

*Carl Fries, Jr.*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. EZEQUIEL ORDOÑEZ



BIBLIOTECA

441

ESTUDIO TECNOLOGICO DE LA INDUSTRIA  
DE LA SAL EN MEXICO

POR

RAUL LOZANO GARCIA



MEXICO, D. F.

1946

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

RECTOR:

*Dr. Salvador Zubirán.*

SECRETARIO GENERAL:

*Lic. José Rivera Pérez Campos.*

DIRECTOR  
DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS:

*Dr. Nabor Carrillo.*

INSTITUTO DE GEOLOGIA

6a. calle del Ciprés No. 176

México, D. F.

\_\_\_\_\_

DIRECTOR:

*Ing. Ezequiel Ordóñez.*

\_\_\_\_\_

SECRETARIO:

*Enrique M. González.*

\_\_\_\_\_

Oficina de Yacimientos Minerales No-metálicos

JEFE:

*Raúl Lozano García.*

\_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. EZEQUIEL ORDOÑEZ



ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA INDUSTRIA  
DE LA SAL EN MEXICO

POR  
RAUL LOZANO GARCIA



MEXICO, D. F.

1946

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
INSTITUTO DE QUÍMICA

DIRECTOR: ING. ROSARIO GONZÁLEZ



BIBLIOTECA

ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA INDUSTRIA  
DE LA SAL EN MÉXICO

RAÚL TOXANI GARCÍA



MÉXICO, D. F.  
1946

## CONTENIDO

Introducción.....	4
I.—Generalidades.....	6
Tipo de depósitos.....	6
Salinas.....	6
Sal gema.....	9
Domos salinos.....	9
Relaciones geológicas de los depósitos.....	10
Propiedades físicas y químicas del NaCl.....	12
Ensaye de la sal común.....	15
Ensaye del cloruro sódico puro.....	15
Usos y aplicaciones industriales de la sal.....	16
Bibliografía.....	17
II.—Métodos de explotación.....	18
Principios generales que rigen la precipitación del NaCl.....	19
Sistemas de evaporación.....	23
Métodos naturales.....	24
Evaporación solar espontánea.....	24
Evaporación solar sistemática.....	25
Lavado de tierras saladas.....	25
Productos obtenidos.....	26
Métodos mixtos: sal de beneficio.....	27
Concentración de soluciones salinas por congelación.....	29
Productos obtenidos.....	30
Métodos artificiales.....	30
Evaporación por calentamiento directo.....	30
Evaporación en tanques metálicos.....	31
Productos obtenidos.....	32
Evaporación por calentamiento al vapor.....	32
Calentamiento usando tubos metálicos.....	32
Productos obtenidos.....	33
Evaporación al vacío.....	33
Productos obtenidos.....	35
Bibliografía.....	36
III.—Especificaciones comerciales.....	37
Sal desnaturalizada.....	38
IV.—Distribución geográfica de los recursos saliníferos del país..	39
Baja California.....	39
Campeche.....	43
Chiapas.....	43
Chihuahua.....	43
Coahuila.....	44
Colima.....	45

Durango.....	46
Guerrero.....	46
Jalisco.....	47
México.....	48
Michoacán.....	50
Nayarit.....	50
Oaxaca.....	51
Puebla.....	51
Querétaro.....	51
San Luis Potosí.....	52
Sinaloa.....	54
Sonora.....	56
Tabasco.....	57
Tamaulipas.....	57
Veracruz.....	57
Potrerillos.....	58
Jáltipan.....	58
San Cristóbal Capocacán.....	58
Amezquite.....	58
Concepción.....	58
Soledad.....	58
Tecuanapa.....	58
Ixhuatlán.....	58
Filisola.....	58
San Carlos.....	59
Tonalá.....	59
El Burro.....	59
El Plan.....	59
Yucatán.....	59
Zacatecas.....	60
Bibliografía.....	60
V.—Utilización de otras sales que vienen asociadas al cloruro sódico.....	62
Bromo.....	62
Bibliografía.....	63
Tequesquite.....	64
Composición y análisis químicos.....	66
Aplicaciones del tequesquite.....	68
Bibliografía.....	68
Sulfato de sodio.....	68
Estado de Coahuila.....	69
Estado de Chihuahua.....	69
Distrito Federal.....	69
Estado de Jalisco.....	69
Estado de San Luis Potosí.....	69
Estado de Zacatecas.....	70
Bibliografía.....	70

## ILUSTRACIONES

Fot. N° 1.—Sistema de “planillas” empleado en San Luis Potosí para la evaporación de las aguas saladas.

Fot. N° 2.—Sal acumulada en montones para que se escurra y seque, Salinas, S. L. P.

Fot. N° 3.—Planta de evaporación al vacío, de triple efecto, establecida en San Luis Potosí, S. L. P.

Fot. N° 4.—Sistema de bombeo para extraer agua salada, empleado en una región salinera en San Luis Potosí, S. L. P.

## LAMINAS

N° 1.—Planta de una salina en la que se emplea la acción de los vientos y del calor solar para la concentración de las aguas marinas. Diagrama que ilustra los cambios que resultan de la evaporación.

Carta de localización de las salinas y domos salinas del Istmo de Tehuantepec.

Evaporador y cristalizadores de la planta de Netzahualcóyotl, México.

## INTRODUCCION

Es innegable que muchas de las empresas que se dedican en México a labores de índole extractiva, han venido empleando hasta ahora sistemas primitivos o inadecuados para la elaboración de diversos productos de interés comercial o industrial. El resultado de estos sistemas deficientes de trabajo ha reducido el rendimiento que lógicamente debería esperarse de una industria bien organizada y al mismo tiempo sólo se han logrado obtener productos de ínfima calidad.

La resistencia que oponen los industriales de todas partes para aceptar cualquier iniciativa orientada hacia la implantación de mejores y más modernos sistemas de producción y de trabajo, se hace más evidente en nuestro país cuando se examinan las industrias que se ocupan de la explotación de substancias relacionadas con los depósitos de minerales no-metálicos. A este respecto puede decirse que las empresas que explotan esta clase de criaderos minerales se han concretado, de una manera general, a la extracción y explotación de esos productos, mediante los viejos sistemas industriales que fueron preconizados desde tiempos que datan de la dominación española.

Una de las industrias que se halla estrechamente ligada a esta clase de criaderos no-metálicos, y que presenta verdadera importancia económica por estar relacionada con un artículo de primera necesidad, es la que se ocupa de la extracción de la sal o cloruro sódico, tanto si se halla esta substancia en solución acuosa, como cuando forma los depósitos de la llamada "sal gema".

A pesar de la antigüedad de esta industria y a despecho de su enorme interés económico, es notable que no se hayan modificado racionalmente, en el transcurso del tiempo, los viejos sistemas que han regido en México a la explotación de las salinas, especialmente las que se hallan localizadas a lo largo de las zonas costeras.

Sin embargo, la situación especial por la que atraviesa esta industria en México, no permite por ahora que se generalice el empleo de métodos artificiales tendientes a lograr la evaporación de las salmueras

y final cristalización del cloruro sódico, pues lejos de requerirse una mayor producción de esa substancia, lo que se necesita es elevar su consumo.

Por otra parte, el bajo precio a que se vende la sal en México, exige que los productores busquen la forma más económica de producción, lo que ha influido para retener los primitivos métodos naturales de evaporación, aun cuando en cada región salinera del país se presentan sistemas de organización y de trabajo que son peculiares y características de cada una de ellas.

No obstante, es de esperarse que el continuo aumento que ha experimentado últimamente el costo de la mano de obra, conduzca a los productores salineros a implantar alguna economía en las labores de explotación, precisándolos así a adoptar métodos más rápidos y eficientes que faciliten la extracción del cloruro sódico contenido en las soluciones acuosas naturales y que al mismo tiempo lo produzcan con mayor pureza.

Existen algunos sistemas de evaporación, como el que emplea las calderas o tachos al vacío, que aun cuando son muy eficientes, no se han implantado en México con la abundancia que fuera de desearse, por el alto costo que representa la adquisición de los aparatos y maquinaria necesaria en dicha industria. A este respecto es conveniente indicar, que si bien es cierto que esos sistemas de evaporación tienen un costo inicial relativamente alto, en cambio, hecha ya su instalación, no necesitan mucha manipulación y se operan con un gasto mínimo de calor, produciendo una sal bastante fina, seca y pura.

Existe además la circunstancia de que hasta ahora no se han aprovechado todas aquellas valiosas substancias que vienen mezcladas a las soluciones salinas, las que al separarse del cloruro sódico mediante sistemas adecuados de recuperación, aumentarán los rendimientos de la empresa que los obtenga y se aprovecharán íntegramente las posibilidades productivas de los recursos naturales contenidos en las aguas marinas y demás aguas saladas.

Es por esto que al formular el presente estudio se ha tratado de englobar, aunque de modo bastante abreviado, todos aquellos métodos de explotación industrial que tienen una directa relación con el aprovechamiento integral de los recursos saliníferos, incluyendo la recuperación de los subproductos, que son tanto más importantes, cuanto que algunos de ellos consisten de substancias relativamente escasas en México y que encuentran amplia aplicación en muchas industrias y en la agricultura.

## ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA INDUSTRIA DE LA SAL EN MÉXICO

### GENERALIDADES

La sal común (cloruro sódico, halita, sal gema, sal de mar) es la combinación sódica más abundante en la naturaleza, encontrándose tanto en la litósfera como en la hidrósfera. Fué conocida desde las primeras edades de la humanidad, habiendo constituido un producto necesario para la alimentación del hombre y de los animales. Se halla disuelta en las aguas marinas, lacustres, etc., en donde acompaña a otras sales, y también se encuentra en yacimientos, a veces de grandes dimensiones, apareciendo entonces cristalizada, en cuyo caso recibe el nombre de "sal gema". También existe en los reinos animal y vegetal, encontrándose en las cenizas de las plantas y en los líquidos del organismo animal, procediendo en este último caso de los alimentos y bebidas.

*Tipos de depósitos.*—Las condiciones en que se presentan en la naturaleza los criaderos explotables de cloruro sódico, pueden concretarse a cuatro diferentes formas, que son: soluciones salinas en mares, océanos, etc.; depósitos más o menos extensos de la llamada "sal gema"; productos de sublimación cercanos a aparatos volcánicos, y eflorescencias o costras salinas más o menos impuras, formadas, de preferencia, en las regiones continentales desérticas.

De las cuatro formas en que ocurren los aludidos criaderos de cloruro sódico, las dos primeras son las únicas que tienen importancia industrial, y de estas dos, la que se refiere a las soluciones salinas es la que alcanza en México mayor interés económico. Por esta razón, sólo se describirán en este estudio las explotaciones saliníferas relacionadas con las salinas y con los depósitos de "sal gema".

*Salinas.*—Las salinas de México se localizan a lo largo de las zonas costeras, tanto del Golfo como del Pacífico, existiendo también

en las costas de la Baja California y en muchas de las islas que se encuentran a corta distancia de ambos litorales. También se hallan algunas salinas en el interior del país, especialmente en las inmediaciones de cuencas lacustres, como ocurre en ciertas regiones de los Estados de Jalisco, Coahuila, San Luis Potosí, México y algunos otros lugares.

Muchas de las salinas que se explotan en México, consisten simplemente de marismas o terrenos más o menos bajos y relativamente extensos, limitados con bordes de tierra, los que se dejan inundar por las aguas del mar, aprovechando el movimiento producido durante las altas mareas; para impedir el regreso de dichas aguas hacia el mar, se interponen toscos diques de tierra, que se levantan en los lugares convenientes. Al evaporarse, mediante la acción del calor solar, las aguas que llenan estos charcos o depósitos, abandonan las sales que contenían en solución, quedando en los terrenos desecados, costras salinas más o menos gruesas, que se recogen y benefician de acuerdo con las necesidades o usos a que se destina el producto obtenido.

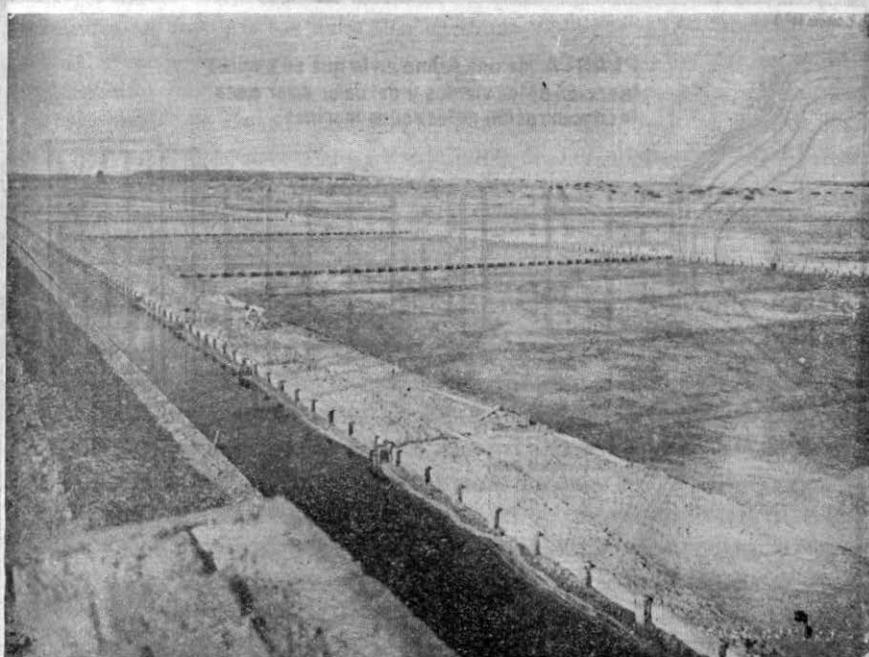


Foto Núm. 1.—Sistema de “planillas”, empleado en San Luis Potosí, para la evaporación de las aguas saladas.

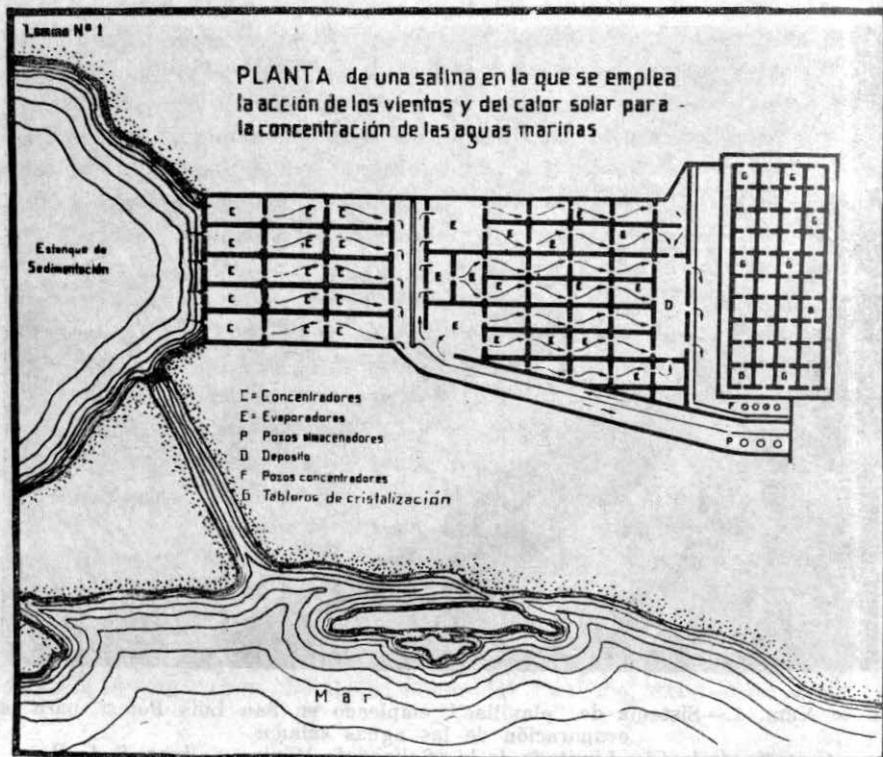
Cortesía de la Cía. Limitada de las Salinas de México, Salinas, S. L. P.

En otros casos las salinas forman una serie de estanques de forma cuadrangular y de poco fondo, llamadas localmente "planillas", "pilas", "tablas", etc. (Fot. Núm. 1) a las que se hace llegar el agua marina o la que se alcanza excavando pozos poco profundos.

Por último, hay muchos lugares del país, especialmente cerca de terrenos salados, en los que se excavan pozos de unos 8 a 12 metros de profundidad, por 1.5 a 2 de ancho, y de 3 a 5 de largo, de los que se extrae agua salada, con un contenido de cloruro sódico que alcanza de 8 a 10 grados Bé., la que posteriormente se sujeta a procesos de evaporación artificial, mediante complicadas instalaciones de refinación, o también se procede a la evaporación espontánea, en estanques construídos convenientemente para lograr tal finalidad.

Una forma más perfeccionada de salina costera, es la que se ilustra en la lámina número 1.

La salina que muestra el dibujo de la lámina referida, consiste de un depósito de sedimentación, al que se deja llegar el agua marina du-



rante la alta marea, impidiéndose después su regreso hacia el mar, mediante diques o bordes de tierra; en este depósito se asientan todas las partículas de tierra u otras substancias que lleve el agua en suspensión y en seguida se abren unas pequeñas compuertas de madera o de tierra y se deja escurrir el agua hacia los depósitos que están señalados en el esquema con la letra C; en dichos depósitos se concentra la solución salina hasta que alcanza 8-9 grados Bé. y se pasa después a los pozos P; (muy pocas salinas hacen uso de estos pozos), cuyo número se adapta a las necesidades de las salinas, siendo su objeto, el llevar más adelante la concentración y al mismo tiempo almacenar el "agua-sal", en tanto se distribuye en las albercas de evaporación señaladas con la letra E; en estas últimas albercas se precipitan las sales menos solubles (principalmente el yeso — $\text{CaSO}_4$ ), y el agua-sal adquiere una mayor concentración; de estos estanques pasa la salmuera al depósito D, y luego a los pozos F (también estos pozos son suprimidos en muchas salinas), de donde se extrae progresivamente, según se distribuye en las pequeñas albercas G, llamadas "tableros" o "planillas saladas", en las que finalmente se forman los cristales salinos.

*Sal gema.*—Algunos depósitos de cloruro sódico no presentan la configuración característica de las acumulaciones formadas en las salinas costeras, ya sean marinas o lacustres, sino que se halla esta substancia en lugares cercanos o alejados de las costas, constituyendo cuerpos más o menos extensos, que pueden encontrarse tanto en la superficie de los terrenos, como en el subsuelo. La localización de estos yacimientos no está relacionada con ningún depósito actual de agua salada, pero sí muestran ligas muy estrechas con ciertos sedimentos cuyo origen se remonta a pasadas edades geológicas.

Este tipo de sal es el que se conoce con el nombre de "sal gema", y ocurre generalmente en masas compactas de color blanco, opalino o amarillento, pero también se halla en agregados granulados, formando capas o lentes que en algunas partes alcanzan considerable espesor.

Es muy común que los criaderos de sal gema se hallen acompañados o intercalados entre depósitos o mantos de yeso, anhidrita, diversas materias orgánicas, sales alcalinas o alcalino-térreas, arcillas, arenas, etcétera.

*Domos salinos.*—Otros depósitos de cloruro sódico en los que se presenta la sal en forma análoga a la sal gema, son los domos salinos que en México y otros países ocurren en relación con yacimientos petrolíferos. Estos domos alcanzan a veces dimensiones muy considerables y están constituidos, algunos de ellos, por cloruro sódico bastante puro.

*Relaciones geológicas de los depósitos.*—Desde el punto de vista geológico, la sal contenida en el agua de los océanos, mares, lagos, ríos, manantiales, etc., se considera de origen secundario, admitiéndose que la salinidad de las aguas proviene, en lo general, de la descomposición de las combinaciones sódicas contenidas en las rocas de que está constituida la litosfera.

En lo que respecta a los yacimientos de sal gema, existen varias hipótesis o teorías que tratan de explicar las causas que les han dado origen. Las principales de dichas teorías se refieren a la evaporación de grandes masas de agua que existieron, bien en cuencas continentales cerradas, o bien en depósitos próximos a los océanos, de los que sólo se hallaban separados por barras más o menos bajas.

Otra de dichas teorías es la llamada "desértica" y se refiere a la disolución que experimentan en las regiones desérticas algunas formaciones que contienen compuestos más o menos salinos y que son arrastrados en solución por las aguas meteóricas y reprecipitados en aquellos lugares donde concurren condiciones favorables para ello.

De todas estas teorías, la más generalizada es la que supone que los yacimientos de sal gema fueron originados por repetidas invasiones marinas, realizadas sobre ciertos terrenos bajos, cercanos a las playas, los que a veces constituyen verdaderas cuencas cerradas, en donde, por evaporación espontánea de las aguas, se determinó la concentración natural, con la consiguiente formación de los depósitos salinos.

Como confirmación de la teoría genética expresada antes, sus autores hacen notar que los depósitos de este tipo se encuentran, comúnmente, acompañados de otras substancias que también se hallan disueltas en las aguas marinas y que se presentan distribuidas en los referidos depósitos, siguiendo su relativo orden de solubilidad. De acuerdo con esto, se encuentra en la base de dichos criaderos el sulfato cálcico, seguido poco más arriba de los carbonatos cálcico y magnésico, en tanto que en la parte superior del cuerpo salino se hallan los cloruros de esos mismos metales y los cloruros sódico y potásico, acompañados de sus respectivos sulfatos, así como del sulfato magnésico.

Aun cuando parece muy sencilla la explicación genética que se refiere al desarrollo de los fenómenos de evaporación y gradual concentración de las aguas saladas, hasta alcanzar su grado de saturación y consiguiente precipitación del cloruro sódico, en realidad es este un problema bastante complejo, pues hay que tener presente que no se trata simplemente de la precipitación del cloruro sódico en proporciones más o menos reducidas, sino que se debe explicar la formación de algunos

depósitos salinos que presentan extraordinario espesor y la existencia del sulfato cálcico en capas que, unas veces ocupan la parte inferior del yacimiento salino, en tanto que otras veces se hallan en la porción superior del mismo.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el orden en que se efectúa la precipitación de las sales disueltas en las aguas marinas, no siempre sigue su relativo grado de solubilidad, sino que influye en dicha precipitación la presencia de otras sales que acompañan a las señaladas antes, así como también, el grado de concentración en que se encuentre cada una de las sales disueltas, las oscilaciones que experimente la temperatura, etc., etc.

En cuanto a la génesis de los domos salinos, existen numerosas hipótesis que tratan de explicarla, pero en realidad, todavía no hay ninguna teoría que despeje todas las incógnitas que ofrece el problema en cuestión. Entre las más interesantes teorías genéticas relativas a los domos salinos se hallan la volcánica; la de evaporación de masas de agua salada; la de la cristalización del NaCl y la tectónica.

La hipótesis volcánica atribuye la formación de domos salinos a la evaporación de grandes depósitos de soluciones salinas, mediante el calor producido por la proximidad de rocas ígneas calientes o aparatos volcánicos en actividad. También se considera probable que dichos domos se hayan formado como depósitos secundarios, originados por aguas magmáticas ascendentes.

La teoría relativa a la evaporación de masas de agua salada se refiere, esencialmente, a la concentración que experimenta el agua salada cuando se halla en cuencas cerradas y expuesta a la acción de los rayos solares, por lapsos relativamente largos. Según esta hipótesis, los depósitos de agua situados en lugares áridos, en que la evaporación acuosa supera a la precipitación o aportación debida a cursos fluviales, se produce una concentración de sales cada vez más avanzada, hasta que se alcanza el grado de saturación y se precipita el NaCl con el resto de sales disueltas. Los productos de esta precipitación, cubiertos a veces por acumulaciones detríticas y sedimentos de muy variada naturaleza, participan de todas las contingencias a que se hallan sujetas las formaciones que entran en la constitución geológica de la litosfera, por lo que es común encontrar estos depósitos de sal, en relación con estratos marinos de diversas clases y edades.

La teoría de la cristalización asegura que al infiltrarse las aguas meteóricas a través de las capas permeables de la litosfera, disuelven muchas de las sales contenidas en los terrenos que atraviesan en su

descenso, y al llegar a profundidades de alguna consideración, se registra la consiguiente elevación de la temperatura, aumentándose proporcionalmente las propiedades disolventes de las aguas.

Estas soluciones, ya saturadas, ascienden hacia la superficie a favor de grietas o diaclasas, y se enfrían gradualmente a medida que se precipita la sal que llevaban en solución.

Se supone que la fuerza desarrollada por las sales de sodio al cristalizar, ejerce una gran presión sobre las rocas que forman las paredes que encajonan dichos productos, siendo dicha presión suficientemente poderosa para levantar las capas de los sedimentos que se sobreponen a esos depósitos.

En la hipótesis que atribuye un origen tectónico a los domos salinos, se considera que el NaCl precipitado de sus soluciones y que se encuentra originalmente dispuesto en capas o estratos de diverso espesor, adquiere un estado semiplástico por efecto de la enorme presión que ejercen sobre esa sal los sedimentos que se acumulan sobre ella. En estas condiciones, el cloruro sódico es forzado a penetrar dentro de los estratos superiores, tal como si se tratara de una intrusión, razón por la cual los domos salinos presentan tan variadas configuraciones.

Algunos autores clasifican los domos del Istmo de Tehuantepec en dos tipos principales, considerándolos a unos, como verdaderos domos y a otros como estructuras cuacuaversales o anticlinales que contienen un núcleo de sal en el centro (1). Otros autores los clasifican de acuerdo con el sistema de Deussen, en poco profundos, intermedios y profundos. Ver Wiebe (2) afirma que los domos poco profundos están localizados lejos de la costa, porque en San Cristóbal, Soledad, Concepción y Filisola aparece la sal a muy poca profundidad, mientras que en Ixhuatlán y Potrerillos se descubre a mucha mayor profundidad.

Los domos salinos que han sido descubiertos en la región del Istmo de Tehuantepec se hallan en relación con rocas terciarias y cuaternarias, pero se considera probable que también existan domos entre los estratos correspondientes a la parte superior del Cretácico, como ocurre en yacimientos semejantes de otros países.

*Propiedades físicas y químicas del NaCl.*—Desde el punto de vista mineralógico, la sal común es conocida con la denominación de "halita" y se refiere, clásicamente, al cloruro sódico puro, compuesto de 39.4% de cloro y 60.6% de sodio.

En las condiciones usuales en que se realiza la extracción de la sal en las salinas de México, el cloruro sódico cristaliza de su solución acuosa, en cristales incoloros o poco coloreados, los que generalmente

son delicuescentes debido a ciertas impurezas que contienen, entre las que se cuentan los cloruros magnésico y cálcico. Cuando el cloruro sódico es suficientemente puro, cristaliza en cubos incoloros, estables al aire, exentos de agua y que se agrupan, durante la evaporación espontánea, en una pirámide hueca de cuatro lados, con paredes en escalera.

La forma y dimensiones de los cristales de sal obtenidos en las salinas del país, varían de acuerdo con los sistemas empleados en su extracción, así como de la rapidez o lentitud con que se haya efectuado la evaporación de las salmueras. Así por ejemplo, la sal refinada de Salinas, S. L. P., que se destina a ser consumida en calidad de sal de mesa, consiste casi exclusivamente de cubos muy pequeños y de tamaño uniforme, perfectamente cristalinos, transparentes e incoloros; en tanto que la sal obtenida de las salinas Ojo de Liebre, B. Cal., aun cuando es tan blanca como la anterior, su cristalización es poco más voluminosa y sus cristales adoptan formas mixtas, compuestas de cubos macizos y cubos con paredes en escalera; mayor contraste presenta la cristalización de la sal procedente de las salinas de Batequi, B. Cal., la que consiste de enormes cubos que alcanzan a veces más de 20 centímetros cúbicos de volumen. La sal de las salinas de Escuinapa, Sin., se obtiene en cristales tan grandes como los de Batequi, pero presenta una coloración parda que no tiene la sal de Baja California, en tanto que la sal de Cuyutlán, Col., viene en cristales poco más grandes que los de Ojo de Liebre, B. Cal., y consisten casi exclusivamente de pequeños cubos, pero presenta también una ligera coloración parda, que contrasta con la sal de Ojo de Liebre que es completamente blanca.

Sería largo describir las peculiaridades que muestra la cristalización de la sal obtenida en cada una de las salinas de México, tanto porque su número es muy considerable, cuanto que con las salinas que se mencionaron antes, se cree haber representado a casi todas las del país, porque los métodos de extracción empleados en cada una de ellas, son los más generalizados en México y corresponden a salinas de diferentes tipos, como son las que consisten de depósito único o marisma; con depósitos múltiples; con depósitos y pozos y, por último, el cloruro sódico obtenido mediante tratamientos especiales de refinación.

En lo que respecta a la sal gema, su cristalización ocurre en forma de cubos grandes incoloros y transparentes. A veces aparecen, quizá debido a relaciones ópticas peculiares, de color violeta o azul intenso (a).

(a).—Según H. Siedentopf la causa de este color azul, consiste en la separación de cristalitos ultramicroscópicos, generalmente aciculares o escamo-

Quando el cloruro sódico, cualquiera que sea su procedencia, se ha sujetado a procedimientos de purificación, se presenta como una sustancia suave, fluctuando su dureza entre 2 y 2.5, y su gravedad específica entre 2.1 y 2.6 (2.167 a 17°C.—Agua=1); calentando los cristales de sal común, decrepitan o estallan, debido a que contienen pequeñas cantidades de aguas madres, incluídas mecánicamente entre los espacios huecos. Los cristales de cloruro sódico son transparentes o translúcidos, quebradizos, con fractura concoide y raspadura blanca, teniendo un índice de refracción de 1.544.

El cloruro sódico es casi igualmente soluble en agua fría que en caliente, como puede deducirse de un ensayo de solubilidad practicado en el laboratorio de la Oficina de Minerales No-Metálicos del Instituto de Geología, y cuyo resultado es el siguiente: (a).

sos, abigarrados, de sodio metálico, que se depositan en desorden dentro de los planos de exfoliación ultramicroscópicos de la sal.

Por otra parte, E. Schmidt asegura que por la acción de los rayos catódicos, emanaciones radioactivas, rayos Roentgen y también en el vapor de potasio y de sodio, toman color los compuestos halogenados de los metales alcalinos, así por ejemplo, la acción del KBr o del KI, produce un color azul de Prusia, el KCl de heliotropo y el NaCl amarillo o pardo. Calentando cuidadosamente el último compuesto, toma un color violeta o azul.

Véase: Ernesto Schmidt.—Tratado de Química Farmacéutica. Segunda ed. española, T. I. pág. 487.

(a).—Para efectuar la determinación de la solubilidad del cloruro sódico, se operó del modo que se indica en seguida:

Se tomaron 100 gramos de sal de Batequi, B. Cal., y se la sujetó al siguiente procedimiento de purificación. A la solución acuosa de esta sal (1:10) se le añadió gota a gota solución de cloruro bórico, hasta que se descompuso todo el sulfato sódico contenido en la sal; se dejó depositar, se filtró y se añadió al líquido filtrado y calentado, solución de carbonato sódico en exceso. A las 24 horas de reposo se filtró el líquido, se neutralizó el filtrado y se evaporó la solución hasta que cristalizó el NaCl. Los cristales formados se escurrieron sobre un embudo cerrado a medias por una varilla de vidrio, se lavó luego con poca agua fría y se secó por último a calor moderado.

Terminada la purificación de la sal, se separó en 7 porciones de 5 gramos cada una y se emprendió la determinación de su solubilidad en el agua, utilizando al efecto un aparato improvisado, que consistió en un matraz tarado de 2 bocas y de unos 50 centímetros cúbicos de capacidad, al que se colocó un termómetro en una boca y un refrigerante de reflujo en la otra; hecho esto, se virtió en el matraz 100 c.c. de agua destilada y se calentó en baño de agua, conservando las temperaturas de 25°, 50° y 100°C., respectivamente, de modo constante, y por el término de una hora, durante la cual se añadió cloruro sódico purificado, grano en grano y agitando suavemente hasta que cesaba la disolución. El aumento en el peso del agua contenida en el matraz, indica la proporción de NaCl disuelto, y la cantidad resultante se comprobaba por la reducción que registraba el peso de los 5 gramos originales de cloruro sódico, del que se partió para realizar la determinación. Abajo de los 25°C. hasta 0°, en lugar de calentar el matraz, se sujetó a una refrigeración tanto más enérgica, cuanto más se descendía en la temperatura, hasta que finalmente se empleó hielo mezclado con sal, para obtener la temperatura deseada de 0°C.

100 cc de agua a 0°C	Disuelven gramos de NaCl
0° C	35.5
5°	35.6
10°	35.8
15°	36.0
25°	36.1
50°	37.0
100°	39.5

*Ensaye de la sal común.*—El cloruro sódico que se obtiene en las salinas de México, por el procedimiento ordinario de concentración de aguas marinas y que se destina para ser empleado con fines de carácter doméstico, se encuentra siempre contaminado por algunas impurezas, entre las que se cuentan pequeñas cantidades de compuestos clorurados y sulfatados del potasio, calcio y magnesio (Véanse los análisis correspondientes). Las cualidades normales que debe tener el cloruro sódico destinado a usos domésticos son las siguientes:

Debe ser completamente blanco y seco, y poseer un sabor salado, puro, sin que se advierta nada de amargo (cloruro magnésico). Al cabo de algún tiempo de tenerlo en contacto con el aire, no debe humedecerse (cloruros magnésico y cálcico). Debe disolverse en el agua produciendo un líquido bastante claro y con reacción neutra; en todo caso, la parte insoluble nunca debe ser mayor de 1/10%. El precipitado de carbonato cálcico y magnésico producido en su solución por el carbonato sódico, no debe ser mayor (después de lavado cuidadosamente y secado) de 1 a 1.5%. El contenido de humedad debe oscilar entre 2 y 5%.

La sal empleada para alimento debe estar, además, exenta de metales pesados. Una solución (1:10) límpida, acidificada con algunas gotas de ácido clorhídrico, no debe mostrar, después de adición de agua sulfhídrica, ni aun después de largo reposo, ningún enturbamiento coloreado (metales pesados); el sulfuro de amonio debe producir solamente un color muy pálido (hierro).

*Ensaye del cloruro sódico puro.*—Debe ser un polvo blanco y cristalino, que se disuelve en 2,8 partes de agua a 15° C, dando una solución completamente clara y de reacción neutra. La solución (1:20) no debe tomar color ni enturbiarse por el agua sulfhídrica, ni por la solución del sulfuro amónico (metales pesados). Tampoco debe alterarse la solución del mismo (1:20), por cloruro bórico, después de añadir algo de ácido clorhídrico (sulfatos); añadiendo amoníaco, no

debe alterarse por el oxalato potásico o por el fosfato sódico (cloruro cálcico, cloruro magnésico), ni por el ferricianuro potásico (hierro), ni por el ácido sulfúrico diluido (cloruro bórico).

Una solución concentrada de cloruro sódico puro no debe dar, por adición de cloruro platínico, ni aun después de largo reposo, ningún precipitado amarillo granuloso cristalino de cloruro platínico-potásico. Introduciendo algunos granos de la sal con un alambre de platino en una llama poco luminosa, debe aparecer ésta completamente clara, al mirarse a través de un vidrio de cobalto o de una botella con solución de añil diluida (contra un fondo oscuro), o a lo más debe aparecer, muy pasajeramente, teñida de color rojo carmesí (sales de potasio).

*Usos y aplicaciones industriales de la sal.*—Los usos y aplicaciones que tiene el cloruro sódico son muy numerosos, pues además de su empleo como alimento, esta substancia encuentra aplicación en la preparación del sulfato y del carbonato sódico, pudiendo utilizarse también, aunque de modo indirecto, para la producción de otras sales de sodio.

La industria de la curtiduría hace uso de grandes cantidades de cloruro sódico y en ciertas plantas metalúrgicas de beneficio lo emplean para la extracción de minerales argentíferos y cupríferos. Es muy común el uso de la sal para la conservación de alimentos; para producir vidriados; con fines refrigerantes; para preparar ácido hidrocórico y otras múltiples y variadas aplicaciones que sería largo enumerar.

El consumo que se hace del cloruro sódico en México se distribuye entre varias industrias cuya lista se muestra en seguida:

- |  |   |
|--|---|
| 1.—Metalurgia.                               | 10.—Fabricación de hielo.               |
| 2.—Ganadería.                                | 11.—Industrias textil y tintóreas.      |
| 3.—Salazón de cueros.                        | 12.—Jabonería.                          |
| 4.—Curtiduría.                               | 13.—Hilados y tejidos.                  |
| 5.—Fabricación de sosa cáustica.             | 14.—Industria de las sedas.             |
| 6.—Conservación de carnes y otros alimentos. | 15.—Refinación de aceites y grasas.     |
| 7.—Industrias químicas.                      | 16.—Alfarería.                          |
| 8.—Talabartería.                             | 17.—Purificación de agua para calderas. |
| 9.—Refrigeración.                            | 18.—Neverías.                           |

En la lista anterior se han ordenado las referidas industrias de acuerdo con la cantidad de cloruro sódico que consume cada una de ellas en el país, siendo la metalurgia la que necesita mayor cantidad de esa substancia, calculándose que en el año de 1937-38 (del primero de agos-

to de 1937 al 31 de julio de 1938) dicha industria consumió cerca de 15,000 toneladas de sal.

Después de la metalurgia y siguiendo un orden decreciente en el monto del consumo de sal, vienen las otras industrias que se indican en la lista, habiéndose hecho caso omiso de algunas negociaciones que consumen este producto en cantidades relativamente reducidas.

### BIBLIOGRAFIA

- Arthur H. Redfield.—“The Isthmian Oil Fields of Mexico”.—Eng. and Min. Jour., Vol. 111, Núm. 12, March 1921.
- Walter A. Ver Wiebe.—“Geology of Southern Mexico Oil Fields”.—The Panamerican Geol., Vol. XLIV, 1925.
- Walter A. Ver Wiebe.—“Salt domes of the Isthmus of Tehuantepec”.—The Panamerican Geol., Vol. XLV, 1926.
- E. DeGolyer.—“Origin of North American Salt Domes”. Bull. Am. Ass. Petr. Geol. Vol. 9, Núm. 5, pp. 831-874, August, 1925.
- Albert G. Wolf.—“The Origin of Salt Domes”.—Eng. Min. Jour. Press, Vol. 115, Núm. 9, pp. 412-414, March 3, 1923.
- Dr. Ernesto Schmidt.—Tratado de Química Farmacéutica, 2ª ed. española.
- Heinrich Ries.—Economic Geology, 5th ed., N. Y., 1925.
- Paul Baud.—Chimie Industrielle, 1922.
- Rudolf von Wagner.—Manual of Chemical Technology, traducida al idioma inglés por Sir William Crooker, 1909.

## CAPÍTULO II

### MÉTODOS DE EXPLOTACION

Los sistemas de explotación que se emplean en México en relación con la industria de la sal, son, en su gran mayoría, métodos naturales de concentración, aprovechándose unas veces la evaporación espontánea de las aguas marinas que encharcan algunos lugares cercanos a las costas, o concentrando, también con la ayuda de los rayos solares, las aguas saladas que se conducen mediante sistemas artificiales de canales, a estanques de evaporación más o menos extensos (planillas, pilas, charcos, etcétera).

Además de los citados métodos naturales de explotación, existen en algunas regiones salineras del país, ciertos métodos de evaporación que son característicos de cada una de esas regiones y que han sido adoptados desde tiempos inmemoriales, atendiendo a la experiencia adquirida después de largos períodos de experimentación.

Por tal motivo, cada una de dichas regiones salineras emplea los métodos de evaporación que más conviene a sus intereses y que mejor se adapta al medio ambiente en que se encuentran localizadas las salinas, siendo notable que los referidos métodos de evaporación no hayan experimentado cambios apreciables desde los primeros tiempos que empezaron a emplearse.

Se comprende que en la industria de que se trata no sólo se emplean métodos naturales para lograr la precipitación del cloruro sódico que se halla disuelto en las aguas saladas, sino que existen sistemas muy diversos y de gran eficacia, que pueden dar lugar a producciones de enorme proporción.

No obstante, cualquiera que sea el método que se emplee para la evaporación de las salmueras, tendrá que realizarse dicha evaporación pasando a través de diversas fases que se inician con la concentración de las soluciones y terminan con la precipitación de la sal.

Todas las soluciones salinas siguen ciertas normas en el curso de

su evaporación y cristalización final de la sal, y como en las salinas, cualquiera que sea su naturaleza, se efectúa este fenómeno, ya sea de modo natural o provocado artificialmente, es de interés conocer detenidamente cuáles son las leyes que regulan la evaporación de las salmueras y la cristalización del cloruro sódico. Por tal motivo se hará en seguida una breve disertación tendiente a ilustrar este fenómeno.

*Principios generales que rigen la precipitación del cloruro sódico.*— Las soluciones naturales de cloruro sódico, cuando esta substancia se encuentra mezclada con otras sales metálicas, como ocurre en el agua de los mares o de lagos y manantiales de agua salada, al concentrarse por medio de la evaporación natural o artificial, dejan precipitar el cloruro sódico y las otras sales que se hallan en la solución, siguiendo cierto orden en su respectiva cristalización y de acuerdo con normas bien definidas.

— Cuando una solución saturada de cloruro sódico puro se concentra por evaporación, llega un momento en que la cantidad original de dicha sal no puede permanecer en solución por más tiempo y se precipita en forma cristalina; dicha precipitación continuará verificándose, en tanto que la solución no alcance nuevamente su equilibrio de saturación, en cuyo caso al conseguirse dicho equilibrio, cesará la precipitación de cristales salinos. Si por ulterior evaporación vuelve a sobrepasarse la cantidad límite de cloruro sódico que puede contener el agua en solución, se iniciará nuevamente la precipitación de la sal, continuándose sucesivamente este proceso alternado de precipitación y evaporación, hasta que se logra el agotamiento total del agua.

Ahora bien, como el agua marina y la mayoría de las aguas saladas de origen natural, contienen en solución además del cloruro sódico, otras diferentes clases de sales, se encontrará que cada una de estas sales posee también diferente grado de solubilidad, o en otras palabras, para saturar un volumen igual de agua, a una misma temperatura, se requieren diferentes proporciones de cada una de dichas sales.

La presencia de un número variable de sales en el agua marina, la diversidad de las proporciones en que se hallan disueltas, el grado diferente de solubilidad que presenta cada una de ellas etc., etc., son factores que influyen en la precipitación del cloruro sódico, violentando unas veces su cristalización y retardándola en otras ocasiones.

Por tal razón, cuando se efectúa la evaporación del agua marina, se provocan cambios físico-químicos de carácter muy complejo, debido a la acción de numerosos factores cuyo efecto varía constantemente al

cambiar las condiciones de temperatura, presión y concentración a que se lleve el agua referida durante el proceso de su evaporación.

Los análisis químicos del agua de varios océanos o mares interiores, muestran algunas variaciones respecto al contenido total de las sales que se hallan en solución, pero en cambio señalan una notable uniformidad en lo que se refiere a la cantidad de iones presentes en dichas aguas, esto es:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^-$ . Con respecto a otros iones menos importantes como el  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Br}^-$  y  $\text{Bo}_2^-$ , los datos que se obtienen de esos mismos análisis no muestran la presencia constante de las sales que les corresponden y, por otra parte, cuando se registra su existencia, ocurre en proporciones tan reducidas, que no ejerce una influencia de importancia sobre el comportamiento general que sigue el líquido durante su evaporación.

LOS ANALISIS A QUE SE ALUDE SON LOS SIGUIENTES: (a)

100 partes de agua de mar contienen	Océano Pacífico	Océano Atlántico	Mar Rojo
Cloruro sódico.....	2.5877	2.7558	3.030
Bromuro sódico.....	0.0401	0.0326	0.064
Sulfato potásico.....	0.1359	0.1715	0.295
Sulfato cálcico.....	0.1622	0.2046	0.179
Sulfato magnésico.....	0.1104	0.0614	0.274
Cloruro magnésico.....	0.4345	0.3260	0.404
Cloruro potásico.....	.....	.....	0.288

(a).—Rudolf von Wagner.—Manual of Chemical Technology 1909.—Traducido al inglés por Sir W. Crookes.

Ahora bien, la serie de cambios que resultan cuando la evaporación del agua marina se lleva a  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $55^\circ$  y  $83^\circ\text{C}$ ., puede conocerse fácilmente mediante el estudio de un diagrama que represente gráficamente el sistema cuaternario correspondiente, teniendo en cuenta que para realizar el estudio correcto de este diagrama, precisa conocer la composición de la solución a que se refiere, la que debe evaporarse previamente, hasta alcanzar el punto de saturación de  $\text{NaCl}$ .

Tomando como ejemplo el agua marina estudiada por van't Hoff, (a) puede considerarse que la composición resultante de su evaporación a  $25^\circ\text{C}$ . de temperatura, hasta alcanzar su saturación en  $\text{NaCl}$  es, en números redondos, la siguiente:

(a).—van't Hoff. Las investigaciones de este autor fueron publicadas en el *Berichte de la Academia Prusiana de Ciencias*, en 52 folletos que fueron reimprimados en un solo volumen bajo la dirección de los Dres. H. Precht y Ernst Cohen "Akademische Verlagsgesellschaft" (1912). Algunos resúmenes de estos trabajos fueron preparados por el mismo van't Hoff y publicados en dos volúmenes titulados "Zur Bildung der Ozeanischen Salzablagerung", 1905 y 1909.

1,000 H<sub>2</sub>O — 94 NaCl — 2 KCl — 14.61½ Mg — 7.201½ SO<sub>4</sub>

Estas cantidades pueden admitirse como correspondientes también a la composición de esta misma solución cuando se evapora a las otras temperaturas de 0°, 55° y 83° C., en consideración a la insignificante influencia que ejerce en la solubilidad del NaCl la elevación o reducción de la temperatura.

Los métodos que se siguen para conocer los cambios que resultan de la evaporación de esta agua, pueden calcularse eligiendo para el estudio de este ejemplo la temperatura 0° C.

El diagrama a que se hace referencia y que ilustra gráficamente este sistema a la temperatura citada de 0° C., es el siguiente:

Bischofita

T

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

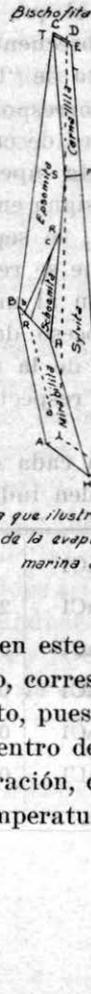


Diagrama que ilustra los cambios que resultan de la evaporación del agua marina a 0° C.

El punto que representa en este diagrama la composición de la solución que se está examinando, corresponde exactamente al que se señala con la letra "a", cuyo punto, puesto que representa una solución saturada de NaCl, se localiza dentro del espacio limitado por las superficies que representan esa saturación, en relación con los seis sólidos que pueden formarse a dicha temperatura de 0°C. o sean Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.10H<sub>2</sub>O,

(mirabilita),  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , (epsomita),  $\text{KCl}$ , (sylvita)  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (bischofita),  $\text{MgKCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (carnallita) y  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (schoenita).

Si esta agua se sujeta a la evaporación, inmediatamente se producirá separación de  $\text{NaCl}$  y los cambios que este hecho origine en la solución primitiva, corresponderán al movimiento del punto "a" desde su situación primitiva, hasta la línea que resulta intersectando alguna de las otras superficies de saturación. Comparando la dirección seguida por esta línea con los límites de la superficie que representa la solución saturada de epsomita  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  —parece probable— que este sólido sea el que se separe después del  $\text{NaCl}$ .

El grado de exactitud de esta suposición y la localización del punto en el que se inicia la separación de epsomita, puede comprobarse mediante una serie de cálculos, basados en el supuesto de que la superficie en cuestión representa un plano perfecto.

Si "b" representa el punto en el que principia la precipitación de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , la separación de subsecuentes cantidades de esta substancia corresponderá al movimiento de "b", desde el punto que representa la saturación, hasta el que corresponde a la epsomita pura, esto es, siguiendo a lo largo de los planos de cristalización de alguno de los dos sólidos que se representan en esta superficie, hasta alcanzar un punto sobre la línea "Q" "R", que se designa en el diagrama con la letra "c".

Si se continúa la evaporación, se separará tanto el  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  como la schoenita y los cambios que se registren en la composición de la solución original corresponderán al movimiento de "c" hacia "R".

Llevando más adelante el proceso de evaporación, se producirán nuevos cambios en la composición de la solución de que se trata, los que corresponderán al movimiento respectivo de los puntos "R" a "S" y "S" a "T".

Las substancias eliminadas en cada etapa de evaporación presentarán diversas proporciones y pueden indicarse como sigue:

"a" a "b"	— 727.3 $\text{H}_2\text{O}$	81.800 $\text{NaCl}$		
"b" a "c"	116.0 $\text{H}_2\text{O}$	9.253 $\text{NaCl}$	2.267 $\text{MgSO}_4$	
"c" a "R"	9.58 $\text{H}_2\text{O}$	0.768 $\text{NaCl}$	0.070 $\text{MgSO}_4$	0.086 schoenita
"R" a "S"	33.53 $\text{H}_2\text{O}$	1.473 $\text{NaCl}$	0.579 $\text{MgSO}_4$	0.783 sylvita.
"S" a "T"	48.57 $\text{H}_2\text{O}$	0.614 $\text{NaCl}$	0.121 $\text{MgSO}_4$	1.019 carnallita.
Sol. residual	65.02 $\text{H}_2\text{O}$	0.091 $\text{NaCl}$	0.391 $\text{MgSO}_4$	0.026 carnallita 5.95 $\text{MgCl}_2$

En la tabla anterior se ha incluido, en la primera columna, el agua asociada con las sales hidratadas; el agua eliminada en forma de vapor o retenida en la solución residual, es en menor cantidad que la indicada en las cifras anotadas en la tabla (a).

Pasando ahora a los métodos de evaporación que se siguen en las salinas mexicanas, se observa que en donde se explota el "cuajo espontáneo" y también en algunas salinas del tipo de "planillas," hay ocasiones en que se acostumbra añadir salmuera fresca a la solución, cuando se ha evaporado parcialmente y empieza a cristalizar parte del cloruro sódico; con esto se aumenta la proporción de esta sal y al llevar más adelante la evaporación, se obtiene una mayor precipitación de NaCl.

En muchas de las salinas del país se acostumbra prolongar la evaporación hasta alcanzar el agotamiento total del agua, "cosechando" entonces la sal que queda en forma de costras sobre la superficie de las "planillas." Este sistema adolece de múltiples inconvenientes, debido a las dificultades que presenta después la sal para lograr su purificación; mejor práctica es recoger los cristales de cloruro sódico conforme se van formando, obteniéndose así una sal bastante pura, ya que de este modo se realiza una operación equivalente al retiro de las aguas madres, que es donde se encuentran en solución las otras sales que acompañan al cloruro sódico en las aguas marinas y demás aguas saladas naturales.

En efecto, cuando las aguas madres que sobran después de la cristalización de una sal, se retiran antes de que otra sal que se halle presente en la misma solución alcance su punto de saturación, el depósito de la primera sal se encontrará muy ligeramente contaminado con las sales restantes que formaban parte de la solución original, y su purificación podrá realizarse muy fácilmente, con sólo disolverla en agua pura y después volverla a recrystalizar.

*Sistemas de evaporación.*—Conocidos ya los principios generales que regulan la evaporación de las soluciones salinas, así como lo que se refiere al fenómeno que conduce a la precipitación de la sal que se hallaba en solución, conviene examinar los sistemas más empleados para la evaporación de las salmueras y la extracción de la sal.

Los principales métodos de concentración y evaporación de salmueras que se siguen en la industria de la sal, son los siguientes:

(a).—Si se desean conocer más detalles a este respecto, véase Walter Charles Blasdale.—Equilibria in Saturated Salt Solutions, págs. 183 y sig. 1927.

*Métodos naturales.*

Evaporación solar espontánea.

Evaporación solar sistemática.

Lavado de tierras saladas.

Sal de elaboración.

*Métodos mixtos.*

Sal de beneficio.

Concentración de soluciones salinas por congelación.

*Métodos artificiales.*

Evaporación por calentamiento directo.

Calentamiento en calderos o peroles.

Calentamiento en tanques metálicos.

Evaporación por calentamiento al vapor.

Calentamiento al baño de vapor.

Calentamiento con tubos metálicos.

Evaporación al vacío.

*Métodos naturales.*—Casi la totalidad de las salinas que se encuentran actualmente en explotación en México, ya sean costeras o las formadas en el interior del territorio, extraen el cloruro sódico que se halla disuelto en las aguas saladas del mar o de lagunas y pozos, aprovechando para evaporar, la acción de los vientos y el calor de los rayos solares, así como el estado higrométrico de la atmósfera, siendo los meses de estío los más propicios para la rápida evaporación de las aguas saladas.

En las salinas costeras, formadas por agua de mar, existen numerosas formas de explotación, con las que se obtienen productos que difieren tanto por lo que respecta a sus características físicas, como por su pureza. Según es el sistema empleado para la extracción de la sal, se obtiene "cuajo espontáneo," "sal de planilla," "sal de elaboración," "sal de beneficio," "sal refinada," etc.

*Evaporación solar espontánea.*—"Cuajo espontáneo." La explotación salina más sencilla es la que se ocupa de "cosechar" el "cuajo espontáneo," nombre con el que se designan los depósitos de sal formados espontáneamente en las marismas o los terrenos bajos cercanos a las playas, los que son inundados por efecto de las mareas máximas equinocciales, quedando charcos aislados de aguas marinas que al evaporarse, abandonan la sal que tenían en solución. Esta sal, tal como se recoge, se envasa

en sacos de yute o de henequén o también se envía a granel hasta los centros de consumo, sin sujetársela a ningún tratamiento de purificación. El cuajo espontáneo es un tipo de sal que se emplea principalmente con fines de carácter industrial.

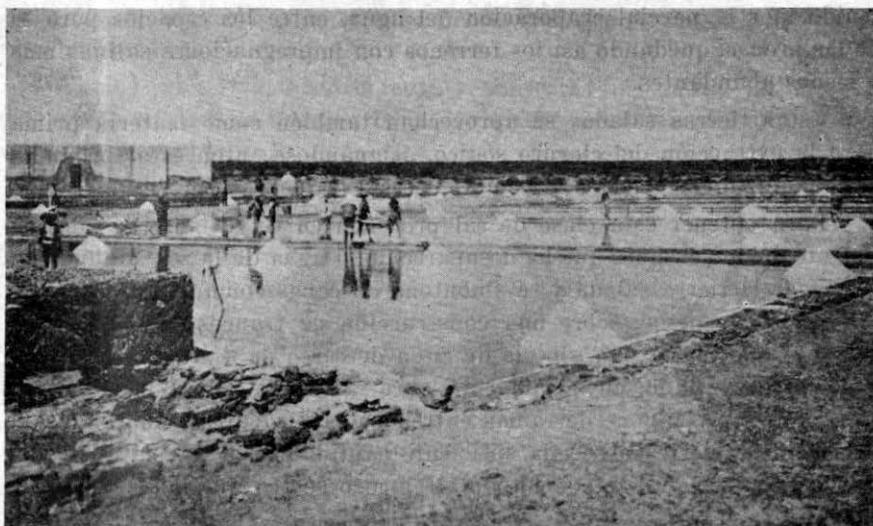


Foto. Núm. 2.—Sal acumulada en montones para que se escurra y seque. Salinas, S. L. P., México.  
Cortesía de la Compañía Limitada de las Salinas de México, S. L. P.

*Evaporación solar sistemática.*—“Sal de planilla.” En las salinas en que existe un sistema de tanques evaporadores (planillas, eras, pilas, etcétera), se deja concentrar el agua en el respectivo depósito de sedimentación, hasta que alcanza una concentración de 8°-9° Bé; en seguida se hace pasar la salmuera formada de este modo a las planillas, donde continúa concentrándose hasta que alcanza 15° ó 20°, pasando después a las “tablas,” donde se inicia la cristalización de la sal, la que se deposita gradualmente en el fondo, de donde se extrae con palas de madera, acumulándose en montones (Fot. Núm. 2) donde por último se deja escurrir y secar, quedando así lista para almacenarse o remitirse a donde sea necesario para su consumo.

El cloruro sódico obtenido en las salinas con “planillas,” es de mejor calidad que el “cuajo espontáneo” y se emplea en aquellas industrias que requieren un producto de relativa pureza.

*Lavado de tierras saladas.*—“Sal de elaboración.” En ciertos lugares

situados en los litorales del Pacífico y del Golfo, principalmente en Colima y en algunos puntos de las costas yucatecas, existen zonas de terrenos bajos constituidos por arenas y otros materiales permeables, los que al ser invadidos por las aguas marinas, dejan infiltrar el agua hacia el subsuelo, en tanto que el cloruro sódico que llevaban en solución, es retenido, por la parcial evaporación del agua, entre los espacios porosos de las arenas, quedando así los terrenos con impregnaciones salinas más o menos abundantes.

Estas tierras saladas se aprovechan también como materia prima para la extracción del cloruro sódico, asignándose entonces al producto obtenido de dichas tierras el nombre de "sal de elaboración."

Para obtener esta clase de sal proceden en Cuyutlán, Col., del siguiente modo: después que ha desaparecido el agua de la zona inundada, se recoge la tierra salada y se amontona en capas como de 30 a 40 centímetros de espesor, sobre una construcción de troncos de árbol ("tapextle") que forma una especie de mesa de cerca de 2 metros de altura y 4 metros de lado, cuya cubierta, sobre la que se coloca la sal-tierra ("cajete"), se compone de ramas entrelazadas y zacate. Amontonada la sal-tierra se vierte sobre ella suficiente cantidad de agua para lavarla, arrastrándose por disolución todo el cloruro sódico que la impregnaba.

El agua que se emplea para lavar las tierras saladas contiene también cierta cantidad de cloruro sódico y se obtiene de pozos de  $1\frac{1}{2}$  a 2 metros de profundidad y otro tanto de diámetro ("tajos") que se excavan cerca del lugar donde se encuentra la empalizada lavadora. La salmuera que escurre después del lavado de la sal-tierra, se recoge en la "taza," que es un depósito que se hace debajo del "tapextle," y en seguida se pasa a las planillas, donde se la sujeta al procedimiento ordinario de evaporación solar, hasta alcanzar la cristalización final del cloruro sódico, el que se recoge, escurre y seca, como se acostumbra hacerlo en las salinas costeras ya descritas.

La sal de elaboración que se obtiene mediante el procedimiento descrito antes, resulta de muy buena calidad, aun cuando frecuentemente contiene algo de materia leñosa procedente del ramaje sobre el que se lava la sal-tierra.

*Productos obtenidos.*—La calidad del producto que se obtiene en las salinas en que se siguen métodos naturales de concentración y evaporación, depende principalmente de la composición química de la salmuera, así como de las condiciones climatológicas que prevalezcan en la región en que se trabaja.

Cuando entre los elementos que entran en la composición de las aguas saladas, se hallan los cloruros cálcico y magnésico en cantidad superior a ciertos límites convenientes, las salmueras se muestran reacias a la evaporación, llegando a veces a interrumpirse por completo, debido a que dichos cloruros son altamente higroscópicos y exhalan o absorben humedad, según el caso, hasta ponerse en equilibrio con el medio ambiente.

Para evitar este inconveniente y conservar las salmueras con un contenido mínimo de cloruros cálcico y magnésico, se acostumbra añadir el agua-sal que se halla en proceso de evaporación, suficiente cantidad de salmuera concentrada y desprovista de esos cloruros, obtenida por disolución de cloruro sódico cristalizado y lavado.

Ahora bien, como la evaporación de cualquier solución está en razón inversa de su concentración, resulta que cuando se alcanza una concentración de  $15^{\circ}$ , y de aquí hasta los  $25^{\circ}$  Bé, la evaporación se efectúa cada vez más lentamente, pudiéndose prolongar durante un tiempo tan largo, que la obtención del cloruro sódico en esas condiciones resulta prácticamente antieconómico. Sin embargo, en la mayor parte de las salinas mexicanas se vence este inconveniente, haciendo las planillas o estanques de concentración, con áreas superficiales superiores a lo que exige el tratamiento de cierta cantidad conocida de salmuera, con lo que el proceso de evaporación se realiza de modo regular y sin interrupciones de ninguna clase.

Cuando la salmuera alcanza  $25^{\circ}$  Bé, se pasa a los depósitos o "tablas" en que debe efectuarse la cristalización de la sal; estos depósitos son de dimensiones mucho más pequeñas que las correspondientes a las planillas de evaporación y su fondo se hace cubrir por una delgada capa de sal ya cristalizada.

Para conocer la cantidad de cloruro sódico contenido en soluciones acuosas de diferente grado de concentración, se reproduce en seguida una tabla de Gerlach que sirve para conocer el contenido de cloruro sódico en las salmueras, mediante la ayuda del aerómetro Baumé.

*Métodos mixtos.*—Sal de beneficio<sup>a</sup>. Para obtener la "sal de beneficio" se sigue un método mixto, esto es, la evaporación del agua-sal se lleva a cabo según el sistema que aprovecha, para este objeto, el calor de los rayos solares, pero el beneficio de la salmuera obtenida o de la sal ya cristalizada, se realiza mediante sistemas artificiales.

---

(a).—En México se llama "sal de beneficio" a la sal de mar o de lugares y pozos que presenta suficiente pureza para ser empleada como sal comestible.

Tabla que muestra la gravedad específica de soluciones acuosas de cloruro sódico y los grados correspondientes en el aerómetro Baumé.

% de NaCl.	Gravedad específica	Grados Baumé	% de NaCl.	Gravedad específica	Grados Baumé
1	1.0072	1	15	1.1115	14.3
2	1.0145	2	16	1.1194	15.3
3	1.0217	2.86	17	1.1273	16.2
4	1.0290	4	18	1.1352	17.1
5	1.0362	4.85	19	1.1431	18.1
6	1.0437	5.76	20	1.1511	18.9
7	1.0511	6.85	21	1.1593	19.7
8	1.0585	7.8	22	1.1675	20.5
9	1.0659	8.7	23	1.1758	21.4
10	1.0733	9.76	24	1.1840	22.4
11	1.0810	10.7	25	1.1923	23.2
12	1.0886	11.6	26	1.2010	24.1
13	1.0962	12.5	26.395	1.2043	24.4
14	1.1038	13.3			

La sal de mar, tal como se obtiene de modo natural, contiene muchas impurezas y requiere una previa purificación para poderse emplear como sal de mesa o para utilizarse en algunas industrias que requieren un cloruro sódico de cierta pureza.

La purificación de la sal puede realizarse sobre el producto cristalizado, o también, iniciarse desde que el cloruro sódico se halla en solución acuosa, formando la salmuera natural.

Existen varios sistemas de purificación a partir de la sal ya cristalizada, siendo el más sencillo de todos el siguiente: a través de un conducto delgado y largo, que puede ser de metal o mejor de cemento armado, se deja fluir, sin interrupción, una cantidad conveniente de salmuera de concentración elevada; a través de este conducto bañado por la salmuera, se hace pasar la sal que se desea purificar, impulsándola por medio de un tornillo sin fin, de tal manera que se logre un lavado completo de los cristales salinos. Hecho esto, se vuelve a lavar la sal, regándola primero con agua de mar y luego con agua "dulce" ordinaria. Este mismo sistema se emplea para purificar la sal gema, usando para el lavado una solución de cloruro sódico en agua pura.

Sin embargo, es conveniente indicar que el referido método de purificación no separa el sulfato sódico que pudiera hallarse mezclado a la sal, lo que se debe tener presente en aquellas aplicaciones industriales en las que estorbe la presencia de esta sal sódica.

Se logra una mejor purificación de la sal, sujetando a las salmueras

a cierto tratamiento químico que tiene por objeto precipitar las sales de calcio y de magnesio, que son las que constituyen las principales impurezas. En dicho tratamiento se añade a las salmueras, carbonatos sódico y cálcico, o carbonato sódico y sosa cáustica, pasándose después la mezcla a tanques de depósito, en los que lentamente se precipitan las referidas sales de calcio y de magnesio. A veces se añade también algo de cloruro bórico, con el fin de precipitar los sulfatos; este último tratamiento debe preceder a la adición del carbonato sódico.

Un método de purificación, mucho más moderno que los anteriores, consiste en efectuar una descomposición electrolítica de parte de la salmuera que se desea purificar, produciéndose con esto algo de hidróxido sódico; en seguida se hace pasar gas bióxido de carbono a través de la solución, produciéndose de este modo carbonato sódico. Esta solución se añade después al resto de la salmuera natural y se logra así la precipitación del hierro, calcio y magnesio, cuyas sales se retiran por filtración, evaporándose la salmuera restante, ya limpia, hasta lograr la cristalización del cloruro sódico, que en este caso se presenta bastante puro.

Las impurezas que se encuentran ordinariamente en la sal y en las salmueras, aunque imparten un color más o menos inconveniente y un sabor un tanto amargo, no son, sin embargo, de carácter marcadamente nocivo para la salud. Las sales de bario no pertenecen a esta clase de impurezas y los depósitos de sal gema, así como las salmueras que contengan este metal, no pueden considerarse de un gran valor económico. Es verdad que en ciertas ocasiones se ha vendido este tipo de sal indicándose claramente que no es propia para usarse como comestible, pero no obstante, se han dado numerosos casos de envenenamiento a causa de haber ingerido productos de esta clase. Recientemente se ha descubierto un método para retirar las sales de bario de las salmueras, produciéndose una sal con alto grado de pureza. Este método consiste en añadir sulfato sódico en cantidad 30% en exceso del requerido para equilibrar la cantidad de sales de bario presentes en las salmueras. Hasta que el exceso de sulfato sódico no se ha retirado completamente de la mezcla, no podrá considerarse que se haya precipitado todo el bario y si se retira toda la cantidad del sulfato sódico añadido, se depositará también el sulfato cálcico, en forma de escamas duras. El tratamiento de las salmueras con sulfato sódico no sólo se emplea para separar el bario, sino que, además, ayuda a retirar el hierro, el que se deposita en forma de lodo mezclado con el sulfato bórico.

*Concentración de soluciones salinas por congelación.*—Este método no se emplea en México, pues es propio solamente de aquellos países en

los que prevalece un clima sumamente frío, donde el agua se congela de manera natural, transformándose en hielo. En esos lugares se somete a las aguas marinas a repetidas congelaciones, cuidándose de retirar el hielo conforme se va formando.

De este modo se aumenta progresivamente la proporción de cloruro sódico en el agua; a medida que prospera la concentración y aumenta la riqueza de las aguas en cloruro sódico, se requiere una temperatura más baja para lograr la congelación del agua-sal, hasta que ha alcanzado un alto grado de concentración (23.6% de NaCl) se establece cierto equilibrio (punto eutéctico) y no es posible ya congelar el agua independientemente del cloruro sódico, en cuyo caso se suspende el proceso congelador y se procede a la evaporación de la salmuera mediante sistemas artificiales de calefacción.

La sal que se obtiene con el método de concentración por congelación, es de buena calidad, pero se comprende que sólo en los países indicados en que prevalecen climas muy fríos, puede resultar su elaboración económicamente costeable.

*Productos obtenidos.*—La sal que se obtiene con el empleo de métodos mixtos de elaboración, depende del grado a que se haya llevado la purificación del producto natural, pudiendo considerarse la sal de beneficio como de las mejores y más puras que se producen, ya que es raro encontrar al cloruro sódico, en estado natural, desprovisto de otros cloruros y diversas impurezas que comúnmente lo acompañan y de las que se encuentra libre la sal de beneficio, debido al proceso mixto a que se le sujeta.

*Métodos artificiales.*—Existen numerosos métodos artificiales para evaporar las aguas saladas, con el fin de lograr su concentración y enriquecimiento en cloruro sódico, pero en México sólo se ha usado con éxito el sistema de evaporación al vacío.

No obstante, se cree conveniente describir, aunque sea someramente, los métodos artificiales más importantes, por considerarse de interés para las personas que están ligadas con la industria que nos ocupa.

*Evaporación por calentamiento directo.*—Calentamiento en calderos o peroles. Las construcciones empleadas en este sistema de evaporación forman una serie de pequeños peroles o calderos de unos 60 centímetros de profundidad y 1.20-1.50 metros de diámetro, alineados uno al lado del otro o dispuestos en series de dobles líneas y en número que llega a 50, 60 y hasta 100 calderos, los que son suspendidos sobre dos arcadas de ladrillo donde arde el combustible, y terminan en la correspondiente chimenea.

La salmuera empleada en estas fábricas es la misma que se utiliza cuando se sigue el sistema de evaporación solar, sólo que antes de vaciarla en las calderas, se "apaga" en parte de ella un poco de cal "viva," hasta formar una lechada muy ligera, la que se añade al resto de la salmuera con objeto de separar los compuestos de hierro, los que se precipitan en forma de lodo de color rojo amarillento. (Óxido férrico hidratado.) Se deja en reposo la salmuera tratada de este modo y transcurridas unas 24 horas adquiere una completa transparencia, quedando así lista para ser conducida a los calderos.

El combustible empleado en estas instalaciones puede ser la madera, carbón mineral o petróleo; se eleva la temperatura, y cuando la concentración de la salmuera se aproxima al punto de saturación se precipita el sulfato cálcico, teniendo cuidado de separarlo tan pronto como se nota su presencia, con el fin de obtener una sal lo más pura posible. Alcanzada la completa saturación de la salmuera, se inicia la cristalización del cloruro sódico, el que se va retirando conforme se precipita, añadiéndose al mismo tiempo salmuera fresca en cantidad más o menos equivalente a la que se ha evaporado. De esta manera se prosigue la evaporación, de un modo continuo, durante una o dos semanas, acumulándose la sal obtenida en lugares bien abrigados, con objeto de que se escurra y seque completamente.

*Evaporación en tanques metálicos.*—Este método de evaporación es muy semejante al descrito anteriormente, sólo que en lugar de peroles concentradores, emplea tanques metálicos de unos 30 metros de largo, por 10 de ancho, y de 0.30 a 0.50 metros de profundidad. En la práctica, la evaporación se efectúa en un sistema de 3 tanques de diferentes dimensiones, colocados uno detrás del otro, y bajo los cuales arde el combustible necesario para el calentamiento de las salmueras, el que puede ser carbón mineral, leña, gas natural o petróleo, variando ligeramente la forma de los tanques de evaporación de acuerdo con el combustible usado.

La salmuera empleada en estos tanques, para la elaboración de la sal, se sujeta, antes de iniciarse la evaporación, a un proceso de tosca purificación, análogo al que se practica en las instalaciones que evaporan en peroles.

Iniciada la cristalización del cloruro sódico en el primer tanque, se va apartando la sal, acumulándose a los lados, y cuando se ha retirado una buena cantidad de cloruro sódico se hace pasar la salmuera caliente del segundo tanque, hacia el primero, y del tercer tanque al segundo, en

tanto que el tercer tanque, que es el más alejado del fuego, se carga frecuentemente con salmuera fresca. Así se continúa el trabajo de extracción del cloruro sódico, de un modo continuo durante 3 ó 4 semanas, suspendiéndose los trabajos después de este período de elaboración, para lavar los tanques y arreglar cualquier desperfecto que pudiera presentarse en ellos.

*Productos obtenidos.*—La calidad de los productos obtenidos con los dos procesos reseñados de evaporación por calentamiento directo, son semejantes en ambos procedimientos, presentándose como factores comunes que influyen en la calidad del producto, el clima que prevalezca en la región donde se trabaja, la concentración y calidad de la salmuera evaporada y la clase de combustible empleado. La evaporación realizada en tanques metálicos presenta, sin embargo, algunas ventajas en relación con la que se lleva a cabo en peroles, pues es evidente que en los tanques se puede controlar más fácilmente la formación de un cloruro sódico de grano uniforme. Para obtener un grano relativamente fino, se hace cristalizar la sal, en los tanques, lo más rápidamente posible, lo que se consigue haciendo hervir la salmuera. A veces, para obtener un grano bastante fino en estos tanques de evaporación, se hace uso de medios artificiales, empleando para esto diversas grasas animales que se añaden a la salmuera en el curso de su evaporación, impidiéndose así que la cristalización se desarrolle en forma más o menos voluminosa.

*Evaporación por calentamiento al vapor.*—Calentamiento con baño de vapor. Algunas empresas productoras de sal, construyen cierto tipo de peroles, a los que se provee de un aditamento especial, mediante el cual es posible efectuar el calentamiento de la solución salina, por medio de vapor, en lugar de efectuarlo a fuego directo. El calentamiento que se realiza en estos peroles por medio de vapor de agua, facilita una mejor y más uniforme distribución del calor y, por otra parte, el material de que están contruídos dichos peroles, es lo suficientemente delgado, para permitir un calentamiento rápido y a bajo costo.

Con el sistema de calentamiento al vapor se obtiene un cloruro sódico de buena calidad y de grano bastante uniforme; sin embargo, la aplicación de este sistema a la industria de la sal, se halla circunscrita a aquellos lugares donde el combustible se puede adquirir con facilidad y a un costo relativamente bajo.

*Calentamiento usando tubos metálicos.*—Este sistema consiste, esencialmente, en precipitar los cristales de cloruro sódico, evaporando la salmuera mediante tubos metálicos, fuertemente calentados con vapor de agua.

Antes de proceder a la precipitación de la sal, se sujeta a la salmuera a una previa purificación con "cal apagada," en forma análoga a la descrita al tratar de la extracción del cloruro sódico mediante calentamiento directo. Para retirar el exceso de cal, se emplea algunas veces carbonato sódico, el que se añade a la salmuera después de haberse retirado (con la cal) todas las sales de hierro que se hubieren encontrado; por último, se deja clarificar, conservándola en reposo el tiempo que sea necesario. (Generalmente bastan 20 horas.)

Cuando la salmuera alcanza una completa limpidez, se pasa a unos tanques metálicos a donde se calienta a temperatura no muy alta, antes de ser enviada a las cubas de precipitación, las que consisten en numerosos depósitos de forma alargada y relativamente delgados, que se construyen de madera, metal o cemento. Ya llenas estas cubas con salmuera concentrada y caliente, se sumerge en ellas igual número de tubos de metal, enrollados en forma de serpentín y que se han calentado a una temperatura relativamente alta, por la acción de una corriente de vapor de agua que circula en su interior.

A medida que se precipita el cloruro sódico, se va retirando de las cubas por medio de rastrillos mecánicos y se acumula en lugares convenientes para que escurra y seque.

Es conveniente indicar que las empresas que emplean el método de precipitación del cloruro sódico por medio de tubos calientes, obtienen el vapor necesario para el calentamiento de los serpentines, haciendo uso del "calor perdido" que frecuentemente existe en relación con toda industria en la que se consume combustible de cualquier naturaleza. Por lo mismo, puede asegurarse que este sistema de explotación se halla siempre asociado con cualquiera otra industria, pudiéndose estimar que la obtención del cloruro sódico en la forma indicada, se considera, en la mayoría de los casos, como una industria adicional de otras industrias de mucha mayor importancia.

*Productos obtenidos.*—La sal obtenida con los procedimientos de evaporación por calentamiento al vapor, presenta una calidad bastante buena, teniendo este sistema de evaporación la ventaja de poderse graduar la magnitud del grano de la sal, mediante el control de la temperatura, pues cuanto más rápida se lleve la evaporación, tanto más pequeños serán los cristales de cloruro sódico.

*Evaporación al vacío.*—El sistema de evaporación al vacío, en el que se usan los evaporadores de múltiple efecto, representa el último adelanto en la industria de la sal. El principio que sirve de base al sistema evaporador al que se hace referencia, consiste esencialmente, en

reducir la presión de las soluciones salinas que llenan las pailas evaporadoras, con lo que baja notablemente su punto de ebullición y, por lo mismo, se logra al mismo tiempo una gran economía en el consumo de combustible.

Por otra parte, el orden que se sigue en este sistema de evaporación permite que el vapor producido al hervir la salmuera en una paila cerrada y en la que se ha establecido el vacío del modo más completo posible, puede aprovecharse haciéndolo pasar a una segunda paila, cuya salmuera se calienta también hasta el punto de ebullición, por efecto del calor transferido por el citado vapor que viene de la primera paila; de la misma manera, el vapor de esta segunda paila, calienta y hace hervir la salmuera que llena una tercera paila, pudiendo continuar así sucesivamente, aprovechándose el vapor que escapa de una paila, para elevar la temperatura de la solución que se halla en el siguiente evaporador.

En estas condiciones, se comprende que a la economía de calor que ofrece el bajo punto de ebullición logrado mediante el calentamiento al vacío se suma la economía que se obtiene con la transferencia del calor que se hace entre una paila y otra.

Los aparatos usados en este sistema de evaporación son semejantes a los empleados para la cristalización del azúcar, siendo mucho más complicados que los que se emplean en ningún otro método; consisten en grandes recipientes o pailas de forma cilíndrica, con el extremo inferior, y a veces también el superior, de forma cónica, los que son contruidos generalmente de hierro o acero. Estos recipientes se instalan uno al lado del otro, haciendo combinaciones de dos o tres y hasta cuatro evaporadores, los que, cuando se hallan en las referidas condiciones, corresponden a instalaciones de doble, triple y cuádruple efecto, aunque, por lo general, todas las series compuestas de más de dos recipientes evaporadores, son reconocidas como instalaciones de múltiple efecto.

Las pailas o recipientes a que se hace referencia, miden de 10 a 15 metros de altura, por 3 a 6 metros de diámetro, pero cada día se generaliza más el uso de pailas de gran tamaño, habiendo algunas cuya producción puede llegar a ser hasta de 1,000 toneladas diarias de sal.

Hay otros tipos de evaporadores muy semejantes a los anteriores, toda vez que aprovechan los mismos principios para la evaporación de las salmueras, por lo que lógicamente, pueden ser considerados como verdaderas variantes, más o menos mejoradas, del sistema ya descrito de evaporación al vacío.

Entre los evaporadores al vacío más conocidos, se encuentran los del sistema Lillie, de triple y cuádruple efecto; el evaporador Brecht,

de uno o de múltiple efecto; el sistema evaporador Shell, también de múltiple efecto, y los evaporadores Swenson, Oscar Krenz, Wheeler, Zarembo y muchos otros que sería largo enumerar.

*Productos obtenidos.*—El cloruro sódico producido mediante el sistema de evaporación al vacío, presenta una evidente pureza, teniendo sus cristales un lustre bastante agradable y siendo sus granos de una extremada uniformidad, por lo que puede considerarse la sal obtenida mediante este sistema evaporador, como la más adecuada para emplearse con fines alimenticios. Los cristales de cloruro sódico obtenido en estos recipientes al vacío, adoptan la forma de cubo casi perfecto, pudiendo servir esta sola característica, para distinguir la sal obtenida mediante el referido procedimiento de evaporación.

El sistema de evaporación al vacío al que se ha hecho referencia anteriormente, es el que se sigue en las plantas de San Luis Potosí y de

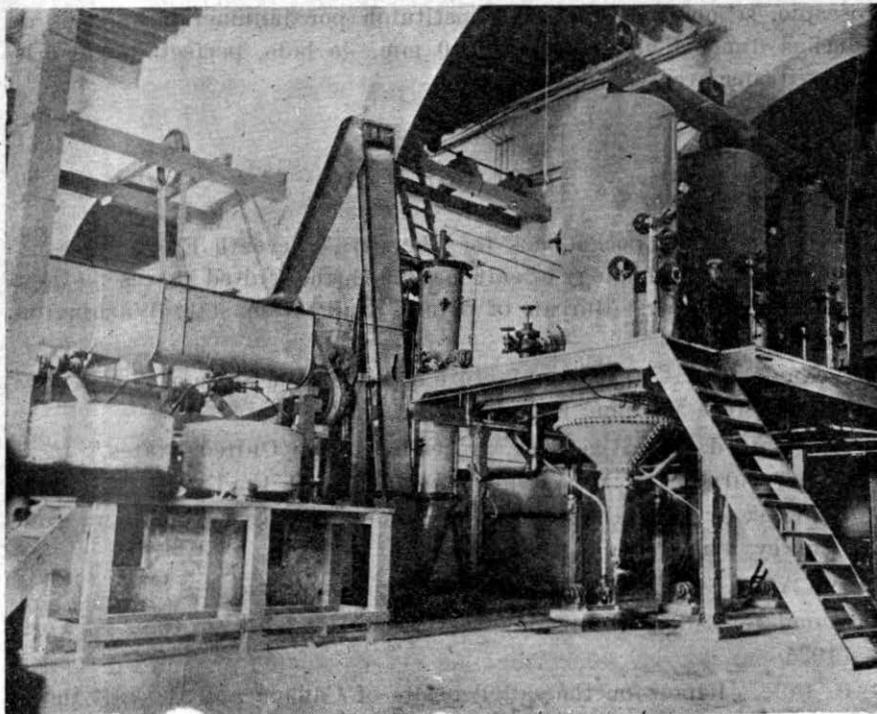


Foto. Núm. 3.—Planta de evaporación de triple efecto, establecida en San Luis Potosí, México.  
Cortesía de la Compañía Limitada de Salinas de México. San Luis Potosí, México.

Tampico, Tamps. Además, según informes obtenidos en fuentes dignas de crédito, se sabe que se trata de poner en trabajo otras plantas semejantes que se han establecido en la isla María Madre y en Mazatlán, Sin. Aun cuando estas dos últimas plantas ya han empezado a producir algunas cantidades de sal de primera calidad, los trabajos de elaboración no se han emprendido con entera regularidad, pudiendo considerarse, por lo tanto, que su funcionamiento se encuentra todavía en vías de organización.

En la planta evaporadora de San Luis Potosí se trabaja una instalación de triple efecto, y sus dimensiones y distribución de los aparatos evaporadores y cristalizadores pueden apreciarse en la Fot. Núm. 3.

Tanto en la planta de San Luis Potosí, como en la de Tampico, Tamps., se elabora una sal de bastante buena calidad, que llega a acusar un contenido de cloruro sódico hasta de 97.5%. Es una sal bastante blanca, muy seca y de grano notablemente uniforme; examinada al microscopio, se observa que está constituida por innumerables cubos de pequeñas dimensiones, como de 0.10 mm. de lado, perfectamente cristalinos, transparentes e incoloros.

#### BIBLIOGRAFIA

- Thomas Bayley "A pocket-book for Chemists," Seventh Ed. 1900.
- W. C. Phalen. "Technology of salt making in the United States".—Dept. of the Interior.—Bureau of Mines, Bull. Núm. 146. Washington, D. C. 1917.
- F. E. Englehardt.—"The manufacture of salt in the State of New York." N. Y. State Museum, Bull. Núm. 11. 1893.
- T. M. Chatard.—"Salt making processes in the United States," U. S. Geol. Survey 7th Ann. Rept. Washington, D. C., 1888.
- C. W. Cook.—"The salt industry of Michigan," Mich. Geol. and Biol. Survey. Pub. Núm. 8. Geol. Series 6, 1913.
- Rogers Allen.—"Industrial Chemistry" 3<sup>a</sup> Ed. 1921.
- Raymond B. Ladoo.—"Non-Metallic Minerals." 1<sup>a</sup> Ed. 5<sup>a</sup> Imp. N. York, 1925.
- G. G. Cole.—Report on the salt deposits of Canada and the salt industry.—Can. Dept. of Mines Bull. 325. Ottawa, 1915.
- F. W. Clarke.—"The Data of Geochemistry" Bull. U. S. Geol. Surv. Núm. 491, 2 ed., Washington, D. C., 1911.

En los precios que se han indicado para los diversos tipos de sal se ha incluido el impuesto correspondiente, correspondiente que de las precios se refieren al producto vendido a granel, excepto en sal refinada. Sal desnaturalizada—Las substancias que se añaden a la sal para desnaturalizarla, son muy diversas, pero generalmente se emplea un dos por ciento de ácido sulfúrico. Esta relación con la sal ordinaria en la que se desea cambiar la sal en cuestión.

### CAPÍTULO III

*Especificaciones comerciales.*—La sal que se produce en México es conocida en el comercio con diversas denominaciones, las que se le asignan de acuerdo con sus peculiaridades y variadas características, tales como su pureza aparente, su aspecto, limpidez, magnitud de su grano, sistema que se empleó en su elaboración, etc., etc. Los diversos tipos de sal a que se hace referencia son reconocidos con nombres que se aplican local o regionalmente, siendo los cinco siguientes los más generalizados.

- 1º Sal refinada.
- 2º Sal de beneficio.
- 3º Sal de cuajo.
- 4º Sal espumilla.
- 5º Sal industrial.

La sal refinada es la que se obtiene con los sistemas de evaporación al vacío y su precio, vendida en operación de primera mano, fluctúa entre \$ 100.00 y \$ 110.00 la tonelada.

La sal de beneficio es el producto comestible que por su pureza puede considerarse de primera calidad y su precio, vendida en operaciones de primera mano, varía entre \$75.00 y \$ 80.00 la tonelada.

La sal de cuajo, así como la espumilla, es la que se explota en algunas salinas provistas de "planillas" y se vende, en operaciones de primera mano, a razón de \$ 70.00 ó \$ 75.00 la tonelada. Cuando la sal comestible, ya sea de beneficio, de cuajo o espumilla, se presenta molida al comercio, aumenta su costo, por tonelada, unos \$ 3.00 ó \$ 4.00.

La sal industrial es aquella que por contener demasiadas impurezas no puede emplearse con fines de carácter alimenticio, calificándose también como sal industrial, la que se obtiene desnaturalizando la sal ordinaria, mediante la adición de ciertas substancias que le comunican un sabor desagradable. Esta sal, en operaciones de primera mano, se vende a precios que fluctúan entre \$ 50.00 y \$ 55.00 la tonelada.

En los precios que se han indicado para los diversos tipos de sal, se ha incluido el impuesto correspondiente, entendiéndose que dichos precios se refieren al producto vendido a granel, excepto la sal refinada.

*Sal desnaturalizada.*—Las sustancias que se añaden a la sal para desnaturalizarla, son muy diversas, pero generalmente se emplea un desnaturalizante especial e inofensivo o que guarda cierta relación con la industria en la que se desea emplear la sal en cuestión.

En la lista que sigue se indican las sustancias que se emplean en México para desnaturalizar la sal, estando autorizada la adición de estas sustancias por las autoridades federales.

TABLA DE DESNATURALIZANTES DE LA SAL, AUTORIZADOS  
POR LA SRIA. DE LA ECONOMIA NACIONAL

Industria.	Desnaturalizante.	Cantidad por tonelada
Curtiduría.....	Rojo Cosmos.....	3 grs.
Refinación de aceites y grasas.....	Carbón vegetal en polvo.....	5 Kgs.
Alfarería.....	Negro de humo.....	3 Kgs.
Ganadería.....	Carbón vegetal en polvo (si la sal es de segunda o de beneficio).....	5 Kgs.
	(Si la sal es de primera).....	10 Kgs.
Ganadería.....	Azufre.....	5 Kgs.
Talabartería.....	Sosa calcinada al 2%.....	
Refrigeración.....	Sulfato de sodio al 2%.....	
Jabonería.....	Jabón en polvo.....	5 Kgs.
Jabonería.....	Azufre.....	5 Kgs.
Jabonería.....	Carbonato de sodio al 2%.....	
Nevería.....	Sulfato de hierro.....	5 Kgs.
Purificación de agua para caldera.....	Cristal Ponceau.....	5 grs.
Hilados y tejidos.....	Azufre.....	5 Kgs.
Metalurgia.....	Sulfato sódico al 15%.....	
Metalurgia.....	Carbón en polvo.....	3 Kgs.
Sedas.....	Carbón vegetal en polvo.....	5 Kgs.
Desangrado de pescado....	Se exige una fianza que se cancelará al recibir el aviso de la Oficina Federal de Hacienda correspondiente, indicando que la sal fué empleada para desangrar pescado, en vista de que no puede usarse ningún desnaturalizante por el uso a que se destina la sal.	

#### CAPÍTULO IV

### DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS RECURSOS SALINIFEROS DEL PAIS

En la distribución geográfica de las salinas mexicanas se mencionan solamente aquellas salinas que presentan algún interés económico, ya sea por el monto de su producción o debido a la buena calidad de la sal que se produce en ellas. Por otra parte, al hacerse mención de muchas salinas que se encuentran abandonadas o con sus trabajos paralizados, se ha tomado en cuenta que aun cuando no registren ninguna producción en la actualidad, su existencia, en unión de las salinas que se hallan en trabajo, marca la magnitud de los recursos saliníferos con que cuenta el país.

En la Carta de la República que se adjunta, se indica la localización tanto de las salinas costeras como las que se encuentran en el interior del país, así como también se señala la ubicación de los domos salinos del Istmo de Tehuantepec.

*Baja California.*—Un grupo de salinas muy antiguas que existen en la Baja California, son las llamadas de Ojo de Liebre, situadas en la bahía de Sebastián Vizcaíno. Los depósitos de sal de Ojo de Liebre han sido formados por evaporación del agua marina que invade las depresiones costeras, en las pleamares. Las salinas a que se hace referencia son tres: la más extensa tiene algo más de 10 kilómetros de largo, otra alcanza una longitud como de 8 kilómetros y, por último, la más chica, sólo tiene unos 4 kilómetros. Algunos análisis efectuados con muestras de sal procedente de dichas salinas, dieron los resultados que se indican en seguida:

Agua a 110° C. ....	2.45%
Materia orgánica .....	0.35 „
Sílice. ....	0.10 „
Cal. ....	0.16 „
Magnesia. ....	0.14 „
Sodio. ....	37.01 „
Potasio. ....	1.20 „
Cloro. ....	56.99 „
Sulfúrico. ....	1.48 „
Bicarbono. ....	0.12 „
	<hr/>
Suma.....	100.00%

## COMPOSICION

Agua. ....	2.45%
Materia orgánica .....	0.35 „
Sílice. ....	0.10 „
Cal. ....	0.16 „
Magnesia. ....	0.14 „
Cloruro de potasio.....	2.29 „
Cloruro de sodio.....	92.16 „
Sulfato de sodio .....	2.19 „
Bicarbonato de sodio .....	0.16 „
	<hr/>
Suma.....	100.00%

Al norte de las salinas de Ojo de Liebre y como 10 kilómetros distantes del puerto de San Quintín, se encuentran las salinas de este nombre y las de Batequí, constituidas por pequeñas cuencas cerradas, no mayores de 1 kilómetro cuadrado, que probablemente formaron el antiguo lecho de algunas lagunas, que dieron lugar, por evaporación de sus aguas, a la formación de las referidas salinas.

La sal se extrae de estos depósitos en pequeña escala y usando métodos muy rudimentarios, que consisten en evaporar durante los meses de verano, las soluciones salinas que existen en el fondo de dicha cuenca; parece que la explotación no ha tomado mayor incremento, debido a la dificultad y costo de transportes de la sal, al puerto de San Quintín.

La sal obtenida en las salinas de Batequi es de buena calidad, como puede apreciarse examinando el análisis que se incluye a continuación, el cual fué practicado en el laboratorio del Instituto de Geología, por el químico señor Rodolfo del Corral.

Agua a 110° C. ....	0.69%
Materia orgánica .....	0.05 „
Sílice. ....	0.21 „
Cal. ....	0.07 „
Magnesia. ....	0.02 „
Sodio. ....	34.83 „
Potasio. ....	5.83 „
Cloro. ....	56.96 „
Sulfúrico. ....	1.22 „
Bicarbonico. ....	0.12 „
	<hr/>
Suma.....	100.00%

#### COMPOSICION

Cloruro de potasio.....	11.11%
Cloruro de sodio.....	85.20 „
Sulfato de sodio.....	2.49 „
Bicarbonato de sodio.....	0.16 „
Cal. ....	0.07 „
Magnesia. ....	0.02 „
Sílice. ....	0.21 „
Materia orgánica .....	0.05 „
Agua.....	0.69 „
	<hr/>
Suma.....	100.00%

En la vertiente que presenta la península hacia el Pacífico existen otros lugares propicios para la extracción de sal: tales como la laguna de San Ignacio, situada en el extremo oriental de la bahía de las Balleas, así como también en la bahía de San Bartolomé, etc. En el primero de los lugares citados se hallan establecidas las salinas "Cuarenta," las que registran una elevada producción de sal comestible de magnífica calidad. También en la isla de Cedros, situada en el extremo occidental

de la ensenada de Sebastián Vizcaíno, hay salinas que pueden presentar alguna importancia.

De las salinas situadas en la vertiente del Golfo de California, la de la isla del Carmen tiene bastante importancia y se ha venido explotando desde el tiempo de la dominación española. Se encuentra en el extremo meridional de la isla, y tiene su origen en una depresión o cuenca de unas 200 hectáreas de superficie. Para obtener la sal de este depósito, se hacen perforaciones poco profundas, que se llenan con agua de mar, la que, al evaporarse, deja grandes depósitos de sal cuyo contenido de cloruro sódico fluctúa entre 97 y 98%.

En el Municipio de Mexicali y en la bahía de Ometepe, se encuentran las importantes salinas de ese nombre, las que son explotadas en la actualidad por una empresa particular.

Al norte de punta Salina, de la isla de San José, situada en el Golfo de California, hay tres lagunas litorales de las que se extraen cantidades considerables de sal. Es en esta isla donde se hallan establecidas las salinas del Amortajado, de donde se extrae una buena cantidad de sal comestible e industrial. (Véanse los cuadros de producción del capítulo III.)

Frente a la isla de San Marcos y dentro de la ensenada de San Bruno, se halla establecida la salina de ese nombre, y en la bahía de Santa Inés, al norte de la población de Mulegé, se encuentran las salinas del Sombrerito. Además, en el mismo Municipio de Mulegé, se hallan establecidas las salinas del Mojón y del Mezquital, entre las puntas del Chivatito y Prieta.

En la isla de San Juan Nepomuceno, situada al oriente de la bahía de La Paz y cerca del extremo sureste, se encuentra una pequeña laguna litoral de unos 600 metros de largo, por 400 de ancho, de la que se extraen importantes cantidades de sal por medio del sistema que aprovecha la evaporación solar.

En el puerto de Pichilingue y en San Evaristo, ubicados en la costa oriental de la bahía de La Paz y al este de la isla de San Juan Nepomuceno, existen también salinas de importancia. Algunas muestras procedentes de las salinas de Pichilingue dan el siguiente análisis:

Sal de primera.—96.10% de cloruro sódico.

Sal de segunda.—93.24 „ „ „ „ „ „

Sal de tercera.—89.32 „ „ „ „ „ „

Otras muestras procedentes de estos mismos criaderos acusaron un contenido de 93.96%; 92.22% y 99.92% de cloruro sódico.

En el Municipio de La Paz se encuentran las salinas de San Evaristo, frente a la isla de San José; la del Coyote, cerca de la punta del mismo nombre y la llamada de Margarita, cerca de punta Arenas; además, en la parte sur de la península y pertenecientes al Municipio de San José del Cabo, se tienen las salinas llamadas "La Salina," ubicadas cerca del cabo San Lucas.

Existen otros lugares en la Baja California, de los que se extraen buenas cantidades de sal, pero su importancia económica es de carácter secundario, por lo que no se mencionarán en este estudio.

*Campeche.*—Es este uno de los Estados de la República que con más abundancia produce la sal, y ello constituye su principal riqueza minera. Las salinas se encuentran en todo el litoral comprendido desde el puerto de Celestún, del Estado de Yucatán, hasta el puerto de Campeche; pero las más importantes son las del Real de Salinas, situadas en el Municipio de Campeche.

En la isla del Carmen existen también algunas salinas de importancia, aunque de menor cuantía que las anteriores.

*Chiapas.*—En Chiapas, la sal se extrae en grandes cantidades, de las ricas salinas que existen en los antiguos ex Departamentos de Tonalá, La Libertad y Soconusco.

Las salinas de Tonalá se forman en el litoral durante las mareas equinocciales del Pacífico, dejando después, por evaporación solar, una sal cristalina de color verdoso (coloración debida probablemente a la clorofila de algas marinas). La sal de esta localidad se emplea con ventaja para los ganados.

De las salinas de Soconusco, son de mencionarse las que se hallan en las lagunas de Huayalotengo y El Huamúchil, por ser las que producen mayor cantidad de sal de buena calidad. En cuanto a las salinas situadas en jurisdicción del ex Departamento de La Libertad, aun cuando son muy numerosas, no alcanzan una gran importancia industrial, porque la sal que se extrae de ellas es relativamente impura.

*Chihuahua.*—Al N. de Sierra Mojada y como a 97 kilómetros de distancia, se halla la laguna de Jaco, que tiene como 8 kilómetros de largo y 3 de ancho, ocupando una superficie aproximada de unas 2,000 hectáreas; a corta distancia de esta laguna se encuentra el lago

salado de San Blas, que ocupa una extensión superficial como de 60 hectáreas, además al sureste de este lago y muy próximo a él, está otra laguna llamada de Santa Elena, que abarca una extensión como de 40 hectáreas. Las aguas de todos estos depósitos son muy saladas, conteniendo en solución, de 23 a 30% de sales de sodio, de las cuales, un 98 a 99.6% corresponden al cloruro sódico.

En algunas salinas de esta región se excavan zanjas como de metro a metro y medio de profundidad y el agua salada que asciende y llena la zanja, tiene una concentración aproximada de 12.5° Bé. Esta agua se conduce a las planillas de evaporación en donde se concentra por la acción de los rayos solares, dejando finalmente sobre el terreno gruesas costras de cloruro sódico que se reúnen en montones y se dejan escurrir y secar.

Otra fuente de producción de sal en el Estado de Chihuahua, es la laguna de Palomas, que se halla situada cerca de la estación Carrillo, del antiguo Ferrocarril Mexicano del Norte. En Palomas se extrae la sal aprovechando la evaporación solar, obteniéndose un producto de primera, que contiene de 97 a 98% de NaCl, y una sal de segunda con 89 a 90% de NaCl y 8 a 9% de sulfato sódico. En diversos lugares del ex Distrito de Bravos se encuentran también varios depósitos de sal, pero aun cuando su explotación ofrece buena expectativa, hasta ahora no ha sido objeto de trabajo alguno.

**Coahuila.**—En las márgenes de las antiguas lagunas que se localizan en la porción meridional del Estado de Coahuila, existen algunas salinas que son objeto de explotación desde hace algún tiempo.

La naturaleza del terreno calichoso y salino de aquellas regiones, ocasiona que durante las temporadas de lluvias, las infiltraciones de las aguas, a través de estos terrenos, disuelvan las sales solubles contenidas en ellas, y al evaporarse dichas soluciones durante las sequías, dejan considerables depósitos de cloruro sódico y otras sales.

Las salinas de la antigua laguna de Viesca se explotan haciendo excavaciones de poca profundidad, que se designan localmente con el nombre de "charcos," los que varían mucho en sus dimensiones, llegando a alcanzar algunos de ellos hasta 80 metros de largo, 10 a 15 de ancho y una profundidad máxima de 12 metros.

La composición media de las salmueras en la región salinera de Viesca, es de 58 a 60 gramos de cloruro sódico por litro, y de 67.5 a 70 gramos de sulfato sódico por litro, conteniendo también pequeñas cantidades de carbonato sódico.

Existen además en el ex Distrito de Monclova, las lagunas saladas de La Mula y de La Leche. Estas dos lagunas, que se alimentan principalmente de pequeños arroyos formados durante la temporada de lluvias, se transforman en depósitos de agua salada, por la disolución de los carbonatos, sulfatos y cloruros de las tierras, efectuándose después una mayor concentración durante los períodos de evaporación.

*Colima.*—Las salinas de Colima tienen su origen en las lagunas que ocupan todo el litoral del Estado, desde Manzanillo hasta Boca de Apizo y han tenido preferente interés en la República, tanto por su considerable producción, como por la buena calidad de la sal que allí se obtiene, la que es reputada entre las mejores del país.

En el Municipio de Manzanillo se encuentran las salinas de Cuyutlán, la de San Pedrito, en la laguna del mismo nombre, las del Ciruelo, Cualata, Cualatilla y Palo Verde. En el Municipio de Tecomán están ubicadas las salinas de ese nombre y las llamadas de Pascuales, del Real, La Manzanilla y de Huazango. En el Municipio de Ixtlahuacán se hallan las salinas del mismo nombre y las de Tecuán, Tecuanillo, Guayabal, Carrizal y Caimán y cerca de este mismo Municipio, se hallan otras salinas conocidas con el nombre de Vega, San Sebastián y San Pantaleón.

Existen además en Colima las salinas de Estero Blanco, y las de la Viuda de Alvarez, que son explotadas por sociedades cooperativas, en tanto que las salinas de Antonio Escoto, así como las de Eladio Sausa, son explotadas por empresas particulares.

En las muy importantes salinas de Cuyutlán, se obtiene la sal por medio de la evaporación solar de las aguas contenidas en la laguna de ese nombre, la que tiene una extensión de cerca de 50 kilómetros, a contar desde Manzanillo hasta cerca del río Armería.

Es de hacerse notar que en numerosos lugares del Estado de Colima se extrae la sal usando los métodos filtrantes que se describieron en el capítulo III, métodos que, a pesar de ser muy primitivos, producen una sal bastante pura.

En los 150 kilómetros de salina que tiene aproximadamente el Estado de Colima, se encuentran más de 1,200 pozos de agua salada, de los que también se extrae sal por medio de la evaporación solar; una muestra de sal comercial procedente de las salinas de Cuyutlán, produjo los siguientes resultados:

Agua a 110° C. ....	3.94%
Materia orgánica .....	0.45 „
Sílice .....	0.18 „
Cal. ....	0.80 „
Magnesia. ....	0.57 „
Sodio. ....	36.55 „
Potasio. ....	1.16 „
Cloro. ....	54.63 „
Sulfúrico. ....	1.54 „
Bicarbono. ....	0.18 „
Suma.....	100.00%

## COMPOSICION

Agua. ....	3.94%
Materia orgánica .....	0.45 „
Sílice .....	0.18 „
Cal. ....	0.80 „
Magnesia. ....	0.57 „
Cloruro de potasio.....	2.25 „
Cloruro de sodio. ....	88.41 „
Sulfato de sodio.....	3.15 „
Bicarbonato de sodio.....	0.25 „
Suma.....	100.00%

**Durango.**—La producción de sal en este Estado presenta poca importancia. Sin embargo, hace algún tiempo, cuando se empleaban grandes cantidades de sal para el tratamiento metalúrgico de los minerales argentíferos, se obtenía el cloruro sódico de unas salinas situadas en un lugar llamado “El Alamo,” en donde la explotación de sal alcanzó en aquel tiempo bastante importancia.

Por Mazapil y diversos puntos circunvecinos, se halla la sal con cierta abundancia, en numerosos charcos y lagunas temporales, pero hasta ahora no han sido objeto de regular explotación, habiendo sido trabajados en escala muy reducida.

**Guerrero.** La producción de sal en este Estado es de bastante consideración, existiendo en el litoral del Pacífico las importantes salinas

de Chutla, Camotla y Apantla, ubicadas, estas últimas, en la hacienda de Ixtapan, en las márgenes del río de su nombre y a unos 270 kilómetros al noreste de Acapulco. Siguen en importancia las salinas del Potosí, formadas en la laguna del mismo nombre, que se halla en la desembocadura del río Petatlán.

En el ex Distrito de Tabares se encuentran las salinas de San Marcos, que son las más importantes del Estado y que están situadas en el pueblo y hacienda de su nombre, a unos 84 kilómetros al este de Acapulco. La producción que ha registrado esta región salinera es bastante considerable, teniendo la sal que se produce en ella una pureza de 96.93% de NaCl.

Existen además otras salinas, como las de Copala, Islayutla, La Salinita, El Cuajo, El Salado, Zihuatanejo, Timbán, La Soledad y otras más que se hallan distribuidas en diferentes lugares del litoral del Estado, pero por ser de importancia secundaria no se describirán en este estudio.

*Jalisco.*—En la región de Sayula existe una importante zona salina que abarca una extensión de cerca de 350 kilómetros cuadrados, extendiéndose desde la población de Sayula hasta cerca de Santa Ana, que se halla situada como a 63 kilómetros del lugar antes mencionado.

Además de las salinas de Sayula se encuentran en esta misma zona, las de Zacoalco, Poncitlán, Tepetate y San Marcos; en la región de Amea las del mismo nombre y en Tequila, las salinas de Hostotipaquillo.

Después de Sayula, Atlán ocupa en Jalisco el segundo lugar entre las regiones salineras del Estado. La riqueza en cloruro sódico de diferentes muestras comerciales obtenidas de las principales salinas de Jalisco, es como sigue:

El Tepetate. . . . .	94.95%	de NaCl.
El Zapote . . . . .	93.38	„ „ „
Poncitlán. . . . .	85.26	„ „ „
Mezcali. . . . .	96.86	„ „ „
Navidad. . . . .	96.28	„ „ „
Paramán. . . . .	98.02	„ „ „

Como salinas costeras se tienen en el Municipio de Puerto Vallarta, las de Capinole, las de Ipala y las de la Laguna Bermeja; en el Municipio de Tomatlán se hallan las salinas de la Laguna Colorada, Las Garcitas y la Sabanilla.

*México.*—Son numerosos los lugares en que se encuentra la sal en este Estado, siendo los principales en las márgenes del antiguo lago de Texcoco; en las inmediaciones del pueblo de Temascalzingo; cerca de Cuautitlán e Ixtapan de la Sal; en algunos lugares del Municipio de Tonicato y en el rancho llamado Agua Amarga, cercano a Tenancingo.

La explotación de la sal en el antiguo lago de Texcoco se realiza activamente, tanto en la parte que corresponde al Estado de México, como en la del Distrito Federal, donde quizá dicha explotación sea más activa y donde se purifica la mayor parte de la sal extraída en esta cuenca.

La elaboración de la sal común en el lago de Texcoco ha presentado ciertas dificultades debido a la presencia de cantidades apreciables de materias animales que existían en sus aguas. Sin embargo, la separación del cloruro sódico y de las diversas sales que entran en la composición del tequesquite, se lleva a cabo actualmente con bastante éxito, en la planta de experimentación llamada de Netzahualcóyotl que se halla establecida cerca del kilómetro 20 del F. C. del Desagüe, en la que se estudia la completa utilización industrial de las sales del lago de Texcoco.

En este lugar se siguen los sistemas usuales de concentración mediante la evaporación solar, pero tanto el evaporador como los cristalizadores, presentan una forma original, ideada por el señor Hermión Larios, antiguo jefe de dicha planta.

El evaporador consiste en un canal de gran longitud y de 230 metros de ancho, con cerca de 70 centímetros de profundidad; este canal se prolonga en forma de espiral, ocupando una superficie de 400 hectáreas y se halla dispuesto como lo muestra la figura adjunta.

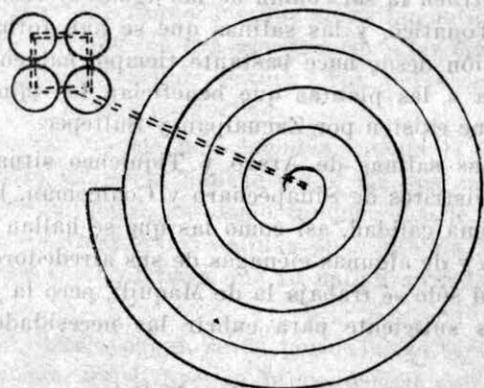
Las aguas con un contenido salino de cerca de 22 gramos por litro, se vierten por medio de bombas a la boca del evaporador, de aquí avanza el líquido lentamente y evaporándose al mismo tiempo, conforme adelanta acercándose al centro del espiral.

Alcanzado este punto, la solución contiene aproximadamente 200 gramos de sales por litro y entonces se pasa a los cristalizadores a través de un conducto subterráneo.

Los cristalizadores son cuatro y estaban en construcción en la época en que se visitó esta zona, por lo que no se les vió trabajando. Sin embargo, como ya habían sido terminados dos de ellos, es posible describir su funcionamiento. Consisten en cuatro tanques de forma circular, en cuyo centro y a una altura conveniente, se asoma la boca de un tubo que conduce el agua salada de este primer tanque, al fondo de un segundo

cristalizador; este segundo tanque se halla provisto de un aditamento semejante que hace pasar el agua salada a un tercer cristalizador y se continúa de este modo a través de todo el grupo de cristalizadores hasta que el cuarto tanque vierte sus aguas saladas en el fondo del primero, realizándose así una especie de rotación a través de los cuatro tanques.

Estos cristalizadores trabajan aprovechando el comportamiento general que ofrecen los líquidos en relación con las temperaturas, según el cual, el líquido más caliente tiende a elevarse hacia la superficie del cuerpo fluido; así pues, al elevarse la temperatura del agua salada en el primer cristalizador, mediante el calor de los rayos solares, el agua más caliente asciende hacia la superficie y se escapa por el tubo cuya boca se halla en el centro, siendo conducida al segundo cristalizador, en donde eleva la temperatura del agua que se encuentra en su fondo. En este segundo tanque, el agua salada experimenta un movimiento semejante al anterior, realizándose de este modo una circulación de agua caliente de uno de los cristalizadores, hacia las partes más frías del tanque inmediato.



*Evaporador y cristalizadores de la  
planta de Metzahualcoyotl, Mex.*

Con este sistema de evaporación se cree posible obtener una cierta uniformidad en las temperaturas de las soluciones que se evaporan en estos tanques, pudiéndose lograr, en consecuencia, una mejor separación de las diversas sales que se encuentran disueltas en las aguas de este

antiguo lago de Texcoco, las que se hallan en las siguientes proporciones en promedio:

Cloruro sódico .....	49.4%
Carbonato sódico .....	43.0 „
Sulfato sódico .....	1.1 „
Bórax. ....	5.2 „
Cloruro potásico .....	4.8 „

Al norte del pueblo de Ixtapan de la Sal y como a kilómetro y medio de distancia, se halla el cráter de un volcán extinguido que hoy forma el lecho de un lago profundo, cuya agua es salada y sulfurosa. Las aguas de este lago se infiltran formando diferentes conductos subterráneos que se dirigen unos al oeste y otros al sur; los primeros forman los manantiales en donde se hallan establecidos los célebres baños de esta localidad, en tanto que los segundos forman diversos manantiales que brotan en lugares distantes hasta 4 kilómetros de la mencionada laguna.

En Ixtapan extraen la sal común de las aguas de esos manantiales, lo mismo que en Tonatico, y las salinas que se han formado allí, han estado en explotación desde hace bastante tiempo, habiendo abastecido de la sal necesaria a las plantas que benefician los minerales extraídos de las minas que existen por Zacualpan y Sultepec.

*Michoacán.*—Las salinas de Araró y Tiquicheo situadas en jurisdicción de los ex Distritos de Sinapécuaro y Coalcomán, han producido bastante sal de buena calidad, así como las que se hallan en las orillas del lago de Cuitzeo y de algunas ciénagas de sus alrededores. Sin embargo, en la actualidad sólo se trabaja la de Maquilí, pero la producción de dicha salina no es suficiente para cubrir las necesidades locales del Estado.

*Nayarit.*—En las marismas llamadas de Colita, que se localizan al sureste de Acaponeta, se produce bastante sal de buena calidad; así como también en Tecuala y en las márgenes de la laguna de Mexcaltitán, donde se hallan establecidas las salinas de ese nombre, en el resto del litoral de Nayarit, aunque se explota la sal en diferentes lugares, dicha industria tiene poca importancia en lo que respecta al monto de producción.

Sin embargo, son dignas de mencionarse las salinas que se encuentran en los esteros del Azueliadero, Roblito, Prieto, del Maíz, Guayabito, Los Molinos y Vena Puerca, así como los que se hallan cerca de la barra de

Teacapan, en la isla del mismo nombre; en la isla de La Paloma y en las marismas de La Talega.

En la actualidad se explotan con buen éxito las salinas pertenecientes a la sociedad cooperativa Primo Villa Michel, a la que corresponden las salinas de El Roble, Chalpa, El Toro, Panales, Urraca, Ciruelito, Banco de Oro, Puerto del Río, La Guadiana, La Ceiba, Mexcalitos y Conchitas.

En la isla María Madre, que pertenece al Estado de Nayarit, se produce gran cantidad de sal de buena calidad; una muestra de dicha sal acusó un contenido de 96.97% de NaCl.

*Oaxaca.*—Oaxaca ocupa un lugar prominente entre los Estados productores de sal en la República. Sus salinas son muy extensas y de abundante producción. A este respecto deben mencionarse principalmente las ubicadas en el litoral del Pacífico, en los ex Distritos de Jamiltepec, Juquila, Pochutla, Tehuantepec y Juchitán. También en las regiones interiores de Silacayoapan, Teotitlán, Teposcolula y Tlacolula, se encuentran salinas de alguna consideración.

De las salinas anteriores, las que se hallan situadas en el ex Distrito de Tehuantepec pueden considerarse como las más ricas del Estado. Entre ellas se cuentan las de Salina Cruz, del Fraile y del Marqués, siendo esta última la más productiva.

Además de las salinas mencionadas, cuenta el Estado con las de Salinitas, Salinas Grandes, Nanche y Genche que se encuentran ubicadas en Pinotepa Nacional, así como también las de Los Tanques y La Bocana, en Salina Cruz, y las salinas de Punta de Agua, San Ramón, Laguna Redonda y El Amparo que se hallan situadas en el Municipio de Juchitán.

También en Silacayoapan se ha generalizado la industria de la extracción de la sal, constituyendo la ocupación casi exclusiva de los habitantes de esa región.

*Puebla.*—Existen en el Estado de Puebla numerosos lugares de donde se extrae la sal, siendo los principales en Tehuacán, en Zapotitlán y San Antonio de las Salinas. Las aguas de los famosos manantiales de Tehuacán, contienen bastante cloruro sódico, además de otras sales de este mismo metal; en tanto que el agua de los manantiales de San Antonio de las Salinas contiene 50.299 gramos de materia mineral en solución, de cuya cantidad el cloruro sódico forma el 70.29%.

*Querétaro.*—Existen en Querétaro numerosos lugares en donde se halla cloruro sódico, como en Río Blanco; pueblo y Mineral de Tolimán;

en el Doctor; pueblo y Mineral de Cadareyta, y las eminencias llamadas Pinal de Amoles, que forman parte de la importante Sierra Gorda.

Todas estas salinas, así como otras de menor importancia que existen en el Estado, no han ofrecido hasta ahora verdadero interés económico.

*San Luis Potosí.*—En San Luis Potosí hay abundancia de cloruro sódico, pues es una de las características naturales del Estado, la existencia en su territorio de lagunas saladas.

La región donde están situadas la mayor parte de estas lagunas ha recibido por tal circunstancia el nombre de Valle Salado y se encuentra al noroeste del Estado, siendo las principales de estas lagunas la de Santa María del Peñón Blanco, Zácátón, Mambelas, Carmen, Laguna Blanca, Santa Clara, Santo Domingo, Zaldívar Hernández y La Doncella, todas las cuales se localizan en los Municipios de Salinas, Ramos y

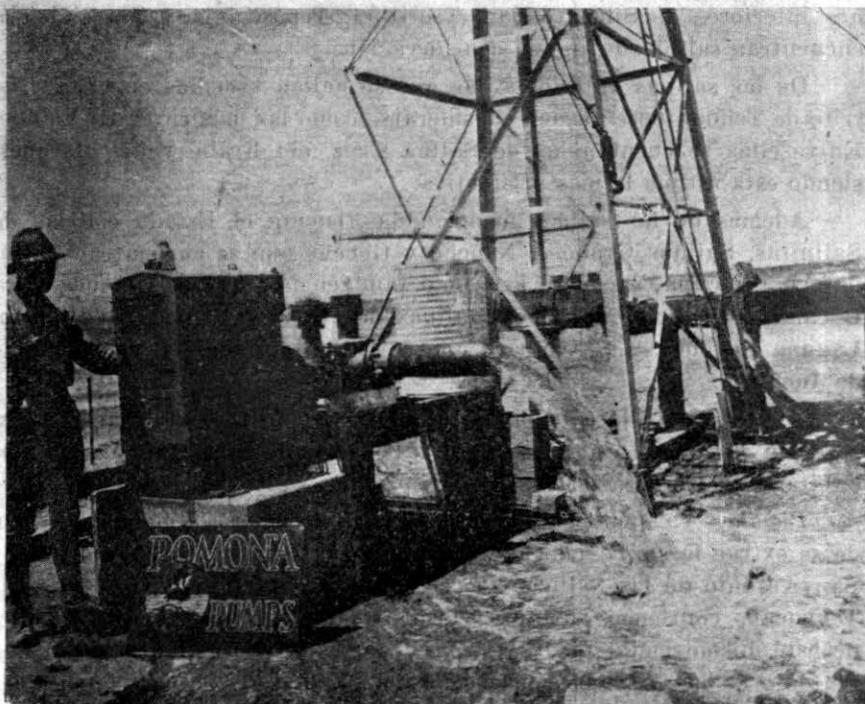


Foto. Núm. 4.—Sistema de bombeo para extraer agua salada, empleado en una región salinera de San Luis Potosí, México.

Cortesía de la Compañía Limitada de Salinas de México, S. L. P., México.

Santo Domingo. También deben mencionarse las lagunas del Tequesquite, en el valle de San Francisco; Tebasachique y Lagarto, en Tanlajás; Laguna Grande en villa de Valles; Tancuayalab, en el Municipio del mismo nombre; Laguna Vieja y de Patos, en Rioverde; Escondida, Pastores, Tortugas, Sanguijuela Grande y Sanguijuela Chica, situadas en Lagunillas; Babuleca, Amapolas y Lagunita, en el Cedral; Laguna de Sangre, en Alaquines; las lagunas del Tapado, en Samorelia y las de Cornejo, en Concordia.

Por lo que respecta a manantiales salinos, los más importantes son los de Peñón Blanco, ubicados en la estación Salinas, del antiguo F. C. Central Mexicano, en su ramal de San Luis a Aguascalientes. Los manantiales tienen una elevación aproximada de 2,316 metros sobre el nivel del mar y están situados en un pequeño valle arenoso y de material calórico, que evidentemente formó el fondo de un antiguo lago.

En esta región se obtiene el agua salada excavando pozos poco profundos, conocidos localmente con el nombre de "norias," que tienen de 8 a 12 metros de profundidad, por 3 a 4 metros de largo y 1.5 a 2 de ancho. El agua salada se extrae de dichos pozos por medio de bombas especiales. (Véase Fot. Núm. 4), acusando dicha agua, a su salida de los pozos, una graduación de 9° Bé. Para obtener la sal, se sujeta el agua extraída a un proceso de evaporación solar, en cuyo caso se elabora la sal ordinaria, o también se evapora al vacío (véase capítulo III), obteniéndose entonces la llamada sal refinada, de grano muy fino y uniforme y cuyo contenido en cloruro sódico alcanza a veces hasta un 97.5%.

Un análisis de esta sal, practicado en el laboratorio del Instituto de Geología, por el químico Rodolfo del Corral, produjo los siguientes resultados:

H <sub>2</sub> O a 110° C. ....	0.14%
Materia orgánica .....	0.17 „
Sílice. ....	0.12 „
Calcio. ....	0.24 „
Magnesio. ....	0.07 „
Sodio. ....	40.78 „
Potasio. ....	2.03 „
Cloro. ....	44.96 „
Sulfúrico. ....	10.88 „
Bicarbono. ....	0.61 „
Suma.....	100.00%

## COMPOSICION

Cloruro de potasio.....	3.87%
Cloruro de sodio.....	73.09 „
Sulfato de sodio.....	20.61 „
Sulfato de magnesio.....	0.35 „
Sulfato de calcio.....	0.81 „
Bicarbonato de sodio.....	0.84 „
	<hr/>
	99.57%
Humedad. . . . .	0.14%
Materia orgánica . . . . .	0.17 „
Sílice. . . . .	0.12 „
	<hr/>
Suma.....	100.00%

*Sinaloa.*—Las salinas más importantes del Estado de Sinaloa se localizan en la planicie costera del Pacífico, y descritas en su orden geográfico, de norte a sur, son las siguientes: Cumichi, Corobochi y San Pablo, en el ex Distrito de El Fuerte; Baturi, Guayabo, Jaquirahuato, Altamira, Altata e Higueras, en el ex Distrito de Sinaloa; Ceuta, en el de Cosalá; Huisache, en el de Mazatlán y Chametla en el ex Distrito de Rosario. De estas salinas son muy conocidas las del puerto de Altata, las de Ceuta, las de Huisache y las de Chametla.

En la zona costera de este mismo Estado, comprendida entre los ríos Piaxtla y de Las Cañas, se ha localizado una zona de reserva nacional, comprendida entre los ríos citados, la vía del Ferrocarril Sud-Pacífico, al oriente, y el Océano Pacífico al poniente. Dentro de esta zona de reserva se encuentran muchas salinas, entre las cuales se cuentan las famosas de Escuinapa, que actualmente son explotadas con mucho éxito por una sociedad cooperativa.

Además de las salinas mencionadas antes, últimamente han adquirido gran desarrollo las de Culiacán, Guamúchil, Mendia, La Tinaja, El Guayabito, El Conejo, Los Mochis y Caja.

El análisis de la sal de Guamúchil produjo el resultado siguiente:

Agua a 110° C. ....	1.09%
Materia orgánica .....	0.20 „
Sílice. ....	0.01 „
Cal. ....	0.83 „
Magnesia. ....	0.09 „
Sodio. ....	37.94 „
Potasio .....	1.00 „
Cloro. ....	57.90 „
Sulfúrico. ....	0.94 „
Suma.....	<u>100.00%</u>

## COMPOSICION

Cal. ....	0.83%
Magnesia. ....	0.09 „
Cloruro de potasio.....	1.91 „
Cloruro de sodio.....	93.95 „
Sulfato de sodio.....	1.92 „
	<u>98.70%</u>
Agua. ....	1.09%
Materia orgánica .....	0.20 „
Sílice. ....	0.01 „
Suma.....	<u>100.00%</u>

En cuanto a la sal de Escuinapa, analizada también en el laboratorio de este Instituto por el químico, señor Rodolfo del Corral, presenta la siguiente composición:

Agua a 110° C. ....	2.21%
Materia orgánica .....	0.53 „
Sílice. ....	0.06 „
Cal. ....	0.50 „
Magnesia. ....	1.50 „
Sodio. ....	35.64 „
Potasio. ....	2.80 „
Cloro. ....	55.66 „
Sulfúrico. ....	0.98 „
Bicarbonato. ....	0.12 „
Suma.....	<u>100.00%</u>

## COMPOSICION

Cloruro de potasio.....	5.34%
Cloruro de sodio.....	87.58 „
Sulfato de sodio.....	2.00 „
Bicarbonato de sodio.....	0.28 „
Cal.....	0.50 „
Magnesia.....	1.50 „
Sílice.....	0.06 „
Materia orgánica.....	0.53 „
Agua.....	2.21 „
Suma.....	100.00%

*Sonora.*—Todas las salinas del Estado de Sonora formadas en albuferas, son susceptibles de gran desarrollo, pero hasta la actualidad sólo se han explotado de modo irregular y en cantidad limitada. Las principales salinas de este tipo son las que se hallan situadas en la bahía de Adair, que son las de Pinacate y San Jorge, existiendo además otras salinas de importancia en un lugar llamado Las Arenas, perteneciente al ex Distrito de Alamos, donde desde hace algún tiempo se está obteniendo una sal de primera calidad, con un contenido de cloruro sódico de 98.2% y hasta 99.18%. También se encuentra la sal en el Mineral de Trinidad, del ex Distrito de Sahuaripa y en los ex Distritos de Arizpe y Hermosillo.

En el Municipio de Caborca existen las salinas de La Soledad y El Pinacate, la primera está ubicada a orillas del mar, al oeste del pueblo del mismo nombre, y tiene una extensión como de dos hectáreas. Dista del mar un kilómetro aproximadamente, y de la estación Llano o de Santa Ana del F. C. Sud-Pacífico de México, unos 200 kilómetros. La sal que procede de la evaporación natural del agua marina que entra por el estero, se recoge por medio de palas o rastrillos, produciéndose así una limitada cantidad de sal, que se consume casi en su totalidad entre los habitantes del Municipio en que se halla ubicada la salina. En cuanto a la salina del Pinacate, está ubicada al norte de la anterior y a unos 250 kilómetros al noroeste del pueblo de Caborca. Es la salina más extensa e importante de la región, pero por estar situada en pleno desierto y lejos de toda vía de comunicación, poco se conoce de ella, pues ni siquiera se utiliza para el consumo local.

Además existen en la bahía de San Jorge otras salinas de alguna importancia, así como en el cabo de Lobos y en los puertos de La Libertad y de Guaymas; cerca de la desembocadura del río Mayo existen las importantes salinas de Yavaros, Tres Hermanos y Jitocam, en tanto que en las inmediaciones de la desembocadura del río Yaqui, se hallan las salinas de La Corua, todas las cuales tienen sus trabajos en pleno desarrollo, obteniéndose una sal de calidad bastante buena.

*Tabasco.*—En el vecindario de Playas de Jiménez del Municipio de Macuspana, existen en terrenos pantanosos y anegadizos, extensos depósitos de sal. Son de gran importancia económica, pues abarcan cerca de 1,000 kilómetros cuadrados de superficie y producen sal en gran cantidad.

*Tamaulipas.*—Las salinas de Tamaulipas, tanto en número como en producción, son de las más ricas de la República. Se encuentran en todo el litoral del Estado, desde Matamoros hasta Tampico, así como en algunas lagunas interiores, en las que la concentración se efectúa de modo natural.

La abundancia de marismas o terrenos bajos de la playa, que se inundan con las aguas que rebosan del mar, permite que las salinas se formen reteniendo el agua por medio de diques construídos artificialmente y dejando el trabajo de las evaporaciones al sol y a los vientos.

En las orillas de las lagunas que existen en los Municipios de Matamoros, San Fernando y Soto la Marina, hay grandes charcos de agua salada en los que se obtiene la sal mediante la evaporación solar. De esta misma manera se recoge la sal en los Municipios de Altamira y Aldama.

En el Municipio de Altamira se encuentran establecidas las salinas de Lomas del Real, cuya elevada producción y buena calidad de su sal han dado renombre a dicha región.

*Veracruz.*—En el territorio de este Estado no existen salinas de importancia. Sin embargo, en San Andrés Tuxtla hay pozos de agua salada que son explotados por los indígenas que habitan la comarca. La sal que se obtiene de estos pozos presenta un color rosa violado, debido probablemente a un pequeño contenido de fierro o manganeso, o por la descomposición más o menos avanzada de ciertas algas marinas.

En muchas de las perforaciones practicadas en el Istmo de Tehuantepec, en busca de petróleo, se ha encontrado la sal en acumulaciones que forman domos, en los que frecuentemente se ha hallado cierta liga con la existencia del petróleo; estos domos han sido descubiertos tanto

en el Estado de Veracruz cómo en Chiapas y otros Estados cercanos al Istmo de Tehuantepec.

En seguida se describirán los principales domos salinos descubiertos en la región del Istmo.

*Potrerillos.*—Este domo se localiza en un punto situado como a 5 kilómetros al sureste de Chinameca y a una distancia más o menos igual al noroeste de la población de Jáltipan, cerca del río Chacalapa y al oeste del Ferrocarril del Istmo.

*Jáltipan.*—La región en que se halla el domo de Jáltipan se localiza al sur de Potrerillos y sobre la línea del Ferrocarril del Istmo.

*San Cristóbal-Capoacán.*—El domo de San Cristóbal-Capoacán está situado al sureste de la villa de San Cristóbal, que se halla ubicado en las márgenes del río Coachapan, como a 20 kilómetros al sur de Minatitlán.

*Amezquite.*—El campo de Amezquite, en el que se ha descubierto el domo salino de este nombre se encuentra en la margen izquierda del río Coachapan, justamente al otro lado de la villa de San Cristóbal.

*Concepción.*—El domo de Concepción está localizado en la margen derecha del río Uzpanapa, como a 18 kilómetros al noreste de San Cristóbal. El domo de sal de Concepción es semejante al de San Cristóbal por consistir ambos en un cuerpo de sal, de planta casi circular, cubierto por capas de rocas dolomíticas y calizas.

*Soledad.*—El campo en que se ha localizado el domo salino de Soledad, está localizado a 5 kilómetros al noroeste del domo de San Cristóbal, en la margen oeste del río Coachapan.

*Tecuanapa.*—El domo de Tecuanapa está localizado como a 45 kilómetros del de San Cristóbal y a unos 60 kilómetros al sureste de Puerto México. La estructura de este domo es, propiamente, un anticlinal, cuyo eje tiene un rumbo aproximado de sureste a noroeste. La cubierta del domo está formada en la parte superior por una capa de dolomita.

*Ixhuatlán.*—El domo salino de Ixhuatlán se encuentra como a unos 5 kilómetros al noroeste de la población del mismo nombre. Las estructuras geológicas en este domo son semejantes a las que se presentan en San Cristóbal, con la sola diferencia de que la sal se encuentra a mayor profundidad en el domo de Ixhuatlán.

*Filisola.*—El domo salino de Filisola está localizado en la margen izquierda del río Uzpanapa, justamente al sur de la población de Filisola. La estructura geológica, en el domo de Filisola, es propiamente,

un anticlinal, cuyo eje muestra una inflección, teniendo una longitud total de unos dos y medio kilómetros.

*San Carlos.*—El domo de San Carlos está localizado a cerca de un kilómetro al sureste de Minatitlán.

*Tonalá.*—El domo salino de Tonalá se encuentra como a 26 kilómetros al este de Puerto México y a unos 4 kilómetros al oeste de la margen izquierda del río Tonalá. El domo de este campo puede clasificarse entre los del tipo profundo, pues la sal se encuentra a unos 1,000 metros abajo de la superficie.

*El Burro.*—El domo de El Burro es más bien la continuación hacia el suroeste del campo de Tonalá.

*El Plan.*—El domo salino de El Plan está situado en la margen izquierda y como a dos kilómetros de distancia del río Tancochapa, a un lado del arroyo de Las Choapas.

Los domos salinos mencionados antes, son los principales y más conocidos, pero se sabe de la existencia de otros, como los de Cascajal, Tembladeras, Pedregal, Potrero Nuevo, etc., aun cuando se carece de detalles respecto de su estructura y exacta localización. Por otra parte, frecuentemente se descubren nuevos domos, conforme avanza la explotación del Istmo, en busca de petróleo.

Todos los domos a que se ha hecho referencia guardan una estrecha relación con la existencia del petróleo, en el subsuelo del Istmo, y con el fin de explotar este hidrocarburo es para lo que se han practicado las perforaciones que descubrieron dichos cuerpos de sal. Así pues, en ninguno de los citados domos se ha intentado siquiera la explotación del cloruro sódico de que están constituidos.

*Yucatán.*—El Estado de Yucatán se encuentra en condiciones excepcionales para la producción de la sal, pudiendo decirse que la explotación de cloruro sódico en este Estado, puede considerarse verdaderamente ilimitada.

El centro más importante de producción salina en la península yucateca, es Celestún (pueblo y puerto, cabecera de Municipio). Además, desde Celestún, siguiendo la costa hacia el noroeste y este, hasta el Cabo Catoche, hay una faja de terreno salino natural, que puede hacerse productivo con poco costo y trabajo. Por otra parte, desde tiempos muy remotos ha habido explotaciones salinas en Chunloc, Chavihua, San Crisanto, Cilán y río Lagartos.

Otras salinas muy conocidas en el Estado y que se encuentran ac-

tualmente en plena actividad son las de Mina de Oro, Las Coloradas, Santa Clara, Xtampuh, San Bruno, Chiexulub, Xthul y Chuburná.

*Zacatecas.*—En este Estado se encuentra la sal en numerosos lugares, principalmente en Santa Ana, Chichimequillas, Villa de Cos, El Agrito, Santa María y San Cosme. Las salinas que se hallan establecidas en todos estos lugares, son susceptibles de gran producción, especialmente la de Villa de Cos; sin embargo, la sal de mejor calidad se extrae de las salinas de Santa María y El Agrito.

Las salinas de Villa de Cos distan 75 kilómetros aproximadamente de la población de Fresnillo y abarcan una extensión superficial de cerca de 150,000 metros cuadrados. Existen en ellas más de 300 tanques de cristalización, que corresponden a 40 plantas establecidas en los siguientes lugares: Bajío de la Cofradía, Laguna Alta, Laguna Baja y Bajío del Vidrio.

Las aguas saladas de la laguna de Santa María, en donde se hallan establecidas las salinas de este nombre, contienen por término medio de 103 a 108 gramos de NaCl por litro, y de 35 a 40 gramos de sulfato sódico. Los procedimientos de extracción de la sal que se siguen en las salinas de Fresnillo y de Santa María, son enteramente primitivos y sencillos, empleándose el calor solar para la evaporación de las aguas saladas.

## BIBLIOGRAFIA

### SALINAS

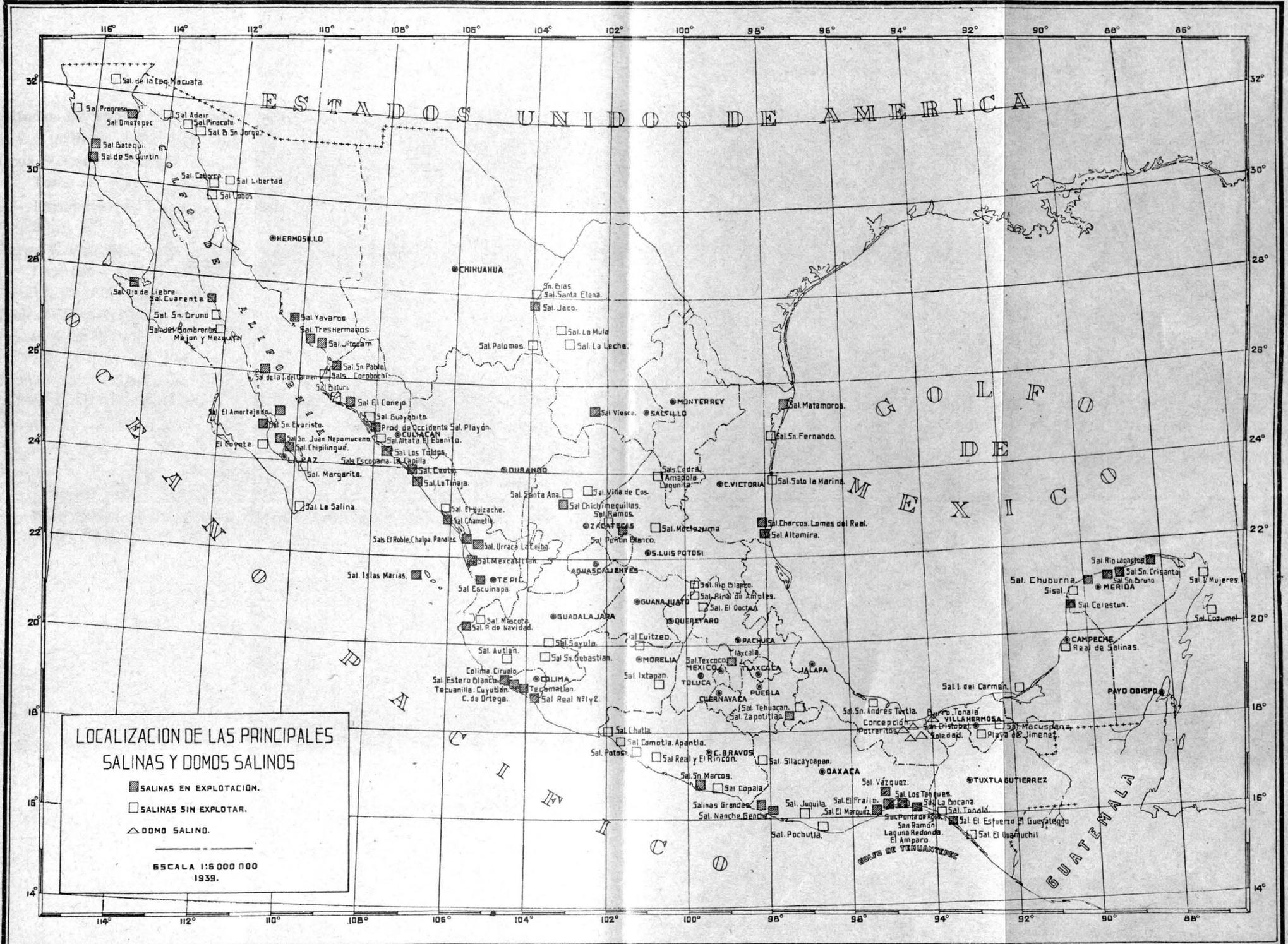
Asociación Nacional de Productores de Sal.—Estadísticas generales de movilización de sal.

Instituto Geológico de México.—Memoria de la Comisión del Instituto Geológico de México que exploró la región norte de la Baja California.—Parerg. Tomo IV, Núms. 2-10.—México, 1913.

Fernando Urbina.—Algunas observaciones acerca de la geografía física del Estado de Yucatán.—Bol. Soc. Geol. Méx. Tomo V, pp. 91-101, 1909.

Ernesto Wittich.—Las salinas de Ojo de Liebre, B. Cal. Bol. Min. Tomo II, Núm. 5, pp. 235-240, 1º Sept. 1916.

José C. Zárate.—Las salinas de México y la industria de la sal común.—Anal. Inst. Geol. México, Tomo I, Núm. 2, 1917.





DOMOS

- Alfonso Barnetche G.—Domas Salinos del Istmo de Tehuantepec.—Expediente Núm. 821-62/39, del Archivo del Instituto de Geología.
- Cruz S. Casillas.—Estudio del campamento de Tecuanapa.—Bol. Petrol. Tomo II, Núm. 5, pp. 423-446, Nov. 1916.
- Estudio del Campamento de Ixhuatlán.—Bol. Petrol. Vol. III. Núm. 2. pp. 125-134, Feb. 1917.
- Jorge L. Cumming.—Breve reseña sobre la geología de la zona petrolífera del Istmo de Tehuantepec.—Univ. de México, Tomo II, Núm. 12, pp. 472-478, Oct. 1931.
- Federico Deschamps.—Los domos de sal del Istmo de Tehuantepec desde el punto de vista de su importancia económica.—Rev. Méx. Ing. Arq. Vol. XV, Núms. 11-12, pp. 711-723 & 777-799, Nov. Dic. 1937.
- Burton Hartley.—The petroleum Geology of the Isthmus of Tehuantepec. Economic Geology, Vol. 12, Núm. 7, pp. 581-588, 1 fig. Oct. Nov. 1917.
- Arthur H. Redfield.—The Isthmian oil fields of México.—Eng. Min. Jour. Vol. 111, Núm. 12, pp. 510-511, March 19, 1921.
- Walter A. Ver Wiebe.—Geology of Southern Mexico oil fields.—The Panamer. Geol., Vol. XLIV, Núm. 2, pp. 121-138, Sept. 1925.
- Salt domes of Isthmus of Tehuantepec.—The Panamer. Geol. Vol. XLV. Núm. 5, pp. 349-358, June 1926.

Localidad	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Salinidad (g/l)	Composición química
1	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
2	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
3	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
4	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
5	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
6	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
7	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
8	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
9	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>
10	15.00	27.0	35.0	NaCl, MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub>

## CAPÍTULO V

### UTILIZACION DE OTRAS SALES QUE VIENEN ASOCIADAS AL CLORURO SODICO

El cloruro sódico no es la única sal que se halla en solución en el agua marina, sino que se encuentran además otras sales de potasio, calcio, magnesio, etc. Asimismo, el agua de algunos lagos del interior del país, contiene en solución diversas substancias que acompañan al cloruro sódico, las que pueden ser susceptibles de explotación, ya sea mediante la obtención de mezclas de todas las sales que se hallen disueltas, o separándose unas de las otras mediante adecuados sistemas de beneficio.

La gravedad específica del agua marina a 15° C oscila entre 1.0269 y 1.0289, siendo muy variado el número de substancias que se hallan disueltas en dicha agua.

En el capítulo II relativo a los métodos de explotación, se dan a conocer las proporciones en que se halla el NaCl y otras sales en el agua de los océanos Atlántico y Pacífico (1).

Por su parte las aguas saladas de algunos lagos interiores del país contienen "tequesquite," en tanto que en otros se halla el cloruro sódico y otras sales en las siguientes proporciones, en promedio (2).

100 partes de agua contienen:	San Luis Potosí	Zacatecas (Sta. Ma. Sn. Cosme)	Chihuahua (Palomas)	Coahuila (Viesca)
Cloruro sódico.....	4.78 gr.	8.42 gr.	6.5 gr.	5.8 gr.
Sulfato sódico.....	1.75 "	5.16 "	2.2 "	6.75 "
Carbonato sódico..	1.33 "	2.6 "	0.5 "	indicios

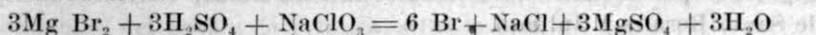
## B R O M O

Aun no se ha hecho en México ningún intento para aprovechar las sales potásicas ni los bromuros que se encuentran en las aguas marinas.

En lo que respecta al bromo, en algunos países se siguen ciertos métodos de extracción, especialmente en los Estados Unidos, en donde se han obtenido hasta ahora resultados satisfactorios, pero sólo cuando su extracción se hace subordinándola a cualquiera otra industria en la que existan irremediables escapes de vapor o cualquier otra forma del llamado "calor perdido."

Tres son los métodos empleados para extraer el bromo que entra en la composición de las aguas saladas, éstos son: el intermitente, el continuo y el electrolítico.

El primero de estos métodos o sea el intermitente, emplea clorato sódico y ácido sulfúrico para libertar al bromo de su combinación magnésica, efectuándose una reacción que puede representarse con la siguiente ecuación:



En el método continuo se hace pasar una corriente de cloro gaseoso a través de la salmuera concentrada, poniéndose en libertad al bromo, de acuerdo con la siguiente reacción:



en la que X representa el metal con el que se halla combinado el bromo, ya sea el sodio, el magnesio, el potasio, etc. El bromo gaseoso obtenido de este modo, se pone en contacto con cualquier substancia que presente fuerte afinidad por él, tal como el fierro, con el que forma fácilmente bromuro férrico.

El método electrolítico aprovecha el principio de que los bromuros se descomponen, electrolíticamente, con voltajes inferiores a los que requieren los cloruros; así pues, aplicando a las salmueras una corriente de 4 a 5 volts, se pone en libertad la mayor parte del bromo que se hallaba presente en la composición de la salmuera.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) Rudolf von Wagner.—Manual of Chemical Technology.—Traducido al inglés por Sir. W. Crookes. New York, 1900.
  - (2) José C. Zárate.—Las salinas de México y la industria de la sal común. Anales del Inst. Geol. de Máx. Núm. 2. 1917.
- Otros autores consultados.—W. C. Phalen.—"Technology of salt making in the United States". Bull. 146 of the Dept. of the Interior. Bureau of Mines, 1917.
- O. C. Diehl.—"The Technology of Bromine," Mineral Industry during 1908. Vol. 17. 1909.

## TEQUESQUITE

El tequesquite (corrupción de la palabra "tequixquiltl," que en idioma mexicano significa cosa semejante a piedra) se encuentra como un producto natural en los lagos de Texcoco, Zumpango, San Cristóbal y algunos otros lugares de la Cuenca de México.

Existe también en las siguientes localidades del país: en el Estado de Puebla, en el pueblo de Chiapa, perteneciente al Municipio de Tepeaca y en diversos lugares del ex Distrito de San Andrés Chalchicomula; en el ex Distrito de Ixtlahuaca, del Estado de México; en el Estado de Jalisco, en el pueblo de Zacoalco, situado en la jurisdicción del Municipio de Sayula, así como en las playas de las lagunas de la cuenca de Sayula, y por último en el Estado de Chihuahua, en los Municipios de Santa Rosalía y Julimes. .

En el ex Distrito de Monclova del Estado de Coahuila, se encuentran las lagunas saladas de La Mula y de La Leche; la primera, ubicada cerca del rancho de Jarita, se forma por el desagüe en ella del arroyo de San Francisco, que baja de la sierra Planchada, y la segunda se halla al norte de la sierra de Vibora y al oeste de la de La Madera. Estas dos lagunas que son alimentadas principalmente por aguas meteóricas, se hacen saladas por la disolución de los carbonatos, sulfatos y cloruros de las tierras, realizándose posteriormente una mayor concentración de sus depósitos salinos, debido a largos periodos de concentración.

Es muy probable que en las márgenes de dichas lagunas se encuentre el tequesquite en forma muy semejante al del centro del país, pudiéndose explotar siguiendo los métodos comunes que se emplean con este fin, y de los cuales se va a dar en seguida una somera descripción:

El tequesquite se encuentra disuelto en las aguas de lagos o lagunas de poco fondo y se deposita en las orillas por evaporación natural o artificial, designándosele localmente con diferentes nombres, que varían de acuerdo con su aspecto exterior y su grado de pureza.

En la región tequesquitera de Texcoco se llama "confitillo" al que tiene su superficie erizada de pequeñas tuberosidades; "cascarilla" o "tepalcatillo" al que se presenta bajo la forma de costras; "espumilla" al que se asemeja a la espuma del agua, y "polvillo" si se presenta al estado pulverulento.

El "confitillo" se recoge generalmente en la porción S y SE, del lago de Texcoco, durante los meses de diciembre, enero y febrero, haciendo en la tierra numerosos surcos paralelos, y destinados a recibir

el agua, la que en los terrenos inclinados llega de modo natural, por medio de canales, en tanto que en los terrenos altos se eleva artificialmente; una vez depositada el agua, se espera a que se evapore espontáneamente para recoger los residuos. El "confitillo" se forma de preferencia en terrenos arenosos, en los que la evaporación del agua se verifica de manera bastante uniforme.

El tequesquite "cascarilla" se recoge después de las primeras lluvias de marzo, en los lugares donde se ha "cosechado" el producto anterior: las lluvias disuelven las sales que han quedado después del primer tiempo de la evaporación y bajo la acción de los rayos solares se evaporan nuevamente, dejando entonces el tequesquite en forma de costras. El "cascarilla" se produce de preferencia en terrenos arcillosos, es más rico en cloruros de sodio que en sulfato y se explota principalmente en las inmediaciones del pueblo de Ixtapan, situado al N del lago.

El tequesquite "espumilla" se "cosecha" en la parte NW, del lago de Texcoco y en las orillas del que fuera lago de San Cristóbal Ecatepec, durante el mes de mayo. Para su explotación, se construyen cuadriláteros de césped, dejando en los lados que miran hacia las aguas del lago algunas aberturas por donde éstas puedan tener acceso, impulsadas por el viento; anegados los cuadriláteros, se obstruye la citada comunicación quedando las aguas extendidas en una gran superficie.

Por la extensión y poca profundidad que tienen las aguas en estos depósitos, la evaporación se termina en ocho o diez días, al cabo de los cuales aparece sobre la superficie del agua una película debida a la concentración salina; entonces se agota el agua por medio de instrumentos especiales llamados "rastrillos," con objeto de acelerar la evaporación y recoger el tequesquite formado, antes de que se adhiera a las paredes del vaso. Como el carbonato y el sulfato de sodio, cristalizan más rápidamente que el cloruro, si se recoge el tequesquite antes de que la evaporación se haya realizado de manera completa, se podrá obtener una "espumilla" con alta proporción de las dos primeras sales y muy poco cloruro de sodio, pues éste, casi en su totalidad, quedará disuelto en las aguas madres.

El "polvillo" se obtiene en aquellos lugares en los que ya se han explotado las aguas saladas; proviene principalmente de las eflorescencias de carbonato y sulfato de sodio que se forman en la superficie de los terrenos por evaporación solar, y se hallan mezclados con tierra fina insoluble.

*Composición y análisis químicos.*—El tequesquite del lago de Texcoco es una sustancia sólida, que se presenta amorfa, cristalizada o pulverulenta, de color variable desde el blanco casi puro, al blanco sucio, amarillento o agrisado. Cuando es amorfo, como generalmente se presenta en los depósitos salinos, es mate y de estructura granulosa o laminar; cuando cristaliza, lo hace en hermosos cristales blancos amarillentos, de lustre vítreo, que pertenecen al sistema monoclinico, los cuales eflorescen si se abandonan por algún tiempo en una atmósfera húmeda.

Mineralógicamente es considerado por algunos autores como perteneciente al grupo de los carbonatos hidratados de la especie Trona, de Bagge, o sea el Urao, de Boussingault, cuya fórmula es  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{CO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Otros autores aseguran que pertenece al grupo Natrón, que es una especie distinta de la Trona o Urao.

Industrialmente puede considerarse el tequesquite como una sustancia constituida por mezclas de sesquicarbonato y cloruro de sodio, con pequeñas cantidades de sulfato de sodio y cloruro de potasio. En los tequesquites más puros, el contenido en sesquicarbonato de sodio varía entre 70 y 79%; el de cloruro de sodio entre 15 y 39.3%; el de sulfato de sodio, de 1.5 a 3%; y el cloruro de potasio de 0.40 a 1.5%, llegando a contener los tequesquites de mejor calidad hasta 37.8% de sosa. Las impurezas están formadas generalmente por arcillas, arena fina y materias orgánicas.

Un análisis cualitativo hecho por el señor ingeniero José G. Aguilera, de una sal procedente del lago de Texcoco, dió como resultado: ácido carbónico y sosa, como elementos esenciales; ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, como accidentales, combinados con la sosa y en parte también con la magnesia y potasa que se encontraron en muy pequeñas proporciones. La potasa y la magnesia, en combinación con los ácidos, no forman parte de la composición de los cristales, sino que se encontraron en las aguas que los bañaban completamente.

De los numerosos análisis de tequesquite que se han practicado en el laboratorio del Instituto de Geología, seleccionamos los que se consiguan a continuación:

Clasificación: Tequesquite "espumilla." Localidad: Municipio de Santa Clara Coatitla, Estado de México. Químico: J. S. Agraz.

Parte soluble en el agua.....	95.6 %
Análisis de la parte soluble:	
Sesquicarbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 2\text{CO}_3\text{HNa}$ )	79.21%
Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ).....	17.60 „
Sulfato de sodio ( $\text{NaSO}_4$ ).....	2.65 „
Cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ).....	0.40 „
Materia orgánica .....	0.10 „
	<hr/>
	99.96%

Clasificación: Tequesquite “casarilla” o “tepalcatillo.”

Localidad: Municipio de Los Reyes, Estado de México.

Químico: C. Castro.

Humedad (agua a $115^\circ\text{C}$ .).....	10.61%
Materia terrosa .....	22.35 „
Materia orgánica .....	2.57 „
Cloro ( $\text{Cl}$ ) .....	21.19 „
Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) .....	8.91 „
Anhídrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) .....	3.57 „
Potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ) .....	5.24 „
Sosa ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) .....	30.46 „
	<hr/>
	104.90%
Oxígeno correspondiente al cloro.....	4.78%
	<hr/>
	100.12%

Clasificación: Tequesquite “confitillo.”

Localidad: Texcoco, Estado de México.

Químico: J. S. Agraz.

Parte soluble en el agua.....	56.2%
Análisis de la parte soluble:	
Sesquicarbonato de sodio.....	71.61%
Cloruro de sodio.....	23.52 „
Sulfato de sodio.....	3.16 „
Cloruro de potasio.....	0.60 „
Materia orgánica .....	0.90 „
	<hr/>
	99.79%

Clasificación: Tequesquite "polvillo" o tierra tequesquitosa.

Localidad: 2½ kilómetros al W. de Xochiaca, Municipio de Chimalhuacán, Estado de México.

Químico: Carlos Castro.

Cloro (Cl). . . . .	5.98%
Anhídrido carbónico (CO <sub>2</sub> ). . . . .	6.66 „
Potasa (K <sub>2</sub> O). . . . .	2.32 „
Sosa (Na <sub>2</sub> O). . . . .	12.90 „
	<hr/>
	27.86%

*Aplicaciones del tequesquite.*—Siendo el tequesquite una mezcla de carbonatos, cloruro y sulfato de sodio, puede emplearse para preparar el carbonato, bicarbonato, cianuro, sulfato, sulfito, hiposulfito, silicato, borato de sodio, sosa cáustica, etc.; para la extracción de la sal común y, en general, para la preparación de todas las sales de sosa, que tantas y tan variadas aplicaciones tienen en la industria; en la metalurgia, en la fabricación del jabón, fabricación del vidrio, blanqueo de las telas, mercerizado del algodón, fabricación de ciertos productos orgánicos, como el índigo, colores de anilina, ácido oxálico, ácido pícrico, etc.

En algunas haciendas del interior del país lo usan en su estado natural, cuando está bastante puro, para el blanqueo de la lana, y en ciertos lugares de la República, de clima cálido, lo utilizan para refrescar y purgar al ganado. En los usos domésticos los emplean para desengrasar los útiles de cocina y para el cocimiento de las legumbres.

#### BIBLIOGRAFIA

- Teodoro Flores.—El tequesquite del Lago de Texcoco.—Anales del Instituto Geológico de México. Número 5.—1918.
- Hermión Larios.—Importancia de las sales del Lago de Texcoco.—Secretaría de la Economía Nacional.—Octubre de 1936.

#### SULFATO DE SODIO

##### SULFATO SÓDICO NATURAL.—THENARDITA.—CRISTALILLO

El sulfato de sodio natural se encuentra en México mezclado con cloruro de sodio, en las aguas saladas de muchas de las lagunas en las

que existen establecidas salinas que explotan principalmente el cloruro de sodio.

Las localidades en que se encuentra el sulfato de sodio natural en forma más abundante, son las siguientes:

*Estado de Coahuila.*—El cristalillo o sulfato de sodio natural es muy abundante en Viesca y terrenos circunvecinos. Al norte de Viesca se encuentra la laguna de ese nombre o del Alamo, cuyas aguas no tienen carácter permanente, sino que se forman principalmente durante la temporada de lluvias y tienen en solución cantidades variables de materias salinas.

La composición media de las salmueras en esta región salinera de Viesca es de 67.5 a 70 gramos de sulfato de sodio por litro, de 58 a 60 gramos de cloruro de sodio y cantidades pequeñas de carbonato de sodio.

También se encuentra sulfato de sodio en las lagunas saladas de La Mula y La Leche. La primera está ubicada cerca del rancho de Carita, en el Municipio de Ocampo y se forma por el desagüe del arroyo de San Francisco, que desciende de la sierra Planchada; en cuanto a la laguna de La Leche se halla al norte de la sierra de La Víbora y al oeste de la sierra de Madera.

*Estado de Chihuahua.*—La laguna salada de Palomas que se halla situada en el ex Distrito de Jiménez, cuenta con numerosas salinas que se encuentran establecidas en diferentes lugares de sus márgenes. En estas salinas se evapora el agua de dicha laguna mediante el calor solar, obteniéndose un producto que contiene, por término medio, 22 gramos de sulfato de sodio, 65 gramos de cloruro de sodio y 5 gramos de carbonato de sodio por litro.

*Distrito Federal.*—En el lago de Texcoco se encuentra el sulfato de sodio mezclado con carbonato y cloruro de sodio, así como materias animales albuminosas y gelatinosas. La proporción en que se halla el sulfato de sodio en la mezcla de sales que se encuentran disueltas en las aguas de este lago, es aproximadamente del 1 al 10%.

*Estado de Jalisco.*—En la "playa" de Sayula se encuentra el sulfato de sodio mezclado, con cierta abundancia, a otras sales de este mismo metal. La mencionada "playa" está situada al sur de Guadalajara y abarca una extensión superficial de 350 kilómetros cuadrados aproximadamente, formando una amplia zona que se extiende desde Sayula hasta cerca de Santa Ana.

*Estado de San Luis Potosí.*—El sulfato de sodio natural se encuentra en San Luis Potosí, mezclado al cloruro de sodio que se halla disuelto en las aguas de las diversas lagunas saladas que existen en la región.

del Valle Salado. El sulfato de sodio natural procedente de esta gran cuenca salina, analizado en el laboratorio químico de este Instituto, produjo de 49.55 a 93.96% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

*Estado de Zacatecas.*—En la cuenca salada de Villa de Cos, principalmente en Chichimequillas y San Cosme, del Municipio de Fresnillo, se encuentra el sulfato de sodio natural en gran cantidad.

Las aguas saladas de la laguna de San Cosme contienen de 65 a 70 gramos por litro de sulfato de sodio y las aguas de la laguna de Santa María de 35 a 40 gramos de esta misma substancia.

Por otra parte, en las salinas de Santa María se elabora una sal común de dos clases: una llamada de “primera,” que contiene de 91 a 92% de  $\text{NaCl}$  y de 5 a 6% de sulfato de sodio, y otra sal de “segunda” que contiene 70% de cloruro de sodio y de 27 a 28% de sulfato de sodio.

Aunque se tiene noticia de que existe el sulfato de sodio natural en otras regiones del país, las cantidades de esta substancia son de tal manera pequeñas, que no se cree necesario mencionarlas en este estudio, por carecer de toda importancia económica.

#### BIBLIOGRAFIA

- Aguilera José G.—Catálogo Sistemático y Geográfico de las Especies Mineralógicas de la República.—Bol. Núm. 11 del Instituto Geológico de México, 18.
- Flores Teodoro.—El Tequesquite del Lago de Texcoco.—Anales del Inst. Geol. de Méx. T. 1. Núm. 5.—1918.
- Larios Hermión.—Importancia de las sales del Lago de Texcoco.—Secretaría de la Economía Nacional.—Octubre de 1936.



