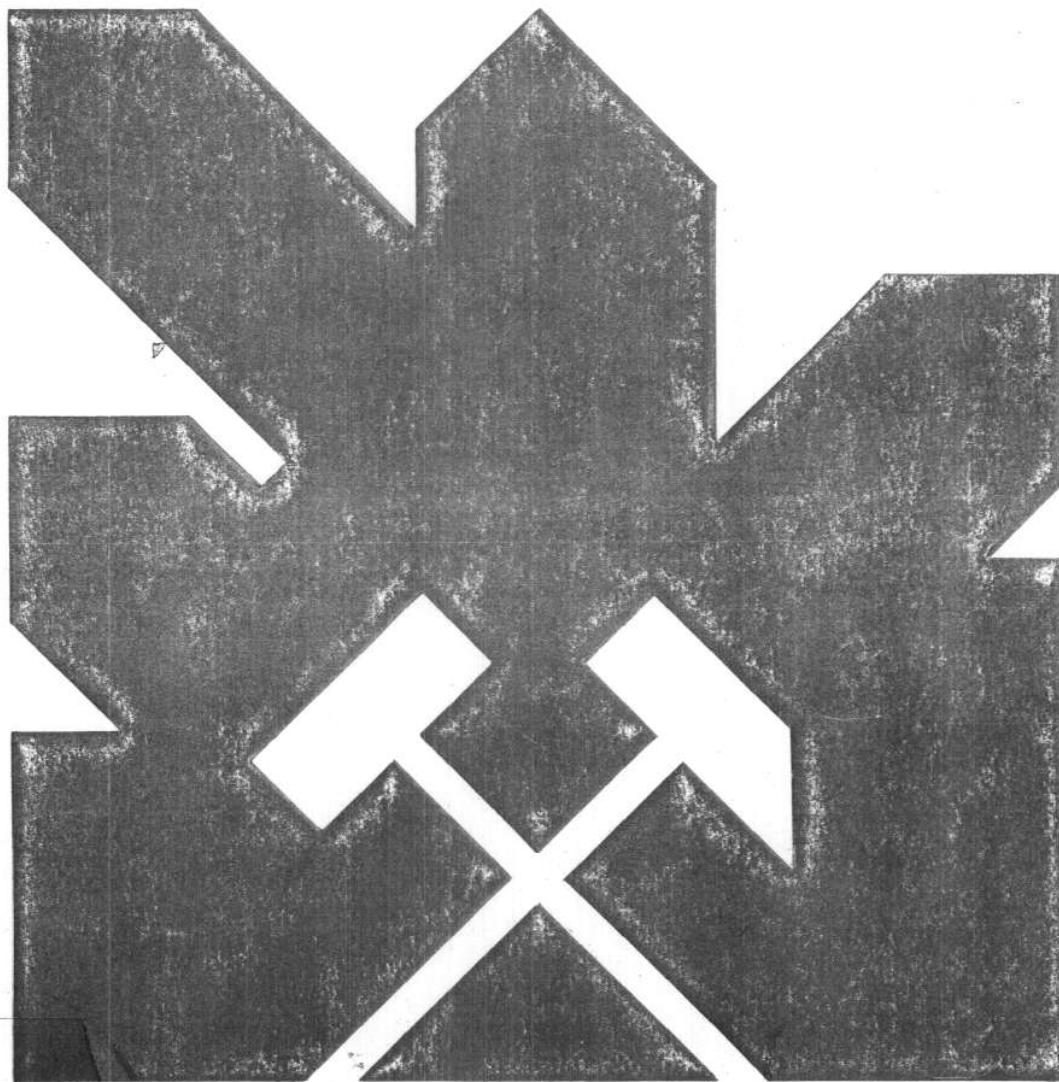


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
COMISARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS YACIMIENTOS E
INDICIOS DE SULFATO SODICO NATURAL EN ESPAÑA

MEMORIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

10683

EL PRESENTE TRABAJO HA SIDO REALIZADO POR LA EMPRESA
GEOPRIN, S.A. EN REGIMEN DE CONTRATACION CON EL INSTITUTO
GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Madrid, Diciembre 1.980

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS YACIMIENTOS
E INDICIOS DE SULFATO SODICO NATURAL
EN ESPAÑA.

=====

INDICE	Página
1.- INTRODUCCION	
1.1.- <u>Panorama actual del sector del sulfato sódico.</u>	3
1.2.- <u>Aplicaciones del sulfato sódico.</u>	3
2.- NATURALEZA Y GENESIS DEL SULFATO SODICO NATURAL.	
2.1.- <u>Composición mineralógica.</u>	6
2.2.- <u>Mineralogénesis y ambientes de formación.</u>	9
3.- YACIMIENTOS DE SULFATO SODICO NATURAL EN EL MUNDO	
3.1.- <u>Tipos de yacimiento.</u>	22
3.2.- <u>Métodos de explotación.</u>	28
4.- EL SULFATO SODICO NATURAL EN ESPAÑA.	
4.1.- <u>Yacimientos en explotación.</u>	31
4.1.1.- Villarrubia de Santiago (Toledo)	32
4.1.2.- Cerezo de Riotirón (Burgos).	40
4.2.- <u>Indicios no explotados.</u>	47
4.2.1.- Zona 1. Calatayud.	51
4.2.1.1.- <i>Geología de la Zona.</i>	51
4.2.1.2.- <i>Localización de indicios.</i>	53
4.2.2.- Zona 2. Rioja.	58

4.2.2.1.- <i>Geología de la zona.</i>	58
4.2.2.2.- <i>Localización de indicios.</i>	60
4.2.3.- Zona 3. Burgos.	65
4.2.3.1.- <i>Geología de la zona.</i>	65
4.2.3.2.- <i>Localización de indicios.</i>	66
4.2.4.- Zona 4. Toledo.	68
4.2.4.1.- <i>Geología de la zona.</i>	68
4.2.4.2.- <i>Localización de indicios.</i>	69
4.2.5.- Otras zonas.	73
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
6.- BIBLIOGRAFIA.	78

1.- INTRODUCCION

1.1.- Panorama actual del sector del sulfato sódico.

El mercado del sulfato sódico en España ha experimentado en los últimos años una gran expansión. El crecimiento medio anual de la oferta, ha sido del 15%, mientras que el crecimiento de la demanda ha sido del 20%.

Se espera que el crecimiento siga, aunque quizá de forma más moderada.

También el volúmen de exportación ha experimentado un incremento, siendo nuestro producto de gran competitividad en el exterior, tanto por su precio como por su calidad.

Las posibilidades de expansión en el mercado internacional son grandes, pues los otros productores europeos no poseen depósitos naturales de sulfato sódico, obteniendo él mismo como subproducto en la fabricación de otros productos químicos y estando supeditada su oferta a la producción de éstos.

Por otro lado a los productores americanos les resulta más -- difícil su introducción en Europa, pues el transporte les encarece el producto.

Por estas razones es aconsejable la búsqueda de nuevos yaci-- mientos en España en orden a su posible explotación.

1.2.- Aplicaciones del sulfato sódico.

El sulfato sódico es utilizado en gran proporción en la in--- dustria papelera para la fabricación de pasta de papel kraft, tam--

bién conocida como pasta al sulfato. En el proceso, el sulfato sódico es reducido químicamente a formas sulfatadas, las cuales son --- constituyentes activos de la pasta. El desarrollo tecnológico en la industria papelera ha hecho que disminuya la proporción de sulfato sódico utilizado en la misma y es de suponer que en el futuro esta proporción tienda a disminuir. No obstante la producción de papel - kraft es cada vez más importante, con lo cual el aumento de la misma podría compensar la disminución del tanto por ciento de sulfato sódico utilizado por tonelada de pasta.

Otro consumidor importante de este producto es la industria - de los detergentes. El sulfato sódico es ideal para relleno y diluyente, pues no es corrosivo, es neutro y es barato. Además posee -- suaves propiedades detergentes. En estos últimos años los detergentes que se fabrican deben tener un contenido muy bajo o nulo en fosfato y esto ha revolucionado la industria, no pudiéndose precisar - exactamente en que medida afectará al consumo de sulfato sódico. Parece sin embargo que la demanda del mismo está aumentando, y es de esperar que continúe así en el futuro.

Un tanto por ciento apreciable de sulfato sódico es utilizado en la fabricación del vidrio. El carbonato sódico es la principal - materia prima en la manufactura del vidrio y en cierta medida el -- sulfato sódico suple parte de las necesidades de sodio. Además para ciertos tipos de vidrio es interesante el contenido en azufre.

Existen otras numerosas aplicaciones que son también significativas. Es parte integrante de algún tipo de alimentos y medicinas, posiblemente por sus suaves propiedades laxantes. Se utiliza en la fabricación de esponjas sintéticas; en industrias tintóreas y textiles; para colorantes sintéticos y tintas de imprenta; en la industria papelera, como deshidratante; en mezclas frigoríficas, para --

purificar el Ni, en la obtención de otras sales de sodio, en la fabricación de aguas minerales artificiales; etc.

El tanto por ciento de sulfato sódico empleado en cada tipo de industria varía mucho según de que país se trate. Así por ejemplo, en Canadá, Suecia y Finlandia casi toda la producción es consumida en la fabricación de papel kraft. En Estados Unidos también es muy importante la proporción empleada en la industria papelera, seguida a distancia por la utilizada en los detergentes. En Gran Bretaña, Francia, Alemania Occidental la producción del papel es pequeña, por lo cual la mayor cantidad es empleada en los detergentes, vidrio, tintorería y otros productos.

En España la mayor proporción es utilizada en detergentes, -- después a distancia en la fabricación de papel, en menor proporción en la industria del vidrio, en la fabricación de sulfato sódico, colorante, etc..

2.- NATURALEZA Y GENESIS DEL SULFATO SODICO NATURAL.

2.1.- Composición Mineralógica.

El sulfato sódico natural puede ser extraído de tres especies minerales distintas, como son:

- La thenardita (sulfato sódico)
- La mirabilita (sulfato sódico hidratado).
- La Glauberita (sulfato sódico-cálcico).

Para mayor claridad se exponen sus características mineralógicas en el cuadro n°1.

Como se puede observar en dicho cuadro estos minerales suelen ir asociados a otras sales como pueden ser: anhidrita, yeso, bassanita, polihalita, epsomita, hexahidrita, y bloedita, entre los sulfatos; halita y bischofita entre los cloruros; calcita y magnesita entre los carbonatos.

A continuación se exponen en una tabla las fórmulas y abreviaturas de éstos y otros minerales salinos que pueden aparecer en los diagramas de posteriores apartados.

TABLA N°1. MINERALES SALINOS.

<u>NOMBRE</u>	<u>FORMULA</u>	<u>ABREVIATURA</u>
Anhidrita	CaSO_4	a
Bischofita	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	bi
Bloedita	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	bl
Carnalita	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	c
Clorocalcita	KCaCl_3	cc

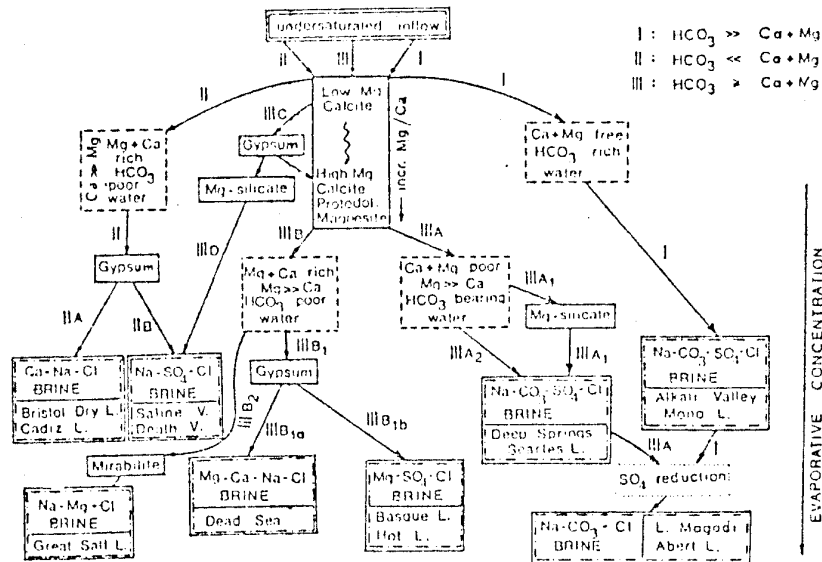
D'Ansita	$\text{Na}_{21}\text{MgCl}_3(\text{SO}_4)_{10}$	da
Epsomita	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	e
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	g
Glaserita	$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$	gs
Glauberita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	gb
Goergeyita	$\text{K}_2\text{Ca}_5(\text{SO}_4)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	goe
Hexahidrita	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	hx
Kainita	$\text{K}_4\text{Mg}_4\text{Cl}_4(\text{SO}_4)_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	k
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	ks
Langbeinita	$\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	lg
Leonhardtita	$\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	lh
Leonita	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	le
Loeweita	$\text{Na}_{12}\text{Mg}_7(\text{SO}_4)_{13} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	loe
Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	m
Pentahidrita	$\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	sh
Polihalita	$\text{Ca}_2\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	p
Schoenita	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	sh
Halita	ClNa	n
Silvina	KCl	sy
Singenita	$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	sg
Tachhidrita	CaMg_2Cl_6	ta
Thenardita	Na_2SO_4	t
Vanthoffita	$\text{Na}_6\text{Mg}(\text{SO}_4)_4$	yh

CUADRO N°1 MINERALOGIA DEL SULFATO SODICO.

Mineral	Fórmula	Sistema Cristalino	Formas comunes, hábito	Cliv. Frac. Dur. Densidad	Lustre, transparencia, Color	Solubilidad (20° C) Gusto	Paragénesis
Glauberita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	monoclínico - prismático	tabular (001)(111) + (110)(100) Prismático - (101) ó (001)	(001) perfecto concoidal $H=2\frac{1}{2} - 3$ $D=2,85$	Vítreo a graso transparente a translúcido -- gris, amarillento, rojizo (por inclusiones), blanco, incoloro.	Difícilmente soluble en agua. Disolución incongruente con precipitación de yeso. Débilmente salado.	En aguas oceánicas y continentales con halita, anhidrita, yeso polihalita, thenardita, mirabilita, bloedita. Primario y como producto de alteración.
Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	monoclínico - prismático	prismático -- (001) o (010) - tabular (100) o (001), masivo costras.	(100) perfecto (001)(010)(011) imperfecto, concoidal $H=1\frac{1}{2}-2$ $D=1,490$	vítreo, transparente, incoloro blanco	Fácilmente soluble en agua. Débilmente salado y amargo.	En lagos salados recientes como precipitado de invierno con yeso, halita, epsomita, glauberita, bloedita; a menudo parcialmente reemplazado por thenardita. Como eflorescencias o costras en yacimientos salinos.
Thenardita	Na_2SO_4	rómbico bipiramidal	Bipiramidal - (111)(001)(010) ((101) tabular (010) raramente prismático (100) costras de polvo y eflorescencias.	(010) perfecto (101) bueno -- $H=2\frac{1}{2}-3$ $D=2,664$	resinoso-brillante, transparente-translúcido, incoloro, blanco grisáceo, amarillento, rojizo.	Muy salado y amargo.	En depósitos salinos continentales con bloedita, glauberita, epsomita, yeso, halita; a menudo procedente de mirabilita. Problemático en depósitos salinos oceánicos.

2.2.- Mineralogénesis y ambientes de formación.

Los depósitos de sales sódicas en España se encuadran dentro de los depósitos de precipitación química en lagos salinos. Los lagos salinos son sistemas dinámicos que responden fácilmente a las condiciones externas. La precipitación de minerales influye además en la química del agua lacustre. EUGSTER y HARDIE (1.978), han considerado cuatro procesos que conducen a la sobresaturación (Fig. 2.1.)

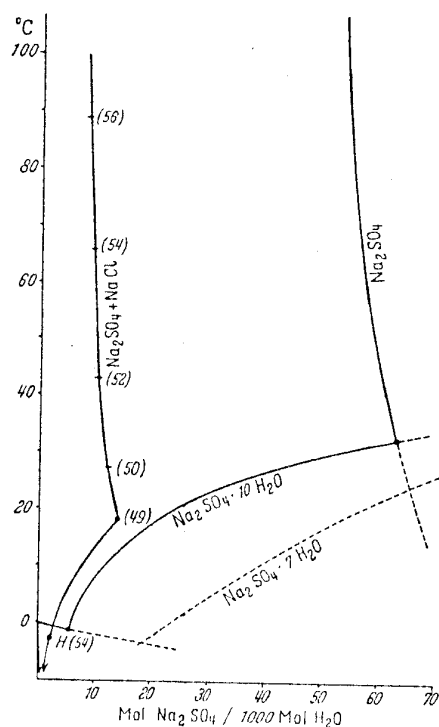


(Fig. 2.1.).- Diagrama de evolución geoquímica de salmueras de cuencas cerradas. (EUGSTER y HARDIE, 1.978).

y por tanto a la precipitación: concentración evaporítica, pérdida de gases (como CO_2), mezcla de aguas y cambios de temperatura. Estos autores consideran dos fases en la evolución de la concentración evaporítica: una primera de precipitación de carbonatos, sulfatos y silicatos relativamente insolubles y una segunda con la precipitación subsiguiente de los minerales salinos muy solubles.

EUGSTER y HARDIE (1.978) y EUGSTER y JONES (1.979), muestran un diagrama que resume el comportamiento de los principales solutos durante la evolución de salmueras en cuencas cerradas.

El estudio físico-químico de la precipitación de sales es complicado, sobre todo en el caso de que intervengan diferentes cationes y aniones, pues sus solubilidades se ven modificadas en presencia de otros iones y no son las mismas que en el

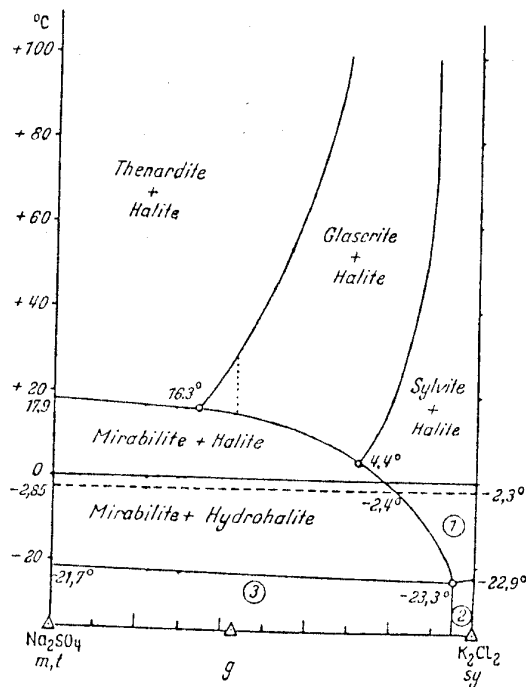


(Fig. 2.2.).- Sistema $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$. La curva de la derecha es en ausencia de ClNa , la de la izquierda saturada con respecto al ClNa . ($n^{\circ}\text{S}$ en paréntesis = concentraciones de ClNa en mol/1000 moles H_2O). D'Ans (1.933). Línea de puntos = solubilidades metaestables.

caso de que la solución contenga un solo tipo de cationes y aniones. Por ello todavía existen muchas lagunas en el conocimiento -

de las condiciones físico-químicas de precipitación de las sales, y especialmente en el caso de las sales sódicas, por ser éstas poco abundantes.

Seguidamente se exponen brevemente las condiciones físico-químicas de depósito de los minerales más significativos en las fa---

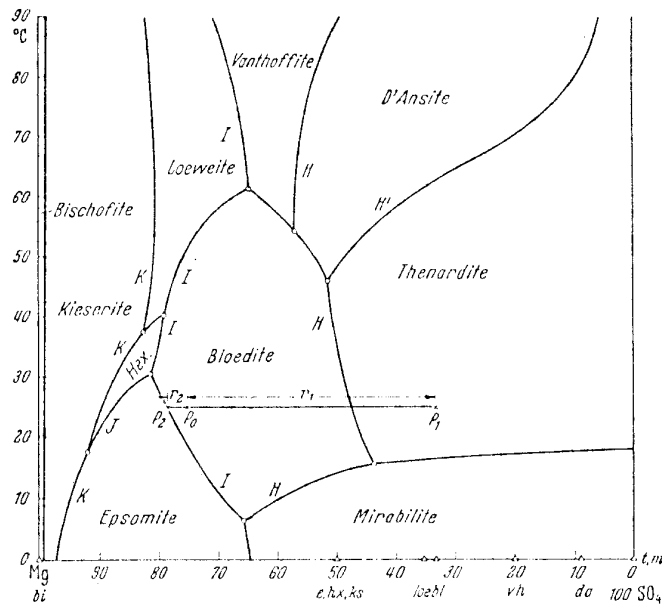


(Fig. 2.3.).- Sistema $K^+, Na^+, Cl^-, SO_4^{=}, H_2O$ con saturación en $ClNa$. Diagrama Jänecke. Ver abreviaturas en la tabla n $^{\circ}$ 1.

cies objeto de estudio.

En el sistema $Na_2SO_4-H_2O$ (BRAITSCH, O. 1.971) (Fig. 2.2.), - las fases estables son mirabilita y thenardita, existe también una metaestable que no ha sido totalmente identificada en la naturaleza

Por debajo 1°C cristalizan mirabilita y hielo. Si la temperatura sube por encima de 0°C la solubilidad de la mirabilita va aumentando, alcanzándose a los 32'383°C el punto de transición mirabilita - thenardita, precipitando pues a partir de ese punto la forma anhidra. Este comportamiento del SO_4Na_2 , es importante pues se utiliza en la comercialización del sulfato sódico, en la que éste se recupera cristalizando la mirabilita alrededor de 1°C con posterior filtrado, lavado y evaporación del agua de cristalización.

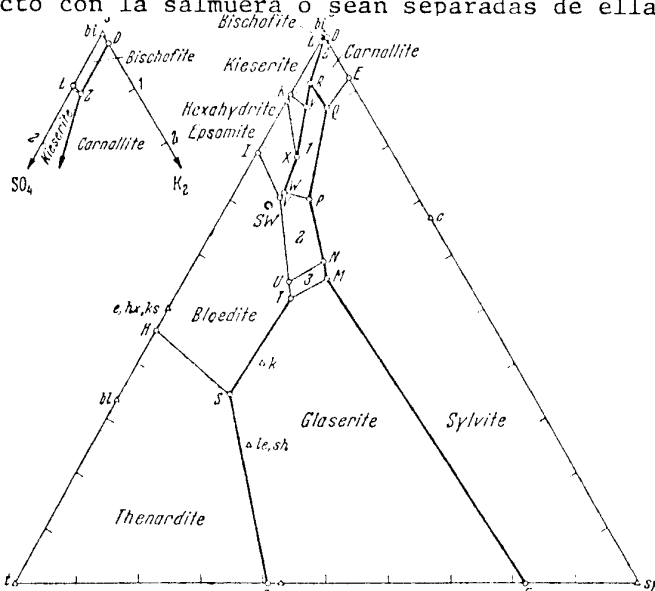


(Fig. 2.4.).- Par salino recíproco Na^+ , Mg^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ + H_2O con saturación en ClNa . Variación de temperatura de 0° a 90 C.

Sin embargo la precipitación de Na_2SO_4 en la naturaleza no se ajusta a este comportamiento pues por ejemplo con la presencia de ClNa las solubilidades de la thenardita y de la mirabilita son notablemente reducidas y el punto de transición es rebajado a 17,9° C en una solución saturada en ClNa . La presencia de ClK lo rebaja

todavía más hasta 16'3°C.

Además del sistema $\text{NaCl-KCl} - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ (Fig. 2.3.), la --- thenardita y mirabilita pueden ser separadas de los sistemas $\text{NaCl-Na}_2\text{SO}_4 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ (Fig. 2.4.) y $\text{NaCl-KCl-MgCl}_2 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ (Fig. -- 2.5.). Aparte de la complejidad que pueda haber entre las relaciones de los distintos iones, ésta aumenta al entrar como variable la T que juega un papel importante y también por el hecho de que el resultado final es diferente según las fases sólidas permanezcan en contacto con la salmuera o sean separadas de ella.



(Fig. 2.5.). SO_4 isoterma a 25°C del sistema de cinco componentes -- $(\text{NaCl}, \text{KCl}, \text{MgCl}_2, \text{Na}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O})$ saturado en ClNa . Líneas gruesas = líneas de cristalización; líneas finas = líneas de transición. SW = agua de mar.

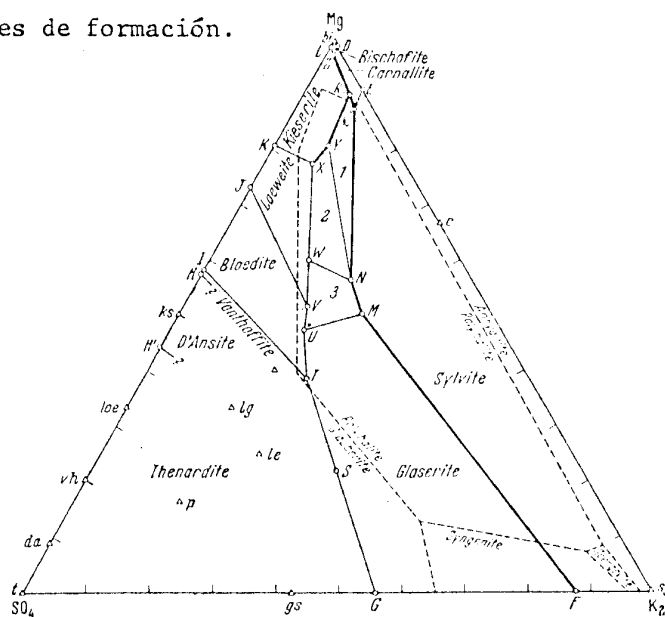
La glauberita tiene también su propia problemática, pues en aguas dulces se cumple que:

glauberita \rightarrow yeso + $\text{SO}_4 + 2\text{Na}^+$ con lo cual precipita yeso y el sulfato sódico pasa a la disolución. Por esto, para que exista una precipitación primaria de glauberita se requieren unas con

diciones de alta salinidad.

La glauberita puede ser separada de un sistema de cinco componentes $\text{NaCl-KCl-MgCl}_2\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$, con la inclusión de sulfatos de Ca (Fig. 2.6.).

El yeso y la anhidrita se encuentran frecuentemente en los depósitos de sales sódicas, por lo cual se estudiarán brevemente sus condiciones de formación.



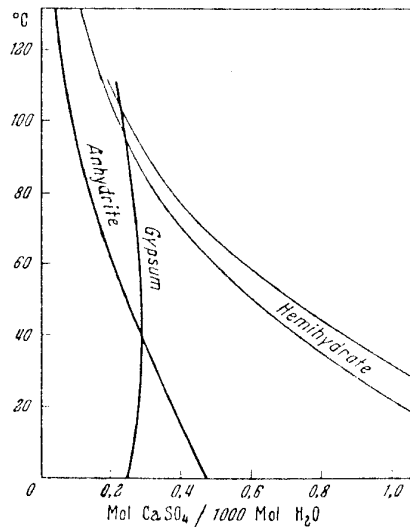
(Fig. 2.6.).- Isoterma a 55°C del sistema de cinco componentes -- saturado en ClNa.

En el sistema $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ (BRAITSCH, O. 1.971) (Fig. 2.7.) la solubilidad del yeso cambia lentamente con la temperatura y pasa por un máximo hacia los 40°C.

La solubilidad de la anhidrita por su parte decrece con el aumento de la temperatura. Por debajo de los 42° la forma estable es el yeso y por encima la anhidrita. Así pues en soluciones --- acuosas el yeso sólo se altera a anhidrita por encima de los 42°C.

Con la presencia de otros iones, la solubilidad de la anhidrita y el yeso resulta alterada. Así en soluciones con ClNa (Fig. 2.8.) las solubilidades del yeso y la anhidrita son primero incrementadas, pasan por un máximo y luego disminuyen gradualmente. La solubilidad de la anhidrita en soluciones ricas en ClNa decrece - marcadamente con la temperatura.

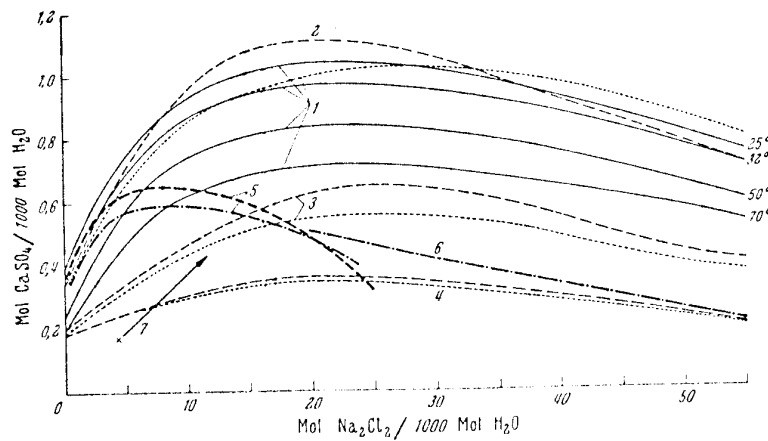
El punto de intersección de las curvas de solubilidad del yeso y la anhidrita se desplaza hacia más bajas temperaturas a me--



(Fig.2.7.).- Solubilidad de la anhidrita y yeso en agua a diferentes temperaturas.

dida que el contenido en ClNa de la solución aumenta. Con un contenido adicional la solubilidad del yeso y la anhidrita disminuye y el máximo se suaviza. Para un sistema $\text{NaCl}+\text{Na}_2\text{SO}_4$ (Fig. 2.8.) - las isotermas del yeso y la anhidrita no presentan ningún punto - en común. En cualquier caso la diferencia de solubilidades entre el yeso y la anhidrita a 30°C bajo condiciones de alta concentración en ClNa parece ser pequeña.

Hasta aquí se ha venido hablando sobre minerales primarios, pero en este tipo de depósitos tienen mucha importancia los procesos de cementación y diagénesis durante los cuales pueden tener lugar muchos cambios químicos, pues las fases primarias reaccionan con los líquidos residuales. También al circular las aguas se forman minerales hidratados que posteriormente por la presión y la temperatura vuelven a ser fases anhidras. Un ejemplo muy típico sería el paso yeso-anhidrita o anhidrita-yeso.



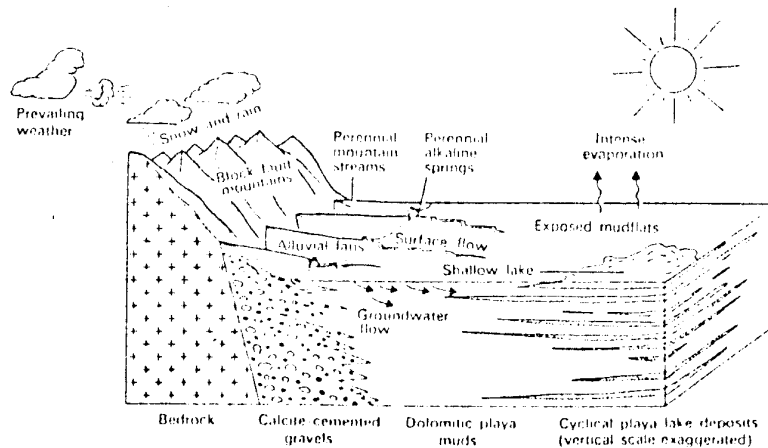
(Fig. 2.8.)- Solubilidad del yeso y la anhidrita en soluciones salinas. Líneas de puntos = yeso; resto de las líneas = anhidrita.

En cuanto a los ambientes de formación HARDIE et al. (1.978) distinguen tres grandes tipos de subambientes de cuencas de lagos salinos actuales, a los que se pueden asimilar muchos de los ejemplos de facies lacustres evaporíticas antiguas. Por tanto, se pueden considerar las siguientes asociaciones:

Asociación de abanico aluvial - complejo de lago salino efímero.

Los ejemplos de este tipo se encuentran a menudo en fosas tectónicas, estando dominados por abanicos aluviales que descienden

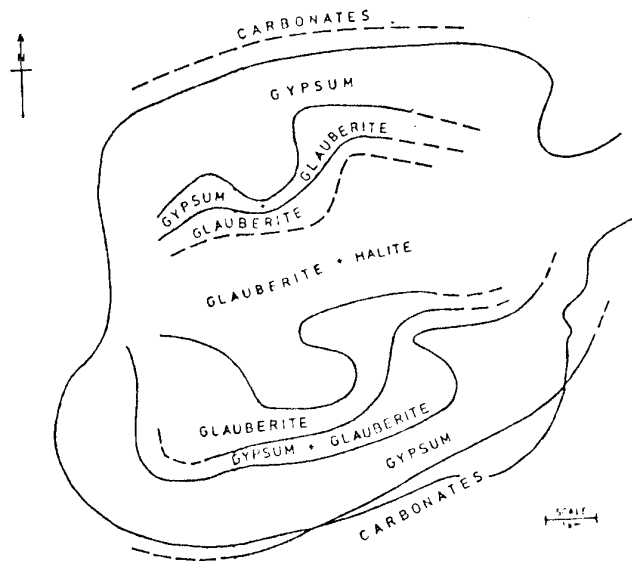
hasta un lago efímero salino ("playa" o Sebkha), que puede estar rodeado por una llanura lutítica (mud flat) de más o menos extensión (Fig. 2.9.).



(Fig. 2.9.).- Bloque diagrama esquemático mostrando el contexto deposicional de un lago tipo "playa" relacionado con abanicos aluviales y llanuras lutíticas. (-- EUGSTER y HARDIE, 1.975).

Ejemplos actuales pueden ser: Cuencas del Valle de la Muerte, Valle Salino en California; lagunas de la zona de los Monegros en las provincias de Tarragona y Teruel, etc.

En Saline Valley (HARDIE, 1.968) (Fig. 2.10.) el aporte de agua viene de corrientes montañosas que cuando alcanzan el área -

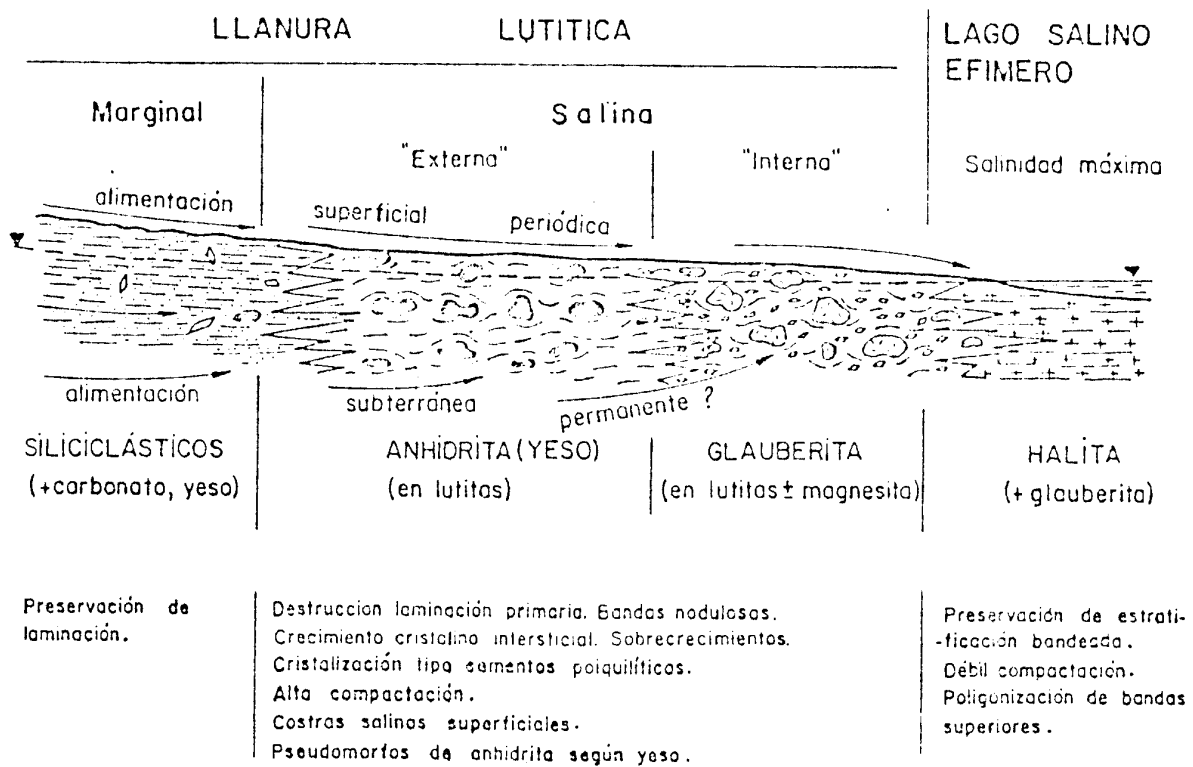


(Fig. 2.10.).- Distribución zonal de minerales evaporíticos en Saline Valley. HARDIE (1.968).

de playa se convierten en subterráneas. La secuencia de precipitación sería: primero, precipitación de calcita en abanicos aluviales adyacentes a la zona de playa, que haría decrecer la concentración de iones calcio y bicarbonato en la salmuera; después precipitaría yeso al borde de la playa, quedando modificada la concentración del ión sulfato; y por último la concentración de iones sodio y cloruro en la parte central da lugar a la precipitación de glauberita y halita en proporciones variables.

En las lagunas de la zona de los Monegros hay que destacar - la casi inexistencia de abanicos aluviales. Las salmueras son del tipo Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ , Mg^{++} (PUEYO, 1.980). La precipitación es estacional y tiene lugar de la siguiente manera:

- a) Precipitación carbonatada (dolomita); b) Precipitación de sulfatos (yeso lenticular, mirabilita); c) Precipitación de cloruros (halita). Las fases b y c, menos el yeso pa-



(Fig. 2.11.).- Cinturones de facies en el lago salado en el momento de la máxima concentración, con precipitación de halita en el centro. (ORTI et al., 1.979).

recen repetirse estacionalmente, sufriendo fenómenos de precipitación - disolución.

Los depósitos evaporíticos de la Cuenca del Tajo pueden citarse como ejemplo de facies antiguas de este tipo. Para el yacimiento de Villarrubia de Santiago, ORTI et al. (1.979) han propuesto un origen de lago salino efímero. Estos autores establecen tres cinturones de facies a) llanura lutítica marginal, b) llanura lutítica salina, con una zona externa de anhidrita y una interna de glauberita y c) lago salino efímero central con halita. La precipitación de minerales se produce de forma cíclica, correspondiente a etapas de expansión (dilución) y retracción (concentración y eventual desecación), y dando así lugar a una secuencia repetitiva: anhidrita - glauberita - halita. En un momento dado tiene lugar una etapa de mayor dilución en la que el cuerpo central de halita queda sustituido por otro de mirabilita - thenardita. Posteriormente dicha dilución se generaliza y la sedimentación es de carácter yesífero.

Los depósitos evaporíticos de Remolinos (Cuenca del Ebro), también han sido atribuidos a este modelo por ORTI y PUEYO (1.977).

Asociación de llanura de inundación de corrientes efímeras, campo de dunas y complejo de lago salino.

En cuencas someras, amplias, de zonas desérticas sub-tropicales se pueden desarrollar franjas de llanuras de inundación de corrientes efímeras con campos de dunas. Un ejemplo de este tipo puede ser la asociación del Pérmico de la zona del Mar del Norte. En lo que se refiere a la sedimentación evaporítica su comportamiento es muy similar al de la asociación explicada anteriormente.

Asociación de llanura de inundación perenne - lago perenne.

Es el caso de lagos con afluentes perennes. Ejemplos de este tipo pueden ser el del Mar Muerto y el de el Gran Lago Salado en Utah.

La diferencia fundamental entre los dos lagos está en la cantidad de sales en solución, que viene marcada por la diferente composición de los materiales aportados por los ríos en cada caso. - Las aguas del Mar Muerto son muy ricas en cloruro magnésico, pero como esta sal es mucho más soluble que el cloruro sódico y el --- agua no está saturada todavía, no se depositan compuestos de Mg. Por otra parte la presencia de cloruro magnésico hace disminuir - la solubilidad del cloruro sódico y así se encuentran cristales de sal común y yeso en los sedimentos arcillosos.

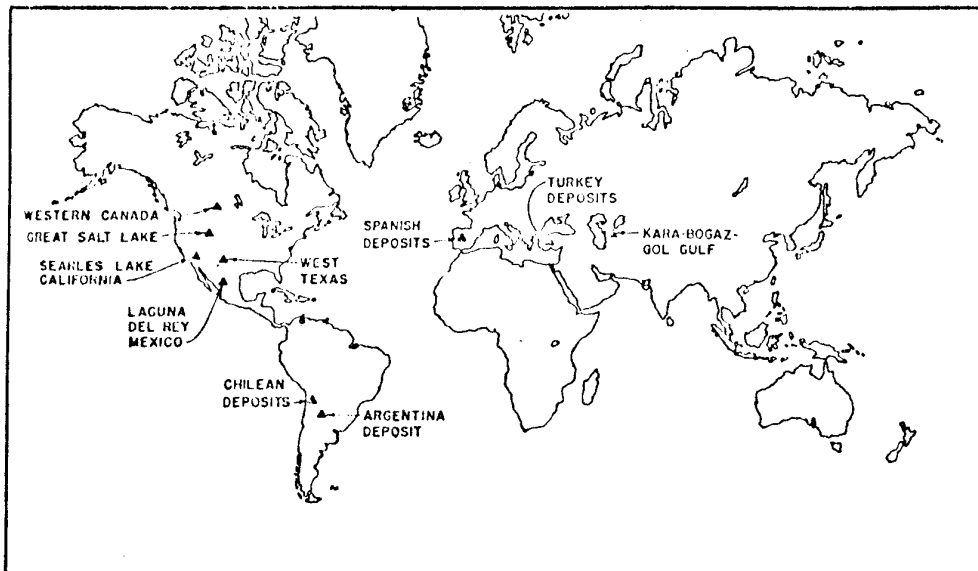
En el Gran Lago Salado la proporción de cloruro magnésico es muy inferior y por tanto el cloruro sódico puede ir en solución, depositándose así sedimentos fundamentalmente carbonatados a pesar de su elevada salinidad.

3.- YACIMIENTOS DE SULFATO SODICO NATURAL EN EL MUNDO.

3.1.- Tipos de Yacimiento.

Desde el punto de vista comercial se pueden distinguir dos grandes grupos de yacimientos. El primero incluye todos los depósitos de formación actual que están constituidos por sulfato sódico en disolución en las salmueras y por lechos generalmente de mirabilita que se depositan en playas o en el fondo de lagos. A este grupo pertenecen los principales yacimientos en explotación del mundo. El segundo grupo abarca aquellos depósitos antiguos de thenardita, glauberita y minerales asociados, que han sido por tanto enterrados, consolidados y constituye en la actualidad un sedimento. A este tipo pertenecen los yacimientos en explotación españoles y la mayor parte de los indicios.

En el mundo existen varios países con depósitos de sulfato sódico del tamaño y pureza suficientes como para ser explotados comercialmente (Fig.3.1.) Los principales productores de sulfato sódico natural son: Estados Unidos, Canadá y Rusia. De menor importancia son: España, Méjico, Turquía, Argentina y Chile.



(Fig. 3.1.).- Principales yacimientos productores de sulfato sódico en el mundo.

Estados Unidos.

En Estados Unidos han sido encontrados depósitos en Arizona, California, Montana, Nevada, Nuevo Mejiico, Dakota del Norte, Oregon, Tejas, Utah, Washington y Whoming. Las mayores producciones se localizan en el Gran Lago Salado, Utah; en el lago Searles, -- California; y al oeste de Tejas.

En el lago Searles (California) el sulfato sódico y otras -- sales aprovechables son extraídas de la salmuera y de lechos que se encuentran en el fondo de una amplia "playa". La parte central que constituye el depósito principal tiene 11 ó 12 millas cuadradas de área y el cuerpo sólido de sal unos 60 a 100 pies de espesor. Los intersticios entre los cristales de sal contienen una salmuera saturada en sodio, potasio y otros elementos. El cloruro sódico es la sal predominante, seguida de sulfato sódico y carbonato sódico. Operan dos compañías explotadoras; una con una capacidad de 150.000 T/año y la otra 228.000 T/año.

El Gran Lago Salado (Utah), tiene un área de 5.000 Km² y una profundidad máxima de 15 mts. Se encuentra en la región salina de Great Basin y constituye un relicto de un lago de agua dulce de -- dimensiones muy superiores. Ocupa la parte baja de una gran llanura cubierta por depósitos salinos. El sulfato sódico es extraído de la salmuera. La mirabilita cristaliza durante el invierno al -- bajar la temperatura, entonces precipita hacia el fondo o es llevada por el viento y la corriente hacia el borde del lago. Se --- piensa que el contenido total de sulfato sódico en la salmuera y -- las capas del fondo equivale a las reservas de todos los depósi-- tos de Canadá .

En el lago de Brownfield (Tejas) el depósito principal se en cuenta fuera de la actual superficie del lago. Se explotan capas

que alcanzan desde algunos pies hasta 30 pies de espesor. Se encuentran a profundidades de 30 a 100 pies y están interestratificadas con lechos de arcilla y limo. La salmuera contiene un 15% de sulfato sódico y un 10% de cloruro sódico. Hasta el momento se han producido un millón de toneladas de sulfato sódico anhidro, quedando como reservas una cantidad aproximadamente igual.

En Campo Verde (Arizona) fueron explotadas capas sólidas de thenardita y otras sales sódicas por el método de cámaras y pilares.

Otros depósitos de menor importancia son explotados en California, Tejas, Dakota del Norte, etc...

Canadá.

El sulfato sódico es explotado en nueve lagos, ocho de los cuales se sitúan en Saskatchewan y uno en Alberta. En la Columbia Británica se encuentra junto a sulfato magnésico, siendo la producción poco importante. En New Brunswick va asociado a sulfato cálcico, pero no es explotado.

Los depósitos se localizan en cuencas y depresiones en morrenas glaciares, sin desagües aparentes. Contienen dos fases reconocibles de capas cristalinas: intermitentes y permanentes.

Las capas intermitentes se forman en el fondo y a lo largo de los bordes de los lagos. Las sales cristalizan y se disuelven nuevamente con las fluctuaciones de la temperatura, siendo en invierno cuando los materiales alcanzan mayor potencia.

Las capas permanentes, que se encuentran por debajo del lago, aparecen interestratificadas con finos lechos de arcilla y mate--

ria orgánica que protege a aquellas de posteriores disoluciones.

La mayoría de los lagos contienen varios millones de toneladas de sulfato sódico, las reservas se estiman en cien millones - de sulfato sódico anhidro, de los cuales aproximadamente la mitad son recuperables económicamente.

Rusia.

Muchos depósitos de sulfato sódico aparecen en un amplio área que va del Mar Negro al oeste de China y más al norte en Siberia del este y central. Los económicamente importantes se encuentran en las depresiones del Caspio y Aral en Kazakhstan.

El mayor depósito del mundo está situado en el golfo de Karabogaz-Gol, en la costa del Mar Caspio. Es un pequeño lago en el interior de éste y está separado del mismo por una barra, existiendo un pequeño estrecho por donde penetra el agua del mar. El lago probablemente debe su origen a la subsidencia en un lado de la cadena plegada del Cáucaso.

El contenido en sales es muy diferente del que tiene el Mar Caspio. El clima cálido provoca la evaporación y una corriente de agua corre a lo largo del estrecho para suplir la pérdida por evaporación, manteniendo el nivel constante. Por tanto existe un continuo aporte de sales. La naturaleza de las sales depositadas varía de tiempo en tiempo dependiendo del balance geoquímico que exista en la salmuera. En la actualidad, se deposita halita y epsomita en el centro del lago, mirabilita en zonas próximas al centro, esta última sobre todo en los meses de invierno y yeso en los bordes.

Las reservas han sido estimadas en dos billones de toneladas. Junto con el sulfato sódico es explotado el sulfato magnésico.

En Rusia se producen 250.000 T/año, la mayor parte de las mismas procedentes de este depósito.

El mar Aral, es considerado también como una fuente de sulfato sódico. Asimismo existe una producción a escala local en algunas repúblicas de Asia Central y en lagos del oeste de Siberia.

Méjico.

Al norte de Coahuila, en la laguna del Rey, existe un amplio depósito evaporítico que contiene una alta concentración en sulfato sódico.

El yacimiento está constituido por mirabilita con bloedita (sulfato de sodio y de magnesio) intercaladas con algo de yeso y arcilla.

Una estimación realizada en 1.959, indica unas reservas de 164 millones de toneladas de sulfato sódico anhidro en las capas sólidas y 18 millones más en la samuera. La empresa explotadora tiene una capacidad de 195.000 T/año.

Turquía.

La producción en Turquía no es muy importante. Se localizan varios lagos salinos en el S.O. del país. Los más importantes son los de Tersakan y Acı Gol.

El lago de Tersakan presenta un contenido del 8% de sulfato sódico, menos del 5% y 2% de cloruro sódico y sulfato magnésico, respectivamente y menos de un 1% de sulfato cálcico.

El contenido salino del lago Aci Gol, es similar al del lago Tersakan, aunque el contenido en sulfato sódico es ligeramente inferior y el de cloruro sódico ligeramente superior.

Argentina.

Los lagos salados se hallan situados en las plataformas áridas y en los valles de los Andes. Un amplio depósito de "playa" - con mirabilita está siendo explotado en la actualidad en la provincia de Jujuy. El depósito está situado a 11.000 pies de altura. En el centro se sitúa un lecho permanente de 15 pies de potencia, la mirabilita en el centro, el cual va perdiendo espesor a medida que se acerca a los bordes. Este lecho está cubierto por una delgada capa de cloruro sódico, sulfato cálcico y arena.

La producción se estima en 20.000 - 30.000 T/año.

Chile.

Al norte de Chile, en el desierto de Atakama, se localizan - depósitos de tipo "playa", con una pequeña producción (42.000 T/año).

3.2.- Métodos de explotación.

Como se ha apuntado anteriormente, la casi totalidad de los depósitos de sulfato sódico explotables en el mundo, están localizados en lagos actuales, siendo explotado el mineral, bien directamente de la salmuera, bien de las capas depositadas en el fondo del lago. Precisamente España es la excepción, pues en ella se explotan depósitos sólidos antiguos.

En los lagos actuales la explotación se realiza de acuerdo con las características propias de cada yacimiento, siendo el clima una de las más importantes.

Todas las empresas explotadoras en Canadá p.e. utilizan las diferencias de temperatura estacionales para la extracción del sulfato sódico. La salmuera va saturándose, y cuando al terminar el verano se encuentra casi totalmente saturada, es bombeada a grandes balsas que pueden tener diez pies de profundidad. Cuando llega el frío cristaliza mirabilita de la salmuera saturada (Fig. 2.2), drenándose el líquido residual que contiene la mayor parte del cloruro sódico y sulfato magnésico y puede ser devuelto al lago. En la mayoría de los lagos de Saskatchewan la explotación es realizada de este modo. En el lago Alberta se inyecta una solución calentada en el lecho cristalino que genera una salmuera la cual es bombeada para su posterior enfriamiento y cristalización.

Como se puede observar la explotación de los depósitos en Canadá depende en gran medida de las condiciones climáticas y una sequía u otras causas imprevistas pueden afectar al ciclo de producción. Por ello en las plantas suelen tener "stocks" para el suministro de más de un año.

Para preparar el sulfato anhidro la mirabilita debe ser deshidratada. Cuando la mirabilita es calentada, se sobrepasa la solubilidad del sulfato en el agua de cristalización (fig 2.2), con lo cual tiene lugar la precipitación; posteriormente el agua debe ser evaporada.

Las distintas empresas utilizan diferentes tipos de evaporadores. El más usado es el Ozark-Mahoning (evaporador de combustión sumergida) que utiliza encendedores de gas sumergidos en la solución la cual produce una combustión en contacto directo con la fase líquida. Con el evaporador Holland el contacto entre la solución y el producto caliente se realiza por medio de agitación mecánica. También se utilizan evaporadores de vacío. Las sales anhidras que precipitan en el evaporador pueden ser separadas de la solución por métodos mecánicos (que incluyen centrifugadores) y secadas en hornos rotatorios.

En la planta de Brownfield en E.E.U.U. introducen cloruro sódico en la salmuera, la cual es inyectada en el lecho salino y bombeada después. El alto contenido en cloruro sódico hace decrecer la solubilidad del sulfato sódico, mejorándose así su extracción. En la planta de Seagraves como la salmuera contiene suficiente cloruro sódico, no se necesita añadir más. En Tejas donde el frío atmosférico no llega a la temperatura requerida, es necesario utilizar refrigeración mecánica y posterior calentamiento. En otros yacimientos de E.E.U.U., la extracción es semejante a las explicadas al hablar de los yacimientos de Canadá.

Como evaporadores son utilizados los del tipo Ozark ya mencionado y otros que utilizan calor en forma de vapor el cual es llevado a través de tubos hasta la solución saturada.

En Searles se extraen otros productos además de sulfato sódico como pueden ser las sales potásicas, boratos, carbonato sódico y sales de lítio. En el proceso de producción del sulfato sódico, la salmuera con un 7,5% de Na_2SO_4 , es evaporada en evaporadores - de triple efecto donde precipitan el cloruro sódico y la burkeíta (sal doble de sulfato sódico y carbonato sódico).

Se separa el líquido por elutriación y la burkeíta y el cloruro sódico son separados por clasificadores hidráulicos. Las sales de Li que permanecen en suspensión son separadas, quedando un líquido que es enfriado a 78°F precipitando mirabilita. Los cristales son mezclados con ClNa para conseguir la precipitación del sulfato anhidro. Después de filtrado éste se repite la operación para obtener mayor cantidad de sulfato anhidro. Finalmente es -- filtrado y secado en hornos rotatorios.

En otros países los métodos de extracción y procesado son si milares a los explicados hasta aquí. Una variante del método de - variaciones estacionales anormales es utilizada en Argentina, don de estas variaciones son diurnas gracias a la altitud a la que -- se encuentra el depósito.

4.- EL SULFATO SODICO NATURAL EN ESPAÑA.

4.1.- Yacimientos en explotación.

Antiguamente se explotaron estas sales en algunos puntos de las provincias de Madrid y Rioja, pero en la actualidad únicamente existen dos explotaciones activas. Una de ellas en Villarrubia de Santiago (Toledo) cuya mina más importante es "El Castellar" y la otra en Cerezo de Riotirón (Burgos).

En los últimos planes de labores elaborados por las Jefaturas de Minas, correspondientes a 1.979, se pueden encontrar las siguientes concesiones mineras para sales sódicas:

PROVINCIA DE BURGOS

<u>Mineral</u>	<u>Concesión</u>	<u>Término Mun.</u>	<u>Concesionario</u>	<u>Explotador</u>
Glauberita	Riotirón	160	CRIMIDESA	CRIMIDESA

PROVINCIA DE TOLEDO

<u>Mineral</u>	<u>Concesión</u>	<u>Término Mun.</u>	<u>Concesionario</u>	<u>Explotador</u>
Thenardita	El Castellar	152	USESA	USESA
"	San Claudio	"	"	"
"	Aurelia	"	"	"
"	Pilar	"	"	"
"	Leonor	"	"	"
"	Platas	"	"	"
"	Ampl. Platas	"	"	"
"	Dolores	"	"	"

4.1.1.- Villarubia de Santiago (Toledo).

El yacimiento de Villarrubia de Santiago (mina "El Castellar") es de edad miocena (Burdigaliense Superior - Vindoboniense Inferior) y está encuadrado en una facies evaporítica central (Fig.4.1). Esta facies comprende una sucesión monótona de yesos masivos grises y yesos especulares, con delgadas intercalaciones de margas yesíferas gris-verdosas.

ORTI CABO et al. (1.979) que han estudiado el yacimiento ofrecen un corte representativo (Fig.4.2) de las capas salinas expues-

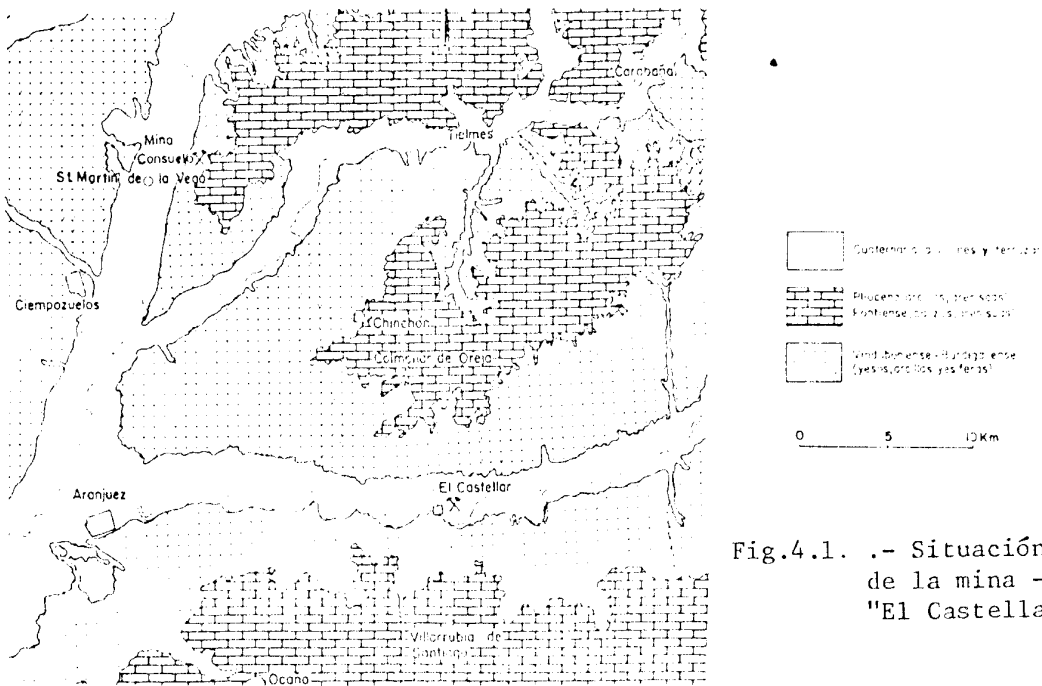
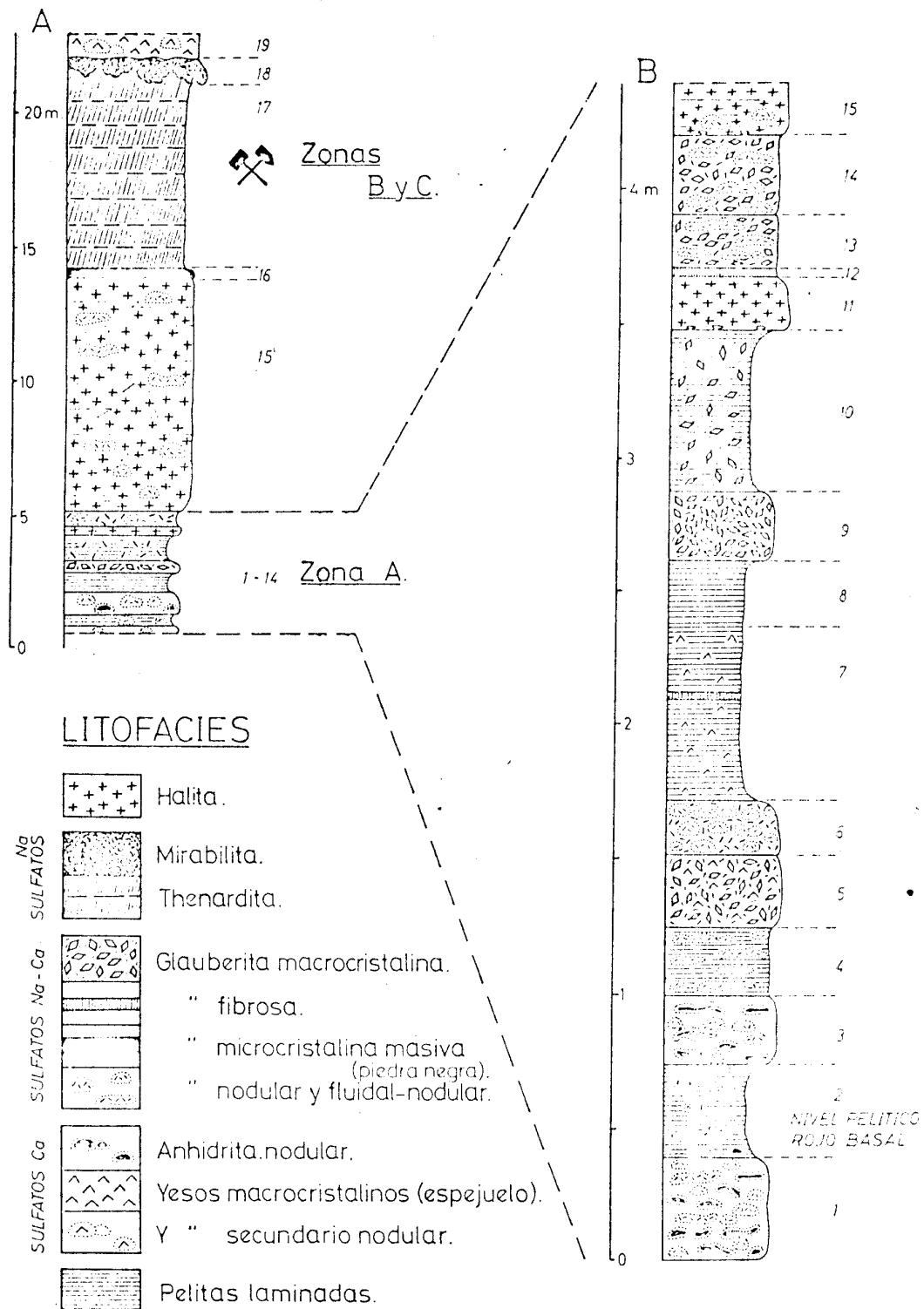


Fig.4.1. - Situación de la mina - "El Castellar"

tas en la mina que se caracteriza por una alternancia desigual de niveles lutíticos laminados, con otros glauberíticos y halíticos, siendo coronado el conjunto por una capa de thenardita. La figura 4.2.B. muestra un detalle ampliado del tramo más basal.

Atendiendo a la mineralogía dominante en las capas o grupos -



(Fig. 4.2.A).- Estratigrafía de la secuencia observable en la mina El Castellar. B) Detalle ampliado de los niveles glauberíticos a lo largo de la galería de entrada (zona A).

de capas, la secuencia salina de la mina puede resumirse del siguiente modo:

NIVELES

ESPEORES

Techo

19 Yeso espejuelo

18 Hidratado (mirabilita)

de 0,2 a 0,6 m.

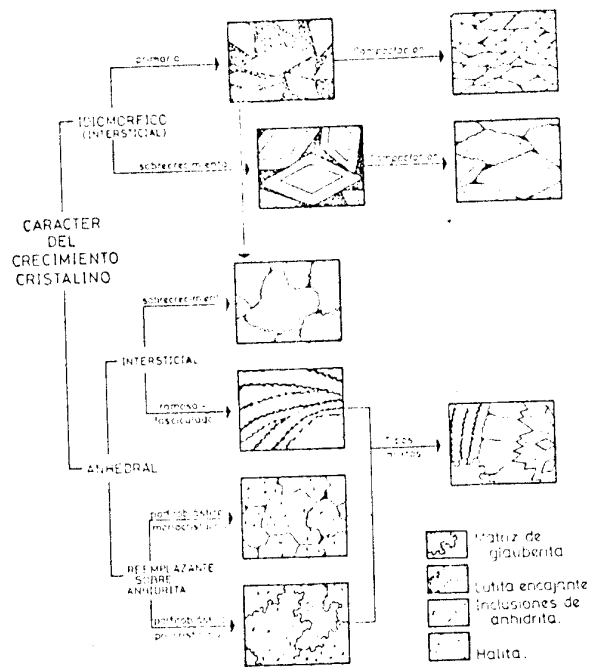


Fig. 4.3.).- Síntesis de las principales variedades petrográficas de la glauberita de la mina y sondeos de "El Castellar".

17 Capas de therardita

de 5 a 20 m.

15 Capas de halita

de 8 a 15 m.

3-14 Capas de glauberita

de 3 a 5 m.

(+ halita)

Muro

1-2 Capas basales de -
arcillas rojas.

Las principales litofacies que muestra la glauberita son la nodular, masiva microcristalina y macrocristalina intersticial.

En cuanto a la microestructuras ORTI et al. (1.979) han --- realizado un esquema con las principales texturas idiomórficas y anhedrales (Fig. 4.3.), intentando dar una interpretación petrogenética a las mismas. Así las litofacies nodulares parecer ser sinsedimentarias o diagenéticas tempranas, como se deduce de los efectos microestructurales (reordenación de fábricas cristalinas, compenetración de unos cristales con otros afectando incluso a los sobrecrecimientos, fracturación, etc.../ o macroscópicos (de formación y fluidez de nódulos en sentido subhorizontal) debidos a la compactación, ocurrida presumiblemente en los primeros estadios del enterramiento. Dichas litofacies son de desarrollo intersticial entre un sedimento encajante, siendo las microestructuras asociadas principalmente idiomórficas. Algunas glauberitas microcristalinas reemplazan a anhidrita, lo cual puede indicar un origen más tardío.

El paquete de thenardita en el yacimiento se presenta en capas de orden decimétrico, alcanzando un metro como máximo. Su aspecto es cristalino masivo, con juntas de estrato ocupadas por lutita oscura. En las microestructuras de la thenardita destaca el carácter subhedral y heterométrico del mineral. Dada su presencia intersticial y la ausencia de orientaciones geométricas o cristalográficas bien definidas, parece lógico pensar que la thenardita sea más bien un mineral secundario que primario y ligera

mente posterior a su sedimento encajante, o todo lo más sincrónico.

Los otros minerales presentes son, a parte del yeso y la anhidrita, halita, polihalita, magnesita, cuarzo y mirabilita. La presencia de ésta es totalmente secundaria y procede de la hidratación, bajo la influencia de las aguas de infiltración de las capas de thenardita.

En cuanto al modelo de sedimentación salina remitimos al lector al capítulo segundo, en el que se expone el modelo propuesto para esta zona. Siguiendo esta teoría la sedimentación de sulfato sódico en la cubeta del Tajo, podría suponer una etapa final de expansión e inundación del "playa lake" debido posiblemente a una atenuación de las condiciones de aridez, modificándose por tanto el carácter de su precipitado central.

La explotación se lleva a cabo en las capas de thenardita y es realizada en dos niveles topográficos o "zonas", siendo variable en cada una de ellas el contenido en SO_4Na_2 .

Una de ellas está situada a una cota de 575 m. y la otra a 540 m. El espesor del paquete va de 6 a 20 m. La corrida es visible a lo largo de 2 Km., aflorando a media ladera en el escarpe sobre el cauce del Tajo (foto n°1).

La ley media del yacimiento es del 60%. La composición en bruto del mineral extraído es la siguiente:

Thenardita	42,5%
Glauberita	42 %
Sal gema	0,9 %

Arcillas y margas 14,6%

Y presenta la siguiente composición química:

SO₄Na₂ 62,6%
 SO₄Ca 20,2%
 ClNa 0,9 %
 Residuo insoluble 14,3%
 Humedad 2,0 %



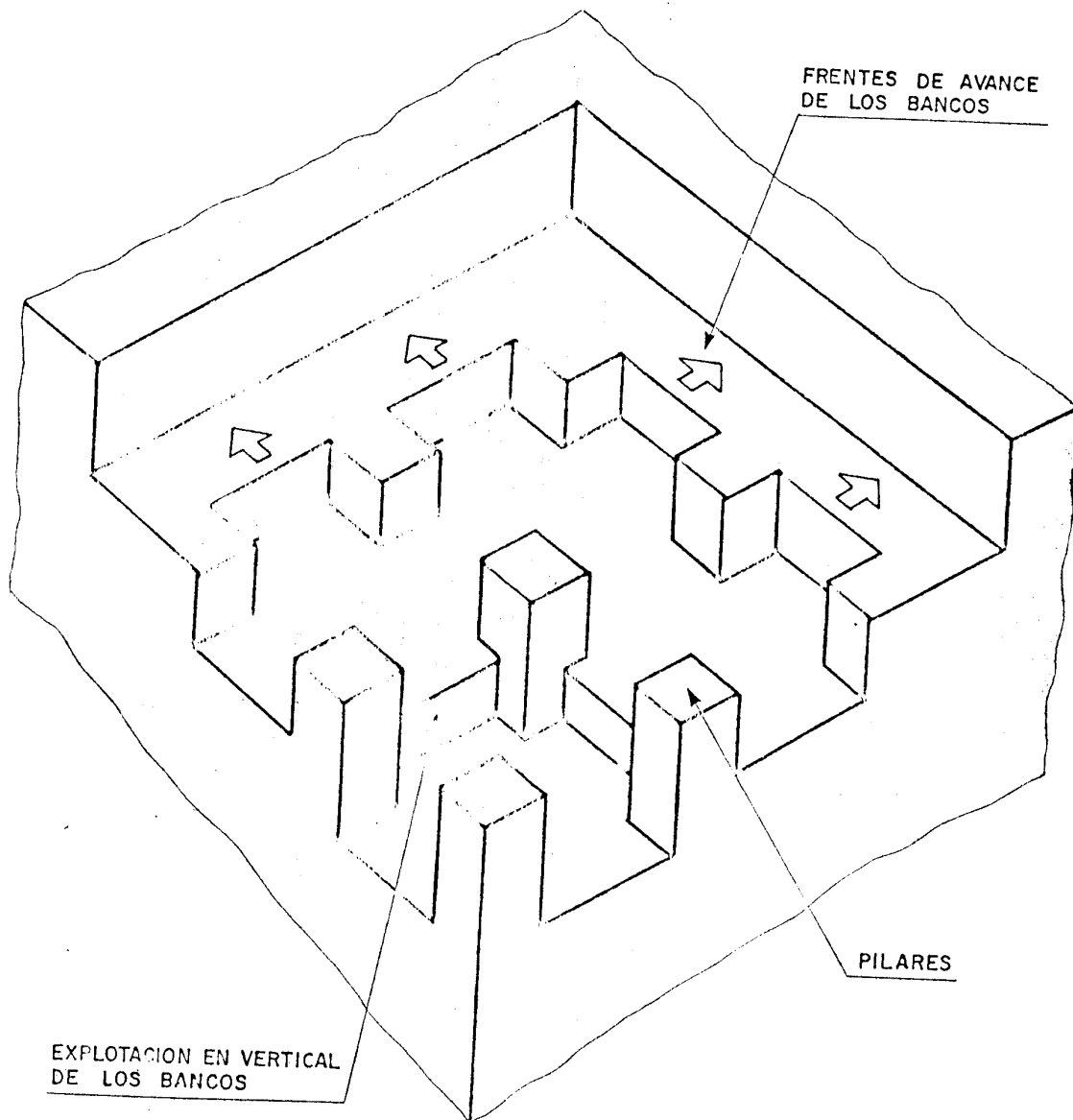
Foto n°1 .- Mina "El Castellar".

La estimación de las reservas seguras ha sido calculada en 10.000.000 T., la de reservas probables en 200.000.000 T y la de las posibles en 500.000.000 T.

Por otra parte las producciones de sulfato sódico en los últimos años arrojan los siguientes datos:

<u>AÑO</u>	<u>PRODUCCION DE SO₄Na₂ (Tm).</u>
1.973	80.572.-
1.974	85.370.-

<u>AÑO</u>	<u>PRODUCCION DE SO_4Na_2 (Tm).</u>
1.975	93.063.-
1.976	108.938.-
1.977	107.411.-



(Fig. 4.4.).- Método de explotación por "Cámaras y Pilares".

Para ampliar datos al respecto consúltese el trabajo "Estudio básico del sulfato sódico, yacimientos, métodos de explotación y panorama económico del sector" realizado por el Instituto Geológico y Minero de España.

En cuanto al método de explotación, el empleado sigue siendo el método tradicional de "cámaras y pilares" que se viene utilizando en minería con buenos resultados, especialmente en depósitos horizontales. (Fig. 4.4.).

Consiste en la realización de una apertura previa de galerías de preparación en mineral, paralelas y distanciadas entre sí lo suficiente para permitir la explotación en un ancho de 7 a 10 mts. en toda su longitud y dejar entre cada dos cámaras un macizo de protección de unos 3 m. de espesor. Estas galerías paralelas tienen 3,60 x 3,60 m. de sección, las efectuadas con el jumbo y -- 1,80 x 1,80 las que se realizan con las perforadoras corrientes.

Las galerías que posteriormente serán cámaras parten de unos transversales, también en mineral, distantes entre sí unos 140 mts- abriéndose galerías a ambos lados en una longitud de 70 m. Para evitar una ventilación defectuosa, las galerías se comunican con la inmediata anterior, ya abierta en sus 140 m., cada cierta distancia, dando lugar a los pilares de sostenimiento. En altura se abre la galería con unos 2,50 m., llevándose en retirada un realce hasta los 5 m. Entre dos cámaras quedan al terminar su explotación unos macizos, de 7 x 3,50 m. de sección por término medio. El mineral se extrae en un 85% quedando el 15% restante como pilares y techo de las cámaras.

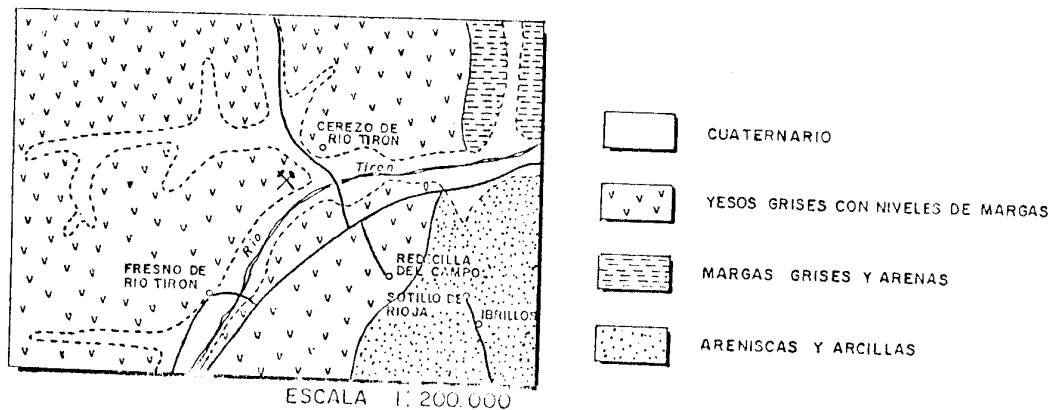
La obtención del sulfato sódico anhidro en la planta de "El Castellar" se realiza en tres fases diferenciadas. En la primera fase se realiza la disolución del mineral por lixiviación en con-

tra corriente, en la que se disuelve la mayor parte de la thenardita, sin que se produzca el desdoblamiento de la glauberita en sulfato sódico y sulfato cálcico. En la segunda fase se produce la separación de los residuos procedentes de la batería de disolución, incorporándose el rebose a la primera fase y retirándose los residuos en forma de yeso. En la tercera fase se obtiene el producto anhidro con una pureza del 99% a partir de la disolución procedente de la primera fase, mediante la utilización de evaporadores de simple efecto.

Este método, aunque es caro, permite una producción continua y regular, no generando un movimiento excesivo de escombros

4.1.2.- Cerezo de Riotirón (Burgos).

El yacimiento de Cerezo de Riotirón (Fig.4.5.) es de edad miocena (Burdigaliense-Vindoboniense Inferior) y se localiza en la

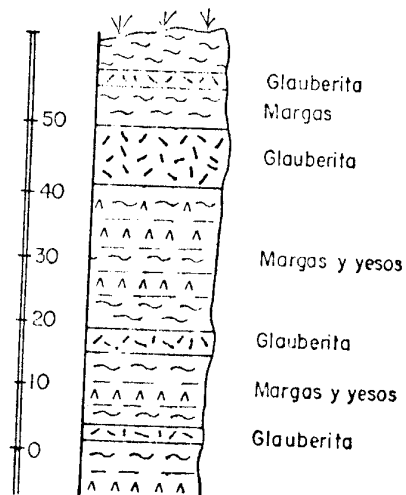


(Fig. 4.5.).- Situación de la Mina de Cerezo de Riotirón

facies Cerezo. Esta se caracteriza por la presencia de yeso predominante en bancos de espesores muy variables (desde milímetros a medio metro) que alternan con margas grises, a menudo yesíferas.

En las zonas centrales de la cubeta el yeso es generalmente alabastrino, en capas de 10 a 50 cm. que alternan con margas y arcillas gris-verdosas en una proporción de hasta el 60%. La proporción del yeso va disminuyendo hacia los bordes de la facies pasando lateralmente a otras facies no evaporíticas. En estos bordes alternan margas gris-negruzcas con niveles de yeso fibroso blanco, en proporción inferior al 20%.

El yacimiento está constituido por 4 niveles de glauberita - de 2,8,4 y 2 m. respectivamente (Fig.4.6.). Entre el banco supe-

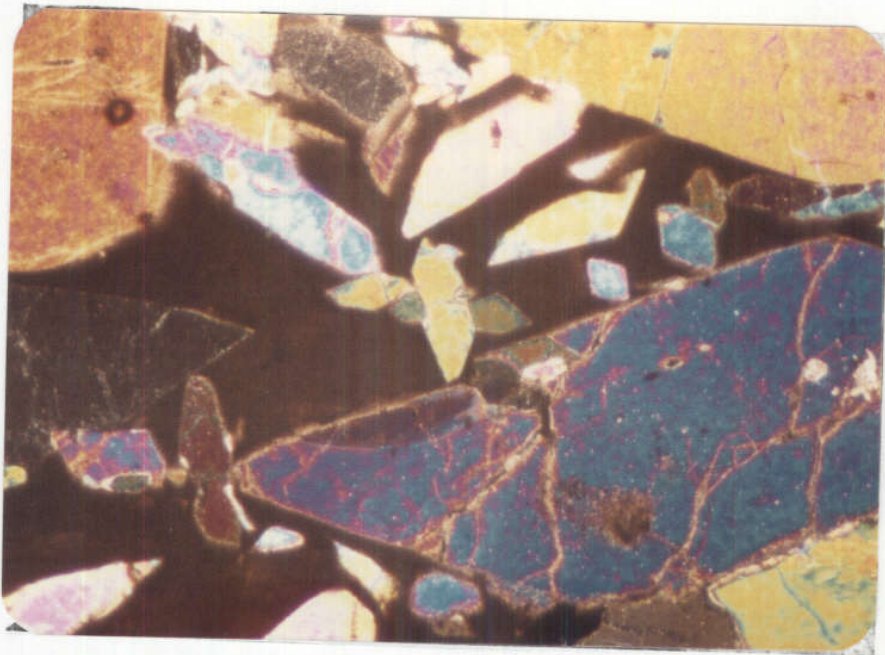


(Fig. 4.6.).- Secuencia Salina en la Mina de Cerezo de Riotirón.

rior y el siguiente hay 6 metros de margas; entre el segundo y el tercero 25-30 metros de margas y yesos; y entre el tercero y el cuarto 8-10 metros de margas y yesos. La capa de glauberita actualmente en explotación es la de 8 m.

Los minerales más destacados son la glauberita y la anhidrita. Aquella suele presentar una estructura bandeada y ésta nodular.

En la muestra n°25 (foto n°2) tomada del frente de explotación se pueden observar los cristales idiomorfos de glauberita, de secciones romboidales y tamaño de grano medio, que han crecido en el seno de un barro arcilloso; esto podría significar que la glauberita es de origen sinsedimentario formada bajo lámina de agua.



(Foto n°2).- Cristales idiomorfos de glauberita. (Muestra n°25, NX).

A diferencia del yacimiento de Villarrubia aquí no han sido -- citadas la halita y thenardita, lo cual indicaría que el lago estaba dominado por los iones $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ y Ca^{++} .

El yacimiento se dispone prácticamente horizontal y aflora en una longitud visible de 1 Km. a lo largo de los escarpes de la margen del río Tirón (foto n°3).



(Foto n°3).- Mina de Cerezo de Riotirón.

El mineral explotado se compone de un 68,5% de glauberita, un 29,4% de anhídrita y el resto de impurezas. Las reservas seguras -- se estiman en 18×10^6 T; las probables en 20×10^6 T; y las posibles en 22×10^6 T.

El grado de recuperación real del mineral es del 97,8%.

La producción de mineral vendible en los últimos años ha sido la siguiente:

<u>A Ñ O</u>	<u>PRODUCCION DE SO_4Na_2 (Tm).</u>
1.973	40.774.-
1.974	43.902.-
1.975	44.508.-
1.976	55.390.-
1.977	73.705.-

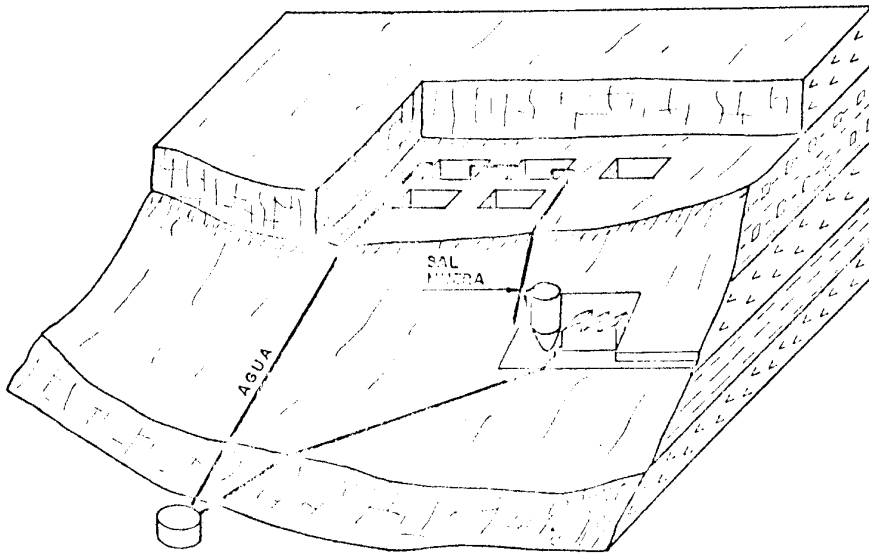
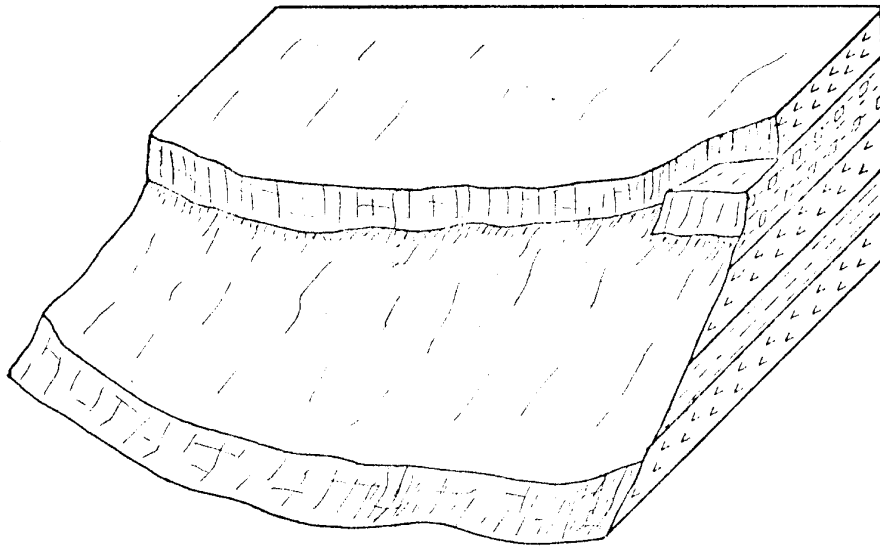
Para mayores datos al respecto consúltese el proyecto "Estudio básico del sulfato sódico, yacimientos, métodos de explotación y panorama económico del sector" (Instituto Geológico y Minero de España).

Un análisis del sulfato sódico anhidro ya elaborado procedente de este yacimiento arroja la siguiente composición:

Resíduo insoluble	0,009%
Metales pesados	no se aprecia
Cal, Cao	0,002%
Magnesia, Mgo	0,002%
Oxido Férrico, Fe_2O_3	0,001%
Cloruro sódico, ClNa	0,002%
Sulfato sódico, SO_4Na_2	99,984%

Antiguamente la explotación se llevaba a cabo por el método de "cámaras y pilares"; en la actualidad se realiza a cielo abierto, por disolución en estanques excavados sobre la capa (Fig. 4.7.).

El método consiste en excavar el esteril que recubre el nivel explotable y sobre la propia superficie de dicho nivel realizar una excavación de dimensiones de hasta 200 m. de longitud, una anchura de 75 m. y una profundidad de más o menos la que tiene el nivel explotado. Se hace el estanque mediante voladuras, introduciéndose agua que se satura en contacto con la sal y siendo bombeada la salmuera resultante a la planta de concentración. Las salmueras van



(Fig. 4.7.).- Método de explotación por disolución en estanques excavados sobre la capa.

en circuito cerrado, de forma que el circuito de esa salida de fábrica, que está subsaturado en sulfato sódico, se lleva a los estanques y vuelve a saturarse en sulfato sódico y así sucesivamente.

Este método tiene la ventaja de que los residuos insolubles permanecen en la explotación, no necesita tener grandes stocks de material elaborado, es de gran flexibilidad frente a la demanda variable y exige pocos gastos de mantenimiento. Tiene como contrapartida que incide gravemente en el medio ambiente, tanto por la destrucción de las características geomorfológicas de la zona, como por la posibilidad de contaminación de acuíferos.

4.2.- Indicios no explotados.

Aparte de los yacimientos en explotación, existe algún indicio de sulfato sódico que ha sido mencionado ya en la bibliografía y otros nuevos que se citan en este capítulo.

Al hablar de los ambientes de formación ya se ha indicado el tipo de cuencas donde tiene lugar la precipitación de los minerales buscados, así pues es lógico que las zonas más interesantes se localicen en las cuencas terciarias, aunque también se estén formando este tipo de depósitos en lagunas actuales. La edad de los yacimientos en las cuencas terciarias suele ser oligocena o miocena.

Como corresponde a su condición de minerales evaporíticos -- los sulfatos de sodio se encuentran localizados en las facies centrales o próximas a éstas, según el grado de salinidad alcanzado por la cuenca. Por tanto siempre van asociados a facies yesíferas y a menudo a otro tipo de sales.

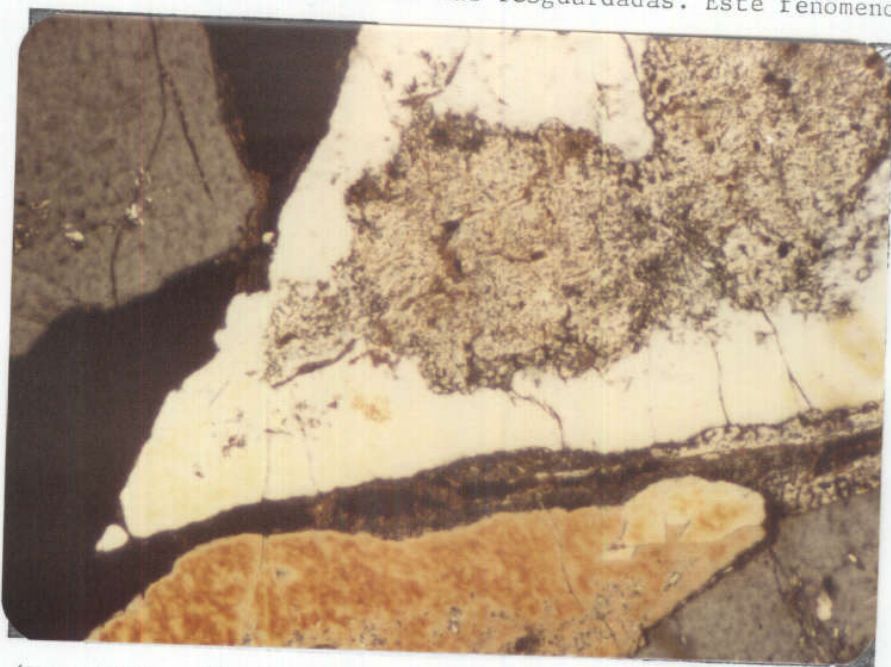
La búsqueda de indicios de sulfato sódico presenta una serie de peculiaridades que de alguna manera dificultan la misma.

La glauberita y la thenardita son sales solubles con lo cual en cortes expuestos a la meteorización son lavadas o alteradas a otros minerales, siendo así difícil encontrarlas en estado fresco. En bastantes muestras se ha podido observar como la glauberita está siendo sustituida por el yeso, mineral más estable en las nuevas condiciones ambientales (Foto n°4).

Por otro lado el sulfato sódico debido a la circulación de aguas meteóricas puede ser hidratado, dando lugar a mirabilita --

que aparece con una textura pulverulenta, de color blanco y sabor amargo. Aunque este proceso significa una pérdida de sales, es no obstante una ventaja a la hora de buscar indicios, pues estas --- eflorescencias salinas son muy visibles y son una buena guía en la prospección.

Las eflorescencias se disponen rellenando huecos y fraturas (Foto n°5), así como en la superficie de capas blandas (arcillas, generalmente), pues allí están más resguardadas. Este fenómeno --



(Foto n°4).- Glauberita pasando a yeso. (Muestra n°121, NX).

puede conducir a errores, pues estas capas cubiertas por eflorescencias que pueden llegar a ser bastante continuas se confunden con capas salinas "in situ", cuando las sales están realmente más arriba, a menudo mezcladas con yesos y sin dar lugar a un banco definido.

Otra característica de estas eflorescencias es que deben de

ser buscadas en tiempo seco, pues con un contenido de humedad en el aire relativamente bajo desaparecen. Véase en las fotos n°6 y 7 el diferente aspecto que muestra el mismo punto en verano y en invierno. En la foto tomada en verano las eflorescencias son bien visibles; en la foto tomada en invierno, éstas no se aprecian.



(Foto n°5).- Sulfatos pulverulentos rellenanando fracturas.

Otra dificultad la constituye el hecho de que la mirabilita y la epsomita son muy similares físicamente, dándose en el mismo tipo de depósitos, por tanto se pueden confundir fácilmente. Así - en algunos puntos se han tomado muestras de lo que parecía mirabi



(Foto n°6).- Lerín. Foto tomada en verano.



(Foto n°7).- Lerín. Foto tomada en invierno.

lita y los análisis químicos han demostrado que era epsomita. No obstante, este mineral es también interesante desde el punto de vista económico, por lo que su localización puede ser también eficaz.

Para mejor estudio de los indicios, se han agrupado éstos en cuatro zonas que corresponden a cuatro unidades geológicas con características adecuadas para la localización de sulfato sódico -- (Fig. 4.8.). Estas zonas son:

Zona 1 - Calatayud.

Zona 2 - Rioja.

Zona 3 - Burgos.

Zona 4 - Toledo.

4.2.1.- Zona 1 Calatayud.

4.2.1.1.- *Geología de la zona.*

La depresión o, mejor llamada, fosa de Calatayud, se trata de una fosa emplazada en un conjunto de bloques paleozoicos deprimidos durante el Terciario y rellenos de sedimentos miocenos. La fosa se ha originado como consecuencia de dos o tres fases orogénicas que se han desarrollado durante el Terciario y que han dado lugar a la fragmentación del zócalo paleozoico a lo largo de accidentes longitudinales, individualizándose dos áreas marginales levantadas, separadas por otra hundida.

Los sedimentos están bien datados, gracias a los yacimientos de vertebrados descubiertos.

Litológicamente se puede distinguir una formación central de evaporitas, constituida fundamentalmente por yesos de diferentes

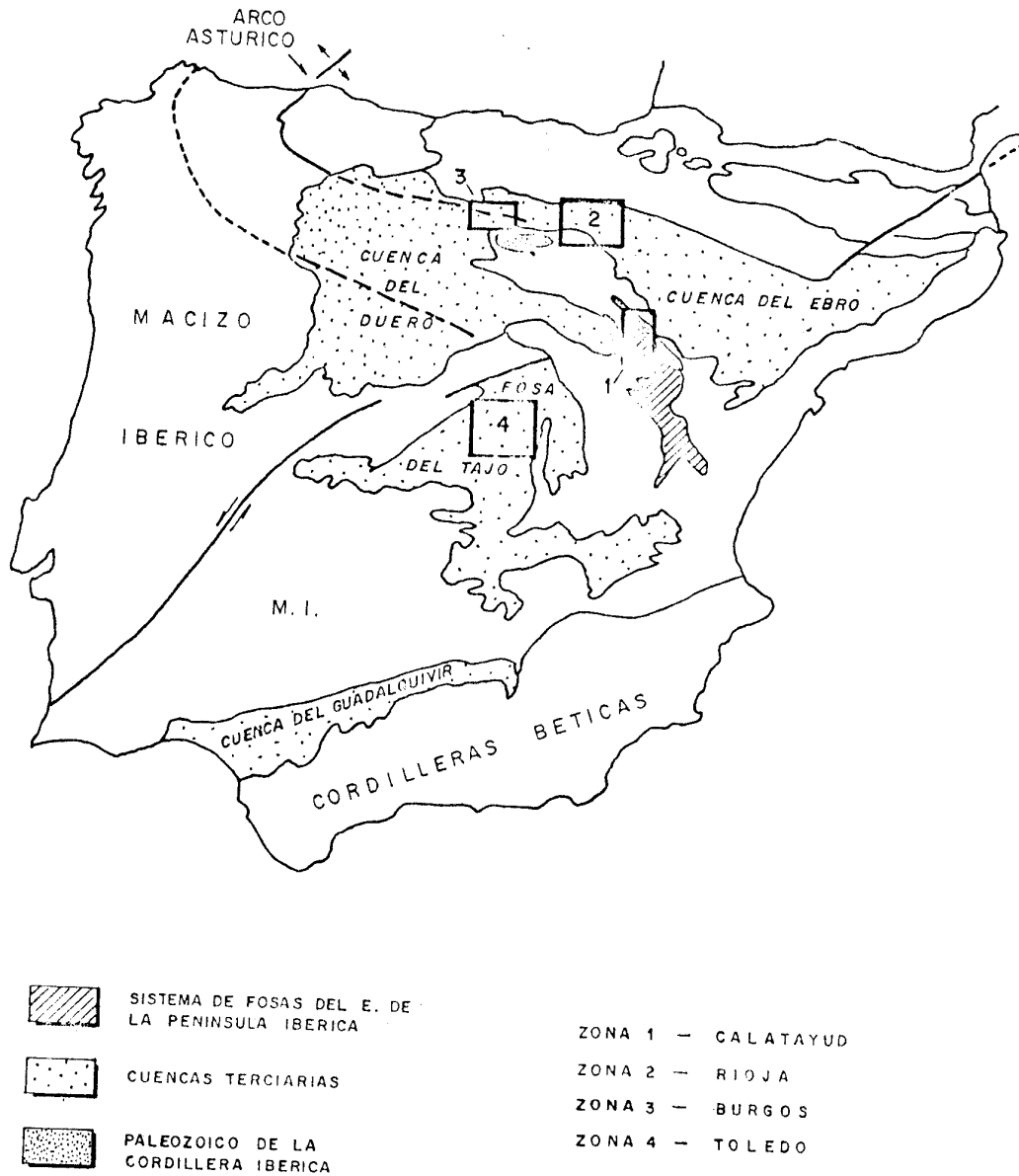


Fig. 4.8.- Mapa de Situación de Zonas

tipos, algo de arcillas y sales como se verá posteriormente. Lateralmente estos yesos pasan a arcillas, margas y algún nivel calcáreo lacustre. De estas facies se pasa a conglomerados silíceos -- marginales, que se apoyan discordantemente sobre el Paleozoico. -- Verticalmente los yesos pasan a calizas. Los yesos de Calatayud -- pasan lateralmente y hacia el S.E. a margas rojas y conglomerados por la parte baja y a bancos de calizas en la parte alta de la serie miocena. Este paso lateral se verifica hacia Maluenda.

La fosa de Calatayud muestra una acusada disimetría siguiendo el perfil transversal S.O.-N.E.

El flanco S.O. está levantado y presenta una notable formación conglomerática; en cambio las facies yesíferas y calcáreas -- se desplazaron hacia el N.E.

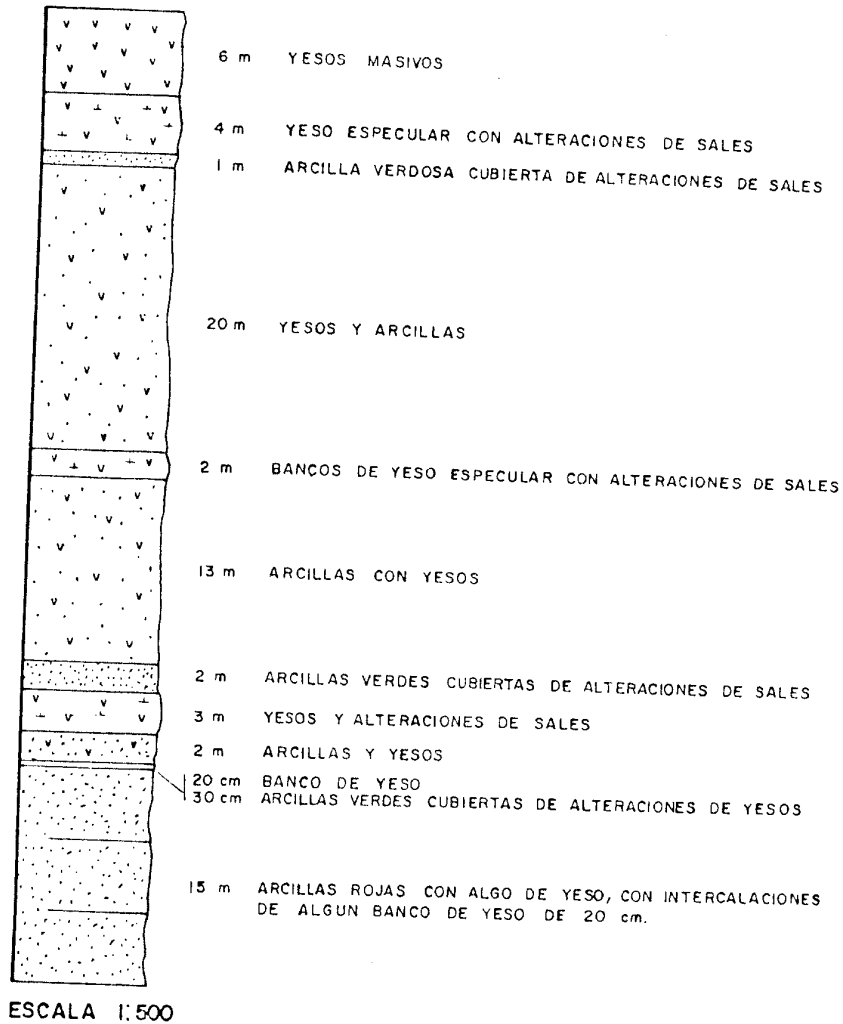
4.2.1.2.- Localización de indicios.

Como se puede observar en el mapa adjunto de la Zona 1, los -- indicios en la zona de Calatayud aunque no siguen una regla definida parecen localizarse no exactamente en el centro de las facies evaporíticas, sino en las zonas marginales de estas facies centrales cercanas a los cambios laterales a facies más detríticas o calcáreas.

Así ocurre por ejemplo en los indicios de las áreas de Terrer, Calatayud y Velilla del Jiloca, los cuales pasamos a describir a continuación.

En las cercanías de Terrer (ver mapa de la Zona 1) existe un indicio bastante importante que se localiza justo en el punto en el cual comienzan a desaparecer lateralmente las facies yesíferas, apareciendo las facies arcillosas. Así podemos ver en la columna

de la figura 4.9. realizada en dicho punto, cómo en el muro aparecen unos tramos de arcillas rojas los cuales aumentan de potencia



(Fig. 4.9.).- Columna estratigráfica (cercañas de Terrer).

a medida que se aleja uno del centro de la cuenca. Según se sube

en la columna se observa cómo las facies van siendo más yesíferas cada vez. Hacia el norte se pueden por encima ver las calizas del Ponticense (Foto n°11) que, como se ha dicho ya, suponen el final - del endorreísmo en la cuenca. La disposición de las capas es horizontal.

Se aprecian fundamentalmente tres bancos cubiertos de alteraciones de sales. La muestra n°85 tomada en el banco superior de 4 m. de estas alteraciones ha resultado estar constituida fundamentalmente por epsomita (ver anexo) con un contenido del 41,55% de So_4Mg ; y la muestra n°82 tomada del siguiente banco de 2 m. presenta un 15,07% de So_4Mg y está constituida principalmente por yeso, seguido de leonardita y hexahidrita (sulfatos magnésicos hidratados, al igual que la epsomita). El hecho de que las muestras sean de epsomita no indica que no pueda haber también sulfato sódico pues, como ya se ha mencionado, ambos pueden encontrarse en el mismo depósito, e incluso en algún yacimiento se explotan conjuntamente. La continuidad de estas capas es de unos centenares de metros como puede verse en la foto n°10 .

Próximo a este indicio, casi en el mismo pueblo de Terrer, - existe otro (foto n°13) que es prácticamente continuación del anterior, en donde se aprecian cuatro tramos de 1-2 m. de arcillas abigarradas cubiertas por alteraciones de sales. La muestra n°55 tomada en estas eflorescencias está formada principalmente por epsomita, con un 42,06% de So_4Mg . Los yesos son en su mayoría especulares de tonos grises. Se aprecia una corrida de unos 200 m.

Siguiendo los escarpes que dan las facies yesíferas de Terrer a Calatayud, se aprecia cómo las eflorescencias de sales van siendo cada vez más discontinuas, las arcillas se presentan en mucha menor proporción y comienzan a aparecer niveles de yeso nodular -

sacaróideo.

Pasado Calatayud a partir del Km. 2 de la carretera Calatayud-Soria existe un indicio también interesante (foto nº15) en donde vuelven a aparecer paquetes de arcillas abigarradas. En niveles de yesos cristalinos y sales que alternan finamente con arcillas ha sido tomada la muestra nº64 (foto nº52) que estudiada al microscópio presenta como mineral principal la glauberita que alterna con finos niveles de minerales arcillosos.

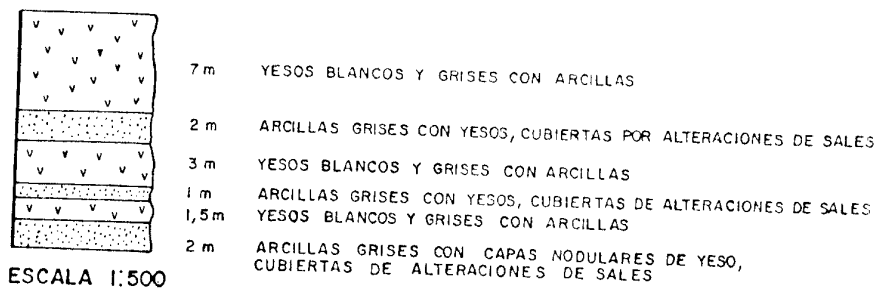
En el mismo área siguiendo la carretera antigua de Calatayud a Soria (foto nº16) se observa una presencia discontinua de sales. Se aprecian 3 capas más o menos definidas cubiertas por alteraciones de sales. La muestra nº61 tomada en estas eflorescencias está constituida por yeso y en menor proporción por epsomita. En los tramos yesíferos alternan yesos de varios tipos como son los nodulares sacaróideos, especulares, etc. interstratificados con niveles de 1-2 cm. de arcilla.

Hacia el norte de Calatayud donde están tomadas las muestras nºs. 19 y 20 existen dos pequeños indicios (foto nº17). En el punto de la muestra nº19 se observan tres capas (fig.4.10) de arcillas y yesos horizontales cubiertos de eflorescencias de sales. Los tramos de yesos tienen pequeñas intercalaciones de arcillas de 20-30 cm. de potencia, son de tonos grises y pasan lateralmente a yesos blancos sacaróideos. La corrida de las eflorescencias es de unos 60-70 m. En el punto de la muestra 20 aparecen también dos o tres bancos cubiertos de eflorescencias que alternan con yesos cristalinos y sacaróideos con menor proporción de arcillas que en el caso anterior.

Se ha podido ver cómo en este área de Calatayud se cumple co

mo en Terrer que los indicios más ricos en sales están en las proximidades del cambio lateral a facies arcillosas.

Otras áreas dentro de esta Zona 1, que también presenta buenos indicios, aunque quizá no tan llamativos como los de las dos anteriores, es el área comprendida entre Maluenda y Velilla del Jiloca. Yendo de las facies centrales hacia las marginales, en los alrededores de Maluenda (foto n°18) comienzan a aparecer indicios de sales. Las eflorescencias se encuentran fundamentalmente cubriendo niveles de arcillas de 0,5 m. Los yesos aparecen en forma de interstratificaciones de yeso especular, yeso nodular sacaroideo de 1 cm. y niveles de yeso fibroso. En dos puntos se han observado corridas



(Fig. 4.10.).- Columna en el punto de la muestra n°19.

de los afloramientos de unos 50 m.

A medida que se acerca uno a facies menos centrales las eflorescencias presentan más continuidad y son más abundantes. Hacia Morata del Jiloca los niveles arcillosos van siendo más potentes y lateralmente pasan a arcillas rojizas, lo mismo que ocurría en Terrer o Calatayud. En el indicio donde está cogida la muestra n° 21 se puede ver una fina alternancia de yesos blancos sacaroideos,

grises cristalinos, fibrosos y sales. No hay mucha arcilla. En la lámina delgada de la muestra se puede observar cómo cristales de glauberita están siendo yesificados.

La muestra nº96 no es de SO_4Na_2 sino de SO_4Mg , con un contenido del 42,54%, siendo el mineral principal la epsomita.

En el área de Sediles cerca también del cambio de facies a arcillas margosas y calizas, se ha observado asimismo presencia de sales pero solo de forma puntual.

En el área de Munébrega no se han observado indicios de sales. En esta zona el paso lateral es a arcillas y areniscas.

4.2.2.- Zona 2. Rioja.

4.2.2.1.- Geología de la zona.

La Zona 2 se encuentra encuadrada plenamente dentro de la depresión del Ebro. La evolución paleogeográfica de esta depresión está íntimamente ligada a la orogénesis alpina y a la subsidencia diferencial, siendo los depósitos de la misma sinorogénicos a los movimientos alpinos. En síntesis la evolución de la cuenca habría sido la siguiente.

Durante el Oligoceno existe un predominio de facies lacustres evaporíticas de centro de cubeta, como lo demuestran los depósitos de yeso (T_3 en el Mapa de Indicios) que afloran en el anticlinal de Falces. Sin embargo al finalizar este período se produce una serie de aportes detríticos (arcillas y areniscas sobre todo) que podrían ser debidos a la influencia de débiles corrientes fluviales dentro del ambiente sedimentario lacustre.

Después de la primera fase de la orogenia alpina y durante parte del Aquitaniense (Mioceno Inferior), el valle del Ebro constituía una gran fosa tectónica en cuyo centro se fueron depositando importantes espesores de yesos fundamentalmente, en un régimen salino lacustre (T_4). Periódicamente esta sedimentación evaporítica se iba interrumpiendo para dar paso a avenidas intermitentes de procedencia sur. Al tiempo que se depositaban los yesos en el centro, hacia los márgenes se depositaban calizas, arcillas, areniscas y conglomerados.

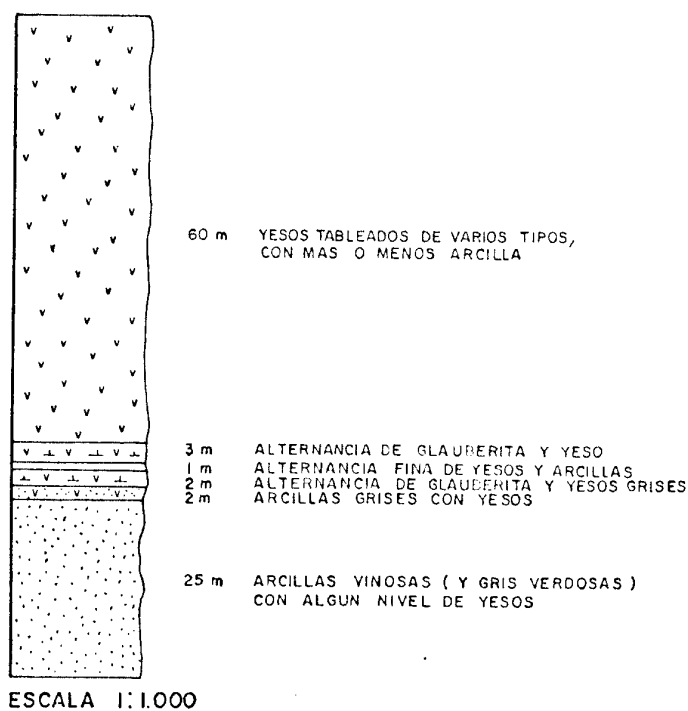
En el Aquitaniense y resto del Mioceno tiene lugar una serie de movimientos continuos de origen halocinético, que dan como resultado la formación de sinclinales actuando éstos como importantes áreas de sedimentación. A medida que se originaba el levantamiento diapírico tenía lugar una sedimentación arcillosa y calcárea que lateralmente pasaba a facies, ya de clara influencia fluvial, de arcillas y areniscas.

Los indicios más significativos han sido encontrados en la facies yesífera del Chatiense - Aquitaniense (T_4) o formación Lerín. Litológicamente está constituida por una serie de tramos yesíferos que alternan con niveles arcillosos. Los yesos forman secuencias consistentes en una alternancia fina y rítmica de capas bien estratificadas, de 10 a 15 mm., de yesos terrosos, yesos fibrosos y arcillas, de tonalidades pardo-amarillentas y grises. Intercalándose en esta secuencia rítmica aparecen niveles yesíferos, bien definidos, de 10 a 40 cm. de potencia, con yesos de color blanco, sacaroideos y disyunción en bolos. Así pues en estas facies yesíferas es donde esporádicamente se localizan los niveles de sales sódicas. Los tramos arcillosos de estas facies presentan colores grises, pardo-amarillentos y rojizos, y llevan intercaladas capas de 10 a 30 cm. de areniscas, calizas arcillosas o

yesos.

4.2.2.2.- Localización de indicios.

Así como en la Zona 1 se podía decir en líneas generales que los indicios se localizaban preferentemente cerca del cambio lateral de las facies centrales a facies más marginales, en esta Zona 2 no ocurre igual, quizá por el hecho de que, como ya se ha expli



(Fig. 4.11.).- Columna junto a la Ermita de Aradón.

cado, los movimientos diapíricos variaban notablemente el fondo - de la cuenca.

Frente a la antigua estación de Mendavia, junto a la Ermita de Aradón (ver Mapa de Indicios), se encuentra un indicio de sa--



Fotos n^os. 8 y 9. Indicio junto a la Ermita de Aradón.

les sódicas que fué antiguamente explotado (fotos n°s. 8 y 9).

En el frente, de muro a techo, se puede ver la siguiente se
cuencia (fig. 4.11.):

En la base afloran unos 25 m. de arcillas en conjunto de co
lor vinoso, aunque se observan niveles grisáceos y verdosos. Lle-
van finas intercalaciones (20-30 cm) de niveles de yeso gris funda-
mentalmente, aunque también existen niveles de 2 cm. de yeso fibro-
so transparente.

Sigue un tramo de 2 m. de arcillas grises con mayor propor-
ción de yesos.

A continuación aparece un tramo de color blanco principal-
mente constituido por glauberita, observándose no obstante finos --
niveles (de 2 a 10 cm.) de yeso. En esta capa están tomadas las --
muestras n°s. 124 y 8. Ambas están constituidos por cristales euhe-
drales de glauberita, dando la muestra n°8 un 44,52% de Na_2SO_4 . En
esta capa existen dos antiguas bocas por donde se realizaba la ex-
plotación.

Encima existe una capa de 1 m. con una finísima alternan-
cia (1 cm.) de yesos y arcillas en la que fué tomada la muestra n°
123 detectándose en la misma también glauberita. En la muestra n°
122 tomada más arriba de la 123, se puede ver la presencia de anhi-
drita y magnesita (foto n°53).

Viene otra nueva capa de sales de aspecto general blanco --
aunque tiene intercalaciones de yeso. Se han tomado aquí las mues-
tras n°s. 9, 120 y 121. En las láminas delgadas de los n°s. 9 y --
121 (fotos n°s. 4 y 55) se puede ver como los núcleos de los cris-

tales de glauberita están siendo yesificados. La muestra n°9 ha da do un contenido del 40,33% de Na_2SO_4 . La muestra n°120 fué tomada del polvo de alteración y presenta un contenido en Na_2SO_4 algo inferior (26,16%).

En la parte superior aparecen unos 60 m. de yesos tableados de varios tipos (sacaroido, especular, fibroso, nodular...) que de vez en cuando se intercalan con lechos de arcillas.

Las capas de glauberita se pierden lateralmente de forma -- brusca y tendrán una corrida de unos 100-150 m.

Hacia el E. siguiendo la margen del río vuelven a aparecer dos capas de sal de menor potencia.

En el mismo pueblo de Lodosa existe otro indicio (foto n° 24) en el que se observan los yesos típicos y arcillas cubiertas por alteraciones de sales. Saliendo del pueblo por la carretera a Carcar, se observa un pequeño indicio en el que se ha tomado la --- muestra n°17 en la cual se aprecian cristales de glauberita pasando a yeso (foto n° 57).

También en el pueblo de Carcar y siguiendo el escarpe junto al río Ega, aparecen pequeños afloramientos de sales que van acom-- pañados de una alternancia de yesos especulares, sacaroides, etc.. y arcillas gris-verdosas.

A ambos lados de la carretera Sesma-Allo donde están tomadas las muestras n°s. 117, 118 y 119 (ver Mapa de Indicios) se aprecian en la parte alta de los escarpes que dan las formaciones yesíferas, dos capas, más o menos definidas (fotos n°25 y 26), de arcillas, -- cubiertas de alteraciones de sales con una continuidad de cientos -

de metros. En la base se observan unos 40 m. de arcillas de tonos cremosos, con modelado en cárcavas, en las que se intercalan niveles arcillosos de otros colores, finas capas de yesos y pequeños bancos de 10-20 cm. de calizas silíceas (muestra n° 117). Por encima continúan 15-20 m. de yesos sacaroideos, nodulares y especulares con tramos arcillosos, y siguen otros 20-30 m. de yesos, entre los que se intercalan las dos capas de arcillas de unos 2 m. cada una, cubiertas de alteraciones de sales.

En el mismo pueblo de Lerín donde ha sido definida la formación yesífera, se aprecian impregnaciones de alteraciones de sales que continúan siguiendo el escarpe sobre el valle durante 1 Km. o más (fotos n°s. 27 y 28).

Entre los Arcos y Mendavia en los escarpes de la formación yesífera, a ambos lados del valle del río Odrón, aparecen otros dos indicios de sales. En la base se observan arcillas rojas con niveles de yesos y calizas silíceas, que pasan hacia el techo a las alternancias típicas de yesos sacaroideos, especulares y fibrosos, en donde se localizan tres capas de arcillas y yesos cubiertos por impregnaciones de sales. (Fotos n°s. 29 y 30).

En el pueblo de Azagra y continuando por la carretera a Peralta (muestras n°s. 15, 111 y 112) aparecen indicios no demasiado importantes. Las alteraciones de sales están distribuidas de forma irregular pues las arcillas son menos importantes en esta zona. En algunos puntos afloran debajo de terrazas colgadas (Fotos n°s. 31 y 32).

En Peralta hay un indicio interesante (foto n° 33). Las capas presentan un fuerte buzamiento y yendo hacia el núcleo del anticlinal se pueden ver los típicos yesos rítmicos con arcillas, mostrando cinco paquetes blancos (debido a las alteraciones de sales)

de 2-3 m. cada uno; continúan tramos más arcillosos con algún nivel de yesos; vuelven a aparecer otras cuatro capas de sales, algo replegadas; y continúan apareciendo eflorescencias de sales esporádicamente, como en los puntos de las muestras n°s. 108 y 109. En Falces, en el otro flanco del anticlinal existen otros dos tramos blancos de 2-3 m. cada uno de yesos y sales con pocas arcillas y 30-40 m. de corrida.

En la facies T₃ (ver Mapa de Indicios), que también es yesífera, aunque en menor proporción, se ha tomado la muestra n°110 en un pequeño afloramiento, que como demuestra el estudio microscópico contiene glauberita.

En las proximidades del pueblo de Arguedas, aparecen escarpes, de 60-80 m. de altura, con yesos muy compactos, cristalinos, -tableados, con poca arcilla, que muestran eflorescencias irregularmente distribuidas de muro a techo, donde se han tomado las muestras n°s. 103, 104 y 105.

Por último al lado de Caparroso se puede ver una capa con eflorescencias de sales de unos cientos de metros de corrida.

4.2.3.- Zona 3. Burgos.

4.2.3.1.- *Geología de la zona.*

La zona 3, está encuadrada en la Cuenca Terciaria de la Bureba que a su vez pertenece a la depresión del Ebro.

En conjunto se trata de una cubeta muy subsidente rellena por sedimentos continentales del Oligoceno-Mioceno. Las capas se disponen subhorizontalmente aumentando la inclinación de las mismas de modo progresivo hacia los bordes de los relieves mesozoicos. Los

depósitos de conglomerados corresponden a abanicos aluviales y los de areniscas y arcillas tienen un marcado carácter fluvial. Las calizas y margas representan facies lacustres así como los yesos que representan la facies central de la cuenca evaporítica.

En esta facies yesífera o Facies Cerezo es donde se localizan los indicios de sales sódicas. Está constituida por yeso predominante en bancos de espesores muy variables (desde milímetros a medio metro) que alternan con margas grises, frecuentemente yesíferas. Lateralmente pasan a facies margosas y arenosas. La potencia máxima se estima en 250 m.

4.2.3.2.- Localización de indicios.

Los indicios encontrados en esta Zona 2, son mucho menos llamativos que los encontrados en las zonas anteriores, viéndose únicamente pequeñas eflorescencias en laderas o escarpes; quizá suceda así porque estas series yesíferas tienen muchos menos tramos arcillosos que las de las zonas ya descritas.

El punto más interesante en cuanto a presencia de sales sódicas en esta zona es, lógicamente, la mina de Cerezo de Riotirón, de la cual se ha tratado con anterioridad.

En el mismo escarpe donde se encuentra situada la mina, se ha realizado un corte bajando en la serie, en dirección a Fresno de Riotirón, tomándose algunas muestras. En algún punto se observa alguna pequeña eflorescencia, pero aparentemente las capas de sal de la mina se han perdido lateralmente. Las muestras tampoco han dado resultados positivos. Hacia el techo se pueden ver dos tramos de 6-7 m. de yesos sacaroideos, blancos, masivos, que alternan con otros tipos de yeso. Bajando hacia el muro la proporción de arcillas

va aumentando y los yesos adquieren un carácter tableado.

Al otro lado del valle del río Bañuelos cerca del pueblo de Cerezo se pueden ver algunas eflorescencias de sales distribuidas irregularmente en la serie yesífera. A un lado y a otro del valle hasta llegar a Quintanilla San García.

Saliendo del valle del río Bañuelos por el valle de su afluente hacia Quintanalaranco se observan manchas de eflorescencias de sales por toda la ladera. Los yesos tienen las características habituales, quizá con una proporción de arenas algo superior.

En las proximidades de Quintanilla San García, las series yesíferas se hacen más masivas, su proporción de arcillas o margas es muy baja, siendo los yesos predominantes de tipo nodular, con tonos blanco y beig. En estos yesos se pueden ver pequeñas manchas de eflorescencias salinas distribuidas de forma irregular.

Como se puede comprobar los indicios están situados al borde de los valles cuaternarios, esto es simplemente debido a que es precisamente en las laderas donde mejor se observan, pues las zonas intermedias suelen ser casi siempre horizontales y cubiertas con cultivos.

Así pues, en otro valle, esta vez el del río Arto, en las proximidades de Valluércanes se localizan una serie de pequeños indicios. Aquí las arcillas se presentan en proporción algo superior, pues son facies menos centrales. Los yesos son de tonos crema y pardo, con niveles de yeso fibroso blanco de 1 cm. y de vez en cuando con niveles de 20 cm. de yesos sacaroideos, que alternan con arcillas verdosas (foto nº 42).

Hacia San Millán de Yécora comienzan a aparecer las margas - y arenas de la facies Altable, siendo el paso de la facies Cerezo a ésta un paso gradual, y así se encuentran muy pequeños indicios en la facies Altable, que demuestran la presencia de sales (foto nº43).

Donde está tomada la muestra nº141 casi también al borde del cambio de facies, se pueden ver en la base tramos de arcillas grises que van pasando hacia el techo a yesos fibrosos y sacaroideos, con pequeñas eflorescencias de sales.

Al lado de Briviesca, junto a la autopista hay un corte muy similar al descrito (foto nº 45) que muestra también pequeñas manchas de alteraciones de sales.

Enfrente del pueblo de Tosantos se encuentran los yesos con algún nivel finísimo de arcilla blanca. Se observan dos o tres tramos de sales intercalados con los yesos. La lámina delgada de la muestra nº152 atestigua la presencia de glauberita.

Por último en el área de Santa Maria de Invierno se localiza también algún pequeño indicio, así como en las proximidades de Belorado.

4.2.4.- Zona 4. Toledo

4.2.4.1.- Geología de la zona.

El área de la Zona 4 está encuadrada en la unidad de la Fosa del Tajo. Durante el Mioceno, el esquema sedimentario corresponde - al de una cuenca endorreica bajo clima árido con potentes series de tríticas de borde, seguidas de facies intermedias detrítico-calizo-evaporíticas, con minerales de neoformación y facies centrales evaporí

ticas. Este modelo corresponde al de depósitos tipo "playa" ya descrito en el capítulo 2.

Un importante cambio en el nivel de energía del medio, con la posible existencia de un nivel erosivo y comienzo de un nuevo ciclo sedimentario, provoca el avance de las series intermedias sobre las evaporíticas a partir del Vindoboniense Inferior.

Los depósitos de sales sódicas se localizan en las facies -- evaporíticas centrales (T_2 en el Mapa de Indicios). Estas facies es tán constituidas por una sucesión monótona de yesos masivos grises y yesos especulares, con delgadas intercalaciones de margas yesíferas gris-verdosas. Hacia el sur junto al valle del Tajo son más --- abundantes los cambios laterales de facies, apareciendo grandes masas de yesos sacaroideos blancos, en nódulos arrosariados, dentro - de margas grises. En estas facies además de las sales sódicas se -- han encontrado otro tipo de sales como la polihalita y la halita.

Este tramo, muy resistente a la erosión, puede estar even--- tualmente karstificado, provocando hundimientos y dando lugar a manantiales salinos, que en ocasiones han sido utilizados para la explotación de sal.

4.2.4.1.- Localización de indicios.

Los indicios más importantes de esta Zona 4 se sitúan a lo - largo de los escarpes de la margen sur del río Tajo.

Cercanos a Villamanrique de Tajo (ver Mapa de la Zona 4) se pueden encontrar algunos indicios de interés (foto n° 46).

Todos presentan el mismo esquema de alternancia de yesos especulares grises y yesos nodulares blancos. Los escarpes tienen 60-70 m. de potencia, estando situadas las capas de sal fundamentalmente en los quince primeros metros del muro de la serie; la corrida - en cada indicio suele ser de 20-30 m. El estudio microscópico de -- las muestras n°s. 32, 35 y 36 ha detectado la presencia de glauberita en las muestras. La muestra n°32 es una roca groseramente bandea

da, formada por bandas de glauberita, yeso y minerales arcillosos; en muchos puntos de la preparación se aprecia cómo la glauberita está siendo sustituida por el yeso, viéndose cristales pseudomorfos de yeso según glauberita. En las muestras n°s. 35 y 36, ha tenido lugar un proceso similar y prácticamente no quedan ya cristales de glauberita.

Siguiendo el curso del río nos encontramos con otro indicio (foto n°47) de características similares a los anteriores, con un predominio importante hacia la base de yesos blancos sacaroides.

Más adelante se encuentra ubicada la mina "El Castellar" --- sobre la que ya se ha hablado en el apartado 4.1.1.

En las inmediaciones de Oreja de Soto, también en la margen sur del Tajo, se localizan otros cuatro indicios próximos entre sí. En los puntos donde están tomadas las muestras n°s. 37 y 38, 39 y 40 se aprecia una serie de yesos grises y pardos masivos, interrumpida por tres bancos de yesos nodulares blancos intercalados con sales. La muestra n°37 presenta como las muestras anteriores una yesificación de los cristales de glauberita, no quedando casi cristales del mineral original. En la muestra n°38 ya no quedan restos de glauberita. En ambas muestras los minerales arcillosos se disponen a modo de matriz.

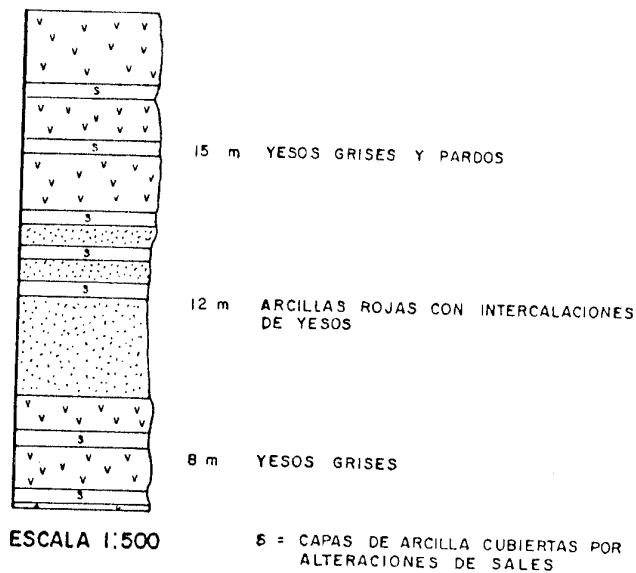
En el indicio siguiente están tomadas las muestras n°s. 41 y 42, presentando la misma secuencia con pequeños tramos arcillosos - (foto n°48).

En otro indicio cercano a los anteriores se puede observar - la sucesión de capas que esquemáticamente muestra la figura n°4.12.

Las muestras n°s. 43 y 44, han sido tomadas en los tramos de la base, pero no se ha observado en ellas presencia de glauberita.

También se puede ver algún otro indicio, ya más cerca de --- Aranjuez.

En el área del valle del río Tajuña entre Carabaña y Perales de Tajuña se localizan también algunos puntos con presencia de sales. En los indicios próximos a Carabaña (foto n° 50), los yesos son fundamentalmente grises especulares, siendo mucho menos abun--



(Fig. 4.12.)- Columna realizada en las proximidades de Soto de Oreja (muestras 43 y 44).

dantes los yesos sacaroides como se veía en los indicios del valle del Tajo. Hay dos tramos mal definidos con sales, una a media ladera y otra hacia la base. En las muestras n°s. 49 y 50 (foto n° 59) se contempla al microscópio la presencia de cristales anhedrales de glauberita, acompañada de yeso y minerales arcillosos en pequeña -

proporción.

En los escarpes del valle del río Jarama se encuentran varios indicios (uno de ellos, la antigua mina "Consuelo") en los que predominan los yesos grises especulares, apareciendo hacia la base niveles de yesos nodulares blancos que alternan con las capas de sales (foto n°51).

También junto al valle del río Jarama aparecen otros puntos de interés (ver Mapa de Indicios) como son los próximos a Puente de Arganda, San Fernando de Henares y Mejorada del Campo, habiéndose explotado antiguamente sales sódicas en los dos últimos puntos.

Otra antigua explotación es la mina "Vicente" situada en el término de Ciempozuelos.

También es de destacar la presencia de manantiales salinos, que en algunos puntos son explotados. Se pueden citar los de Carabaña, Loeches, Laguna de Espartinas (Aranjuez), Valdilecha y Belmonta del Tajo.

A título de ejemplo se presenta a continuación la composición media de las aguas mineromedicinales de Carabaña (PEREZ REGODON J., 1.970).

Sulfato sódico	112,33 a 107,00 g/l.
Sulfato cálcico	1,64 a 0,90 "
Sulfato magnésico	2,06 a 1,11 "
Cloruro sódico	1,60 a 2,45 "
Cloruro magnésico	0,48 a 1,28 "
Fosfato sódico	0,00 a 0,20 "

GARCIA DEL CURA, M.A. (1.977) estudia las muestras de sondeos realizados en las proximidades de Colmenar de Oreja que cortan tramos salinos, entre ellos de sales sódicas, y hace un ensayo de columna litoestratigráfica de la zona central de la cuenca del Tajo.

4.2.5.- Otras Zonas.

Fuera de las anteriores zonas, existen en España otros puntos en los cuales ha sido citada la presencia de sales sódicas, especialmente en lagunas actuales.

Así por ejemplo, se ha encontrado glauberita en el muro de la serie evaporítica en el área de Remolinos (Zaragoza) (MANDADO, J. y TEBA, J., 1.980).

Asimismo se han localizado depósitos actuales de sulfato sódico en la laguna de Pétrola (Albacete) (ORDOÑEZ, S. et al, 1.973). En la laguna existen dos ambientes de formación, el de la laguna - propiamente dicho y otro, un sector artificialmente confinado dentro de la misma. En el primero durante el verano se desarrolla una película salina de yeso, dolomita y calcita magnesiana; en el segundo durante el verano se depositan leonhardita, halita, yeso y bloedita, mientras que en el invierno se precipita thenardita, bloedita, yeso y halita. También se han localizado eflorescencias de mirabilita en las zonas actualmente emergidas.

En las playas de la laguna de Tirez (Toledo) se han recogido limos con thenardita y bloedita (BUSTILLO, M.A. et al, 1.978). En invierno se han recogido en el fondo de las aguas cristalinas muy desarrollados de thenardita, con impurezas de bloedita, halita y yeso.

En las aguas de la laguna de Mediana (Zaragoza) se ha podido encontrar la presencia de glauberita en las aguas (RIOS, J.M., -- 1.963). Asimismo hay una serie de lagunas cuyo contenido en SO_4Na_2 es importante, aunque permanece inferior al de SO_4Mg . Estas lagunas son: laguna de La Higuera (Albacete), lagunas de Alcazar de San -- Juan (Ciudad Real), laguna de Villafranca de los Caballeros (Toledo), laguna de Quero (Toledo) (RIOS, J.M., 1.963).

Por último algunos sondeos realizados en la región central -- han detectado la presencia de glauberita a una profundidad entre -- 40 y 100 m. Así se ha encontrado glauberita en sondeos próximos a Cogolludo, Jadraque, Fuentidueña del Tajo, Estremera, Borox, Valdemoro, Titulcia y Vaciamadrid (I. G. M. E., 1.968).

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las cuatro zonas estudiadas son potencialmente interesantes para proseguir el estudio en busca de yacimientos económicamente rentables de sulfato sódico.

Los indicios encontrados en las cuatro zonas presentan algunas características comunes a todas ellas.

Son zonas en las que durante el Terciario se instalaron cuencas de origen tectónico (fosas) con un clima árido y régimen endorreico, que provocaron la acumulación de potentes series evaporíticas. La edad de las series es oligocena o miocena. Estas series están constituidas fundamentalmente por yesos que alternan esporádicamente con sales. Así pues las sales sódicas son encontradas siempre en estas facies yesíferas y a menudo pueden ir acompañadas de otras sales, como las sulfatado magnésicas o las cloruradas.

Los depósitos presentan en casi todos los indicios una disposición horizontal, a excepción de algunos de la zona de Rioja en los que las capas están buzando debido a plegamientos de origen diapírico.

Las capas tienen muy escasa continuidad lateral, teniendo en la mayoría de los casos una corrida inferior a 200 m.

Los minerales de sulfato sódico son solubles y por tanto cuando están expuestos a la meteorización son lavados o alterados a otras especies minerales más estables. Así es difícil encontrar en los indicios muestras en las que se conserve el mineral original, cosa que no sucede así cuando las muestras están tomadas de sondeos. Cuando las sales sódicas son hidratadas por alteración, dan lugar a unas eflorescencias blanquecinas que sirven como guía de prospec-

ción.

En algunos indicios de sales sódicas se ha observado la presencia de otras sales como son la epsomita, polihalita o halita. -- Desde el punto de vista económico es un dato interesante, pues estas sales podrían ser explotadas como subproducto de las sódicas. -- Especialmente en la Zona 1 se han encontrado indicios con gran proporción de epsomita.

Sería interesante realizar un estudio más detallado de cada una de las zonas tratadas en este trabajo.

El transporte del mineral a los centros de consumo en la comercialización del sulfato sódico es un punto importante, pues como es un producto barato en valor absoluto, el transporte puede incidir decisivamente en el precio final. Los indicios situados en las cuatro zonas tratadas presentan unas condiciones óptimas para el transporte del mineral. Todos están situados a escasos kilómetros de una carretera nacional o del ferrocarril y en el caso de las Zonas 2,3 y 4 de autopistas; en la Zona 2 las autopistas Bilbao - Logroño - Zaragoza - Barcelona y Zaragoza - Pamplona, en la Zona 3 la autopista Burgos - San Sebastián y en la Zona 4 la autopista Ocaña - Madrid.

A continuación se citan las áreas más importantes dentro de cada zona.

Zona 1.

Los indicios más destacados son los situados en las proximidades de Calatayud, Terrer y Maluenda, todos ellos con la presencia destacada de epsomita (Mapa de Indicios y Muestras, Zona 1).

Zona 2.

Los indicios más significativos están localizados en las proximidades de los siguientes pueblos: Mendavía, Lerín, Peralta, Falces, Los Arcos, Sesma y Arguedas (Mapa de Indicios y Muestras, Zona 2).

Zona 3.

Las áreas más interesantes de la zona son, la que va de las proximidades de Cerezo de Río Tirón a Quintanalaranco y la situada en el pueblo y cercanías de Tosantos (Mapa de Indicios y Muestras, Zona 3).

Zona 4.

Las áreas más destacadas de la zona son las siguientes: Margen sur del río Tajo, entre Villamanrique de Tajo y Aranjuez; Escarpe del río Jarama, entre San Martín de la Vega y Titulcia y Escarpe del río Tajuña, entre Perales de Tajuña y Carabaña. (Mapa de Indicios y Muestras, Zona 4).

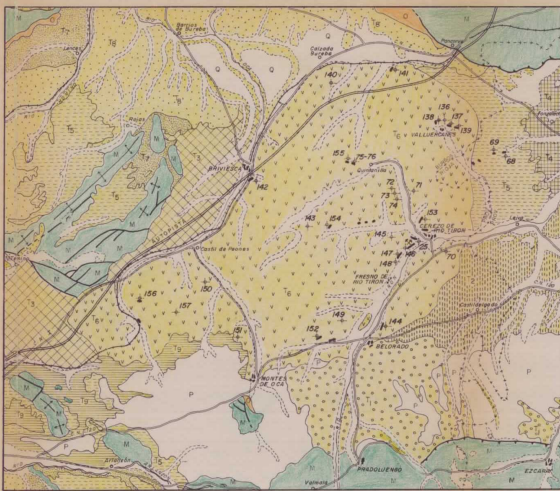
6.- BIBLIOGRAFIA.

- AMERICAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGICAL AND PETROLEUM ENGINEERS, INC. (1.975).- *Industrial Minerals and Rocks*. Nueva York.
- BRAITSCH, O. (1.971).- *Salt deposits*. Springer - Verlag.
- BUSTILLO, M.A.; GARCIA, M.A.; MARFIL, R.; ORDOÑEZ, S. y DE LA PEÑA, J.A. (1.978).- Estudio sedimentológico de algunas lagunas de la región manchega, -- sector Lillo - Villacañas - Quero (Provincia de Toledo). *Est. Geol. Vol. 34. pp. 187-191.*
- EUGSTER, H.P.; HARDIE, L.A. (1.975).- Sedimentation in an Ancient Playa - Lake Complex: The Wilkins Peak Member of the Green River Formation of Wyoming. *Geol. Soc. Am. Bull., 86/3. pp. 319-334.*
- EUGSTER, H.P.; HARDIE, L.A. (1.978).- Saline Lakes. En: *Lakes, chemistry, Geology, Physics*. A. Lerman ed. pp. 237-293. Springer Verlag.
- EUGSTER, H.P.; JONES, B.F. (1.979).- Behavior of major solutes during closed basin brine evolution. *Am. Jour. Sc. 276/6. pp. 609-631.*
- GARCIA DEL CURA, M.A. (1.977).- Las sales sódicas, calcosódicas y magnésicas de la cuenca del Tajo. *Fundación Juan March.*

- GREENSMITH, J.T. (1.971).- *Petrology of Sedimentary Rocks*.
Thomas Murby and Co. London.
- HARDIE, L.A. (1.968).- The origin of the recent non-marine evaporite deposit of Saline Valley, Inyo County, California.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 32, pp. 1.279-1.302.
- HARDIE, L.A.; SMOOT, J.P.; EUGSTER, H.P. (1.978).- Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. En: *Modern and Ancient lake Sediments*. Matter and Tucker eds. I.A.S. Sp. Publ., 2. p p. 7-41.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Mapa Geológico de España.
Escala 1:200.000. Hojas n°s. 20 (Burgos), 21 (Logroño), 22 (Tudela), 31 (Soria), 32 (Zaragoza), 40 (Daroca), 45 (Madrid), 46 (Cuenca-Guadalajara), 53 (Toledo) y 54 (Campo de --- Criptana).
Escala 1:50.000. Hojas n°s. 168 (Briviesca), 169 (Casalarreina), 204 (Logroño), 205 (Lodosa), 243 (Calahorra), 582 (Getafe), 583 (Arganda), 606 (Chinchón) y 607 (Tarancón).
- Plan nacional de investigación de yesos, zona centro (1.968).
- Estudio básico del sulfato sódico, yacimientos, métodos de explotación y panorama económico del sector (1.980).

- MANDADO, J. y TENA, J. (1.980).- Petrogénesis y geoquímica de las evaporitas y rocas asociadas del área de Remolinos (Zaragoza).
26, Congreso Internacional de Geología Paris 1.980.
- ORDOÑEZ, S.; GARCIA DEL CURA, M.A. y MARFIL, R. (1.973).- Sedimentación actual: la laguna de Pétrola (Albacete).
Est. Geol. Vol. 29, pp. 367-377.
- ORTI, F. y PUEYO, J.J. (1.977).- Asociación halita bandeada - anhidrita nodular del yacimiento de Remolinos, Zaragoza (sector central de la Cuenca del Ebro). Nota petrogenética.
Inst. Inv. Geol. Díp. Prov., 32. pp. - 167-202.
- ORTI CABO, F., PUEYO MUR, J.J. y SAN MIGUEL ARRIBAS, A. (1.979).- Petrogénesis del yacimiento de sales sódicas de Villarrubia de Santiago, Toledo (Terciario continental de la Cuenca del Tajo).
Bol. Geol. y Min. T. 90-4. pp. 347-373.
- PEREZ REGODON, J. (1.970).- Guía geológica, hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid. *Memoria del Instituto Geológico y Minero de España. T 76.*
- PUEYO, J. (1.980).- La precipitación evaporítica actual en las lagunas saladas del área: Burjaraloz, Sástago, Caspe, Alcañiz y Calanda (provs. de Zaragoza y Teruel).
Publ. esp. Díp. Prov. Huesca.

- RIOS, J.M. (1.963).- Materiales salinos del suelo español.
Memoria 64. Instituto Geológico y Minero de España.
- SAN MIGUEL, A.; y MONTOTO, M. (1.971).- Mineralogía y Petrogéne-
sis de los yacimientos salinos de Villarrubia de Santiago (Toledo).
*I Congreso His. Luso Amer. de Geol. --
Econo. Sec. 4. pp. 315-316.*



ESCALA 1:200.000

LEYENDA

TERCIARIO	NEÓGENO	PLIOCENO	P
		PLISTOCENO	P
		QUATERNARIO	Q
	MIOCENO	PONTIENSE	T ₄
		VINOBOVENSE	T ₃
	PALCOLENO	BURGALÉNENSE	T ₂
AQUITANENSE		T ₁	
MESOZOICO	CRETÁCICO	C	
	TRIÁSICO	M	

- T₄ Arcillas
- T₄ Arcillas arenosas
- T₄ Arcillas con puddingas y areniscas
- T₃ Yesos grises con niveles de margas F. Cerezo
- T₃ Margas grises y arenas. F. Altabie
- T₂ Areniscas y margas
- T₂ Calizas y margas blancas y grises
- T₂ Areniscas y arcillas azules y grises. F. de Transición
- T₁ Conglomerados
- C Conglomerados, arcillas, margas y areniscas

SIMBOLOGIA

- INDICIO DE SULFATO SÓDICO
- + N° DE MUESTRA
- ✕ MINA ACTIVA DE SULFATO SÓDICO

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS YACIMIENTOS E INDICIOS DE SULFATO SÓDICO NATURAL EN ESPAÑA

ZONA 3 - BURGOS

MAPA DE INDICIOS Y MUESTRAS



LEYENDA

TERCIARIO	CUATERNARIO			G
	NEOLITICO	POSTIENSE	[Pattern]	
	MUJERENSE	INDO-EURASIO		
	MURCIELLENO	ADULTIENSE		
MESOZOICO	M			

- T₂ Calizas y margas
- T₃ Arcillas, margas, calizas, areniscas y yesos
- T₄ Areniscas y margas
- T₅ Conglomerados
- T₆ Conglomerados y brechas
- T₇ Areniscas, margas, yesos y margas
- T₈ Yesos, margas y limas yesíferas

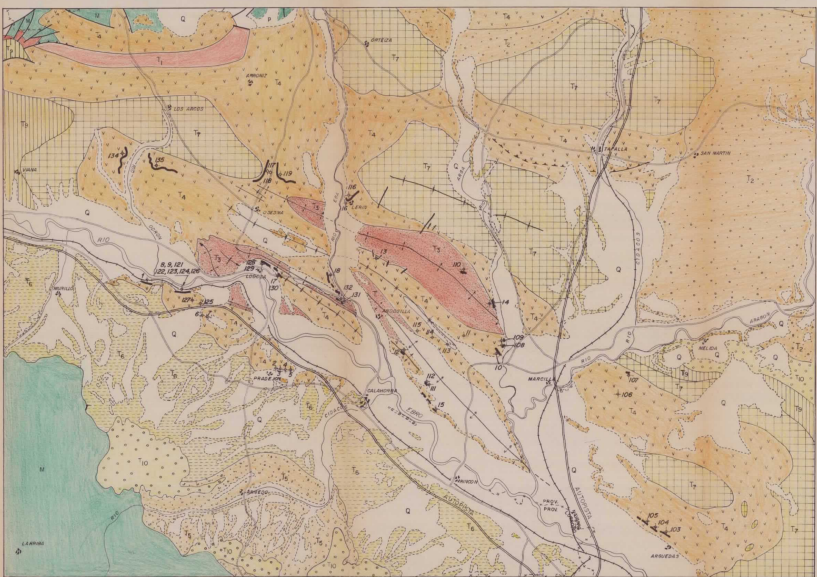
SIMBOLOGIA

- INDICIOS DE SULFATO SODICO
- + Nº DE MUESTRA

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS YACIMIENTOS, E INDICIOS DE SULFATO SODICO NATURAL EN ESPAÑA

ZONA 1 - CALATAYUD

MAPA DE INDICIOS Y MUESTRAS



L E Y E N D A

		CUATERNARIO	
		Q	F
TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO	
	MIOCENO	BARCELONÉS	
	OLIGOCENO	VALLENERO	
	PALEOCENO	ARAGONÉS	
	CRETÁCICO	CHATEAUFORT	
	TRIÁSICO	STAMPEDER	
MESOZOICO	JURÁSICO	VALLENERO	
	CRETÁCICO	CHATEAUFORT	
	TRIÁSICO	STAMPEDER	

- T₀ Conglomerados poco consolidados
- T₁ Conglomerados, margas, arcillas y areniscos
- T₂ Arcillas y limas rojas
- T₃ Arcillas con depósitos masas de calizas
- T₄ Arcillas, limas y areniscos rojos
- T₅ Conglomerados, areniscos, limas y arcillas rojas
- T₆ Yesos con arcillas. Niveles de calizas y areniscos
- T₇ Arcillas y yesos con masas de calizas y areniscos
- T₈ Conglomerados, margas y areniscos
- T₉ Areniscos, margas y yesos

SIMBOLOSIA

- INDICIO DE SULFATO SÓDICO
- + Nº DE MUESTRA

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS YACIMIENTOS E INDICIOS DE SULFATO SÓDICO NATURAL EN ESPAÑA

ZONA 2 - RIOJA

MAPA DE INDICIOS Y MUESTRAS

ESCALA 1:200.000