución cuya concentración en hierro se conoce. La tabla 3 ilustra los resultados del análisis químico efectuado.

## 2.- Análisis térmico diferencial

El análisis térmico diferencial es un método analítico que pone de manifiesto por una parte, las temperaturas a las cuales tiene lugar la descomposición por rompimiento de la estructura cristalina de los compuestos que se someten al análisis térmico y por otra, las temperaturas de formación de nuevos compuestos. Estos fenómenos se manifiestan por las reacciones endotérmicas que se observan en los termogramas correspondientes como una curva hacia abajo del eje de las abscisas que corta al de las ordenadas en cero y hacia arriba del de las abscisas las exotérmicas.

El análisis se efectuó en un equipo que consta en sus partes esenciales, de un horno y un portamuestras susceptible de calentarse con resistencias provisto de tres alveólos, uno de ellos recibe un termopar cromel-alumel para medición de temperatura, otro contiene un material inerte y el tercero recibe el material pro-

TABLA 3

ANALISIS QUIMICO DE LA MATERIA PRIMA  
 PROCEDENTE DE LA LAGUNA DE SANTA ELENA,  
 ADAIR, SON.

Base Seca

Determinaciones	Por ciento
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	27.0
$\text{NaHCO}_3$	23.1
$\text{NaCl}$	0.44
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.42
$\text{CaO}$	0.18
$\text{MgO}$	0.04
Insoluble en agua	46.1



**blema.** Dos termopares en serie constituyen el elemento vital de la técnica del análisis térmico uno de los termopares se inserta en el material inerte, alúmina calcinada, la que no sufre reacciones exotérmicas ni endotérmicas a través del intervalo en que se trabaja. El otro termopar se sitúa en el mineral o en la mezcla de minerales por analizar. Al tener lugar un calentamiento constante y uniforme, cuando ocurre una reacción térmica en el problema ésta se manifiesta como una desviación de la línea recta en la gráfica de temperatura mostrando la diferencia de temperaturas existentes entre el material inerte y el material problema. Dos galvanómetros integran el equipo de medición, uno para conocer la temperatura a que se someten las muestras dentro del horno y otro para registrar la fuerza electromotriz que se genera en el termopar de doble terminal.

La técnica seguida para efectuar el análisis corresponde a la sugerida por Berkel Hamer (1). La figura 1 ilustra los termogramas obtenidos al someter al análisis térmico diferencial el material en estudio.

El primer termograma corresponde a la costra salina procedente de la Laguna de Santa Catalina; en él se observan dos reacciones endotérmicas que tienen sus picos máximos a las temperaturas de  $180^{\circ}$  y  $640^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, y una reacción exotérmica que se inicia a la temperatura de  $920^{\circ}$  con un máximo a los  $980^{\circ}\text{C}$ . La superficie limitada por la primera reacción endotérmica que se inicia a los  $60^{\circ}$  y termina a los  $240^{\circ}\text{C}$ , corresponde a la pérdida de humedad o agua adherente retenida entre las capas interplanares de la arcilla. La segunda reacción endotérmica que se inicia a los  $600^{\circ}\text{C}$  y termina a los  $680^{\circ}\text{C}$ , y la reacción exotérmica que se observa a los  $900^{\circ}$  con un máximo a  $980^{\circ}\text{C}$ , aparentemente sugieren la presencia de caolinita; sin embargo,

al observar el tercer termograma obtenido sobre el material arcilloso libre de cristales no aparece la reacción térmica característica de la caolinita, por lo que su presencia es dudosa.

El segundo termograma se obtuvo al someter al análisis térmico diferencial a los cristales contenidos en la costra salina libres de material arcilloso. La curva térmica presenta dos reacciones endotérmicas. La primera que se inicia a la temperatura de  $30^{\circ}$  y termina aproximadamente a la temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$  y la segunda comprendida entre las temperaturas de  $800^{\circ}$  y  $1000^{\circ}\text{C}$ .

La reacción endotérmica que se registra a baja temperatura probablemente corresponde a la pérdida de agua de cristalización del mineral de sodio. La segunda reacción que se inicia a los  $800^{\circ}\text{C}$  corresponde a la temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$ , la que corresponde a la pérdida de bióxido de carbono del bicarbonato presente, reacción que se desarrolla a los  $600^{\circ}\text{C}$ , hasta la fusión del carbonato de sodio.

El tercer termograma obtenido al someter la arcilla libre de sales de sodio al análisis térmico diferencial, muestra la curva térmica que identifica a las arcillas del grupo de la montmorillonita, destacando la reacción endotérmica que tiene lugar a las temperaturas comprendidas entre  $60^{\circ}$  y  $300^{\circ}\text{C}$ , la que corresponde a la pérdida del agua existente entre las capas planares. La segunda reacción endotérmica que se observa bastante atenuada a las temperaturas comprendidas entre  $580^{\circ}$  y  $600^{\circ}\text{C}$  corresponde a la pérdida de agua existente entre los espacios latícos.

Milivolts

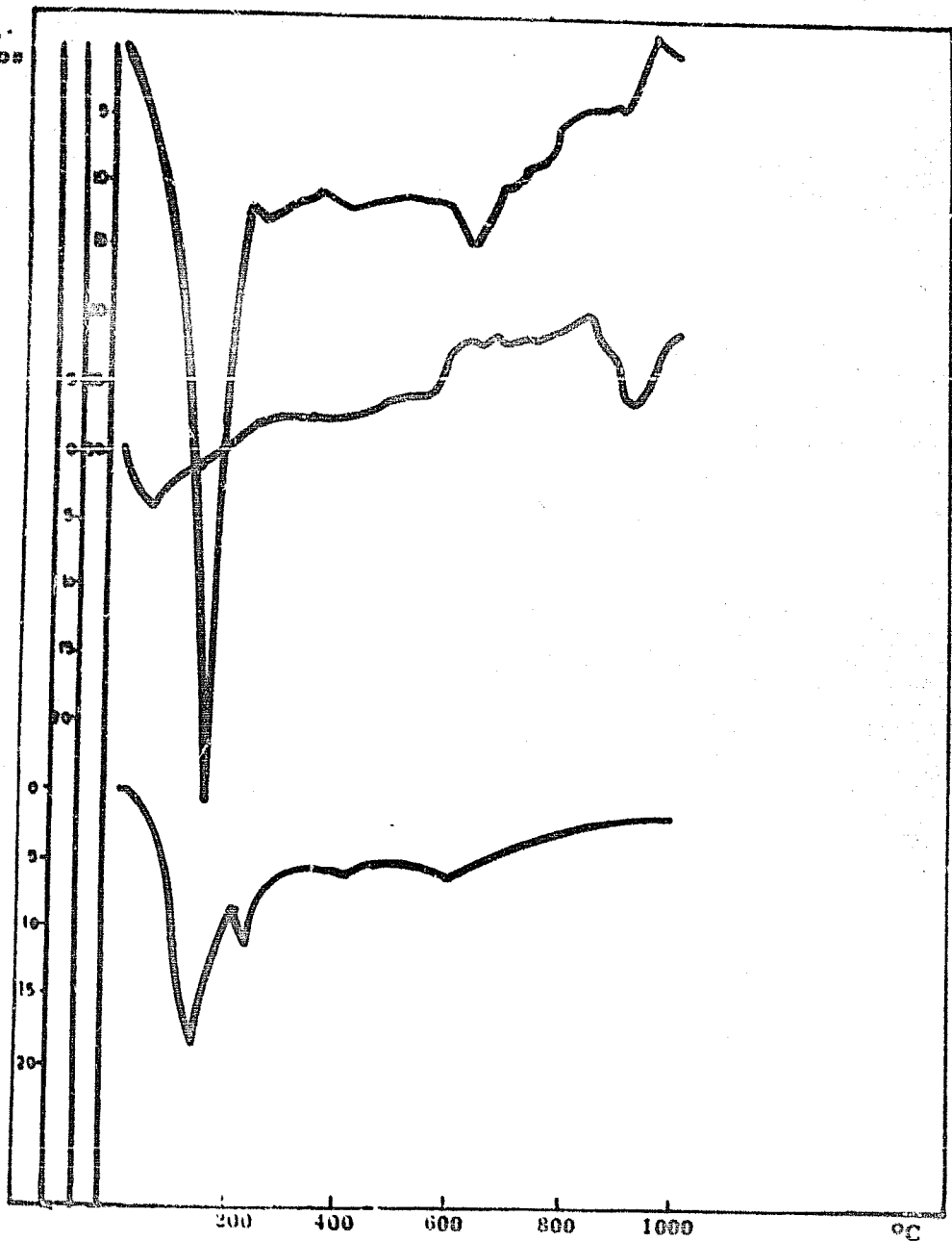


Fig. 1. - Análisis térmico diferencial

### III. - PARTE EXPERIMENTAL

La planeación de la parte experimental se elaboró, tomando como base los datos aportados por la bibliografía específica en relación con las principales plantas que recuperan carbonato de sodio a partir de minerales semejantes, como son la Intermountain Chem. Corp., en Westvaco, Wyo. (16), y la American Potash & Chem. Corp. en Irona Calif., Estados Unidos de Norteamérica (7). La misma bibliografía presenta diferentes procesos a seguir de acuerdo con la sal de sodio que se desee producir: sesquicarbonato de sodio, carbonato de sodio anhidro, carbonato de sodio monohidratado y mezclas de bicarbonato de sodio y carbonato de sodio.

Para lograr separar por cristalización el carbonato de sodio y el bicarbonato de sodio presentes en la costra salina mencionada, y posteriormente obtener por calcinación el carbonato de sodio anhidro, se consideró la alternativa comúnmente empleada para la recuperación de las sales de sodio, la que incluye las siguientes operaciones: lixiviación, clarificación, filtración, cristalización y calcinación.

Materia Prima	Lixiviación a 92°C	Clarificación y filtración	Cristalización
—	—	—	—

— Calcinación

## A. OBTENCION DE LICORES DE SALES DE SODIO

Las operaciones que intervienen en la obtención de licores de sales de sodio son las siguientes: trituración, molienda, lixiviación, clarificación y filtración.

### a) Trituración y molienda

El estudio de la preparación mecánica de la materia prima es importante, ya que de ella depende lograr la solubilidad de las sales alcalinas de la manera más conveniente, puesto que el manejo de trozos de tamaños diferentes, incluyendo agregados y aún partículas finas, ejercerá su influencia sobre el tiempo de lixiviación y sobre las operaciones posteriores de clarificación y filtración. Las pruebas experimentales de trituración y molienda efectuadas tuvieron por objeto conocer la influencia que tiene la molienda y el tamaño de las partículas resultantes sobre la filtración. Con este motivo se efectuaron tres pruebas de filtración utilizando como material experimental, primero, la costra salina triturada en molino de quijadas hasta obtener un tamaño de partículas de 4.8 mm Tamiz U.S. Bureau of Standards # 4. Segundo, molienda A o material molido en tarros de porcelana cargado con bolas del mismo material a pasar la criba U.S. No. 8 y tercero molienda B o material molido en recipientes de porcelana con bolas de hierro, a pasar la malla U.S. No. 16. Los resultados se pueden observar en la tabla No. 5.

### b) Lixiviación

La lixiviación es un proceso mediante el cual se logra una separación diferencial o selectiva por disolución

ción de un compuesto. Esta operación está ligada a los factores temperatura y tiempo.

Los trabajos experimentales efectuados por diversos investigadores han aportado gran número de datos en relación con la solubilidad del carbonato de sodio a diferentes temperaturas y la fase sólida que se obtiene (13). La tabla 6 ilustra la solubilidad del carbonato de sodio a diferentes temperaturas y la fase sólida correspondiente. Las tablas 7 y 8 indican la solubilidad del bicarbonato de sodio en agua a diferentes temperaturas y el equilibrio en el sistema carbonato de sodio-bicarbonato de sodio-agua, respectivamente. En las figuras 2 y 3 se observa la solubilidad a dos diferentes temperaturas del sistema carbonato de sodio-agua, diagramas triangulares obtenidos con los datos de la tabla 8. La curva de saturación de la figura 1 ha quedado incompleta por falta de datos en la bibliografía citada.

Con objeto de conocer la influencia de la temperatura en la recuperación de las sales de sodio contenidas en la costra arcillosa, se realizaron una serie de pruebas bajo las siguientes condiciones experimentales: 100 g. de muestra original; tiempo de lixiviación, 60 minutos; relación sólido líquido 1:2. Los resultados aparecen en la tabla 9.

Para conocer la influencia que tiene el tiempo de lixiviación sobre la solubilidad de las sales alcalinas contenidas en el material en proceso de estudio, se efectuaron cuatro pruebas de lixiviación bajo las siguientes condiciones: tiempos de lixiviación comprendidos entre 10 y 40 minutos; la relación sólido-líquido se fijó como 1:2 usando 100 g de muestra original temperatura de

TABLA 5

INFLUENCIA DEL GRADO DE MOLIENDA EN LA SOLUBILIDAD DE LAS SALES DE SODIO CONTENIDAS EN LA MATERIA PRIMA.

Tipo de Molienda	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> g. obtenidos	NaHCO <sub>3</sub> g. obtenidos	Densidad	Tiempo en filtrar minutos
Material Triturado	30.60	14.83	1.18	18
Molienda A	30.82	14.10	1.18	13
Molienda B	31.23	14.59	1.18	6

Notas: Relación original sólido-líquido 1:2.  
Temperatura de lixiviación, 92°C.  
Tiempo de lixiviación, 60 minutos.



TABLA 6

## SOLUBILIDAD DEL CARBONATO DE SODIO EN AGUA

Temperatura °C	Gramos de carbonato de sodio en 100 g de agua	Fase sólida
0	7	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
5	9.5	"
10	12.5	"
15	16.4	"
20		"
27.04	34.20	"
29.33	37.40	"
30.00	40.12	"
31.00	43.28	"
42.00	43.66	"
32.15	-	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
33.10	-	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
30.35	43.10	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
32.06	46.38	"
34.76	48.98	"
35.62	50.08	"
33.50	50.33	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
29.86	50.31	"
31.80	40.63	"
35.17	49.36	"
36.45	49.11	"
37.01	48.51	"
41.04	47.98	"
43.04	46.40	"
60	45.80	"
80	45.30	"
100	45.50	"
105	45.20	"

**TABLA 7**  
**SOLUBILIDAD DEL BICARBONATO DE SODIO**  
**EN AGUA \*(13)**

Temperatura °C	Gramos de bicarbonato de sodio en:	
	100 g de agua	100 g de solución saturada
0	6.9	6.5
10	8.15	7.5
20	9.6	8.8
25	10.35	9.4
30	11.1	10
40	12.7	11.3
50	14.45	12.6
60	16.4	13.8

TABLA 6

EQUILIBRIO EN EL SISTEMA CARBONATO DE SODIO-BICARBONATO  
DE SODIO - AGUA \*(13)

Temp. 21.00°C		Temp. 25°C		Temp. 30°C	
g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	g NaHCO <sub>3</sub>	g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	g NaHCO <sub>3</sub>	g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	g NaHCO <sub>3</sub>
100 g H <sub>2</sub> O	100 g H <sub>2</sub> O	100 g H <sub>2</sub> O	100 g H <sub>2</sub> O	100 g H <sub>2</sub> O	100 g H <sub>2</sub> O
22.65	0.00	23.24	0.00	32.16	0.00
22.30	0.02	23.09	0.49	31.92	0.48
22.22	1.09	27.52	2.40	23.79	2.40
22.15	1.59	24.39	6.29	19.97	6.28
22.10	2.09	23.39	1.79	14.90	9.20
20.00	2.49	21.09	2.65	10.04	6.27
19.31	3.19	19.64	3.01	4.78	9.83
19.00	3.57	17.52	4.45	1.09	11.68
17.55	4.00	11.24	5.60	0.00	12.40
13.61	4.00	0.06	7.30		
10.89	5.50	0.25	9.71		
0.11	6.13	0.00	9.80		
0.21	2.10				
0.11	0.20				
0.50	0.00				

Nota. - Gramos en 100 gramos de agua.

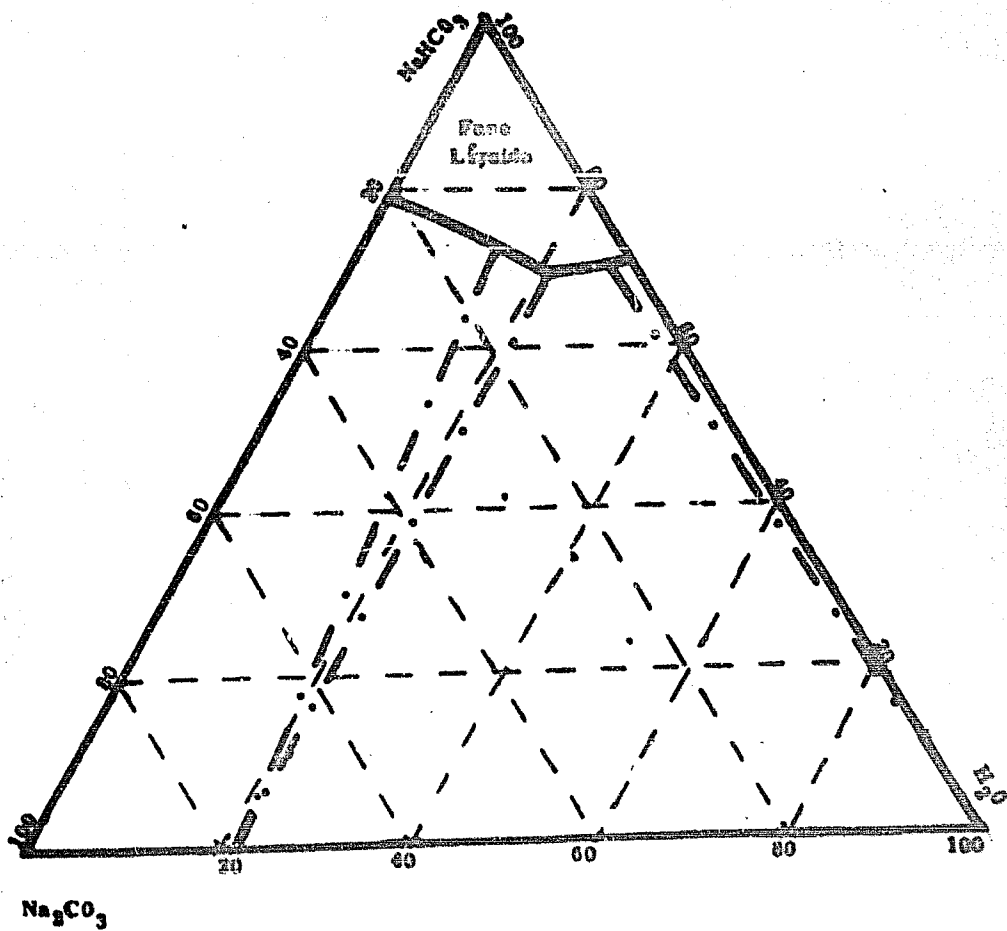


Fig. 3. - Equilibrio en el sistema carbonato de sodio-bicarbonato de sodio-agua a  $100^\circ\text{C}$

Concentración g.  
de sal por 100 g.  
de agua

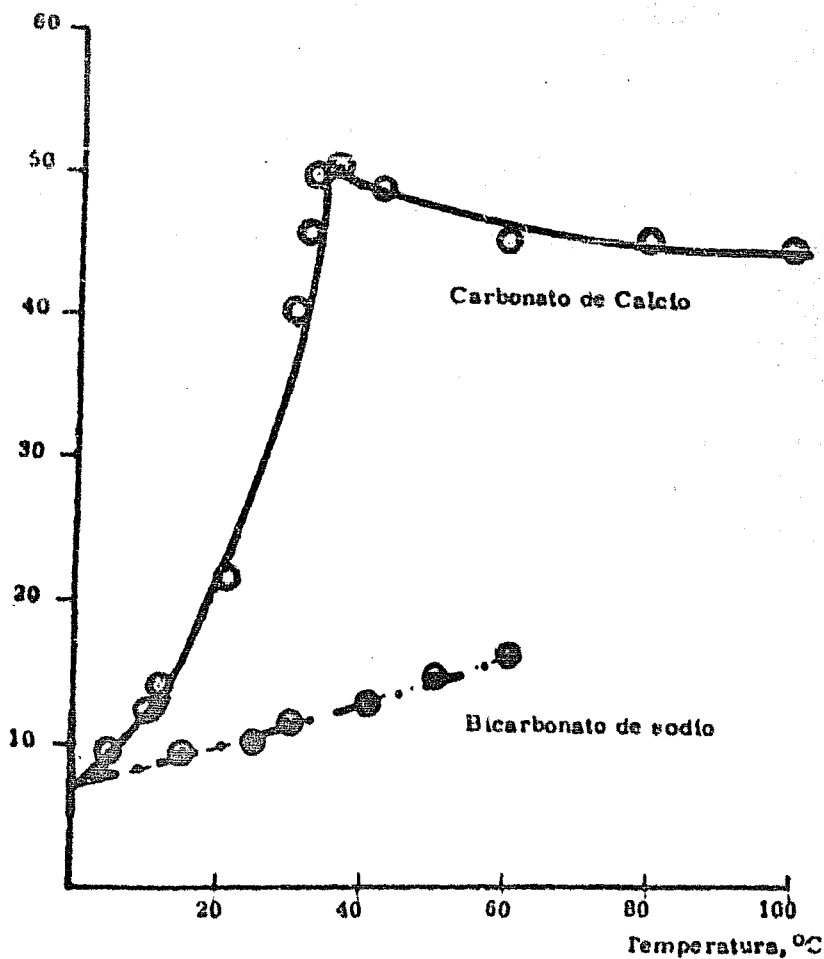


Fig. 4.- Solubilidad del carbonato y del bicarbonato de sodio en agua

**TABLA 9**

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE LIXIVIACION  
EN LA SOLUBILIZACION DE LAS SALES DE SODIO  
CONTENIDAS EN LA MATERIA PRIMA**

Temperatura °C	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$
	g. obtenidos	
20	27.1	23.0
30	27.4	21.2
40	27.4	20.8
50	27.9	19.5
60	28.4	17.6
70	29.3	16.2
80	31.3	13.4

Notas: Relación original sólido-líquido 1:2  
Tiempo de lixiviación, 60 minutos  
Densidad 1.18 g./ml.

lixiviación, la de 94°C, ya que ésta se obtuvo la mayor recuperación de carbonato de sodio. En la tabla 10 se anotan los valores de carbonato de sodio y bicarbonato de sodio recuperado, así como la densidad de los licores obtenidos.

Con objeto de conocer la influencia que tiene la temperatura de lixiviación sobre los contenidos de hierro, calcio y magnesio en el licor obtenidos, se efectuaron dos pruebas de lixiviación y filtración a las temperaturas extremas de 20° y 94°C, realizando las determinaciones analíticas correspondientes a los elementos mencionados. La observación de la tabla 11 muestra que la lixiviación de la materia prima a la temperatura de ebullición (94°C) por cinco minutos seguido de filtración favoreció la eliminación del hierro presente en los licores por lo que éstos se utilizaron para las pruebas de cristalización. Las pruebas de lixiviación efectuadas a temperaturas inferiores a la de ebullición denotaron para todos los casos presencia de hierro, el que no se eliminó ni por el empleo de diferentes técnicas de filtración.

## B. PRUEBAS DE CRISTALIZACIÓN

Para lograr la cristalización de las sales de sodio, es indispensable llegar a un estado de sobresaturación en el sistema. Tal estado puede alcanzarse en tre otras formas, por evaporación de cierta cantidad de disolvente, por enfriamiento, hasta llegar a un punto de la curva de solubilidad donde el equilibrio entre el soluto y el disolvente ya se sobrepasó en favor del primero. El equilibrio a diferentes temperaturas está dado por las curvas de solubilidad. Las correspondientes a los componentes involucrados en el presente trabajo,

El resto de los cristales carbonosos de sodio bicromato  
se separa y se muestra en las tablas 1, 7 y 8.

A partir del líquido residual, se realizaron 14  
pruebas de cristalización por enfriamiento a las tempera-  
turas de 150°, 175°, 200° y 225°C. Estas pruebas se efectuaron en  
un líquido de ebullición constante, controlado por un termostato  
de precisión de 0.1°C. El líquido de ebullición se calentó a la  
temperatura de ebullición deseada y se mantuvo a esa temperatura  
durante un tiempo suficiente para asegurar que el líquido de  
ebullición estuviera en equilibrio térmico con el líquido de  
cristalización. El líquido de cristalización se calentó a la  
temperatura de cristalización deseada y se mantuvo a esa  
temperatura durante un tiempo suficiente para asegurar que el  
líquido de cristalización estuviera en equilibrio térmico con el  
líquido de ebullición. El líquido de cristalización se enfrió  
rápidamente a la temperatura de cristalización deseada y se  
mantuvo a esa temperatura durante un tiempo suficiente para  
asegurar que el líquido de cristalización estuviera en equilibrio  
térmico con el líquido de ebullición. El líquido de cristalización  
se enfrió lentamente a la temperatura de cristalización deseada  
y se mantuvo a esa temperatura durante un tiempo suficiente para  
asegurar que el líquido de cristalización estuviera en equilibrio  
térmico con el líquido de ebullición. El líquido de cristalización  
se enfrió lentamente a la temperatura de cristalización deseada  
y se mantuvo a esa temperatura durante un tiempo suficiente para  
asegurar que el líquido de cristalización estuviera en equilibrio  
térmico con el líquido de ebullición.

#### a) Pruebas de Calcinación

Con objeto de obtener carbonosos de sodio anhidro  
a partir de los cristales obtenidos en la prueba No. 14,  
se efectuaron cuatro pruebas de calcinación a las tempera-  
turas de 150°, 175°, 200° y 225°C realizando los análisis  
correspondientes para determinar la composición  
de los productos. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos.



**TABLA 10**

**INFLUENCIA DEL TIEMPO DE LIXIVIACION EN LA  
SOLUBILIZACION DE LAS SALES DE SODIO  
CONTENIDAS EN LA MATERIA PRIMA**

Tiempo de lixiviación	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$
	g. obtenidos	
10	31.6	13.2
20	31.4	13.3
30	31.8	13.6
40	31.6	13.4

**Notas:** Relación original sólido-líquido 1:2.  
Temperatura de lixiviación, 94°C  
Densidad 1.18 g./ml.

TABLA 11

EMPRESA EN LA TOMADA DE MUESTRA: LAS CONCENTRACIONES DE CARBONATO DE SODIO, BICARBONATO DE SODIO, SODIO, CALCIO Y MAGNESIO DETERMINADOS EN LOS LICORES DE LEVIFICACION

Temperatura °C	Volumen de licor recuperado ml.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Ca++	Mg++	Fe+++	Densidad g/ml.
				p. obtenidas			
20	191	24.9	23.0	0.16	0.04	0.4	1.10
64	190	31.9	14.2	0.14	0.01	-	1.10

Notas: Pruebas efectuadas sobre 100 g. de muestra original

Relación sólido-líquido, 1:3.

El tiempo de levificación para ambas pruebas fue de cinco minutos.

TABLA 12

EFECTOS DE LA TEMPERATURA DE SECADO EFECTIVAS SOBRE LAS CIONES  
DE LAS CIONES DE LAS CIONES DE LAS CIONES DE LAS CIONES DE LAS CIONES

Temperatura de secado (°C)	Temperatura de cristalización (°C)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Fe++	Sig++	Fe++	Fe++	Fe++	Fe++	Fe++	Fe++
	temperatura original	-	-	-	-	-	120.00	59.20	0.05	0.01	0.0
	Peso de saturación	67.70	29.19	0.05	0.01	0.0	127.1	65.20	0.05	0.01	0.0
1	5	65.2	29.4	0.05	0.01	0.0	125.7	62.7	0.05	0.01	0.0
2	10	63.4	29.1	0.06	0.01	0.0	122.0	60.0	0.05	0.01	0.0
3	15	60.3	28.1	0.04	0.01	0.0	120.4	58.4	0.05	0.01	0.0
4	20	60.5	28.0	0.04	0.01	0.0	120.4	58.5	0.05	0.01	0.0
5	25	70.0	29.0	0.04	0.01	0.0	122.0	63.0	0.05	0.01	0.0
6	30	70.2	28.0	0.04	0.01	0.0	122.0	62.5	0.05	0.01	0.0

Nota: Composición del licor original: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 31.0%; NaHCO<sub>3</sub>, 16.2%.  
La determinación del hierro tanto en la fase sólida como en la líquida, proporcionó resultados negativos.

TABLA 11

EFECTOS DE LA CRISTALIZACIÓN A LA TEMPERATURA DE 100° C. EFECTUADOS EN UN LÍQUIDO  
 RESULTANTES DE LA FUSIÓN DE LA MIXTURA DE CALIENTE.

Muestra		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	CaO	H <sub>2</sub> O	Fe	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	CaO	H <sub>2</sub> O	Fe
	Muestra original	-	-	-	-	-	125.00	10.00	0.01	0.01	0.0
	Muestra de cristalización	60.1	29.3	0.00	0.01	0.0	125.0	10.4	0.01	0.01	0.0
10	6	60.2	29.2	0.04	0.01	0.0	125.0	10.6	0.01	0.01	0.0
10	10	60.0	29.0	0.04	0.01	0.0	127.0	10.1	0.01	0.01	0.0
10	15	60.0	29.0	0.03	0.01	0.0	125.0	10.0	0.01	0.01	0.0
10	20	61.0	27.0	0.03	0.01	0.0	120.0	10.0	0.01	0.01	0.0
10	25	61.1	27.5	0.03	0.01	0.0	125.0	10.0	0.01	0.01	0.0
10	30	61.0	27.3	0.03	0.01	0.0	125.0	10.0	0.01	0.01	0.0

Nota: Composición del licor original: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 31.6%; NaHCO<sub>3</sub>, 14.3%.  
 La cristalización del licor tanto en la fase sólida como en la líquida proporcionó resultados negativos.

TABLA 14

PRUEBAS DE CALCINACION A CUATRO  
TEMPERATURAS A PARTIR DE LOS PRODUCTOS DE  
CALCINACION

Prueba No.	Temperatura °C	Producto Calcinado, %			
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
1	250	92.2	7.8	0.05	0.007
2	275	96.3	5.1	0.05	0.010
3	300	98.6	-	0.05	0.010
4	325	99.1	-	0.04	0.010

Nota: Tiempo de calcinación. 30 minutos.

#### IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

El estudio de caracterización efectuado en una muestra de la costra arcillosa procedente de la Laguna de Santa Elena, Bahía de Adair, Sonora mostró que está constituida por arcilla de la variedad montmorillonita, asociada con sales alcalinas que se identificaron como carbonato de sodio y bicarbonato de sodio principalmente.

Los diferentes tamaños de partículas que se obtuvieron durante las pruebas de molienda ejercen su influencia de manera directa sobre los tiempos de filtración, observándose que a mayor grado de molienda los tiempos de filtración son menores. El corto número de pruebas de lixiviación efectuadas no permitió fijar, como en el caso anterior, la influencia que tiene el grado de molienda sobre el tiempo de lixiviación de las sales al calinas.

De las pruebas efectuadas y de los resultados obtenidos, es posible observar que la influencia de las variables descritas en la solubilización de las sales de sodio son las siguientes:

La influencia de la temperatura se manifiesta en mayor solubilización de las sales a medida que aquella se incrementa, así mismo, este aumento probablemente ejerza su influencia en la conversión del bicarbonato

de sodio a carbonato de sodio, ya que a mayor temperatura la determinación del primero en los licores de lixiviación presentó valores inferiores a los que se obtuvieron a la temperatura ambiente. De igual manera la temperatura de ebullición favorece la formación de un gel de hidróxido férrico, el que posteriormente se elimina por filtración. Lixiviaciones efectuadas a temperaturas menores a la de ebullición, originaron licores con presencia de hierro, el que no fue posible eliminar al aplicar diversas técnicas de filtración.

Bajo las condiciones de trabajo o sea: 100 g de muestra original, relación sólido líquido 1:2 y temperatura de 94°C, los tiempos de lixiviación comprendidos entre 5 y 60 minutos proporcionaron valores de recuperación muy semejantes entre sí.

Bajo las condiciones experimentales de cristalización efectuadas a las temperaturas de 80°C y 94°C, tanto el carbonato de sodio como el bicarbonato de sodio obtenidos por cristalización, así como las impurezas presentes, calcio y magnesio, mantienen relaciones muy semejantes para los diferentes tiempos de cristalización en que se trabajó.

La composición resultante de las pruebas de calcinación efectuadas sobre los productos de cristalización fueron los siguientes: A la temperatura de 250°C, 92.2% de carbonato de sodio y 7.3% de bicarbonato de sodio. A la temperatura de 275°C, 96.3% de carbonato de sodio y 5.1% de bicarbonato de sodio; a 300°C 98.6% de carbonato de sodio y 0.0% de bicarbonato de sodio; observándose igualmente, que a la temperatura de 325°C tampoco existía bicarbonato de sodio.



**V. - CONCLUSIONES**

1.- La costra salina procedente de la Laguna de Santa Elena, Bahía de Adair, Sonora, que se empleó como material de estudio para la obtención de carbonato de sodio, contenían 27.6% de carbonato de sodio, 23.1% de bicarbonato de sodio y 42.4% de material arcilloso en su variedad montmorillonita como principales constituyentes.

2.- Se encontraron como las condiciones más ventajosas para efectuar la disolución de las sales de sodio contenidas en el material antes mencionado, las siguientes:

- a) Material molido a pasar el tamiz U.S. 48
- b) Relación sólido-líquido 1:2.
- c) Temperatura de lixiviación, 94°C
- d) Tiempo de lixiviación, 5 minutos.

3.- La lixiviación de las sales de sodio a la temperatura de 94°C favorece la formación de geles de hidróxido férrico, el que se elimina por filtración.

4.- La composición expresada como porcentaje en peso de los licores, obtenidos por disolución de las sales a la temperatura de 94°C fue de: 31.9 para el carbonato de sodio y de 14.2 para la de bicarbonato de sodio.

5.- El porcentaje de la impurezas presentes en la fase sólida obtenida por cristalización, se mantuvo constante para los diferentes tiempos de evaporación en que se trabajó.

6.- El carbonato de sodio presente en la fase sólida obtenida por cristalización contiene una molécula de agua de cristalización.

7.- Para obtener carbonato de sodio anhidro a partir de los productos resultantes de la cristalización, se requirió calcinar a la temperatura de  $300^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos.

**BIBLIOGRAFIA**

1. - Bertelhamer L.H. "An apparatus for Differential Thermal Analysis", Report of Investigations, U.S. Bureau of Mines. July (1944).
2. - Dana J.D. y E.S. Dana "The System of Mineralogy" John Wiley & Sons, Inc. New York (1951).
3. - Dana E.S. "A Textbook of Mineralogy" John Wiley & Sons, Inc. New York. 1955.
4. - Dirección General de Estadística. "Anuario Estadístico de Importación y Exportación de los Estados Unidos Mexicanos". México (1952-1963)
5. - Dirección General de Normas. Secretaría de Economía. "Norma Oficial para Carbonato de Sodio Calcinado" Sección II Productos Químicos Alimenticios. Clave K 36-1948.
6. - Gamboa S.A. "La industria de los álcalis y sus posibilidades de desarrollo en México". Monografías Industriales de Banco de México, S.A. (1954)

- 7.- Garret D.E. "Industrial Crystallization at Trona"  
Chem. Eng. Progr., 54, No. 12, 65-69. (1958)
- 8.- Kirk R.E. y D.F. Othmer. "Encyclopedia of  
Chemical Technology" The Interscience Encyclopedia"  
The Interscience Encyclopedia, Inc. New Yor, 1  
383-408. 1951.
- 9.- Kolthoff I.M. y H.H.Q. Sandell "Quantitative Inorganic  
Analysis" The Mc Millan Co. (1949).
- 10.- Mullin J.W. "Crystallization" Butterworths, Co.  
London (1961).
- 11.- Schlain D., J. D. Prater y S.F. Ravitz "Distribution  
of Impurities in Crystallization of Ammonium and  
Potassium Alums" Ind. & Eng. Chem. 41. 834-41,  
(1941).
- 12.- Schlain D., J. D. Prater y S.F. Ravitz. "Solubilities  
of Ammonium and Potassium Alums in Water" Ind.  
& Eng. Chem. 39, No. 1, 74-6 (1947).
- 13.- Seidell A. "Solubilities of Inorganic and Metal  
Organic Compounds" D. Van Nostrand Co., Inc.  
New York. 1193-98. (1940).

- 14.- Seidell A. y W. F. Linke "Solubilities of Inorganic and Metal Organic Compounds". Supplement to the third Edition. D. Van Nostrand Co. Inc, New York 442. (1949).
- 15.- Sierra E.H. y R.M. Espinosa "Fabricación de Alcalis Sódicos" Banco de México, S.A. Investigaciones Industriales. (1955).
- 16.- Sommers H.A. "Soda Ash from Trona" Chem. Eng. Progr. 56, No. 2, 76-9 (1960).
- 17.- Sosa Texcoco "Carbonato de sodio anhidro y Sosa cáustica líquida". México (1959).
- 18.- Van Hook A. "Crystallization Theory and Practice" Reinhold Pub. Corp. New York (1961).
- 19.- Wegscheider R. y J. Mehl "Über System  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .  $\text{NaHCO}_3$ .  $\text{H}_2\text{O}$  und das Existenzgebiet der Trona" Montashefte Chem. 49, 283-315. (1928).