

CLASIF.
ADQUIS. I-V-~~276~~
FECHA
PROCED.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DIRECTOR: ING. TEODORO FLORES

ANALES
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGIA

TOMO X

- I. - Geología Económica de los Valles de San Vicente y de San Marcos,
Estado de Coahuila 0001-0053
- II. - Yacimientos de Nitratos en el Municipio de Mezquitic, Estado de
Jalisco 63-80
- III. - Informe Preliminar acerca de los Yacimientos de arena cuarzosa de
Tarandacua y lugares cercanos, Estado de Guanajuato 81-99
- IV. - Yacimientos de perlita en el Estado de Hidalgo 95-105

POR
RAUL LOZANO GARCIA



MEXICO, D. F.
1951

CLASSIFIED BY
ACQUISITION
SERIALS
SECTION
UNIVERSITY OF MICHIGAN LIBRARY

COMISION NACIONAL VEGETAL DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES

ANALES
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGIA

Tomo X

Yacimiento de Nitrato en el Municipio de Minatitlan, Estado de Tlaxcala. 2-2-8
Yacimiento de Nitrato en el Estado de Hidalgo. 2-2-8
Yacimiento de Nitrato en el Estado de Hidalgo. 2-2-8
Yacimiento de Nitrato en el Estado de Hidalgo. 2-2-8
Yacimiento de Nitrato en el Estado de Hidalgo. 2-2-8

POR
RAUL LOZANO GARCIA



MEXICO D. F.
1951

CONTENIDO

	Pág.
I. Geología Económica de los Valles de San Vicente y de San Marcos, Estado de Coahuila	1-59
Situación	2
Clima	3
Fisiografía	3
Valles	3
Elementos de relieve	6
Hidrografía	9
Geología	11
Sierras y serranías	12
Valles	15
Historia geológica	17
■ Geología económica	19
Grupo I. Rocas y demás materiales que entran en la constitución geológica de los elementos de relieve	20
Calizas	20
Cal	20
Sistemas de explotación	22
Yeso	23
Sistemas de extracción	27
Grupo II. Productos derivados de la alteración, disolución o desintegración de los materiales constitutivos	28
Arcillas	28
Cemento Portland	29
Sales	32
Sistemas de explotación	51
Grupo III. Substancias de naturaleza biogénica	57
Guano	57
Sistema de explotación	58
II. Yacimientos de Nitratos en el Municipio de Mezquitic, Estado de Jalisco	63-80
Introducción	63
Fisiografía e Hidrografía	65
Geología	66
Los Yacimientos de Nitratos	71
Yacimiento de Las Cuevas	71
Yacimiento del Platanito	74
Génesis de los Yacimientos de Nitratos	77
Sistemas de explotación	79
■ Conclusiones de utilidad práctica	80
III. Informe preliminar acerca de los yacimientos de arena cuarzosa de Tarandacuao, Estado de Guanajuato y lugares cercanos	83-94
Introducción	83
Localización y vías de comunicación	84
Hidrografía	84
Geología general	86
■ Geología económica	88

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

ANALES
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Tomo 2

Geología económica de las Valles de San Juan y de San Marcos
Estado de Guatemala 1931-1932
Yacimiento de Nitro en el Estado de Hidalgo
Hidrogeología de las Yacimientos de Agua Caliente y Agua
de las Yacimientos de Agua Caliente y Agua de las Yacimientos de
Yacimiento de petróleo en el Estado de Hidalgo

por
RAÚL EDUARDO GARCÍA

MEXICO D. F.
1931

CONTENIDO

	Pág.
I. Geología Económica de los Valles de San Vicente y de San Marcos, Estado de Coahuila	1-59
Situación.....	2
Clima.....	3
Fisiografía.....	3
Valles.....	3
Elementos de relieve.....	6
Hidrografía.....	9
Geología.....	11
Sierras y serranías.....	12
Valles.....	15
Historia geológica.....	17
■ Geología económica.....	19
Grupo I. Rocas y demás materiales que entran en la constitución geológica de los elementos de relieve.....	20
Calizas.....	20
Cal.....	20
Sistemas de explotación.....	22
Yeso.....	23
Sistemas de extracción.....	27
Grupo II. Productos derivados de la alteración, disolución o desintegración de los materiales constitutivos.....	28
Arcillas.....	28
Cemento Portland.....	29
Sales.....	32
Sistemas de explotación.....	51
Grupo III. Sustancias de naturaleza biogénica.....	57
Guano.....	57
Sistema de explotación.....	58
II. Yacimientos de Nitratos en el Municipio de Mezquitic, Estado de Jalisco	63-80
Introducción.....	63
Fisiografía e Hidrografía.....	65
Geología.....	66
Los Yacimientos de Nitratos.....	71
Yacimiento de Las Cuevas.....	71
Yacimiento del Platanito.....	74
Génesis de los Yacimientos de Nitratos.....	77
Sistemas de explotación.....	79
■ Conclusiones de utilidad práctica.....	80
III. Informe preliminar acerca de los yacimientos de arena cuarzosa de Tarandacua, Estado de Guanajuato y lugares cercanos	83-94
Introducción.....	83
Localización y vías de comunicación.....	84
Hidrografía.....	84
Geología general.....	86
■ Geología económica.....	88

CONTENIDO

Geología económica.—Continuación

	Pág.
Posibilidades de explotación.....	91
Sistemas de extracción y beneficio	92
IV. Yacimiento de perлита en el Estado de Hidalgo	97-105
Introducción.....	97
Situación y vías de comunicación.....	97
Hidrografía y Fisiografía.....	99
Geología.....	99
Geología económica.....	102
Sistemas de explotación	104

ILUSTRACIONES

Láminas

Número	I. Croquis geológico de los valles de San Vicente y de San Marcos, y regiones adyacentes	5
	II. Croquis de la región en que se encuentran los yacimientos de nitratos en el Municipio de Mezquitic, Jalisco	64
	III. Croquis de la región de Tarandacua, Guanajuato	85
	IV. Croquis geológico de la zona Maravatio-Tarandacua	87
	V. Croquis de los arroyos La Tinaja y San Andrés	94
	VI. Croquis geológico de la región de Tula, Hidalgo	98

Figuras

Número	1. Localización del área estudiada en el Estado de Coahuila.....	2
	2. Columna estratigráfica del Cretácico inferior y medio de la región al SE de Cuatro Ciénegas	13
	3. Estructura en abanico de la Sierra del Anteojo.....	14
	4. Perfil A-B de los valles de San Vicente y de San Marcos	18
	5. Capas alternantes de lutita y yeso en el valle de San Vicente	34
	6. Curva de solubilidad de dos sales simples.....	39
	7. El sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ y H_2O a $25^\circ C$	43
	8. Paragénesis de los minerales formados en la salmuera de Santa Fe a $25^\circ C$	45
	9. El sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ y H_2O a $0^\circ C$	46
	10. Paragénesis de los minerales formados en la salmuera de Santa Fe a $0^\circ C$	48
	11. El sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ y H_2O a $105^\circ C$	50
	12. Paragénesis de los minerales formados por la salmuera de Santa Fe a $105^\circ C$	51
	13. Evaporador y cristalizadores de la planta de Netzahualcóyotl, Estado de México.....	54
	14. Perfil esquemático del yacimiento del Platanito	74
	15. Alternancia de depósitos arcillo-arenosos en la región de Tarandacua, Gto.	88

Fotografías

Número	1. Valle de San Vicente. Al fondo el puerto Salado.....	4
	2. Valle de San Marcos. Al fondo la Sierra del Anteojo.....	4
	3. Sierra del Anteojo.....	6
	4. Cañón de Cuatro Ciénegas	7
	5. Poza de Becerra. Al fondo la Sierra de San Marcos.....	10
	6. Pliegues anticlinales de la Sierra del Anteojo.....	14
	7. Montículos de yeso en el valle de San Vicente.....	16

CONTENIDO

Fotografías.—Continuación

	Pág.
Número 8. Horno de cal de construcción primitiva, erigido al pie del Cerro del Muerto.....	21
9. Médanos de yeso en el valle de San Vicente.....	25
10. Barranca de Mezquitic. Vista tomada del puerto del Platanito hacia el Sur.....	67
11. Barranca de Mezquitic, al Sur de Mesa de Vázquez.....	67
12. Lente detrítico en la cañada del Platanito.....	70
13. Otro aspecto del lente del Platanito.....	70
14. Vista del yacimiento de Las Cuevas.....	72
15. Yacimiento de perlita en la margen izquierda del Río Tula.....	100
16. Yacimiento de perlita en las laderas del cerro de Las Minas.....	101
17. Yacimiento de perlita en la margen derecha del Río Tula.....	101

Tablas

Tabla 1. Análisis químico de las calizas de la Sierra de San Marcos, puerto Salado y Cerro del Muerto.....	23
2. Composición de las calizas del Cerro del Muerto y de la arcilla de sus laderas occidentales.....	31
3. Los compuestos de sílice, alúmina y fierro en la caliza del Cerro del Muerto.....	31
4. Los compuestos de óxido de calcio y magnesio en las arcillas del Cerro del Muerto.....	35
5. Análisis de las eflorescencias salinas del valle de San Vicente.....	37
6. Sales contenidas en agua de lluvia.....	37
7. Solubilidad del cloruro de magnesio y del sulfato de magnesio y de sus hidratos.....	38
8. Análisis químico de las aguas del valle de San Vicente.....	40
9. Equilibrio en el sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ - Na_2SO_4 y agua a 25° C.....	41
10. Proporción de las sales en diversas unidades de medida.....	44
11. Equilibrio en el sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ - Na_2SO_4 y agua a 0° C.....	47
12. Equilibrio en el sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ - Na_2SO_4 y agua a 105° C.....	49
13. Cantidad de sales existentes en las eflorescencias de los valles de San Vicente y de San Marcos.....	56
14. Análisis de guanos de las cavernas El Porvenir y San Vicente.....	58
15. Análisis granulométrico de las arenas de los arroyos Encinillas, Arenal y La Tinaja.....	89
16. Análisis químico de las arenas de los arroyos de La Tinaja, Encinillas y Arenal.....	91
17. Diversos pesos de materiales empleados en las mezclas de concreto.....	104

I

**GEOLOGIA ECONOMICA
DE LOS
VALLES DE SAN VICENTE Y DE SAN MARCOS
ESTADO DE COAHUILA**

1

ESTADO DE COAHUILA
VALLES DE SAN VICENTE Y DE SAN MARCOS
DE LOS
GEOLOGIA ECONOMICA

I.—GEOLOGIA ECONOMICA
DE LOS VALLES DE SAN VICENTE Y DE SAN MARCOS,
ESTADO DE COAHUILA

Por Raúl LOZANO GARCIA

INTRODUCCION

La exploración geológico-económica de los valles de San Vicente y de San Marcos, del Municipio de Cuatro Ciénegas, Estado de Coahuila, tuvo como finalidad principal efectuar el estudio de las eflorescencias salinas que se forman en la superficie de dichos valles, identificando las diversas sustancias de que se componen, su cantidad, origen y posibilidades de explotación.

Todas las eflorescencias, cualquiera que sea su índole y composición química o mineralógica, son conocidas en la región con el nombre genérico de "salitre", y con este nombre se indican sales que pueden ser sulfatos, cloruros, carbonatos, etc. Como esto podría dar lugar a confusiones y errores de apreciación un tanto molestas, ya que en otras partes del país se aplica esta misma denominación a otro tipo de sales, especialmente las de naturaleza nitrogenada, se ha resuelto prescindir en este trabajo de tal denominación y, en su defecto, se señala cada uno de los depósitos estudiados con el nombre correspondiente a la sustancia que se encuentra en ellos de modo preponderante.

Las eflorescencias a que se alude en realidad mezclas de diversas sales, entre las que se encuentran sulfatos de sodio, calcio y magnesio, cloruro de sodio y otras sustancias que ocurren en proporciones muy reducidas. Algunas de estas sales presentan importancia económica, dada la magnitud que alcanzan sus depósitos, en tanto que otras, por su relativa escasez, sólo tienen interés científico.

Por otra parte, además de las sustancias salinas a que antes se hace referencia y que se hallan formando costras o eflorescencias más o menos superficiales, se estudiaron en la región preferentemente las salmueras en que se hallan estas sales en mayor abundancia, así como otros depósitos de naturaleza muy diferente, tales como los relativos a arcillas, calizas de diversas clases y guanos, depósitos estos que si bien no tienen relaciones muy estrechas con los primeramente citados, no por ello dejan de presentar importancia económica.

Dada la naturaleza geológico-económica del estudio efectuado en esta región, se tuvo presente en todo caso las posibilidades que presentan los depósitos estudiados, tanto en lo referente a su explotación como a las aplicaciones industriales de que pueden ser susceptibles las sustancias que se hallan en ellos, habiéndose dedicado a esta finalidad una gran parte de la atención concedida al estudio general de la zona en cuestión.

SITUACION

Los valles de San Vicente y de San Marcos se hallan situados en las proximidades del meridiano 102° W. de Greenwich y al S. del paralelo 27° a corta distancia y al S. de Cuatro Ciéneas, población que está localizada a 68 kilómetros al W. de Monclova y a 205 kilómetros al NW. de Saltillo, capital del Estado. (Véase Fig. 1.)

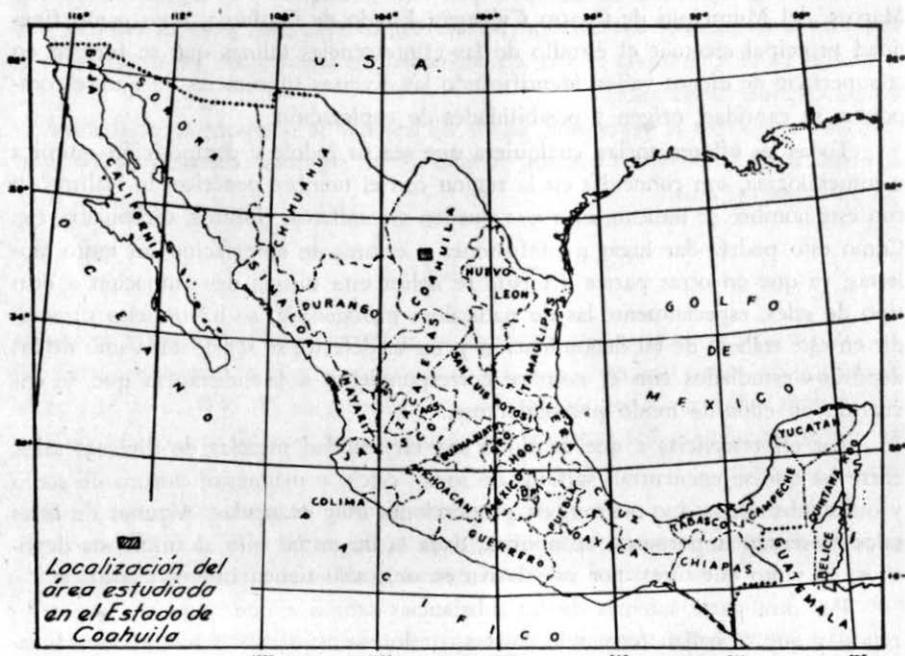


Fig. 1

Para llegar a la población de Cuatro Ciéneas se toma el ramal del ferrocarril que liga las poblaciones de Saltillo y Piedras Negras, y que parte de Monclova

para dirigirse a Sierra Mojada, Coah., haciéndose el trayecto en cuatro horas; existe, además, una brecha mal trazada y polvorienta, que comunica a Cuatro Ciénegas con Monclova, la que puede ser utilizada para el tránsito de automóviles durante la estación de sequía.

CLIMA

El clima que prevalece en los valles de San Vicente y de San Marcos es extremo, como corresponde a una región de naturaleza desértica. La temperatura media anual es de 26°C., pero se registran temperaturas máximas a la sombra, hasta de 40°C., durante algunos días de los meses de mayo, junio, julio y agosto; en tanto que en los meses de invierno baja la temperatura hasta 6 u 8°C. bajo cero.

Las lluvias son bastante escasas, aunque cuando se producen las precipitaciones lo hacen en abundancia, como es frecuente que ocurra en este tipo de regiones climáticas, registrándose una precipitación media anual de 133.4 milímetros, según las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional, pero en cambio, sólo se anotan 16 días de lluvia al año, en promedio, de acuerdo con los registros de la misma Oficina citada antes.

Con respecto a la vegetación, puede decirse que se compone esencialmente de diversas clases de cactáceas que son propias de las regiones desérticas de los Estados del norte del país.

FISIOGRAFIA

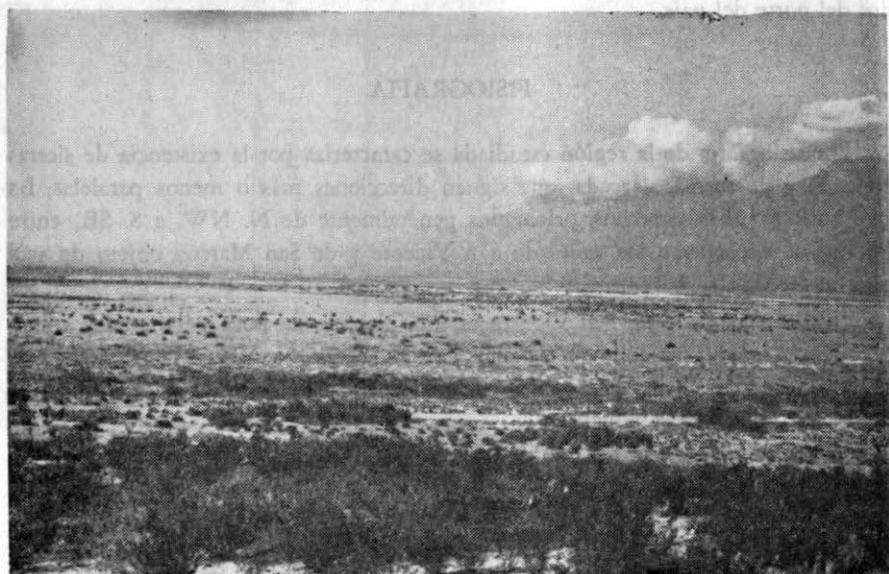
La fisiografía de la región estudiada se caracteriza por la existencia de sierras elevadas y de forma alargada, que siguen direcciones más o menos paralelas, las que limitan valles estrechos, orientados generalmente de N. NW. a S. SE., entre los que se encuentran los valles de San Vicente y de San Marcos, objeto de este estudio geológico.

Valles.—El valle de San Vicente es una planicie de poca pendiente y configuración alargada, teniendo su eje mayor orientado de N. NW. a S. SE., con más de 80 kilómetros de longitud, en tanto que su anchura media alcanza sólo 24 kilómetros. (Fotografía número 1.)

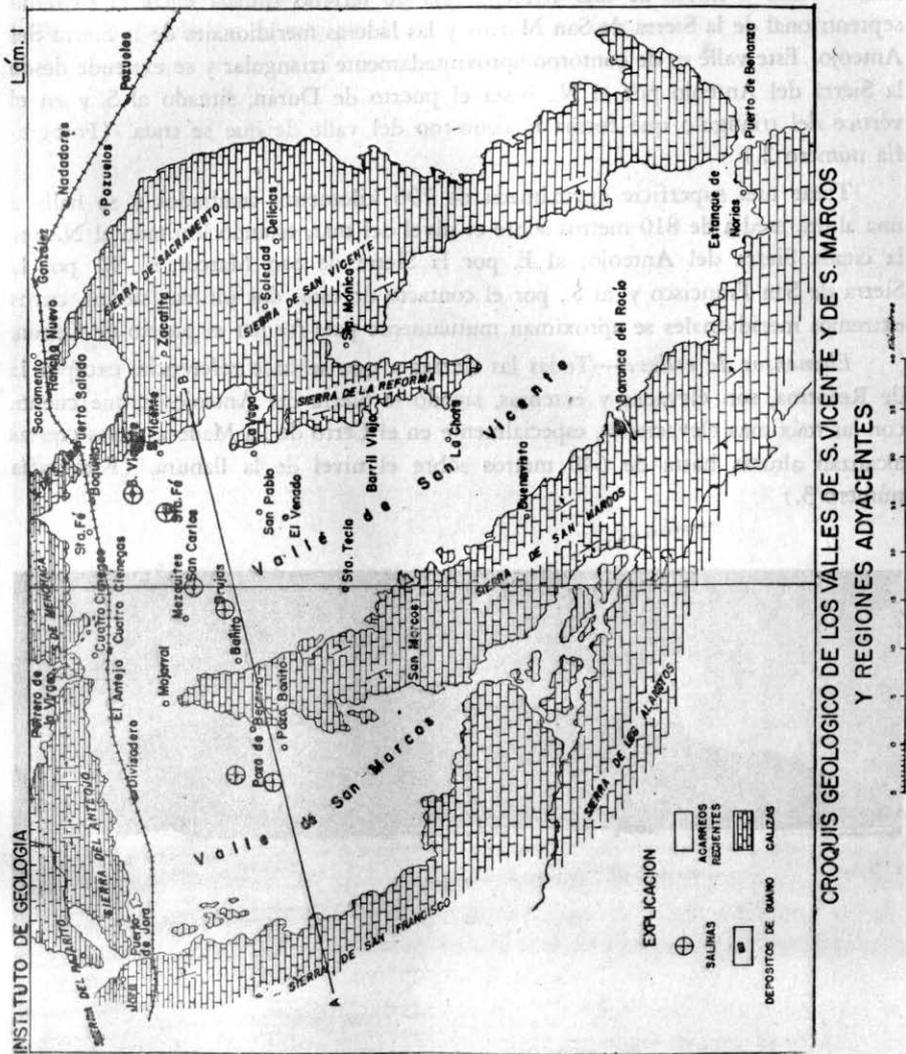
La superficie que cubre este valle excede a 1,736 kilómetros cuadrados y su elevación en promedio es de 781 metros sobre el nivel del mar, prolongándose desde las llanuras de Cuatro Ciénegas, al NW., hasta el puerto de Bonanza por el SE. Lo limitan al N. las laderas meridionales de las sierras de Menchaca y del Anteojo; al E. las sierras de San Vicente y de La Reforma; al W. la Sierra de San Marcos y al S. el puerto de Bonanza, que se forma por el acercamiento que



Fot. Núm. 1.—Valle de San Vicente. Al fondo el puerto Salado.



Fot. Núm. 2.—Valle de San Marcos. Al fondo la Sierra del Anteojo.

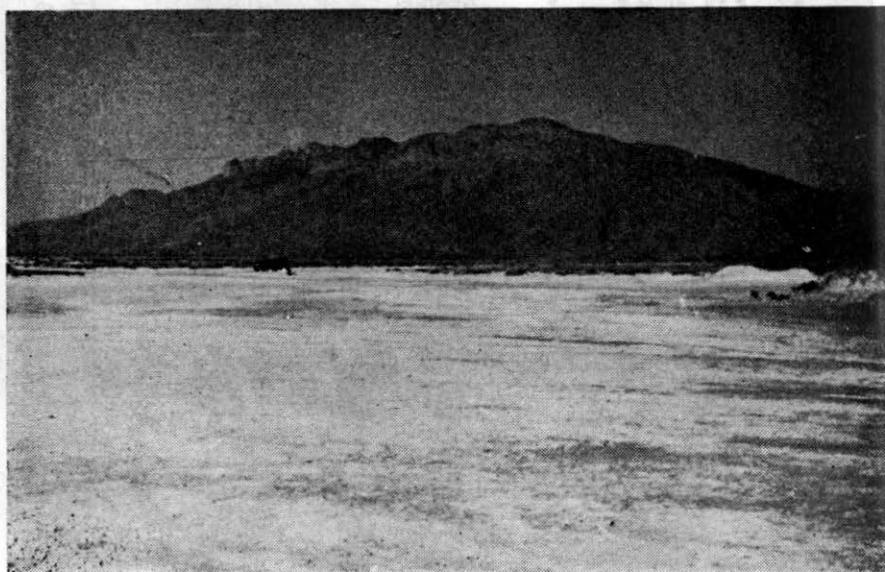


ofrecen en ese lugar las sierras de San Vicente y de San Marcos. (Véase croquis, Lám. I.)

El valle de San Marcos se localiza al W. del anterior, pudiéndose comunicar ambos valles a través de una estrecha faja de terreno situada entre el extremo septentrional de la Sierra de San Marcos y las laderas meridionales de la Sierra del Anteojo. Este valle es de contorno aproximadamente triangular y se extiende desde la Sierra del Anteojo por el N., hasta el puerto de Durán, situado al S. y en el vértice del triángulo que forma el contorno del valle de que se trata. (Fotografía número 2.)

Tiene una superficie aproximada de 796 kilómetros cuadrados y se halla a una altura media de 810 metros sobre el nivel del mar, estando limitado al N. por la citada Sierra del Anteojo; al E. por la Sierra de San Marcos; al W. por la Sierra de San Francisco y, al S., por el contacto de estas dos últimas sierras, cuyos extremos meridionales se aproximan mutuamente para formar el puerto de Durán.

Elementos de relieve.—Todas las sierras a que se hace referencia, excepto la de Reforma, son elevadas y extensas, siendo la Sierra del Anteojo la que cuenta con las máximas elevaciones, especialmente en el Cerro de La Madera, cuyas crestas alcanzan alturas hasta de 640 metros sobre el nivel de la llanura. (Fotografía número 3.)



Fot. Núm. 3.—Sierra del Anteojo.

Es una sierra de más de 28 kilómetros de longitud, orientada esencialmente con rumbo 85° NE-SW. y cuya prolongación hacia el E. forma la Sierra de Menchaca, que tiene orientación semejante a la anterior y de la que sólo se halla separada por el estrecho cañón de Cuatro Ciénegas, situado a corta distancia y al NW. de la población de este nombre. (Fotografía número 4.)



Fot. Núm. 4.—Cañón de Cuatro Ciénegas.

La Sierra de Menchaca se inicia, pues, en el cañón de Cuatro Ciénegas y después de formar la Serranía de La Virgen se prolonga hacia el oriente, desprendiéndose un pequeño apéndice que toma el nombre de Serranía de San Juan, en cuya extremidad meridional se encuentra el puerto Salado. Este puerto es bastante angosto y fué aprovechado para localizar la vía férrea que comunica el valle de Sacramento con el de San Vicente, siendo este mismo puerto el que separa la Serranía de San Juan, de la Sierra de San Vicente.

Por el E. del valle de San Vicente se eleva la sierra del mismo nombre, teniendo en sus laderas orientales a la Sierrita de La Reforma, en tanto que por el NE. se desprende otro brazo montañoso, conocido con el nombre de Sierra del Sacramento. La Sierra de San Vicente es una de las más extensas, si bien no es muy elevada, ya que sus picos más altos alcanzan sólo 320 metros sobre la llanura. Considerada en toda su longitud, esta sierra mide más de 72 kilómetros

y se prolonga desde el puerto Salado hasta el puerto de Bonanza, siguiendo su desarrollo una dirección predominante de 25° NW-SE.

Hacia el W. del mismo valle de San Vicente se levanta la Sierra de San Marcos, como una angosta barrera montañosa que se interpone entre el referido valle y el de San Marcos. Es una sierra de más de 96 kilómetros de longitud, en tanto que su anchura máxima sólo alcanza unos 16 kilómetros. Entre sus eminencias más notables se cuentan los cerros de San Marcos y el de Buenavista, con alturas de 270 a 240 metros sobre la llanura, respectivamente. Sus crestas se orientan siguiendo una dirección que se aproxima a la que tiene la Sierra de San Vicente, con rumbo medio de 30° NW-SE. y se halla separada de las sierras de San Francisco y la de Los Alamitos, por puertos bajos y angostos, en cuya formación no ha intervenido la erosión de modo muy intenso.

La Sierra de San Francisco establece los límites occidentales y meridionales del valle de San Marcos. Está constituida por una larga serie de eminencias que se ligan por el S. con los elementos de relieve correspondientes a la Sierra de Los Alamitos, aun más fragosa y complicada que la anterior barrera orográfica. Sólo se reconocieron las laderas orientales de la Sierra de San Francisco, ya que para las finalidades que se persiguen en el estudio geológico emprendido en la región, se consideró superfluo efectuar un examen que sobrepasara los límites de aquellas zonas montañosas que pudieran haber tenido alguna influencia en la formación de los depósitos que rellenan los valles.

Ahora bien, si se examinan en lo general los diversos elementos de relieve existentes en la región que se viene describiendo, se advierte desde luego la intervención energética que ha tomado la erosión, con el transcurso del tiempo, en el modelado topográfico de este territorio, pues todas las sierras y los diversos miembros montañosos que se encuentran en ellas muestran los efectos de una intensa denudación, hallándose sumamente desgarradas y desgastadas.

La acción de los diversos agentes geológicos de la dinámica externa que realizaron el referido trabajo erosivo se ha manifestado, tanto con carácter mecánico como químico, sin que pueda definirse concretamente cuál de dichos agentes haya actuado de modo preponderante. La intervención mecánica de los referidos agentes erosivos se ha producido aquí, muy especialmente, a favor de los cambios de temperatura, tanto diurnos y nocturnos como los debidos a la sucesión de las estaciones, siendo también el viento un factor muy importante, que ha contribuido muy eficazmente para producir la desintegración mecánica de las rocas que entran en la construcción de las sierras descritas antes. A este respecto conviene recordar que la región a que se viene haciendo referencia, se halla localizada en una latitud en la que convergen vientos constantes y periódicos que siguen varias direcciones, siendo interesante observar cómo las diversas sierras y serranías existentes en las zonas en cuestión muestran mucho más desgarrados los flancos ex-

puestos a la acción de dichos vientos, contrastando notablemente el aspecto abrupto de estos flancos con los contornos suaves y arredondados que se observan en las laderas opuestas.

Por su parte, la actividad química de los referidos agentes geológicos se ha ejercido en estas sierras principalmente con la intervención del CO_2 que viene disuelto en las aguas meteóricas, originando la disolución de las rocas calizas y produciendo en ellas oquedades y cavernas de contornos y dimensiones muy variadas.

Se trata, pues, de una región típicamente desértica, en la que se encuentran sierras de constitución calcárea y configuración alargada, con una orientación más o menos paralela, que alternan con valles estrechos que aparecen como llanuras planas y de poca pendiente, formadas a expensas de la desintegración de las rocas que componen a las citadas sierras.

HIDROGRAFIA

No se encuentran, en ninguno de los valles estudiados, cursos fluviales que posean cauce bien definido; no obstante, las aguas superficiales escurren siguiendo el rumbo de los terrenos bajos que, en ambos valles, se orientan con dirección general de SW. a NE. Las aguas que bañan el valle de San Marcos se dirigen hacia El Mojarral, para pasar por el N. del valle de San Vicente y atravesarlo de W. a E., orientándose hacia el puerto Salado, en tanto que las que escurren sobre los terrenos del valle de San Vicente toman por el Patio de las Brujas, para seguir por los terrenos de Don Carlos, Santa Fe y San Vicente, alcanzando finalmente el citado puerto Salado, a través del cual se verifica el desagüe natural de ambos valles.

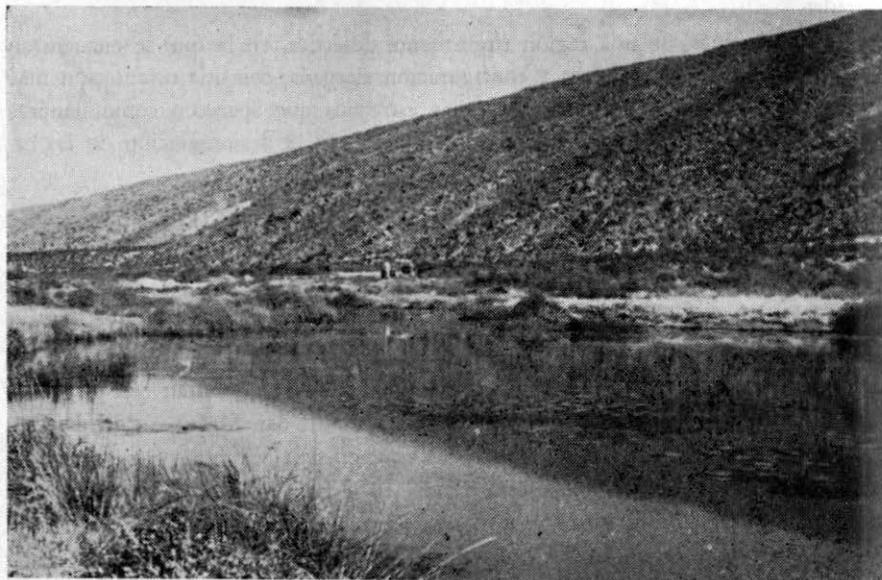
En realidad, el drenaje de los valles de San Vicente y de San Marcos no se realiza de modo completo, pues existen extensas zonas en las que, por falta de pendiente, se estanca el agua formando pantanos y ciénagas, circunstancia ésta que quizá contribuyó para que se asignara a la región su nombre de Cuatro Ciénegas.

Sin embargo, la reducida pendiente que acusa la superficie de los valles aludidos es suficiente para obligar al agua freática a acumularse preferentemente en el subsuelo de los terrenos más bajos, donde frecuentemente acaba por aflorar, contribuyendo así a la formación de los pantanos y ciénagas a que se hace referencia.

En el valle de San Vicente son innumerables los sitios cenagosos, pero puede citarse como más importante, la ciénaga del Mojarral, que se extiende desde este lugar hacia Los Mezquites, para continuar hasta cerca de los terrenos de Don Carlos, distantes como 12 kilómetros al E. del punto primeramente citado. Es de

mencionarse, asimismo, la ciénaga de Altamira, situada al S. de la anterior, aunque no tan extensa como aquélla.

También en el valle de San Marcos se encuentran varias zonas cenagosas, pero la más importante es, sin duda, la que se localiza en la Poza de Becerra, pues se extiende hacia el W. desde esa poza hasta lugares situados muy cerca de las estribaciones orientales de la Sierra de San Francisco. (Fotografía número 5.)



Fot. Núm. 5.—Poza de Becerra. Al fondo la Sierra de San Marcos.

Conviene hacer notar que tanto la ciénaga del Mojarral como en la Poza de Becerra se halla aumentado considerablemente el caudal del agua freática, debido a la existencia en esos sitios de brotes de agua procedente de capas más profundas. Las aguas que emergen en esos lugares acusan temperaturas superiores a la media anual de la región ($26^{\circ}\text{C}.$), siendo claramente perceptibles, especialmente durante los meses de invierno, las cortinas formadas por el vapor que se escapa de dichos manantiales.

Asimismo, en el lugar llamado El Bañito, localizado como a 4 kilómetros al S. del Mojarral, existe un manantial de aguas ligeramente termales, con las que se alimenta un estanque de forma toscamente circular y de unos 30 metros de diámetro, el que es aprovechado por los moradores de los poblados vecinos para proporcionarse baños de placer.

Ya se han hecho varios intentos para dar alguna utilidad al agua de estos manantiales, especialmente la de Poza de Becerra que, por ser potable, se ha pensado conducirla a Cuatro Ciénegas, para su consumo en las diversas necesidades de la población. Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible llevar a la práctica esta idea, debido a penuria municipal y otras dificultades de orden legal y administrativo. Por tal razón, dichas aguas se utilizan para el regadío de parcelas ejidales o de terrenos de propiedad particular, habiendo abierto al efecto varios canales por los que se conduce el líquido, desde los manantiales, hasta los sitios en que se verifica el riego.

Así, pues, el agua que se consume en la población de Cuatro Ciénegas no proviene de la Poza de Becerra, como muchos suponen, sino del arroyo del cañón que corre a lo largo del Cañón de Cuatro Ciénegas, situado, como se ha dicho, a unos 2 kilómetros al NW. de la población. En realidad, el caudal de dicho arroyo es muy reducido e insuficiente a todas luces para satisfacer las necesidades del poblado, pero en los bordes occidentales del referido cañón existe un manantial donde emergen aguas potables en cantidad no muy grande (8 litros por segundo, según cálculos de la Municipalidad), pero que, unidas a las del citado arroyo, suman un caudal que si bien todavía es relativamente reducido, basta, sin embargo, para cubrir las necesidades de una parte de la población.

Tratando de obtener el complemento del agua requerida por los habitantes de Cuatro Ciénegas, muchos vecinos de la localidad han perforado pozos, con los que se alcanza un manto de aguas ascendentes que se localiza de 90-110 metros de profundidad, elevando el líquido hasta la superficie por medio de motores Diesel o de rehileres, cuyo funcionamiento queda a cargo del viento que, como se indicó antes, sopla en esta región con bastante violencia y regularidad.

GEOLOGIA

La geología de los valles de San Vicente y de San Marcos, así como de las barreras orográficas que los circundan, presenta una aparente sencillez que no corresponde a la realidad, pues si bien es cierto que todas las rocas que aparecen en la zona estudiada son, sin excepción, de naturaleza sedimentaria, en cambio en lo que respecta a la forma en que tuvieron origen y las diversas vicisitudes a que han estado sujetas en el transcurso de las edades geológicas hacen su estudio un tanto complicado.

En efecto, todas las sierras y serranías que se hallan en relación con los valles aludidos están constituídas por rocas calizas, en tanto que los valles mismos se componen de detritos derivados de la desintegración de las referidas rocas, así como de otros productos procedentes de su disolución o alteración. (Véase el croquis geológico, Lám. núm. I.)

Sierras y serranías.—Las calizas que constituyen las sierras y serranías de referencia son todas de edad cretácica, con predominio de las correspondientes al Cretácico medio, aunque también se encuentran calizas relacionadas a la anterior subdivisión de este Período, esto es, al Cretácico inferior.

Las rocas aludidas son poco fosilíferas, pero, no obstante, los geólogos C. J. Hares y L. B. Kellum lograron coleccionar algunos restos de organismos fósiles que permiten hacer las respectivas correlaciones estratigráficas. Las localidades de donde proceden dichos ejemplares se hallan al S. de Cuatro Ciénegas, cerca de San Marcos y al SE. de la misma población citada antes, en las proximidades del paraje conocido con el nombre de Barril Viejo, sobre la sierrita de La Reforma.

En este último lugar, los geólogos citados observaron en la base de la serie estratigráfica, arcillas esquistosas de colores gris y verde olivo, las que alternan con algunos bancos de calizas y areniscas. Los organismos fósiles encontrados en estas capas fueron clasificados por Burckhardt en su estudio sobre el Mesozoico mexicano¹ y permiten atribuir la edad de esos estratos al Neocomiano, muy probablemente a un horizonte limítrofe entre el Valanginiano y el Hauteriviano.

Los fósiles procedentes de este lugar y reconocidos por Burckhardt son los siguientes:

- Exogyra Couloni* Deifr.
- Pholadomya elongata* Mstr.
- Vola n. sp. de gr. atava* Roem.
- Perna cfr. militaris* Burckh.
- Trigonia d. gr. scabrae*
- T. aff. tenuis* Kitchin.
- Pinna sp.*
- Cucullaea sp.*
- Ctenostreon sp.*
- Natica sp.*

Arriba de las capas neocomianas descritas antes, se encuentra una sucesión de depósitos detríticos, compuesta de arkosas y areniscas que pasan a veces a verdaderos conglomerados, los que alternan con capas de pizarras esquistosas y algunos bancos de calizas, encontrándose todos estos detritos cubiertos, a su vez, por una gruesa serie de bancos calizos, muy pobres en fósiles y correspondientes ya al Cretácico medio.

La sucesión estratigráfica descrita antes se ilustra por medio de la figura número 2, tomada del citado estudio de Burckhardt.²

¹ C. Burckhardt. "Etude Synthétique sur le Mésozoïque Mexicain".—Mém. Soc. Pal. Suisse, Vols. II-L, pág. 145, Bâle, 1930.

² Loc. cit. pág. 146.

Así, pues, en la constitución geológica de las sierras que se vienen describiendo predominan las calizas del Cretácico medio, encontrándose las rocas correspondientes al Infracretácico en proporción mucho menor.

Las referidas calizas se hallan muy trastornadas e intensamente plegadas, especialmente en las sierras del Anteojo y la de Menchaca que, como se habrá podido notar, siguen dirección transversal a la del resto de las líneas de relieve de la región.

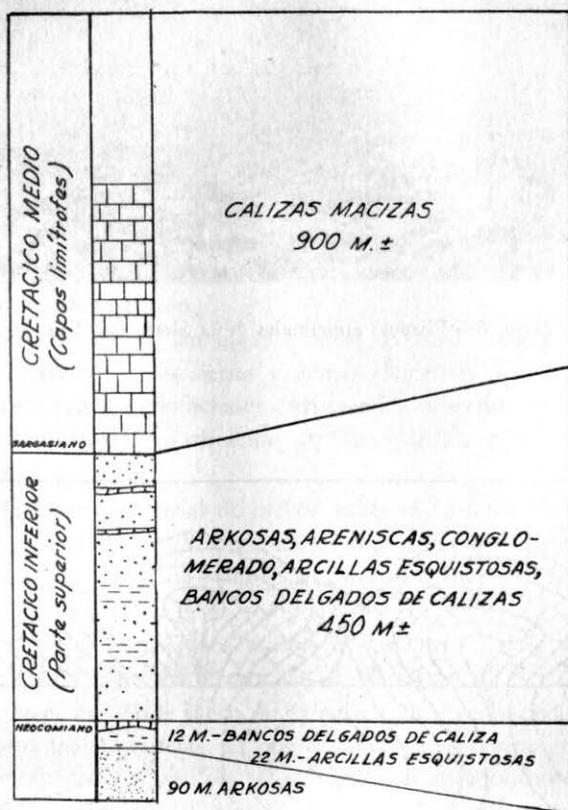
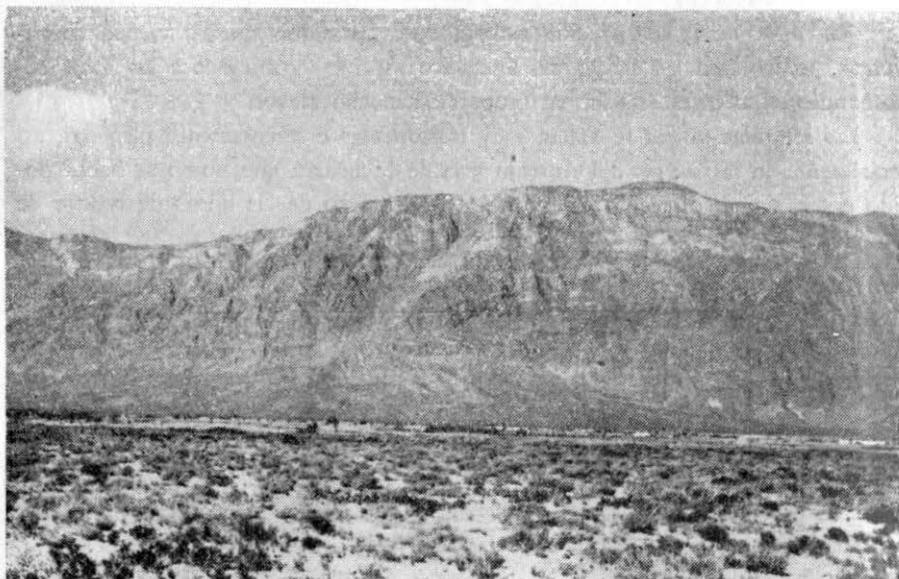
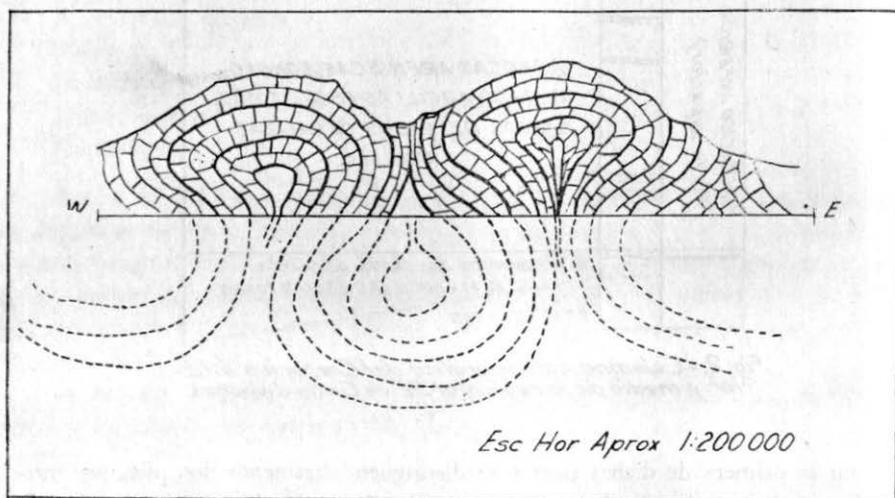


Fig. 2.- Columna estratigráfica del Cretácico inferior y medio de la región al SE de Cuatro Cráneos

En la primera de dichas sierras se distinguen claramente dos pliegues anticlinales simétricos, estrangulados, y los estratos tienen rumbos predominantes de N. NW. a S. SE., en tanto que los echados se dirigen hacia el E. y al W., con



Fot. Núm. 6.—Pliegues anticlinales de la Sierra del Anteojo.



Esc Hor Aprox 1:200 000

Fig. 3.—Estructura en abanico de la Sierra del Anteojo

inclinaciones muy variables, llegando a veces hasta la vertical. (Fotografía número 6 y figura número 3.) Por su parte, la Sierra de Menchaca tiene estratos con rumbos y echados todavía más caóticos, aun cuando se nota en lo general que las estructuras acusan notable semejanza con las que se encuentran en la Sierra del Anteojo.

En lo que respecta a las sierras de San Vicente y de San Marcos, así como la porción estudiada de la Sierra de San Francisco, puede decirse que presentan condiciones estructurales mucho más sencillas, pues los rumbos de los estratos tienen una dirección que se aproxima, en lo general, a la que siguen las mismas sierras, en tanto que los echados son contrarios entre sí, esto es, al E. NE. y al W. SW., indicando la existencia de anticlinales orientados normalmente a la dirección de los movimientos orogénicos que produjeron el plegamiento de los estratos.

De acuerdo con esto, puede decirse que los valles de San Vicente y de San Marcos ocupan una posición correspondiente a los sinclinales que se relacionan con los anticlinales, que forman a las sierras del mismo nombre, y cuyas crestas limitan a esos valles por el E., W. y S., en tanto que los límites septentrionales se deben a la interposición de barreras orográficas de dirección transversal a las estructuras generales de la región.

Valles.—Establecida ya, sin lugar a dudas, la edad infra y mesocretácica de las rocas que componen a las sierras y demás elementos de relieve en la región estudiada, y conocidas las condiciones estructurales existentes en ellas, podrá examinarse más fácilmente la constitución geológica de los valles de San Vicente y de San Marcos.

Aunque la parte superficial de dichos valles es bastante plana, ya que como se ha dicho no existen en ellos accidentes topográficos de importancia ni corrientes fluviales que hayan excavado cauces más o menos profundos, se advierte, sin embargo, que la superficie se compone de varios tipos de terrenos, correspondientes a diversas formaciones geológicas que han podido quedar al descubierto merced a la acción erosiva ejercida por el viento.

Llama la atención, desde luego, la existencia de ligeras ondulaciones que alteran la uniformidad superficial, las que, examinadas con detenimiento, aparecen como lomeríos apenas perceptibles y de contornos arredondados, pero cortados bruscamente en los sitios batidos por el viento. Estas ondulaciones alcanzan hasta 6 metros de altura y están constituidas por yeso cristalizado y fracturado en partículas transparentes, muy pequeñas, que son arrastradas fácilmente por los vientos, para ser llevadas a lugares donde, por pérdida de velocidad del vehículo de transporte o alguna otra circunstancia, se acumulan formando los pequeños montículos a que se hace referencia, a manera de dunas o médanos, de posición y contornos cambiantes. (Fotografía número 7.)

Por otra parte, unas pequeñas excavaciones de un metro de profundidad, practicadas con fines exploratorios en varios lugares de los valles de San Vicente y de San Marcos, permitieron observar que el referido yeso se encuentra en algunos de los sitios excavados, en capas superficiales hasta de 80 centímetros de espesor, en tanto que en otros lugares no afloran dichas capas, sino que se hallan a diversas profundidades y sólo tienen 20-40 centímetros de potencia, habiendo también algunas localidades donde no pudo descubrirse el yeso, por encontrarse a mayor profundidad de la alcanzada por la excavación.



Fot. Núm. 7.—Montículos de yeso en el valle de San Vicente.

Una característica común a todas estas capas de yeso es que se encuentran fuertemente impregnadas de cloruro de sodio, siendo fácil identificar los pequeños cubos de esta sal, mezclados en cantidad variable entre los cristales de yeso.

Ya C. J. Hares había observado capas de yeso al N. y cerca de Cuatro Ciénegas, en el paraje denominado Potrero de la Virgen, hallándose allí dichas capas en una posición estratigráfica que parece corresponder a la ocupada por los depósitos detríticos de Barril Viejo, es decir, en los límites superiores del Cretácico inferior.

Sin embargo, a pesar de ser muy extensa la formación yesífera, no se localizó otro lugar, dentro del perímetro de la zona estudiada, en donde la acumula-

ción de esta substancia se encontrara "in situ", suponiéndose que los depósitos originales fueron destruidos por erosión o se hallan sepultados bajo cubiertas de sedimentos más jóvenes.

Dadas las condiciones en que aparecen las capas yesíferas a que se viene haciendo referencia, no es probable que se hayan formado en épocas anteriores al Pleistoceno, siendo en realidad tan jóvenes que aun hay depósitos que se encuentran todavía en proceso de formación, como ocurre en varios sitios de la fracción occidental del valle de San Marcos y en las porciones central y septentrional del valle de San Vicente.

Si bien esta formación yesífera ocupa áreas relativamente extensas, no corresponde, sin embargo, a la verdadera superficie de los valles, porque se halla cubierta en gran parte por otros materiales arcillosos, o más bien, de naturaleza margosa, que aparecen en los bajos como manchones aislados de reducida extensión superficial y contornos muy irregulares. Estos depósitos son delgados y escasos en el centro de las llanuras, pero se tornan más gruesos y extensos a medida que se aproximan a las márgenes de los valles, donde empiezan a ejercer su influencia las pendientes propias de las laderas de las sierras limítrofes, de tal modo que se hace patente el acarreo, lento pero constante, que verifican las escasas aguas meteóricas, al descender de las alturas hacia los valles, arrastrando consigo a las tierras aludidas.

Son, pues, terrenos de acarreo de edad reciente, susceptibles de aumentar tanto en espesor como en extensión, o de ser destruidos por la acción erosiva de las aguas o el viento y arrastradas sus partículas detríticas a otros lugares de las mismas valles o de otras regiones más o menos alejadas.

HISTORIA GEOLOGICA

Con los datos geológicos asentados antes, puede intentarse una reconstrucción de los acontecimientos ocurridos en esta región durante el transcurso del tiempo, a partir del Cretácico inferior.

Concluido el depósito de los sedimentos relacionados al Neocomiano, el mar se retiró lentamente hacia el S., dando así oportunidad de que se depositaran en las zonas litorales, los productos detríticos representados en Barril Viejo por arkosas, areniscas, conglomerados etc., correspondientes ya a la parte superior del Cretácico inferior, siendo muy probable que en esta misma época se produjeran también las precipitaciones del yeso que aflora en Potrero de la Virgen.

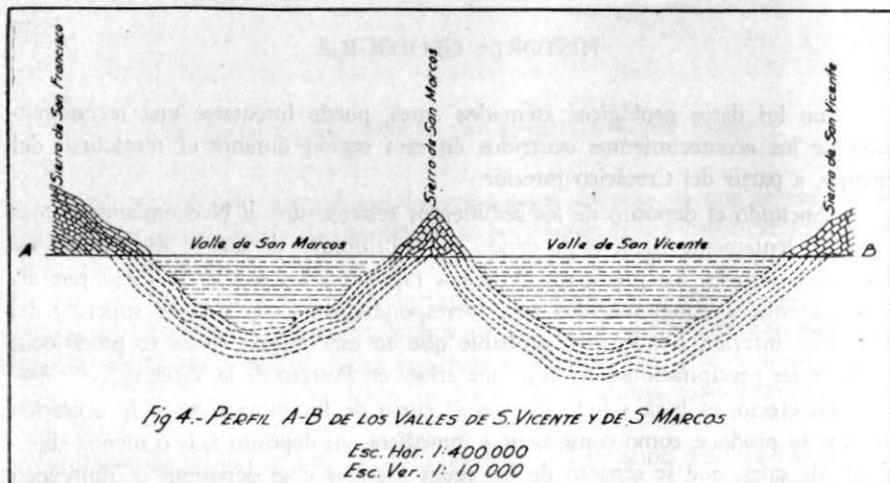
En efecto, es bien sabido que en el curso de los movimientos de regresión marina se produce, como consecuencia inmediata, un depósito más o menos abundante de sales, que se separan de las aguas marinas y se depositan o impregnan

las márgenes que van siendo abandonadas a medida que progresa la regresión. La evaporación normal del agua del mar origina, primeramente, la precipitación del yeso que se halla disuelto en ella y, en los casos en que el líquido no se evapora suficientemente antes de que se produzcan nuevos influjos de agua, la precipitación del yeso es casi exclusiva o contaminada en proporción variable con cloruro de sodio y otras sales, como ocurre en las capas de Potrero de la Virgen.

Más tarde, se produjo un movimiento del mar en dirección contraria y las aguas invadieron nuevamente los terrenos que antes había abandonado, verificándose entonces el depósito de las calizas mesocretácicas que cubren a los anteriores detritos, quedando así el primitivo depósito de yeso protegido de ulteriores efectos erosivos.

No debe haber perdurado mucho tiempo esa transgresión porque poco después, al finalizar el Cretácico y en edades inmediatamente posteriores, se produjeron los movimientos orogénicos que habían de plegar todos esos sedimentos, haciéndolos emerger del seno de las aguas, para venir a formar parte de la región continental del país.

Llevados así dichos sedimentos a la superficie, bien pronto se vieron sujetos a la acción erosiva de los agentes externos, siendo disueltos o desintegrados sus elementos constituyentes; acarreados por las aguas meteóricas o por los vientos, esos detritos o productos de disolución fueron depositados en las zonas más bajas, verificándose de este modo el relleno de los sinclinales que, a manera de cubetas, se formaron en la porción intermedia de los pliegues positivos, tal como se bosqueja en el perfil adjunto. (Figura 4.)



Un dato interesante, que conviene tener muy en cuenta en relación con el origen de las costras superficiales y demás eflorescencias salinas, es que las condiciones climáticas que han prevalecido en esta región en el transcurso de un lapso tan largo como es desde el Cretácico inferior hasta nuestros días, se relacionan siempre con un clima desértico más o menos acentuado, como lo atestiguan tanto los detritos de diversos colores que afloran en el Cretácico inferior de Barril Viejo, como el depósito de yeso de Potrero de la Virgen.^{3, 4}

Es de suponerse, pues, que la sedimentación producida en las dos cuencas citadas antes se haya verificado en forma cíclica, desde que concluyó la emergencia de las sierras limítrofes hasta que se rellenaron las cuencas de sedimentación, lo que originó una alternancia sucesiva de capas relativamente gruesas de margas y otros productos detríticos, con delgados mantos yesíferos formados, en unos casos, por procesos de precipitación química y, en otros, por fenómenos de sedimentación mecánica.

GEOLOGIA ECONOMICA

La geología económica de los valles de San Vicente y de San Marcos se relacionan con el aprovechamiento de los recursos naturales de la región, pudiéndose separar éstos en tres partes bien distintas que son:

- 1) Rocas y demás materiales que entran en la constitución geológica de los elementos de relieve.
- 2) Productos derivados de la alteración, disolución o desintegración de dichos materiales constitutivos.
- 3) Substancias de naturaleza biogénica.

El primer grupo comprende las rocas calizas y el yeso. Las primeras constituyen las sierras de modo casi exclusivo; y en lo que respecta al yeso, se ha creído conveniente incluirlo en este grupo a pesar de que sólo excepcionalmente se encuentra en depósitos originales, debido a que los productos derivados no presentan alteraciones apreciables, tanto en lo relativo a su composición química como a sus características mineralógicas, por lo que bien puede estimarse, desde el punto de vista práctico, que dicha substancia sólo ha sido cambiada de lugar.

El segundo grupo incluye a las arcillas y a las diversas sales que aparecen en los valles en forma de costras o eflorescencias superficiales y, el tercero, se refiere a los depósitos de guano acumulado en las cavernas formadas en las sierras, por disolución de las calizas.

³ W. H. Twenhofel.—Principles of Sedimentation. 1939, pág. 37 y sig.

⁴ J. Barrel.—Criteria for the recognition of ancient delta deposits. Bull. Geol. Soc. of America, Vol. 23, págs. 377-446, 1912.

GRUPO I.—ROCAS Y DEMÁS MATERIALES QUE ENTRAN EN LA CONSTITUCIÓN
GEOLÓGICA DE LOS ELEMENTOS DE RELIEVE

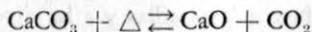
CALIZAS

Todas las rocas calizas que entran en la constitución de las sierras estudiadas son bastante puras, encontrándose muy poco contaminadas con productos extraños. Dada la uniformidad que presentan dichas rocas, tanto en lo que respecta a las condiciones en que se hallan sus depósitos como en lo que se refiere a su respectiva composición química, se consideró innecesario seleccionarlas de acuerdo con su calidad, estimándose en cambio más práctico y conveniente atender de preferencia a la mayor o menor facilidad que presentarían los referidos yacimientos, en relación con la extracción de la piedra caliza, con miras a su aprovechamiento industrial.

Las principales aplicaciones industriales a que pueden destinarse esas calizas son dos, esto es: fabricación de cal para construcciones y elaboración de cemento de tipo Portland. Para la primera de dichas aplicaciones basta con que la caliza empleada como materia prima tenga una buena proporción de carbonato de calcio, en tanto que cuando se emplea ese material para fabricar cemento Portland se hace necesario, además, que posea baja proporción de álcalis, magnesio y óxidos de hierro.

Cal.—Los sistemas que se siguen en nuestro país para fabricar cal ordinaria son bastante conocidos de quienes se dedican a esta industria, por lo que sería superfluo insistir sobre ello en este trabajo. Basta con calcinar la piedra caliza en hornos de cualquier tipo y a temperaturas superiores a 900°C. para obtener el producto deseado.

Conviene indicar, sin embargo, que para elaborar una cal de buena calidad precisa tomar algunas precauciones, pues hay que recordar que la reacción que se verifica al disociarse el carbonato de calcio es de carácter reversible, como lo ilustra la conocida ecuación que se transcribe en seguida:

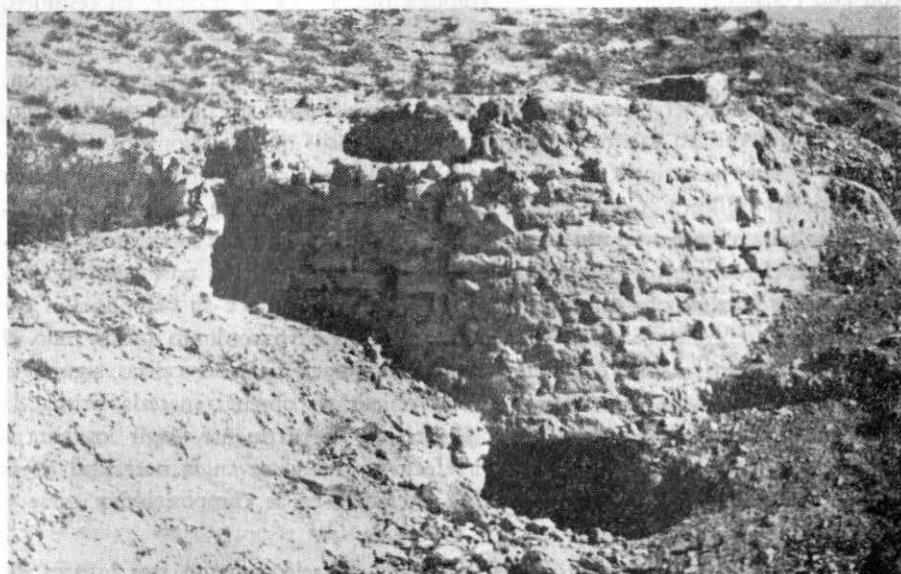


El factor que determina la marcha de la reacción, según la conocida regla de fases, puede ser la presión del bióxido de carbono o la temperatura; en nuestro caso, el sistema que se halla en acción es de dos componentes y tres fases, por cuya razón se le debe considerar univariante, es decir, es un sistema que a una

temperatura dada, corresponde una presión de disociación determinada o, a la inversa, dada una presión determinada, ésta fija la temperatura de disociación.

En los hornos de construcción primitiva, cuyo empleo es común en esta comarca (fotografía número 8), se lleva la disociación del carbonato de calcio en forma completamente arbitraria, toda vez que no se tiene ningún control de la temperatura y, además, la calcinación se verifica en espacios parcialmente cerrados.

Por tal razón, los caleros de los contornos se ven precisados a lograr la formación del óxido de calcio a fuerza de combustible, lo que además de producir una cal de baja calidad, origina gastos innecesarios.



Fot. Núm. 8.—Horno de cal de construcción primitiva, erigido al pie del Cerro del Muerto.

En efecto, si en un horno de cal en que se conserva una temperatura más o menos constante se deja acumular el bióxido de carbono, se eleva la presión parcial de este gas y la temperatura de disociación del carbonato de calcio, que en condiciones normales es aproximadamente de 900°C ., sufre también un aumento positivo. Eso es lo que ocurre a los caleros de esta región, pues como la temperatura a que trabajan sus hornos se conserva prácticamente constante, el equilibrio no puede desplazarse según el sentido de la disociación y, en consecuencia, se invierte la reacción regenerándose el carbonato de calcio original, por lo que

obtienen el llamado "hueso", que no es otra cosa que el propio carbonato de calcio original.

Ahora bien, admitiendo que los referidos caleros insistan en el empleo de sus hornos primitivos, ya que su penuria no les permite construir hornos de tipo continuo o siquiera semicontinuo, conviene que al menos practiquen la calcinación de las calizas tomando en cuenta las anteriores recomendaciones, esto es, dejando entre la roca que se pretende calcinar y la parte superior del horno, suficiente espacio para que circule el aire y arrastre al exterior el CO_2 que se pone en libertad al efectuar la referida calcinación, con lo que podrán obtener un producto de mejor calidad y de características más uniformes, al mismo tiempo que con ello consiguen reducir trabajo y combustible, lo que se traduce, en resumen, en una apreciable disminución en los costos totales de fabricación.

Sistemas de explotación.—Ya se indicó antes que las calizas de esta región, estimadas en lo general, pueden considerarse como de buena calidad, sin embargo, dentro de un mismo yacimiento se encuentran bancos que, relacionados a los anteriores y los posteriores, muestran algunas diferencias respecto a su relativa composición química. Como la precipitación del carbonato de calcio que da origen a las calizas forma estratos sucesivos que se superponen unos sobre otros, es evidente que el material carbonatado que entra en la composición particular de cada uno de esos bancos, presenta mayor uniformidad en cuanto a su composición general, que la encontrada en el resto de los estratos cuyo conjunto forma todo el depósito. Por lo mismo, conviene hacer la explotación de las calizas siguiendo longitudinalmente un solo banco, con el objeto de obtener materia prima de composición más o menos uniforme. Asimismo, es pertinente elegir los bancos que alcancen mayor espesor relativo, a efecto de no verse en la necesidad de ir de un banco a otro, con la consiguiente alteración en la composición y características generales de la caliza.

De acuerdo con estos principios generales, se seleccionaron tres lugares diferentes en donde las calizas presentan condiciones favorables para su explotación. Al hacer esta selección no sólo se tomó en cuenta la calidad de la roca, sino también el espesor de los bancos calizos y su continuidad a rumbo. Del mismo modo se procuró que los sitios elegidos se localizaran en las proximidades de algún centro poblado, a fin de asegurar en lo posible el consumo de la cal fabricada o, en su defecto, que contaran con buenas vías de comunicación, de modo que en caso necesario se facilitara la movilización del producto elaborado.

Los tres puntos aludidos son: 1) Sierra de San Marcos, cerca de la congregación de este nombre y frente a la Poza de Becerra; 2) Puerto Salado, próximo al poblado de San Juan (Estación Boquillas); y 3) Cerro del Muerto, inmediato a Cuatro Ciénegas.

La caliza que se encuentra en los tres sitios referidos es de composición química muy semejante, pues todas ellas contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio, pudiéndose estimar que las proporciones en que se encuentra dicho carbonato en las calizas aludidas alcanza aproximadamente al 92%. Los análisis completos relativos a estas rocas dieron los resultados que se transcriben en seguida:

TABLA 1.—ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS CALIZAS DE LA SIERRA DE SAN MARCOS, PUERTO SALADO Y CERRO DEL MUERTO

Muestra Núm.	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	K ₂ O — Na ₂ O %
1	0.30	0.17	0.08	55.80	0.28	Huellas
2	1.28	0.08	0.23	54.23	0.90	Huellas
3	3.72	0.11	0.55	52.92	0.67	Huellas

1. Sierra de San Marcos, frente a la Poza de Becerra.
2. Puerto Salado.
3. Cerro del Muerto.⁵

En los tres yacimientos de que se trata se encuentra la caliza en bancos de espesor variable entre 0.80 y 2 metros, encontrándose dichos bancos como recostados sobre las laderas de las sierras respectivas; en los dos primeros sitios siguen el rumbo general de las líneas de relieve, en tanto que en el tercero se aprovechan las particulares condiciones estructurales del Cerro del Muerto, cuya orientación sigue transversalmente la dirección general de la Sierra de Menchaca, por lo que en realidad vienen a explotarse los bancos correspondientes al flanco occidental de uno de los anticlinales existentes en dicha sierra.

De cualquier modo puede estimarse que en los tres sitios aludidos se encuentra materia prima para la elaboración de cal, en cantidades prácticamente inagotables.

Ya se dijo antes que las calizas de estos yacimientos son también aprovechables para la elaboración de cemento Portland, pero como esa aplicación industrial se realiza explotando conjuntamente calizas y arcillas, se considera más apropiado tratar lo relativo a esta industria al describir los depósitos arcillosos de la región.

YESO

Los yacimientos de yeso existentes en la región estudiada son relativamente extensos, si bien, no alcanzan potencia muy considerable. Esta substancia se en-

⁵ Análisis practicados en el Laboratorio de Química del Instituto de Geología, por el químico Rodolfo del Corral.

cuentra en capas de 4 a 10 centímetros de espesor, las que alternan con margas y otros productos detríticos, en tanto que su distribución a profundidad pudo seguirse desde la superficie del terreno hasta los tres metros, siendo muy probable que continúen, en la misma forma alternante, hasta profundidades que sólo un buen sondeo podría determinar.

Al tratar lo relativo a la geología de la región se describieron algunos de los fenómenos que dieron lugar a la formación de yeso, pero, en este caso, pueden invocarse todavía otras varias causas que intervienen a través del tiempo para originar sulfato de calcio, como son los procesos de descomposición secundaria de las calizas; por alteración de la piritita existente en ellas, etc. Así, pues, no hay para qué ampliar lo dicho sobre este punto, recordando tan sólo que se trata de depósitos de origen secundario, ya que proceden de la alteración o desintegración de otros yacimientos.

En lo que respecta a su acumulación en depósitos constituídos por material yesífero relativamente puro es de creerse que se debe a la intervención de agentes mecánicos y químicos, no siendo fácil dilucidar de modo concreto qué parte de su génesis corresponde al viento y cuál otra al agua. No obstante, a juzgar por las condiciones climáticas que prevalecen actualmente en el medio ambiente en que se localizan dichos yacimientos, puede asegurarse que en la formación de los depósitos superficiales es el viento el que ha tomado participación más activa, casi exclusiva, en tanto que las capas yesíferas inferiores deben su formación, preferentemente, a la precipitación de soluciones traídas por las aguas circulantes.

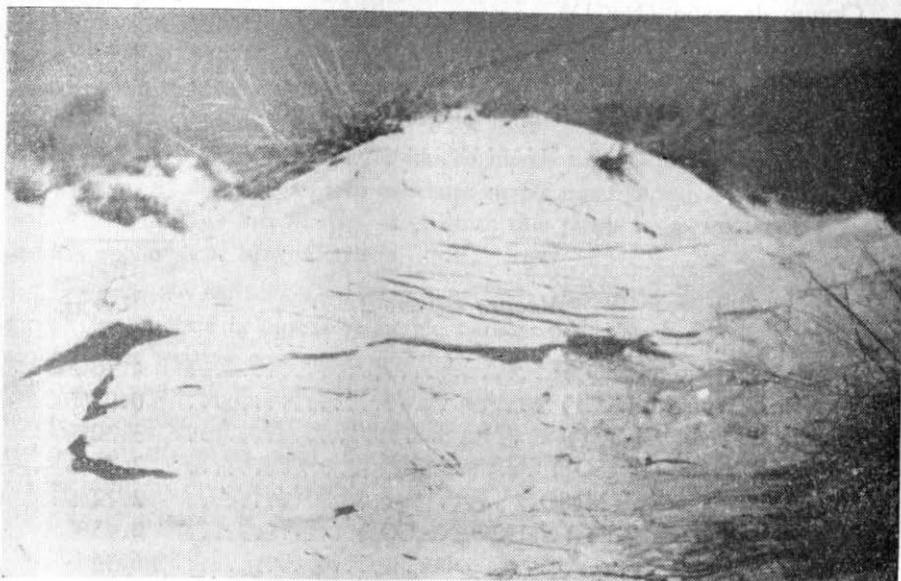
Para llegar a esta conclusión se tomaron en cuenta las capas de yeso que se descubrieron en un pequeño sondeo practicado en el paraje de Altamira, situado al S. del Bañito, donde pudo observarse que el referido material aparece en forma de capas relativamente macizas, pero provistas de innumerables conductos y cavidades que le dan apariencia esponjosa, siendo por eso dichas capas sumamente permeables. Es bien sabido que una parte de yeso es soluble en 480 partes de agua, aproximadamente, por lo que esa sustancia puede ser llevada en solución por las aguas fluviales o subterráneas, para depositarse más tarde en aquellos lugares donde encuentra condiciones favorables para su precipitación, siendo precisamente en las regiones áridas, de clima desértico, donde se presenta el medio ambiente propicio para que se produzcan las precipitaciones de referencia.

Si de los productos derivados de la desintegración de las rocas existentes en esta comarca se producen entre otros materiales arenas, arcillas y yeso, se comprende que éstos dos últimos productos sean acarreados por el viento con mayor facilidad, ya que están constituídos por partículas más finas o de menor densidad. Por lo mismo, es de creerse que el yeso que aparece en las capas superficiales proviene, en realidad, de la destrucción eólica de los yacimientos inmediatamente

inferiores, ya que en los lugares donde afloran dichos yacimientos, pudieron distinguirse claramente los efectos destructores que al presente realiza el viento.

Como quiera que sea, lo cierto es que para el caso de la explotación de la referida substancia, con miras a su aprovechamiento industrial, nos basta con saber que el origen de los depósitos aludidos es de orden secundario, lo que nos proporciona las bases necesarias para conjeturar la dispersión del material explotable y lo que puede esperarse respecto a su posible distribución a la profundidad.

El yeso de estos depósitos es bastante puro, encontrándose en cristales fragmentados que se acumulan, forman montículos más o menos gruesos y extensos, a manera de dunas o médanos. (Fotografía número 9.) Por tal razón es susceptible de aprovecharse en múltiples aplicaciones industriales, pudiendo emplearse "crudo", tal como se encuentra en los yacimientos, o "cocido", esto es, en forma de yeso calcinado.



Fot. Núm. 9.—Médanos de yeso en el valle de San Vicente.

En el primer caso, es de utilidad, principalmente en la agricultura, como correctivo de estructura de suelos; en la industria del cemento, para regularizar el fraguado de las pastas; en la manufactura de papel, pinturas, etc., en tanto que el

yeso calcinado encuentra otras muchas aplicaciones, especialmente para preparar las pastas con que se hacen moldes, estucos, figurillas estatuarias, etc.

Nos referimos a las capas superficiales y excluimos de todas esas aplicaciones industriales al yeso que se halla en los depósitos inferiores o que no afloran en la superficie de los valles, pues el material yesífero que constituye estos últimos depósitos se halla contaminado con otras sales que lo impurifican grandemente, haciéndolo impropio para su empleo en cualesquiera de las aplicaciones citadas antes.

En efecto, el análisis de la parte soluble del yeso encontrado en capas inferiores de los valles de San Vicente y de San Marcos produjo el siguiente resultado:

Muestra número 1

Sulfato de calcio (CaSO_4)	4.45%
Cloruro de potasio (KCl)	0.11%
Cloruro de sodio (NaCl)	2.54%
Sulfato de sodio (Na_2SO_4)	4.53%
Sulfato de magnesio (MgSO_4)	3.86%
Sesquicarbonato de sodio ($\text{NaHCO}_3\text{Na}_2\text{CO}_3$)	1.18%
Agua e insoluble	83.33%
	<hr/>
	100.00%

Muestra número 2

Sulfato de calcio (CaSO_4)	4.76%
Cloruro de potasio (KCl)	0.08%
Cloruro de sodio (NaCl)	3.30%
Sulfato de sodio (Na_2SO_4)	2.75%
Sulfato de magnesio (MgSO_4)	2.72%
Sesquicarbonato de sodio ($\text{NaHCO}_3\text{Na}_2\text{CO}_3$)	0.45%
Agua e insoluble	86.34%
	<hr/>
	100.40%

La muestra número 1 corresponde a una capa localizada en el valle de San Vicente a 2 metros de profundidad, en tanto que la muestra número 2 se refiere

al yeso encontrado en una capa que se descubrió en el valle de San Marcos a 1.30 metros de profundidad.

Como puede verse en los referidos análisis, el yeso examinado en la muestra número 1 contiene 2.54% de cloruro de sodio; 4.53% de sulfato de sodio y 3.86% de sulfato de magnesio, amén de otras sales que se hallan en menor proporción, correspondiendo al yeso el 4.45% de sulfato de calcio que aparece en el análisis entre la parte soluble, más el 83.33% que se consigna como agua e insoluble, encontrándose, pues, el yeso en cantidad total que monta al 87.78%, aunque incluyendo en esta cifra pequeñas proporciones de arena, arcilla y otras impurezas que acompañan al yeso en estos yacimientos.

Haciendo lo propio con la muestra número 2, se registran en esencia 3.30% de cloruro de sodio; 2.35% de sulfato de sodio y 2.72% de sulfato de magnesio, en tanto que al yeso corresponden los 4.76% de sulfato de calcio que se halló entre la parte soluble, más 86.34% que se indica como agua e insoluble, dando un total de yeso de 91.10%, incluídas las impurezas referidas antes.

Como se ve, ambos yesos procedentes de capas inferiores se hallan contaminados con cantidades apreciables de cloruro de sodio y sulfatos de sodio y magnesio, pero esto no ocurre en el yeso de los depósitos superficiales, porque las aguas meteóricas, al escurrir sobre la superficie de los valles, han levigado al material yesífero, arrastrando consigo a los cloruros y sulfatos de sodio y magnesio, dejando tan sólo al yeso que es mucho menos soluble que las sales anteriores. Por lo tanto, el material yesífero existente en las capas superficiales de los valles de San Vicente y de San Marcos es el único que puede emplearse con las finalidades a que antes se hizo referencia.

Sistemas de extracción.—Llevados así a la conclusión de que sólo el yeso superficial presenta la pureza requerida para justificar su explotación industrial, se encuentra todavía otra razón que induce a darle preferencia a la extracción del yeso superficial, ya que, estimado el asunto desde el punto de vista estrictamente económico, se observa también que sólo es de tomarse en cuenta el material que se halla en las capas aflorantes, pues por su misma distribución en estratos horizontales de escaso espesor haría muy laboriosa y, por lo mismo, económicamente incosteable, la extracción del material existente en las capas inferiores.

Si como se dijo antes los yacimientos superficiales alcanzan de 4 a 10 centímetros de potencia, es de estimarse, pues, que en promedio tienen 7 centímetros de espesor, sin tomar en cuenta los montículos que a veces se elevan hasta los 6 metros.

Ahora bien, el afloramiento de estas capas yesíferas superficiales ocupa una extensión calculada en 25 kilómetros cuadrados en el valle de San Vicente, y de 22 kilómetros cuadrados en el de San Marcos, lo que multiplicado por 7 cen-

tímetros que se tiene como promedio de espesor, nos da un total de yeso de 1.750,000 metros cúbicos en el valle primeramente citado, y de 1.540,000 metros cúbicos en el de San Marcos.

Como la gravedad específica de este yeso, tal como se encuentra en los aludidos yacimientos, es de 1.48 en promedio, resulta en conclusión que en los valles de San Vicente y de San Marcos se tiene, respectivamente, 2.590,000 y 2.279,200 toneladas de yeso explotable.

Sin embargo, antes de emprender la explotación industrial de este yeso, conviene investigar muy detenidamente los métodos de extracción que deben emplearse, pues si se toma en cuenta el reducido espesor de los depósitos respectivos (de 4 a 10 centímetros), se advierte desde luego la dificultad que presenta dicha explotación, especialmente si se pretende hacer una extracción en grande escala y empleando sistemas mecánicos de trabajo. En realidad, dadas las condiciones de dispersión en que se halla el material yesífero en estos yacimientos, no se nos ocurre por ahora alguna forma de extracción que parezca adecuada para su explotación industrial, aunque desde luego no descartamos la posibilidad de que haya quien encuentre algún sistema de extracción que, además de ser conveniente para el caso, resulte económicamente costeable. Como quiera que sea, insistimos en que no conviene hacer ninguna inversión de capital, destinada a la explotación de este yeso, sin estudiar antes el problema relativo a su extracción.

GRUPO II.—PRODUCTOS DERIVADOS DE LA ALTERACIÓN, DISOLUCIÓN O DESINTEGRACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS

ARCILLAS

Las arcillas que se hallan en los valles de San Vicente y de San Marcos contienen altos porcentajes de carbonato de calcio, por lo que más bien deben considerarse dentro de la categoría de las margas o, a lo más, de arcillas margosas.

En el centro de los valles se observan estos materiales en capas delgadas distribuidas en manchones aislados de reducida extensión superficial, pero en las márgenes, cerca de las sierras limítrofes, ocupan superficies más continuas y extensas y, además, los depósitos respectivos son mucho más gruesos, llegando a alcanzar espesores hasta de 15 metros o más.

Examinando los análisis relativos a las calizas de la región se observa que la muestra número 1, procedente de la Sierra de San Marcos, contiene 0.20% de SiO_2 y 0.17% de Al_2O_3 ; la muestra número 2 acusa un contenido de SiO_2 que llega al 1.28%, en tanto que el Al_2O_3 sólo alcanza 0.08%; por su parte, la muestra número 3, correspondiente al Cerro del Muerto, registra un contenido de SiO_2

que llega al 3.72%, encontrándose el Al_2O_3 en proporción de 0.11%. La combinación de la sílice y la alúmina produce el silicato de alúmina hidratado que constituye a la arcilla, y siendo tan baja la proporción en que entran estas sustancias en las tres muestras representativas de las calizas de la región estudiada, no es de extrañar que en estos terrenos aparezca la arcilla en cantidades verdaderamente exiguas.

La caliza que contiene mayor proporción de sílice y alúmina es la que proviene del Cerro del Muerto y, por lo mismo, es en las laderas y terrenos adyacentes a este cerro donde se buscaron las arcillas que pudieran presentar las características necesarias para ser aprovechadas con fines de utilización industrial.

Se abandona desde luego, todo intento de emplear dichas arcillas en alguna industria de naturaleza cerámica en la que se requieran trabajos de moldeo, pues apenas acusan una ligera plasticidad, por lo que no se cree que pudieran utilizarse siquiera en la fabricación de tabiques y demás productos de cerámica basta.

Ni aun cuando se lograra moldear algunas piezas se conseguiría la utilización de este material para fabricar productos de arcilla cocida, pues al calcinar las piezas aludidas se produciría simultáneamente la disociación del carbonato de calcio contenido en las arcillas empleadas como materia prima, transformándose en óxido cálcico, es decir, "cal viva"; por lo mismo, todas las piezas ya cocidas se destruirían por sí solas al entrar en contacto con el agua y verificarse la hidratación y consiguiente expansión del referido óxido de calcio.

Tomando en cuenta todas estas razones se pensó utilizar esas arcillas en la fabricación de cemento, ya que en este caso no perjudica al carbonato de calcio contenido en ellas, siempre que la cantidad de esta sustancia no exceda de ciertos límites.

Cemento Portland.—Es bien sabido que las materias primas empleadas en la fabricación de cemento de tipo Portland consisten, esencialmente, en calizas y arcillas, con cuyos materiales se forman mezclas de proporciones convenientes, las que se calcinan a temperaturas comprendidas entre $1400^{\circ}C.$ y $1500^{\circ}C.$, obteniéndose así masas compactas de material semifundido llamado "clinker" que, pulverizado finamente y tamizado, constituye el cemento.

Sin embargo, para seleccionar correctamente las materias primas utilizadas en la elaboración de cemento Portland hay que tener presente que el contenido total de carbonato de calcio debe aproximarse a una cantidad más o menos cercana al 75%, en tanto que el óxido magnésico no debe exceder al 6% ni los álcalis y sulfatos deben hallarse en proporción mayor al 3%.

Como se ve, cualesquiera de las calizas que entran en la constitución de las sierras estudiadas en la región que nos ocupa presentan buenas características para su utilización en esta industria, pues como puede comprobarse examinando los

análisis respectivos, todas ellas participan de la composición química requerida para el caso.

Pasando, pues, al examen de las arcillas recordemos que los yacimientos arcillosos de mayor potencia son los que se localizan en las laderas de las líneas de relieve y que en las faldas del Cerro del Muerto es donde deben hallarse las máximas cantidades de sílice y alúmina, por encontrarse estas substancias en mayor proporción, dentro de la composición de las calizas constitutivas de dicho cerro. Pero en estos lugares la arcilla se encuentra mezclada con arena calcárea y fragmentos calizos de diverso tamaño, siendo estos productos gruesos los que comunican a la arcilla su alto contenido de carbonato de calcio.

Analizada, pues, dicha arcilla, previa separación mecánica de la arena y demás fragmentos calcáreos, dió el siguiente resultado: ⁶

Análisis de la arcilla del Cerro del Muerto

Sílice (SiO ₂)	14.98%
Alúmina (Al ₂ O ₃)	3.62 „
Sesquióxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	1.32 „
Oxido de calcio (CaO)	38.09 „
Oxido de magnesio (MgO)	3.14 „
Oxidos de potasio y sodio (K ₂ O y Na ₂ O).....	0.60 „
Carbónico (CO ₂)	28.51 „
Sulfúrico (SO ₃)	3.62 „
Agua a 110° C.	3.61 „
Agua al rojo	0.40 „
	97.89

Tomando en cuenta los porcentajes indicados en el análisis anterior se deduce que la arcilla en cuestión tiene un índice de actividad igual a 4.11, por lo que cae dentro de las especificaciones requeridas para su empleo en la fabricación de cemento, toda vez que los límites fijados para dicho índice fluctúan entre 2.5 y 5. Pero entrando en detalle y examinando con más detenimiento el análisis respectivo se ve que el contenido total de arcilla, que resulta de la suma de la sílice y la alúmina, sólo monta a 18.60%, en tanto que el carbonato de calcio deducido de la suma del carbónico (CO₂) y el óxido cálcico (CaO), alcanza a 66.60%, can-

⁶ Análisis practicado en el Laboratorio de Química del Instituto de Geología, por el ingeniero químico Alberto Obregón Pérez.

tividad bastante alta, aun cuando se reste una pequeña proporción por el CaO que haya podido entrar en combinación con el sulfúrico (SO₃) para formar yeso.

En realidad, la referida arcilla es muy pobre en sílice y alúmina, pero si a pesar de todo se hace un intento para conocer con más precisión en qué proporciones se encuentra dicha arcilla con respecto a los carbonatos existentes en las calizas del Cerro del Muerto, se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 2. — COMPOSICION DE LAS CALIZAS DEL CERRO DEL MUERTO Y DE LA ARCILLA DE SUS LADERAS OCCIDENTALES

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	K ₂ O y Na ₂ O %	CO ₂ %	SO ₃ %
Arcilla.....	14.98	3.32	1.32	38.09	3.14	0.60	28.51	3.62
Caliza.....	3.72	0.11	0.55	52.92	0.67	Huella	38.40	No hay

Sumando la sílice, alúmina y óxido de hierro de la arcilla, más el contenido de estas substancias en la caliza del Cerro del Muerto, se tiene:

TABLA 3. — LOS COMPUESTOS DE SILICE, ALUMINA Y FIERRO EN LA CALIZA DEL CERRO DEL MUERTO

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	
Arcilla.....	14.98 +	3.62 +	1.32 =	19.92
Caliza.....	3.72 +	0.11 +	0.55 =	4.38
				24.30

Haciendo lo propio con los óxidos de calcio y magnesio contenidos en la arcilla y en la caliza, se tiene:

TABLA 4. — LOS COMPUESTOS DE OXIDO DE CALCIO Y MAGNESIO EN LAS ARCILLAS DEL CERRO DEL MUERTO

	CaO %	MgO %	
Arcilla.....	38.09 +	3.14 =	41.23
Caliza.....	52.92 +	0.67 =	53.59
			94.82

Esta comparación prueba la notable escasez de sílice y alúmina en la arcilla en cuestión, en tanto que los óxidos de calcio y magnesio alcanzan altos porcentajes. En tal virtud, la composición de este material no representa precisamente la que corresponde a una arcilla, sino como se dijo antes, más bien al de una marga. Por lo mismo, este material resulta impropio para obtener la sílice y la alúmina requerida en la industria de que se trata y, como las arcillas analizadas son las que acusan máximo contenido de sílice y alúmina, de cuantos materiales arcillosos se hallan en esta comarca, se llega a la conclusión de que no existen en los valles de San Vicente y de San Marcos, arcillas apropiadas para la elaboración de cemento Portland.

Si en lugar de tomar la arcilla y la caliza independientemente, se considera el promedio en que se encuentra el CaCO_3 y la Al_2O_3 en las margas de esta misma zona, quizá se lograría hallar eventualmente una mezcla utilizable en la elaboración de cemento, haciendo las adiciones de CaCO_3 que fueran necesarias para lograr las proporciones convenientes para el caso. Pero hay varias razones que nos inducen a rechazar esta práctica, entre las que pueden citarse, muy especialmente, la extrema variabilidad de la composición de los depósitos margosos; su dispersión en extensas áreas superficiales y su disposición en capas de espesor relativamente reducido; la escasez de material margoso exento de yeso y de sales de sodio y magnesio, etc.

En esas circunstancias, y con fundamento en las razones expuestas antes, se considera que no es conveniente el establecimiento en la región de una fábrica de cemento Portland.

SALES

Tanto en el valle de San Vicente como en el de San Marcos se encuentran costras o eflorescencias salinas que aparecen preferentemente en los terrenos superficiales de las porciones bajas de los valles.

En el valle de San Vicente se distingue una depresión de contorno estrecho y alargado, que se inicia por El Mojarral para seguir por el Patio de las Brujas y continuar por los terrenos de Don Carlos, Santa Fe y San Vicente, concluyendo poco antes de Boquillas. Por otra parte, en el valle de San Marcos se encuentra otra depresión de menores dimensiones, localizada en la Poza de Becerra y terrenos adyacentes.

La distribución de ambas zonas salinas coincide en cierto modo con la que tienen las acumulaciones superficiales de yeso, correspondiendo a las salinas la parte central y más profunda, en tanto que el yeso se sitúa en las márgenes de las respectivas depresiones.

En las ocasiones en que se produce la escasa precipitación pluvial que se registra en esta región, se llenan de agua dichas depresiones, formándose charcos más o menos extensos, pero de muy escasa profundidad y efímera existencia, porque el intenso calor y los fuertes vientos que soplan en estos lugares ejercen su acción sobre la sábana de agua y producen su rápida evaporación, quedando entonces los terrenos tan secos como antes de que se registraran las lluvias, pero manchados por gruesas eflorescencias salinas.

Dentro de las mismas depresiones se forman subcuencas en donde el agua perdura por un tiempo un poco mayor, y a lo largo de estas subcuencas se alinea la serie de salinas referidas antes, formadas por eflorescencias que consisten, esencialmente, en una heterogénea mezcla de sales, entre las que predominan sulfatos de sodio y magnesio, así como cloruro de sodio y algo de yeso.

Cada una de dichas salinas se localiza, pues, en una subcuenca relativamente independiente y, en condiciones normales, cuando los terrenos se hallan secos, se descubren las aguas freáticas casi a flor de tierra, o inmediatamente abajo de la costra salina superficial.

Hay lugares donde se han encontrado costras salinas hasta de un metro de potencia, pero esto es excepcional, pues, en lo general, el espesor de dichas costras varía desde unos cuantos milímetros hasta 10 centímetros, no siendo raras las ocasiones en que logran alcanzar un grueso de 15 centímetros.

En cuanto a su distribución superficial se observa que fluctúa ajustándose estrechamente a los cambios climáticos producidos por la secuencia de las estaciones anuales, siendo también influenciada por la humedad atmosférica o la del suelo o subsuelo de la salina respectiva.

Este fenómeno se produce con la ayuda del viento y del movimiento particular de que se hallan animadas las aguas freáticas de estos lugares, pues tienden a dirigirse de la periferia al centro o parte más baja de la correspondiente subcuenca, arrastrando consigo todas las sales que logran disolver en su trayecto. Por su parte, el viento dispersa las eflorescencias marginales, ya secas, dejando tan sólo las que poseen suficiente humedad para adherirse a la superficie del terreno.

Es, pues, en las zonas centrales de dichas subcuencas donde se localizan las costras salinas más gruesas, encontrándose dichas costras reposando sobre capas de un lodo margoso, de textura muy fina y color negro, en el que se distinguen largos cristales de sulfato de sodio, abundantemente distribuidos.

Al retirar las costras salinas superficiales se remueve el lodo subyacente y deja escapar entonces un fuerte olor a hidrógeno sulfurado, cuyo origen debe tener relaciones muy directas con la descomposición de la abundante materia orgánica que encierra dicho lodo.

En un sondeo practicado en la salina de Santa Fe se descubrió, abajo de la eflorescencia salina, una capa de este lodo, hasta de 40 centímetros de espesor, seguida de una capita relativamente compacta, pero muy porosa, constituida principalmente por yeso y que apenas alcanzaba 20 centímetros de potencia. Abajo de este yeso se encontró nuevamente al lodo negro y pudo observarse que la "cuchara" con que se efectuaba el sondeo se hundía a través de dicho lodo sin ninguna o muy poca resistencia, hasta alcanzar una profundidad de 1.8 metros. De 1.8 a 2.2 metros, se atravesó otra capa de yeso en condiciones físicas semejantes a la anterior, para volver a aparecer en seguida el lodo, que continuó hasta los 2.47 metros. A partir de esta última profundidad, siguió el yeso sin interrupción hasta los 3 metros en que se suspendió el trabajo de perforación.

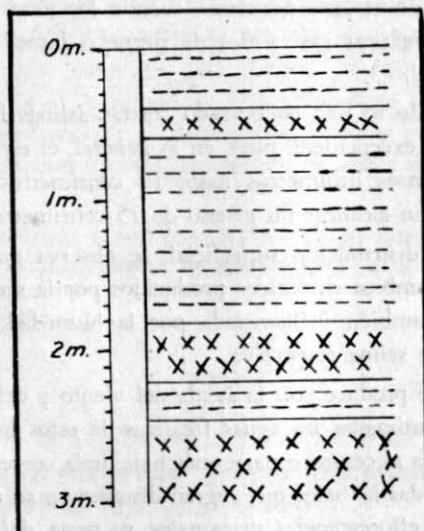


Fig Núm 5.- Capas alternantes de lutitas y yeso en el Valle de San Vicente.

Esta alternancia de lodo y yeso se ilustra en el dibujo adjunto (Fig. núm. 5) y la forma en que pudo haberse producido se relaciona con fenómenos geológicos bien conocidos, pero cuyo estudio nos pone en presencia de los problemas referentes al origen de las sales que entran en la composición de las eflorescencias formadas en la superficie de los terrenos.

El carbonato de calcio que compone a las calizas es soluble especialmente en aguas cargadas de CO_2 , y los cambios de temperatura producen la fractura de dichas rocas, dividiéndolas en fragmentos de diverso volumen. Al moverse esos fragmentos bajo la influencia del agua, viento, etc., se subdividen y redondean viniendo a formar la regolita que se encuentra apoyada en las laderas y partes bajas de las zonas montañosas, en tanto que los productos de la disolución son llevados a los valles por las aguas circulantes y su precipitación se verifica conjuntamente con el depósito de los materiales arcillosos traídos en suspensión por las mismas aguas o por el viento, para formar así las acumulaciones margosas que constituyen al lodo de referencia.

Por otra parte, ya se dijo antes que la oxidación de la pirita existente en las calizas da origen al sulfato de calcio cuya precipitación forma delgados mantos de yeso, los que al quedar cubiertos por posteriores depósitos de lodos margosos producen la alternancia que se viene describiendo.

El yeso de estos mantos no se encuentra solo, sino que viene acompañado de otras substancias que se precipitaron conjuntamente, consistiendo dichas substancias principalmente en las sales de sodio y magnesio que constituyen a las eflorescencias superficiales.

muestra la existencia de los siguientes iones: ⁷

TABLA 5. — ANALISIS DE LAS EFLORESCENCIAS SALINAS DEL VALLE DE SAN VICENTE

	Muestra núm. 1	Muestra núm. 2	Promedio
Agua.....	16.69	17.86	17.27
Sulfúrico (SO_4).....	55.24	57.96	56.60
Sodio (Na).....	15.78	14.09	14.94
Magnesio (Mg).....	6.94	7.54	7.24
Cloro (Cl).....	4.62	1.41	3.02
Insoluble y otras substancias que se hallan en pequeñas proporciones.....	0.71	1.10	0.90
	99.98	99.96	99.97

⁷ Análisis verificado en el Laboratorio de Química del Instituto de Geología por el ingeniero químico Carlos Beristáin.

Las sales de referencia aparecen en las eflorescencias de estos valles con color blanco o ligeramente amarillento y se sienten ásperas al tacto debido a la presencia de numerosos cristales que se desarrollan en dirección desordenada, entre los que se puede distinguir, principalmente, a la astrakanita (bloedita), de fórmula $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

No es este mineral el único que se halla en dichas eflorescencias sino que se producen constantes intercambios químicos, tanto en la salmuera misma como entre ésta y las costras ya formadas, cristalizando aquí unos compuestos, en tanto que más allá se generan otros, para modificarse después todos ellos y formar nuevas combinaciones, las que a su vez experimentan los cambios que exigen las variantes condiciones físico-químicas que regulan la respectiva cristalización.

Estas eflorescencias salinas son producto exclusivo de fenómenos de disolución y reprecipitación, pero el viento ha influido muy activamente en su dispersión, pues la verdad es que toda la superficie de los valles se halla contaminada, en mayor o menor grado, con las mismas sustancias que componen a las costras salinas. Lo que en realidad se observa en los valles de San Vicente y de San Marcos es que una vez precipitadas las sales que constituyen a esas eflorescencias, y ya secas por la acción del calor solar, son tomadas por el viento y dispersadas o acumuladas desordenadamente en la superficie de los terrenos; posteriormente, al registrarse las precipitaciones pluviales, esos mismos productos son acarreados nuevamente a las depresiones y, de este modo, se hallan en un constante ir y venir, que determina un frecuente movimiento alternante de dispersión, acumulación y concentración. En estas circunstancias, es evidente que se dan numerosas oportunidades para que todos esos productos se expongan a la acción de los agentes geológicos, con la consiguiente formación de nuevos compuestos que se suman o se combinan con los ya existentes.

Por todo esto se comprende la dificultad que presenta el estudio paragenético de los minerales en cuestión, como ocurre con todos los que se originan en las regiones desérticas del mundo. Recuérdese que se trata de minerales producidos por la evaporación de aguas que se hallan en condiciones físicoquímicas muy variadas, pero, no obstante, podemos estimar que los cuatro iones más abundantes en estas sales (esto es, SO_4 , Mg, Cl, y Na) provienen, el SO_4 de la oxidación de las piritas; el magnesio de la disolución de las calizas, seguida de una precipitación fraccionada en la que se precipita yeso y carbonato de calcio, quedando el magnesio en solución; finalmente, el Cl y el Na proceden principalmente de agua de lluvia, como lo demuestra Clarke⁸ donde asienta, entre otros datos, los debidos a Pierre, relativos a las sales contenidas en el agua de lluvia precipitada en la región de

⁸ Clarke, W. F. Data of Geochemistry. U. S. Geol. Survey Bull. 770, pág. 52, 1934.

Caen, Normandía, encontró que cada hectárea de terreno recibía anualmente por este concepto, las siguientes sales:

TABLA 6.—SALES CONTENIDAS EN AGUA DE LLUVIA

	Kilogramos por hectárea y por año		Kilogramos por hectárea y por año
NaCl.....	37.5	Na ₂ SO ₄	8.4
KCl.....	8.2	K ₂ SO ₄	8.0
MgCl ₂	2.5	CaSO ₄	6.2
CaCl.....	1.8	MgSO ₄	5.9

Tomando esto en cuenta y con el propósito de aclarar un poco más el problema relativo a la paragénesis de los minerales existentes en las eflorescencias de que se trata pasamos a examinar las aguas que se hallan en el subsuelo de las salinas que se vienen estudiando, pero antes conviene hacer algunas consideraciones respecto a la forma que hemos adoptado para efectuar el estudio a que se alude.

El examen de las condiciones en que se encuentra el equilibrio de las sustancias existentes en una solución requiere un largo y laborioso trabajo de laboratorio, pero como ya se han ocupado de asuntos de esta índole diversos autores de reconocido prestigio científico, recurrimos para el caso a los trabajos de Van't Hoff, Meyerhoffer, Saunders y otros,⁹ efectuados en relación con las sales formadas por la evaporación de diversas clases de salmueras.

Los métodos empleados por dichos autores para investigar las alternativas a que puede estar sujeta una salmuera en el curso de su evaporación puede sintetizarse gráficamente con el ejemplo que sigue, en el que se han tomado al MgCl₂ y MgSO₄ como las únicas sales existentes en una salmuera.

Una solución saturada de MgCl₂ a 25° C., y a la presión atmosférica ordinaria, contiene en 1000 moléculas de agua 108 moléculas de esta sal, en tanto que la solución saturada de MgSO₄, a la misma temperatura y presión, contiene solamente 55 moléculas.

⁹ J. H. 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 Ernest 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.

Si estas dos sales no se combinaran con el agua para formar hidratos, bastarían los datos anteriores para conocer las condiciones en que se encuentra el equilibrio químico respectivo; pero el cloruro de magnesio puede formar $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en tanto que el sulfato de magnesio puede formar con el agua $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Se tiene, pues, en resumen; dos sales simples y tres hidratos.

Con estos datos se considera un sistema de ejes coordenados que representan, el vertical, al MgCl_2 y, el horizontal, al MgSO_4 . Usando una escala apropiada, por ejemplo, la de 2 moléculas representadas por 1 milímetro, se marcarán en dichos ejes el número de moléculas contenido en una solución saturada con cada una de dichas sales o sus hidratos, a la presión y temperatura expresadas, como sigue:

TABLA 7. — SOLUBILIDAD DEL CLORURO DE MAGNESIO Y DEL SULFATO DE MAGNESIO Y DE SUS HIDRATOS

Mols. en 1000 mols. de H_2O			
	Fases sólidas	MgCl_2	MgSO_4
I	MgCl_2	108.0	0.0
5	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	102.1	5.1
7	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	77.0	9.53
II	MgSO_4	0.0	55.0

Haciendo las anotaciones relativas a cada una de estas substancias y ligando entre sí los puntos obtenidos (esto es, los números I, 5, 7 y II) se obtiene una curva que representa la solubilidad de las dos sales simples y sus respectivos hidratos.

Es fácil conocer entonces el comportamiento que seguiría la salmuera compuesta por esas dos sales al evaporarse a 25°C . de temperatura y a la presión atmosférica normal. Así, por ejemplo, una solución compuesta de 20 moléculas de MgCl_2 y 15 moléculas de MgSO_4 corresponde al punto x localizado como se indica en la figura número 6.

Si esta solución se evapora a la temperatura y presión antes mencionadas se producirá una mayor concentración de las sales; pero su cantidad relativa no variará y, por tanto, el punto x que corresponde a la solución, se desalojará a lo largo de una línea que une el origen con este punto; dicha línea corta al diagrama de concentración en el punto b, en que se presenta la epsomita y, por lo mismo, será ésta la única sal que se obtenga. Alcanzando b la dirección que toma el

punto x sufre un cambio brusco, dirigiéndose como señala la flecha, sobre la línea de saturación de la epsomita, indicando que la precipitación de esta sal continuará verificándose mientras x recorre dicha línea, hasta el punto 7, donde las substancias precipitadas consistirán entonces de una mezcla de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ y $MgSO_4 \cdot 6H_2O$. Pasado el punto 7 cesará la precipitación de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ y sólo se obtendrá $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ hasta tocar el punto 5, donde las sales precipitadas serán $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ y $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

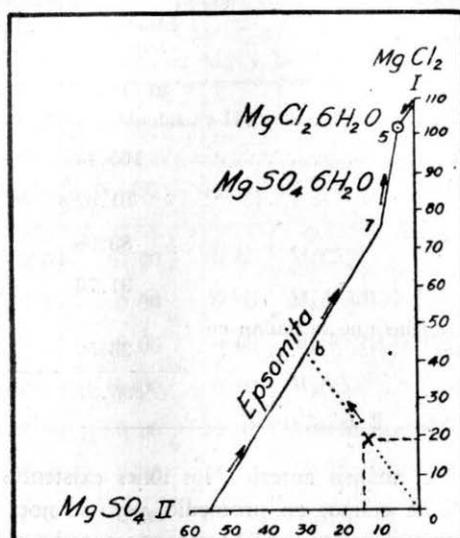


Fig. 6: Curva de solubilidad de dos sales simples

Al llegar al punto 5 puede verse que la subsiguiente evaporación no puede originar nuevos movimientos de avance del punto x, por encontrarse con el cloruro de magnesio cuya solución parte del punto I y se dirige en sentido contrario, indicando que la máxima concentración se localiza en el punto 5, por lo cual, se producirá una precipitación de $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ y $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ hasta el agotamiento total del disolvente. Por esto es que para el caso que se describe, el 5 es el punto final de cristalización.

Este mismo método es el seguido para estudiar la salmuera de Santa Fe, aunque entonces hay que tomar en cuenta otras substancias que forman parte de la composición de dicha salmuera.

Volviendo, pues, a los valles de San Vicente y de San Marcos, se recordará que las aguas freáticas se encuentran en estos sitios a muy escasa profundidad, por

lo que resulta muy sencillo alcanzarlas. Es un agua turbia, inodora y de color amarillento, que comúnmente trae mezcladas partículas detríticas de muy pequeñas dimensiones, las que se dispersan en el agua formando verdaderas suspensiones coloidales.

La composición iónica de dichas aguas, según los resultados obtenidos en su análisis químico, es como sigue: ¹⁰

TABLA 8.—ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS AGUAS DEL VALLE DE SAN VICENTE

	Muestra núm. 1 gr./ltr.	Muestra núm. 2 gr./ltr.	Promedio
Cloro (Cl).....	165.43	172.53	168.98
Sulfúrico (SO ₄).....	91.62	85.66	88.64
Sodio (Na).....	83.98	66.06	75.02
Magnesio (Mg).....	31.76	40.73	36.25
Insoluble y otras substancias que se hallan en pequeñas proporciones.....	23.52	24.28	23.85
	<i>396.31</i>	<i>389.16</i>	<i>392.74</i>

Como se ve por el análisis anterior los iones existentes en un litro de salmuera montan a 392.74 gramos en promedio, pero se nota desde luego que en la solución analizada predominan notablemente un reducido número de iones; éstos forman el 94% del total y son los siguientes:

	Grs./ltr.
Cl.....	168.98
SO ₄	88.64
Na.....	75.02
Mg.....	36.25
	<i>368.89</i>

Los iones restantes se encuentran en proporciones tan exiguas que seguramente no ejercerán una influencia de importancia con respecto a la formación más o menos abundante de sales.

¹⁰ Análisis verificado en el Laboratorio de Química del Instituto de Geología, por el ingeniero químico Carlos Beristain.

Considerando, pues, a los cuatro iones citados antes como los únicos que presentan interés económico, se llega a la conclusión de que las sales que pueden originarse por su mutua combinación no pueden ser otras que cloruros y sulfatos de sodio y magnesio, o combinaciones de estos compuestos, en sus diversas formas.

Para estudiar las condiciones en que se encuentra el equilibrio respectivo, recurrimos a los datos de solubilidad debidos a Kournakoff y Zemczujny que aparecen publicados en la obra de Atherton Seidell, relativa a la solubilidad de compuestos orgánicos e inorgánicos¹¹. Dichos datos son los siguientes:

TABLA 9.—EQUILIBRIO EN EL SISTEMA $MgCl_2.MgSO_4.NaCl.Na_2SO_4$ Y AGUA A 25° C.

Núm.	Moléculas en 1000 moléculas de H ₂ O				Fases sólidas
	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ Cl ₂	Na ₂ SO ₄	
I	108.00	0.00	0.00	0.00	MgCl ₂
5	102.10	5.10	0.00	0.00	MgCl ₂ ·6H ₂ O + MgSO ₄ ·6H ₂ O
7	77.00	9.53	0.00	0.00	MgSO ₄ ·7H ₂ O + MgSO ₄ ·6H ₂ O
II	0.00	55.00	0.00	0.00	MgSO ₄
10	0.00	47.99	0.00	24.97	Astrakanita + MgSO ₄ ·7H ₂ O
11	0.00	37.96	0.00	34.36	Astrakanita + Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O
III	0.00	0.00	0.00	35.50	Na ₂ SO ₄
14	0.00	0.00	49.56	12.44	Na ₂ SO ₄ + NaCl
IV	0.00	0.00	55.50	0.00	NaCl
9	101.85	3.78	0.28	0.00	MgSO ₄ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6H ₂ O + NaCl
8	75.50	9.78	3.39	0.00	MgSO ₄ ·7H ₂ O + MgSO ₄ ·6H ₂ O + NaCl
9	71.79	18.00	15.80	0.00	MgSO ₄ ·7H ₂ O + Astrakanita + NaCl
12	0.00	11.60	26.30	26.00	Astrakanita + Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O + Na ₂ SO ₄
13	0.00	15.90	46.80	2.50	Astrakanita + NaCl + Na ₂ SO ₄

NOTA.—Los datos señalados con números romanos no se hallan en la lista original.

Con estos datos se construye una gráfica semejante a la anterior (Fig. núm. 7), pero en este caso se toman en cuenta cuatro rectas dispuestas en ángulos de 90°,

¹¹ Atherton, Seidell, Solubilities of inorganic and organic compounds, 2ª ed., pág. 1282.

cada una de las cuales corresponde a una de las cuatro sales $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ y Na_2SO_4 . Además, la distribución de dichas líneas se hace en tales condiciones que coincidan dentro de un mismo cuadrante dos sales con un ácido común ($MgCl_2$ y $NaCl$); dos sales con una base común ($MgCl_2$ y $MgSO_4$); dos sales con un ácido común ($MgSO_4$ y Na_2SO_4) y dos sales con una base común (Na_2SO_4 y $NaCl$).

En cada una de estas rectas se hacen las anotaciones relativas a la solubilidad de los diversos compuestos indicados en el cuadro de solubilidades, tal como se hizo para la gráfica de la figura núm. 6, cuidando tan sólo de hacer las anotaciones relativas al cloruro de sodio en forma de doble molécula, ya que en este caso se representan todas las sales en cantidades equivalentes.

Se obtiene así una gráfica semejante a la figura número 6, pero repetida cuatro veces, representando cada uno de los sectores la curva de solubilidad correspondiente a las dos sales y sus compuestos comprendidos entre los ejes respectivos.

Pero como la salmuera de Santa Fe consta de cuatro iones que pueden formar cuatro sales simples, hay que considerar, además, la influencia que ejercen dichos iones en su conjunto y, en consecuencia, la formación de otros compuestos en los que se encuentran ya no dos, sino tres sales.

Para esto se hace necesario emplear un nuevo eje que partiendo del punto 0, se sitúa en posición perpendicular al plano de la gráfica, y se hacen sobre este eje las anotaciones relativas al número de moléculas correspondientes a la tercera sal. Ligando entonces los nuevos puntos relacionados a los grupos de saturación de tres sales (esto es, los puntos 6, 8, 9, 12 y 13) con los de la periferia, que representan saturación de una o dos sales, se obtiene una figura compuesta de varios planos, cada uno de los cuales representa el campo correspondiente a las sales respectivas.

La figura número 7 es la proyección en un plano de la figura que se forma del modo descrito antes, y representa las posibles combinaciones que pueden formar los cuatro iones de la salmuera de Santa Fe, a una temperatura de $25^\circ C.$ y a la presión atmosférica normal.

Examinemos ahora dicha salmuera, para darnos cuenta del comportamiento que seguiría por evaporación, de tal modo que podamos saber qué clase de sales se obtendrían por su tratamiento a la temperatura y presión indicadas.

Como se dijo antes, los iones más abundantes en la salmuera de Santa Fe son Cl , SO_4 , Na y Mg , y también se dijo que éstos pueden dar lugar a cuatro sales simples, pero es de notarse que en este caso se trata de pares de sales recíprocas:



Es, pues, un sistema de cuatro componentes, y cualquier elucubración analítica que se haga en relación con los cuatro iones aludidos puede ser expresada en términos de sólo tres sales.¹²

¹² El cuarto componente es el agua (en el presente caso 1000 moléculas) y no se muestra en éste ni en los siguientes diagramas.

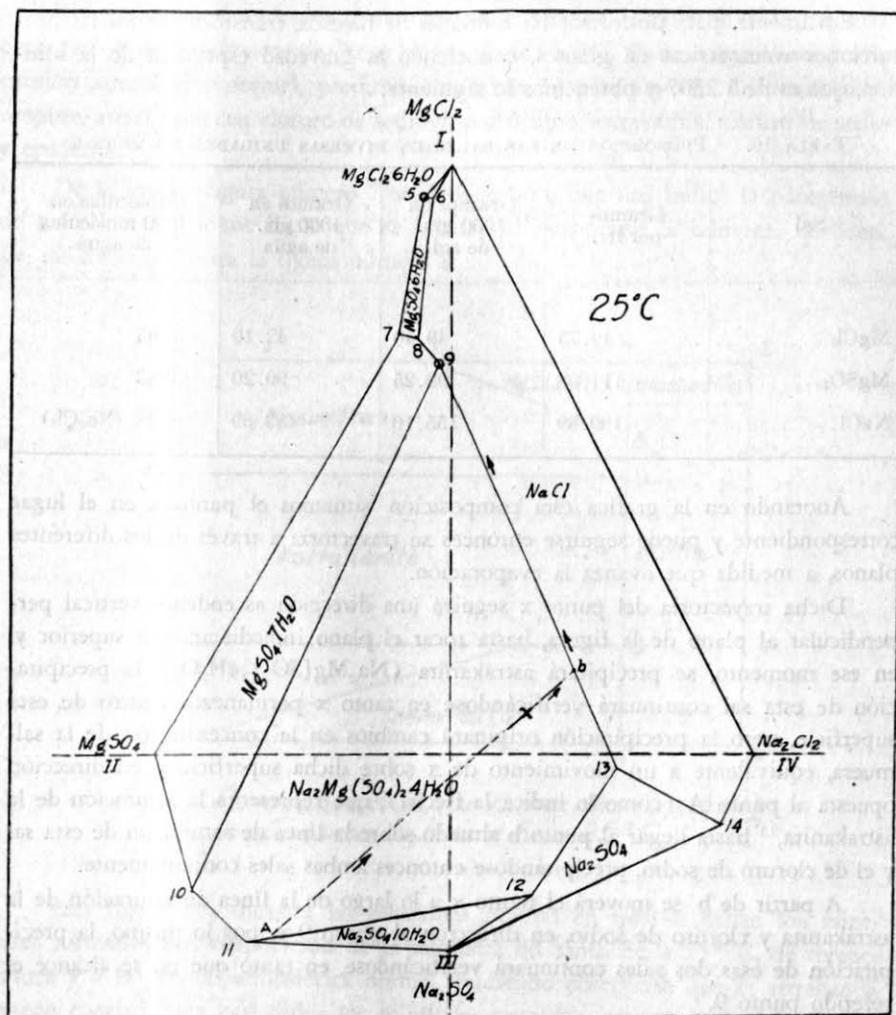


Fig 7.- El sistema $MgCl_2$ - MgO - $NaCl$ y H_2O a $25^\circ C$

Tomando en cuenta lo anterior intentaremos hacer una agrupación hipotética de los principales constituyentes de la salmuera, pudiendo ser la siguiente:

$MgCl_2$	49.73	gramos	por	litro.
$MgSO_4$	111.08	"	"	"
$NaCl$	190.89	"	"	"

Finalmente, para uniformar las unidades de medida, transformaremos las proporciones volumétricas en gramos, conociendo la gravedad específica de la solución, que es de 1.2307 y obtenemos lo siguiente:

TABLA 10. — PROPORCION DE LAS SALES EN DIVERSAS UNIDADES DE MEDIDA

Sal	Gramos por ltr.	Gramos en 1000 grs. de sol	Gramos en 1000 grs. de agua	Moléculas en 1000 moléculas de agua
MgCl ₂	49.73	40.40	42.10	7.95
MgSO ₄	111.08	90.25	99.20	14.83
NaCl.....	190.89	155.10	183.69	28.28 (Na ₂ Cl ₂)

Anotando en la gráfica esta composición situamos el punto x en el lugar correspondiente y puede seguirse entonces su trayectoria a través de los diferentes planos, a medida que avanza la evaporación.

Dicha trayectoria del punto x seguirá una dirección ascendente vertical perpendicular al plano de la figura, hasta tocar el plano inmediatamente superior y, en ese momento, se precipitará astrakanita ($\text{Na}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); la precipitación de esta sal continuará verificándose en tanto x permanezca dentro de esta superficie, pero la precipitación originará cambios en la concentración de la salmuera, equivalente a un movimiento de x sobre dicha superficie y en dirección opuesta al punto A (como lo indica la flecha), que representa la saturación de la astrakanita,¹³ hasta llegar al punto b situado sobre la línea de saturación de esta sal y el de cloruro de sodio, precipitándose entonces ambas sales conjuntamente.

A partir de b se moverá el punto x a lo largo de la línea de saturación de la astrakanita y cloruro de sodio, en dirección al punto 9 y, por lo mismo, la precipitación de esas dos sales continuará verificándose, en tanto que no se alcance el referido punto 9.

Este último punto representa la saturación de la astrakanita, cloruro de sodio y epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y entonces al llegar x a ese punto se precipitarán esas tres sales. Pero como dicho punto es un punto final de cristalización no puede moverse x hacia ningún otro lugar del diagrama y, por lo tanto, la subsiguiente evaporación de la salmuera producirá la precipitación de esas tres sales, hasta su completo agotamiento.

¹³ Este punto se dedujo trazando una línea bisectriz del ángulo formado por los ejes correspondiente al MgSO_4 y Na_2SO_4 de tal modo que se obtiene un punto que representa un contenido de ambas sales en relación 1:1.

Resumiendo los resultados obtenidos con el análisis anterior se deduce que la evaporación de la salmuera de Santa Fe, verificada a 25° C. de temperatura y a la presión atmosférica normal, producirá, primero, la precipitación de astrakanita; después, astrakanita con cloruro de sodio y, por último, astrakanita, cloruro de sodio y epsomita.

De la misma figura número 7 se deduce otra, que nos indica la paragénesis de los minerales no-metálicos que se forman al evaporarse la salmuera de Santa Fe, tal como lo ilustra la figura número 8.

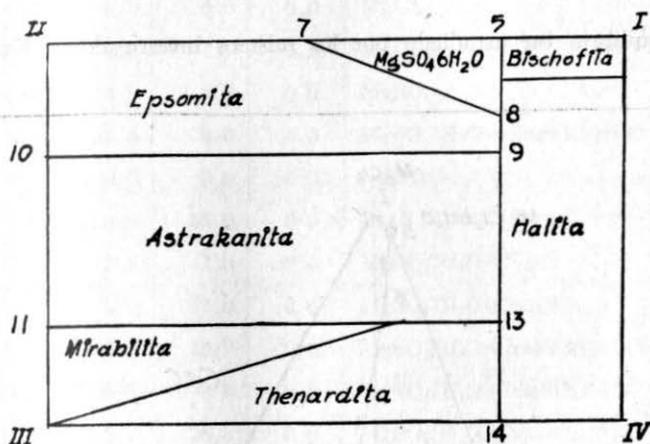


Fig. 8.- Paragénesis de los minerales formados en la salmuera de Santa Fe a 25° C.

Esta figura nos muestra las relaciones mutuas en que se hallan los minerales formados por evaporación de la salmuera de Santa Fe, a 25° C. de temperatura y a la presión atmosférica normal, pudiendo observarse que la astrakanita puede coexistir con casi todos los minerales anotados, excepto con la bischofita y el $MgSO_4 \cdot 6H_2O$.

Nos muestra, asimismo, que la mirabilita sólo puede presentarse mezclada a la astrakanita y thenardita, en tanto que la thenardita puede formarse en unión de la mirabilita o de la astrakanita y halita. Por otra parte, la epsomita puede formarse simultáneamente con la astrakanita o también con la halita y $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, pero no con mirabilita, thenardita y bischofita; el $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ puede coexistir con epsomita o con bischofita y halita, pero no puede formarse conjuntamente con astrakanita ni con los sulfatos de sodio; finalmente, la bischofita sólo puede tener

origen en unión de $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ y halita, quedando excluida la posibilidad de que se forme en unión de la epsomita, o de la astrakanita, mirabilita o thenardita.

Las consideraciones anteriores nos dan a conocer los resultados que se obtendrían por la evaporación natural de la salmuera de Santa Fe, en el curso de los meses calurosos en que la temperatura media de la localidad se acerca a los $25^\circ C.$, pero en los meses de invierno baja la temperatura considerablemente llegando a registrarse hasta $0^\circ C.$ o algo menos.

Por tal razón, conviene examinar el equilibrio que presenta el sistema formado por los mismos iones citados antes, a la misma presión atmosférica, pero a $0^\circ C.$ de temperatura.

Este equilibrio fué estudiado por los mismos investigadores, Kournakoff y

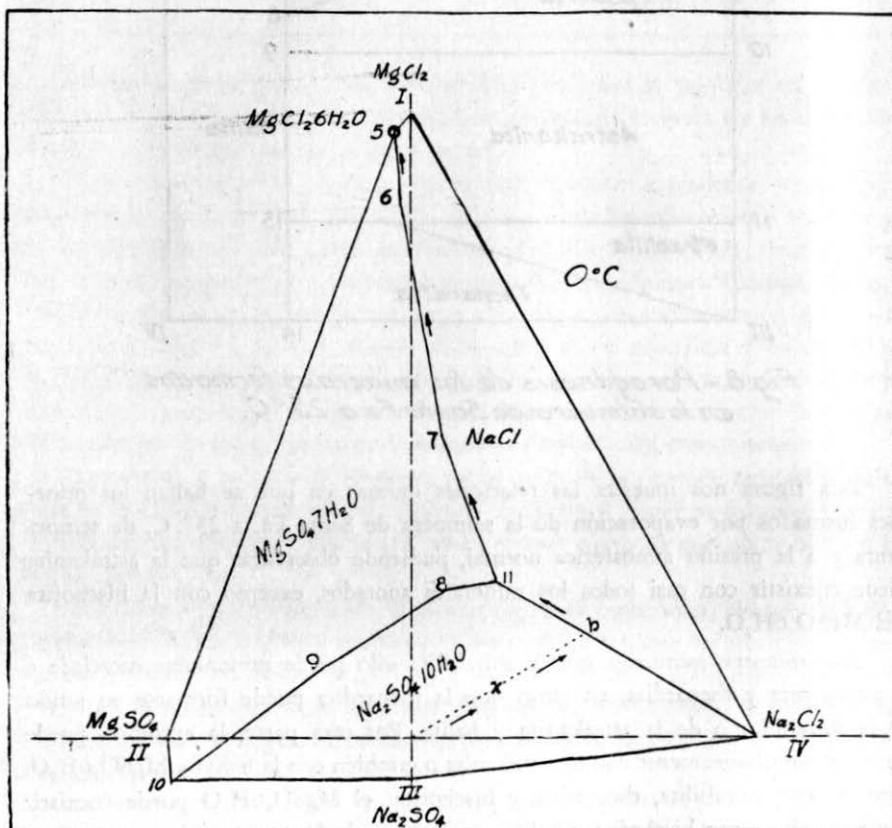


Fig. 9.-El sistema $MgCl_2 - MgSO_4 - NaCl$ y H_2O a $0^\circ C.$

Zemczujj,¹⁴ y de ellos he tomado los datos necesarios para construir la gráfica respectiva, siendo dichos datos los siguientes:

TABLA 11.—EQUILIBRIO EN EL SISTEMA $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ - Na_2SO_4 Y AGUA A 0° C.

Moléculas en 1000 moléculas de H ₂ O					Fases sólidas
Núm.	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ Cl ₂	Na ₂ SO ₄	
I	99.5	0.0	0.0	0.0	MgCl ₂
5	96.5	3.9	1.1	0.0	MgCl ₂ ·6H ₂ O + MgSO ₄ ·7H ₂ O + NaCl
II	0.0	38.8	0.0	0.0	MgSO ₄
10	0.0	38.5	0.0	6.5	MgSO ₄ ·7H ₂ O + Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O
III	0.0	0.0	0.0	6.35	Na ₂ SO ₄
IV	0.0	0.0	55.0	0.0	NaCl
6	85.7	2.9	1.0	0.0	MgSO ₄ ·7H ₂ O + NaCl
7	48.2	6.0	11.0	0.0	MgSO ₄ ·7H ₂ O + NaCl
8	23.7	13.3	19.2	0.0	MgSO ₄ ·7H ₂ O + Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O
9	11.0	23.8	9.7	0.0	MgSO ₄ ·7H ₂ O + Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O
11	25.2	12.0	25.3	0.0	MgSO ₄ ·7H ₂ O + Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O

NOTA.—Los datos señalados con números romanos no se hallan en la lista original.

Con ellos se construyó la figura número 9 siguiendo los mismos métodos descritos antes. Así, pues, como en el caso anterior, esta figura es la proyección en un plano de la figura formada con las diversas curvas de solubilidad y con las líneas de puntos de saturación de dos o tres sales, y muestra las posibles combinaciones que pueden formar los cuatro iones de que se viene tratando, a una temperatura de 0° y a la presión atmosférica normal.

Se ve claramente que a esta temperatura sólo pueden formarse tres sales, que son: Na₂SO₄·10H₂O, MgSO₄·7H₂O y NaCl, pues la MgCl₂·6H₂O se halla en tan reducidas proporciones que ni siquiera puede ilustrarse en un campo definido, por lo que puede considerarse ausente desde el punto de vista práctico.

Examinando ahora la composición de la salmuera de Santa Fe y anotando en la gráfica el punto x en el lugar correspondiente, se ve que la evaporación a 0°C. producirá primero la precipitación de mirabilita (Na₂SO₄·10H₂O), hasta tocar

14. Loc. cit. pág. 1282.

la línea IV-11, en que se precipitará mirabilita con cloruro de sodio. Al tocar el punto 11, la precipitación consistirá de mirabilita, halita y epsomita, pero pasado este punto desaparece la mirabilita y sólo se precipitará epsomita y halita, continuando esta precipitación en tanto x pasa por los puntos 7 y 6 hasta alcanzar el 5 que es el punto final de cristalización, precipitándose aquí esas dos sales, en unión de la bischofita, hasta el agotamiento completo del disolvente.

La paragénesis de los minerales formados por la salmuera de Santa Fe a 0° C. de temperatura y a la presión atmosférica normal se ilustra en la figura número 10.

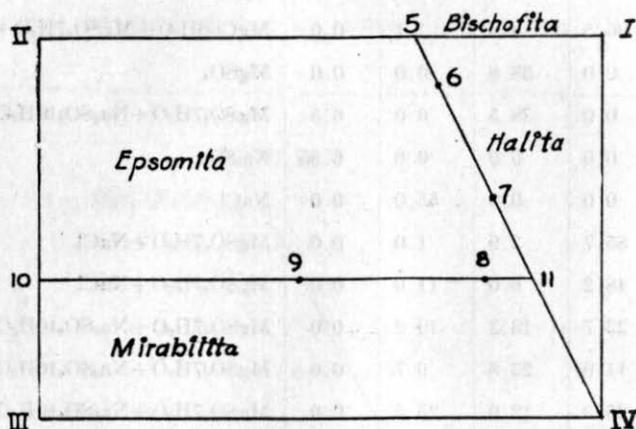


Fig. 10.- Paragénesis de los minerales formados en la salmuera de Santa Fe a 0° C.

No se cree necesario insistir en la explicación de esta figura, toda vez que su interpretación se hace en la misma forma que se siguió en la figura número 8, relativa al equilibrio de este sistema a 25° C.

Conviene, sin embargo, hacer notar las diferencias que se establecen por evaporación de la salmuera a 25° y a 0° C., pudiendo observarse, desde luego, que a 0° C. no se forma astrakanita ni tampoco thenardita, ni $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, pero en cambio la mirabilita y la epsomita abarcan superficies mucho mayores, indicando que la formación de estos minerales es más abundante a esta temperatura que a 25° C.

Todo lo anterior se refiere a la explotación de la salmuera por evaporación natural a 25° C. durante los meses de primavera, estío y otoño, o bien a 0° C. durante los meses de invierno. Pero se puede estudiar del mismo modo el

comportamiento que seguiría dicha salmuera en el caso de adoptarse una explotación con métodos de evaporación artificial.

Para esto aprovechamos los datos de solubilidad debidos a Mayeda¹⁵ y que se refieren al equilibrio de las sales en cuestión, pero a 105° C. de temperatura. Dichos datos son los siguientes:

TABLA 12.—EQUILIBRIO EN EL SISTEMA $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ - Na_2SO_4 Y AGUA A 105° C.

Moléculas en 1000 moléculas de H ₂ O					
Núm.	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ Cl ₂	Na ₂ SO ₄	Fases sólidas
I	139.5	0.0	0.0	0.0	MgCl ₂
5	138.5	1.5	0.0	0.0	MgCl ₂ ·6H ₂ O + MgSO ₄ ·H ₂ O
II	0.0	76.69	0.0	0.0	MgSO ₄ ·H ₂ O
6	0.0	64.31	0.0	13.07	MgSO ₄ ·H ₂ O + 2Na ₂ SO ₄ ·2MgSO ₄ ·5H ₂ O
7	0.0	41.84	0.0	32.22	3Na ₂ SO ₄ + 2Na ₂ SO ₄ ·2MgSO ₄ ·5H ₂ O
III	0.0	0.0	0.0	54.0	Na ₂ SO ₄
8	0.0	0.0	57.99	8.05	Na ₂ SO ₄ + NaCl
IV	0.0	0.0	59.0	0.0	NaCl
9	4.63	0.0	52.78	7.38	Na ₂ SO ₄ + NaCl + 3Na ₂ SO ₄ ·MgSO ₄
10	33.64	0.0	27.02	10.12	NaCl + 3Na ₂ SO ₄ ·MgSO ₄ + 2Na ₂ SO ₄ ·2MgSO ₄ ·5H ₂ O
11	55.40	0.0	9.97	11.32	NaCl + 2Na ₂ SO ₄ ·2MgSO ₄ ·5H ₂ O + MgSO ₄ ·H ₂ O

NOTA.—Las solubilidades señaladas con números romanos se han añadido para completar los datos necesarios y construir la gráfica respectiva.

Con estos datos se construyó la figura número 11 en la que puede advertirse la desaparición de la astrakanita, mirabilita y MgSO₄·6H₂O, pero en cambio aparece la kieserita (MgSO₄·H₂O) que no se había formado antes, a temperaturas de 0° y de 25° C.

En dicha gráfica se ha anotado también el punto x correspondiente a la composición de la salmuera de Santa Fe, de modo que puede hacerse con facilidad la interpretación relativa a los cambios que experimenta dicha salmuera conforme avanza la evaporación.

¹⁵ Loc. cit., pág. 1281.

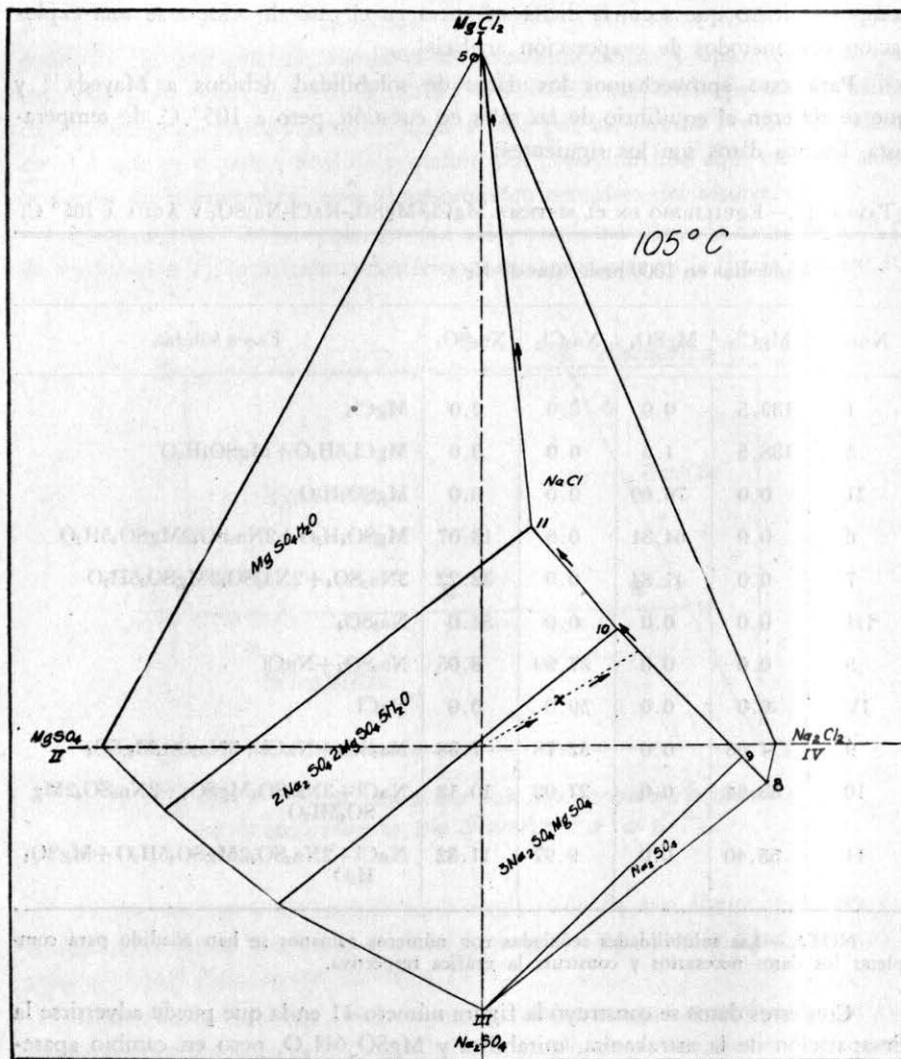


Fig. 11.- El sistema $MgCl_2$ - $MgSO_4$ - $NaCl$ y H_2O a $105^\circ C$

En este caso se precipitará primero $3Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$ y al tocar la línea 9-10 estas sales vendrán acompañadas de $NaCl$; después del punto 10 desaparece $3Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$ y la precipitación consistirá de $2Na_2SO_4 \cdot 2MgSO_4 \cdot 5H_2O$ con $NaCl$; finalmente, a partir del punto II se precipitarán $MgSO_4 \cdot H_2O$ y $NaCl$ hasta alcanzar el 5 que es el punto final de cristalización y donde se precipitarán esas dos sales en unión de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

En lo que respecta a la paragénesis de los minerales formados por evaporación de la salmuera a 105° C. se ilustra en la figura número 12 cuya interpretación se hace del mismo modo que las anteriores.

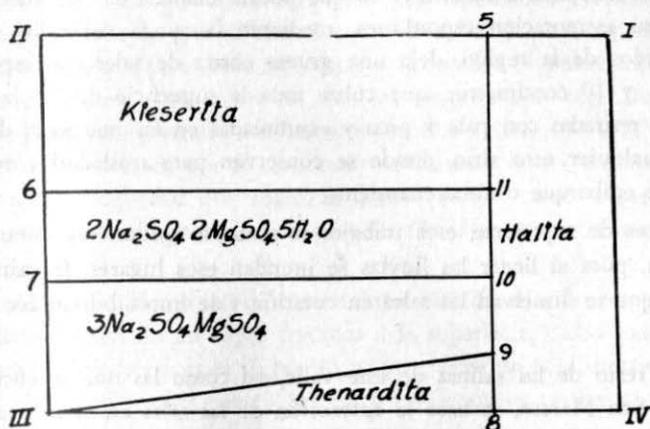


Fig. 12.-Paragénesis de los minerales formados por la salmuera de Santa Fe a 105° C.

SISTEMAS DE EXPLOTACION.—En el valle de San Vicente se encuentran salinas de dimensiones variables que se localizan siguiendo la principal depresión existente en ese valle que, como se dijo antes, forma una estrecha y larga faja orientada esencialmente de NE a SW. Mencionadas por su orden de localización y de NE a SW esas salinas son las denominadas: San Vicente, Santa Fe, Don Carlos, Mezquites y Patio de las Brujas.

Todas estas salinas no son sino fracciones de una misma cuenca salinera y, por lo mismo, presentan las mismas características físicas y contienen los mismos tipos de sales, encontrándose, asimismo, en la porción central del valle, en la zona en que se halla el yeso.

Las salinas del valle de San Marcos se encuentran distribuidas desordenadamente dentro de la zona yesífera de la Poza de Becerra y tienen una extensión total inferior a la del valle anterior.

En las salinas del valle de San Vicente, especialmente en la salina de Santa Fe, que por su extensión es la más importante de cuantas se encuentran en este valle, se hace la extracción de las sales abriendo "planillas" de 3 a 4 metros de

ancho por 15 a 20 metros de longitud. La profundidad que alcanzan estas planillas es de 30 a 40 centímetros, lo que es suficiente para descubrir el espejo del agua freática que, según lo expresado en el capítulo relativo a la Hidrografía, se encuentra en esta zona, muy próxima a la superficie.

El agua descubierta constituye lo que podría llamarse la "salmuera" de estas salinas, y su evaporación espontánea, mediante la ayuda del calor solar y los vientos cálidos de la región, deja una gruesa costra de sales con espesor variable entre 1 y 10 centímetros, que cubre toda la superficie de la planilla. Estas costras son retiradas con pala y pico y acumuladas en las márgenes de la planilla o en cualquier otro sitio, donde se conservan para trasladarlas más tarde a su lugar de embarque o almacenamiento.

Como es de suponerse, esos trabajos se realizan únicamente durante la temporada seca, pues al llegar las lluvias se inundan esos lugares, formándose charcos en los que se disuelven las sales en cuestión y se imposibilitan las labores extractivas.

En el resto de las salinas de este valle, así como las que se encuentran en el valle de San Marcos, se hace la extracción de las sales en la misma forma ya descrita, con la sola diferencia de que las planillas son de menores dimensiones.

Naturalmente que estos sistemas de extracción, tan rudimentarios como lentos y laboriosos, sólo podrán ser de alguna utilidad cuando se hace una explotación en pequeña escala, pero dada la magnitud y calidad de las sales contenidas en los yacimientos de que se trata, se considera que son susceptibles de sostener una explotación de mucha mayor consideración, aunque desde luego se comprende que para lograr una producción de proporciones más o menos considerables, se hace necesario implantar otros métodos de extracción que resulten más racionales y sistemáticos.

La descripción que se hizo antes, respecto a la distribución superficial de las eflorescencias salinas y sus relaciones con las aguas freáticas existentes en el subsuelo, nos induce a creer que la dispersión subterránea de las soluciones salinas se verifica esencialmente a favor de la permeabilidad de los estratos yesíferos, pasando las soluciones de estos estratos a las capas de lodo, de donde siguen por capilaridad su trayectoria ascendente, hasta alcanzar la superficie, en donde acaban por desecarse y formar las eflorescencias salinas.

Es de suponerse, pues, que excavando pozos con los que se alcancen los estratos yesíferos se obtendrán aguas si no saturadas, por lo menos muy cargadas con soluciones salinas. De este modo se dispondrá de una provisión constante de salmuera y su concentración, así como la posterior cristalización de las sales, puede realizarse sea de modo natural, por la acción del calor solar y utili-

zando las mismas planillas que ya se tienen hechas, o bien por sistemas de evaporación y cristalización artificial, empleando calderas, tachos, etc.

A este respecto conviene hacer hincapie en que la evaporación natural, si bien es relativamente lenta, resulta en cambio mucho más económica y, por lo tanto, hay ocasiones en que debe adoptarse este sistema de evaporación, especialmente en los casos en que se cuenta con climas secos y cálidos, como ocurre en esta región. Además, ya se hizo referencia a la copiosa evaporación que se produce en estos lugares, pues aparte de que las temperaturas registradas durante los meses de primavera y verano son bastante elevadas (hasta 40° C. a la sombra), la evaporación es acelerada por el constante movimiento de los vientos, así como por la extremada sequedad que registran ambos valles como consecuencia directa de la muy reducida precipitación pluvial. (16 días de lluvia anual, en promedio.)

Se recordará que el terreno de estas salinas está constituido por capas alternantes de lodo y yeso. En las capas cercanas a la superficie, dicho lodo es movido por estar saturado de agua y, por lo mismo, permite la dispersión a través de su masa de las soluciones contenidas entre los depósitos yesíferos, pero en las zonas más profundas, las presiones estáticas ejercidas por el peso de los estratos superpuestos, expulsan el agua contenida en los espacios porosos existentes en los detritos margosos, verificándose una especie de fenómeno diagenético que torna a dicho lodo cada vez más compacto e impermeable, a medida que se avanza hacia la profundidad.

Por tal razón, conviene que los pozos a que se hace referencia no se lleven sino a profundidades relativamente cortas, a lo más de 8 a 10 metros, según lo indique el propio terreno, debiendo detener su cuele al concluir uno de los estratos yesíferos, de tal modo que se logre recoger las soluciones que circulan a través del yeso y se impida al mismo tiempo su infiltración hacia el subsuelo, por la natural interposición de la subsiguiente capa impermeable de material margoso.

Sin embargo, mejor sería hacer un sondeo con fines exploratorios, a efecto de conocer exactamente la profundidad a la que persisten las soluciones salinas, y de este modo se sabrá con mayor seguridad hasta donde deben llevarse los pozos de explotación.

La explotación de estas salinas por el sistema de pozos y bombeo de las soluciones tiene, además, otras importantes ventajas, incluso la de permitir la construcción de planillas de evaporación dispuestas en forma radial y teniendo como centro al pozo que las alimenta de salmuera, o mejor todavía, la construcción de una espiral de evaporación, semejante al que se emplea para la explotación de las sales del Lago de Texcoco.

Dada la importancia que presenta este último sistema de explotación, damos en seguida una descripción somera de los métodos seguidos en la planta de Netzahualcóyotl, Méx.

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 Químico Sr. Hermión Larios.

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 Fig. núm. 13.

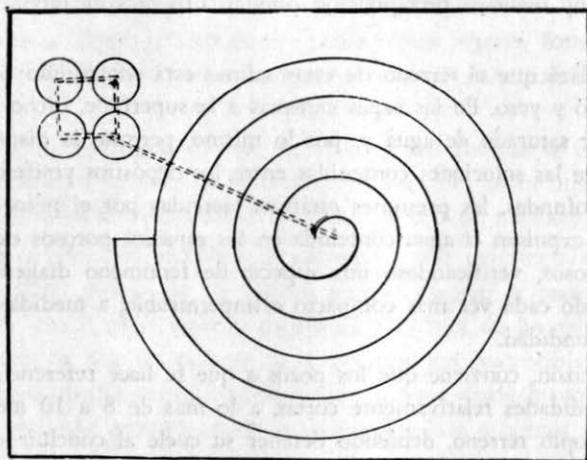


Fig. 13.-Evaporador y cristalizadoras de la planta de Netzahualcóyotl, Estado de México

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 de la 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 consisten en cuatro tanques de forma circular; por evaporaciones sucesivas se aumenta gradualmente la concentración de la salmuera, conforme pasa de un cristalizador a otro, depositándose en cada uno de ellos distinto tipo de sales.

Si examinamos ahora los resultados que pueden obtenerse de la explotación natural de las salinas de Santa Fe, aprovechando el calor solar y las particulares condiciones climáticas de la región, podrá observarse que esa misma explotación verificada mediante procesos de evaporación artificial no ofrece ventajas de importancia. En general, este último sistema se emplea cuando se trata de efectuar la refinación de los productos obtenidos mediante los métodos de explotación natural.

Por todo esto se llega a la conclusión de que los sistemas que se consideran más aconsejables para la explotación de estas salinas son los referidos antes, de evaporación natural de las salmueras, aprovechando el calor solar y mediante planillas o espirales de evaporación.

Las anteriores consideraciones se han hecho tomando en cuenta las aguas existentes en el subsuelo de la salina de Santa Fe, porque se les considera como representativas de todas las salmueras, no sólo del valle de San Vicente, sino también de las del valle de San Marcos, toda vez que, según se hizo notar en repetidas ocasiones, las salinas a que se viene haciendo referencia no son, en realidad, sino fracciones de una misma zona salinera.

Se ha dicho que la referida salina de Santa Fe es la más extensa de cuantas se encuentran en estos valles, pero esta afirmación se funda exclusivamente en la superficie cubierta por las eflorescencias salinas, y, como dichas eflorescencias no presentan de ningún modo la verdadera magnitud del depósito, ya que ésta varía de acuerdo con los cambios climáticos de la región, resulta, en consecuencia, que no puede darse ninguna cifra concreta respecto a las efectivas dimensiones de ésta o de cualquier otra de las restantes subcuencas salineras.

Si se quisiera conocer la potencialidad exacta de estas salinas se tendría que cubicar la cantidad total de agua freática que contiene esas substancias y calcular su relativa salinidad, ya que son estas aguas las que producen por evaporación las costras salinas superficiales, y, como tanto el volumen como la salinidad de esas aguas varían constantemente se vería, en resumen, que, después de todo, sólo se obtendrían resultados de precisión muy relativa. Por todo esto y tratando de llegar a conclusiones de interés práctico, nos limitamos a valorizar las superficies cubiertas por las eflorescencias, toda vez que de cualquier modo son éstas las que nos muestran las zonas donde las soluciones alcanzan su máxima concentración.

Explicada la razón que nos induce a tomar en cuenta las superficies donde afloran las costras salinas para investigar su cantidad relativa y tomando en consideración que su distribución superficial coincide comúnmente con los depósitos de yeso, estimamos la extensión de estas salinas como la mitad de la que alcanzan los depósitos superficiales del referido material yesífero, esto es, de

12.5 kilómetros cuadrados en el valle de San Vicente y de 11 kilómetros cuadrados en el de San Marcos.

Si bien es cierto que las eflorescencias salinas presentan espesores variables entre 1 y 10 centímetros, lo cierto es que consideradas en lo general no se les puede asignar el promedio que resultaría de tales espesores, ya que en realidad dichas costras sólo en muy reducidas extensiones alcanzan un grueso mayor de 5 centímetros. Estimamos, pues, que su verdadero promedio es de 2 centímetros de espesor, el que multiplicado por la respectiva superficie nos da, para el valle de San Vicente 250,000 metros cúbicos y para el valle de San Marcos 220,000 metros cúbicos.

Para transformar a toneladas las cantidades expresadas en metros cúbicos, basta con multiplicarlas por la respectiva gravedad específica, pero ésta, como en el caso del yeso, se encontró sumamente variable, toda vez que las eflorescencias se presentan relativamente compactas en unos sitios, en tanto que en otros son bastante porosas y deleznable. Sin embargo, tomando en cuenta los resultados obtenidos por las determinaciones practicadas en 8 ejemplares diferentes se llegó a un promedio de 1.32, cifra que, multiplicada por el número de metros cúbicos, da como resultado 330,000 toneladas de sales para el valle de San Vicente y de 290,000 toneladas, en números redondos, para el valle de San Marcos.

Los datos anteriores se refieren a la cantidad de sales existentes en la superficie de los valles de San Vicente y de San Marcos, pero como las salinas de que se trata se localizan en subcuencas independientes se considera conveniente hacer su apreciación considerando las superficies cubiertas por las eflorescencias en cada una de las respectivas salinas. Estas conclusiones, en unión de otros datos complementarios, se resumen en la tabla que sigue:

TABLA 13.—CANTIDAD DE SALES EXISTENTES EN LAS EFLORESCENCIAS DE LOS VALLES DE SAN VICENTE Y DE SAN MARCOS

Salinas	Superficie K ²	Metros cúbicos	Toneladas
San Vicente.....	2 305	46 100	60 852
Santa Fe.....	7 425	148 500	196 020
Don Carlos.....	2 090	41 800	55 176
Mezquites.....	0 245	4 900	6 468
Patio de las Brujas.....	0 435	8 700	11 484
Poza de Becerra.....	11 000	220 000	290 000
Superficie total.—K ²	23.500		
Total metros cúbicos.....		470.000	
Total toneladas.....			620.000

En la tabla anterior se reúnen los datos relativos a la cantidad global de sales existentes en los valles de San Vicente y de San Marcos, consideradas en su conjunto. Por supuesto que las cifras asentadas en la aludida tabla, se refieren exclusivamente a las sales que se hallaban en las eflorescencias superficiales en la fecha en que se practicó el estudio respectivo (enero de 1948); pero esto no quiere decir que sean esas las cifras correspondientes a la verdadera potencialidad de los yacimientos ya que, como se ha repetido varias veces, las sales en cuestión vienen disueltas en las aguas freáticas correspondientes a cada una de las subcuencas respectivas, de tal modo que al ser extraídas esas sales, se formarán otras y otras más, pudiendo continuar la explotación hasta que las soluciones acaben por agotarse, o se empobrezcan hasta el punto en que se haga incosteable su explotación.

GRUPO III. SUBSTANCIAS DE NATURALEZA BIOGÉNICA

GUANO

Es bien sabido que en las regiones de constitución caliza se forman frecuentemente cavernas y oquedades de configuración y dimensiones muy variables, originadas por la disolución ejercida sobre esas rocas por el agua meteórica cargada con el CO_2 obtenido de la atmósfera, o que logra disolver en su contacto con los diversos materiales sobre los que circula en la superficie terrestre.

No es extraño, pues, encontrar en las sierras calizas que circundan a los valles de San Vicente y de San Marcos, cavernas más o menos profundas que sirven de refugio a toda clase de animales.

Entre dichas cavernas son de mencionarse la de San Vicente, que se localiza en la sierra de este nombre, al N del poblado de San Vicente, y la cueva del Porvenir, ubicada en la barranca del Rocío, sobre la Sierra de San Marcos.

Ambas cavernas son habitadas por familias de murciélagos, de la variedad conocida con el nombre de vampiros, los que desde tiempo inmemorial se han sucedido de generación en generación, viviendo y multiplicándose al amparo de dichas cavernas, hasta formar grupos muy numerosos.

Las materias fecales y demás deyecciones de estos animales se han acumulado en la superficie de las cavernas, formando grandes yacimientos de guano que aparece en las bocas de las respectivas cavernas en forma pulverulenta y de color pardo oscuro, hallándose mezclado con materias vegetales y otros productos que lo impurifican grandemente.

En la fecha de nuestra visita se hallaba inaccesible el interior de dichas cavernas, por lo que sólo se pudo reconocer el guano que se encontraba relativamente cerca de las bocas de entrada. Véase la tabla 14.

TABLA 14.—ANÁLISIS DE GUANOS DE LAS CAVERNAS EL PORVENIR Y SAN VICENTE

Localidad	Humedad	Nitrógeno total	P ₂ O ₅ total	K ₂ O total	Asimilables en	
					citrato de amonio	
	%	%	%	%	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
Porvenir.....	7.88	2.52	11.83	0.48	2.95	0.33
San Vicente.....	13.94	1.82	9.39	0.35	2.19	0.27

El anterior análisis nos muestra que los guanos en cuestión contienen mayores porcentajes de P₂O₅, en relación con el nitrógeno total, por lo que se les puede considerar dentro de la categoría de los guanos fosfatados.

Las mismas altas proporciones de fósforo nos inducen a creer que se trata de guanos viejos, que han perdido gran parte de sus productos amoniacaes, reduciéndose, en consecuencia, su proporción en nitrógeno.

A pesar de que el fósforo y el potasio asimilables se encuentran en proporción relativamente baja, se considera a esos guanos, en lo general, como de calidad media, pudiendo mejorarse si se recoge con un poco de cuidado, tratando de impedir que se contamine con sustancias extrañas.

Sistema de explotación. La extracción del guano existente en estas cavernas no presenta dificultad alguna, toda vez que por su misma naturaleza pulverulenta se facilita su envasado en sacos que, posteriormente, son trasladados a la estación de embarque.

El guano de la cueva de San Vicente se embarca en la Estación Boquillas del ramal del ferrocarril que liga a Monclova con Sierra Mojada, en tanto que el guano extraído de la cueva del Porvenir se embarca en la Estación de Cuatro Ciénegas, del mismo ferrocarril.

La venta se hace "a granel", sin tomar en cuenta la composición del guano, a razón de \$60.00 la tonelada, puesta a bordo de la estación de embarque. Sin embargo, es muy probable que en las partes profundas de las cuevas se encuentre guano relativamente nuevo, en el que se halle el nitrógeno en mayores proporciones, en cuyo caso convendría hacer las operaciones de venta por unidades de nitrógeno y fósforo, y potasio asimilables, con lo que se podría obtener mayor margen de utilidades.

Dadas las condiciones desfavorables en que se hallaban las cuevas en la época de nuestra visita, no se pudo apreciar el tonelaje probable que pudiera alcanzar cada uno de los yacimientos de que se trata, pero los cálculos de los concesionarios respectivos asigna alrededor de 10,000 toneladas para la cueva de San Vicente y de 16,000 toneladas para la del Porvenir.

Para los análisis de laboratorio se debe utilizar el material de vidrio que se indica en el presente informe. Los reactivos deben ser de grado analítico y los instrumentos de precisión deben ser calibrados. Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra.

Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra. Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra.

Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra. Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra.

Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra. Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra.

Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra. Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra.

Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra. Los resultados de los análisis deben ser expresados en unidades de medida adecuadas para la muestra.