

LA SEDIMENTACION SALINA ACTUAL
EN LAS LAGUNAS DE LA MANCHA:
UNA SINTESIS

POR

JOSÉ ANDRÉS DE LA PEÑA Y RAFAELA MARFIL *

RESUMEN

La Mancha es una región natural de más de 30.000 Km², caracterizada por una topografía extraordinariamente plana y un clima de tipo semiárido (Cuadro I, Fig. 2), en la que existen numerosas lagunas salinas (Fig. 1), la mayoría de las cuales, por su régimen anual, pueden ser consideradas como «playa-lakes» (Fig. 3).

Desde el punto de vista hidroquímico sus salmueras están integradas por: *a*) aniones: SO₄⁼ y Cl⁻, con CO₃⁼ y CO₃H⁻ subordinados, y *b*) cationes: Mg²⁺ y Na⁺, con Ca²⁺ y K⁺ subordinados (Cuadros II y III, Fig. 4). La alta concentración de dichas lagunas condiciona una importante sedimentación salina, que llega a producir costras anuales de más de 10 cm de espesor (Figs. 5, 6 y 8) en las que la fase sulfatada, integrada por una mineralogía muy variada, es la principalmente representada. Los minerales identificados son: *a*) cloruros: halita; *b*) sulfatos: epsomita, hexahidrita, thenardita, mirabilita, bloedita, glauberita, polihalita, kieserita, loeweita, vanthoffita y yeso; *c*) carbonatos: calcita y dolomita (muy escasas).

El grado de cristalinidad y tamaño de dichos minerales es muy variable, llegando a ser muy grandes (varios centímetros) y perfectamente euhedrales (Figs. 6 y 7). Por ello, cuando ha sido posible, además de mediante difracción de rayos X, se han estudiado en lámina delgada (Fig. 9).

Se han realizado experimentos de crecimiento de cristales en el laboratorio por evaporación y descenso de la temperatura de una sal-

* Departamento de Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040-Madrid.

muestra original, tomada en una laguna en el momento de máxima dilución. Los resultados, tanto en sus aspectos secuenciales como morfológicos, son contrastados con los datos de campo con el objeto de tener una hipótesis explicativa de los mecanismos de crecimiento que dan origen a la costra salina natural (Fig. 10).

Asimismo, se investiga el efecto que las salmueras intersticiales, de naturaleza sulfatada y ricas en Mg^{2+} fundamentalmente, ejercen sobre los minerales arcillosos heredados de los entornos de las lagunas. Se ha comprobado que la mineralogía de arcillas en el área fuente está integrada por illita y un interestratificado regular (14_c-14_m), corrensita, mientras que, en la laguna en la que se ha realizado este estudio, la illita sigue persistiendo, si bien con ciertos cambios (Fig. 11), al tiempo que la corrensita ha perdido parte de sus iones Mg^{2+} para transformarse en una estructura a 14 Å. Además, se ha observado que los minerales de arcilla están mucho más degradados hacia el techo de la secuencia salina.

Finalmente, se describen e interpretan una serie de estructuras primarias o diagenéticas tempranas, en general de carácter efímero: costras salinas, grietas de desecación, crestas de sal, «tepees», estructuras circulares, «ripples», dunas de sal, tapices algales y bioturbación (Figs. 12, 13 y 14).

ABSTRACT

La Mancha is a naturally defined region of more than 30000 km² which is characterized by an extremely flat topography and a semiarid climate (Table I, Fig. 2). In it are several small saline lakes or ponds (Fig. 1). The majority of these can be considered as playa lakes, in view of their seasonal hydrologic regime.

Hydrochemically, the brines of the La Mancha ponds are composed predominantly of the cations magnesium and sodium, and the anions sulfate and chloride (Tables II and III, Fig. 4). The evaporative concentration of these ponds lead to precipitation of annual saline crusts which reach a thickness of more than 10 cm (Fig. 5, 6 and 8) in which sulfate, incorporated in a great variety of minerals, is the principal constituent represented. The identified minerals include halite as the sole chloride, gypsum, the magnesium sulfates epsomite, kieserite, and hexahydrate, the sodium sulfates thenardite and mirabilite, the mixed cation sulfates bloedite, glauberite, polyhalite, loewite, and vanthoffite, plus the carbonates calcite and dolomite (both very scarce).

The degree of crystallinity and size of these minerals is quite variable, sometimes reaching several centimetres in maximum dimen-

sion, with a highly idiomorphic habit (Figs. 6 and 7). Because of this, it has been possible to study the salts in thin section (Fig. 9) as well as by X-ray diffraction.

Growth experiments in the laboratory have been accomplished by evaporation and temperature decrease of an original brine, which was sample during the maximum dilution period of the pond. The sequential and morphological experimental results are compared with the field data, in an attempt to document the growth mechanisms that are involved in the formation of the natural saline crust (Fig. 10).

Likewise, the effect of the magnesium sulfate rich interstitial brines on the detrital clay minerals contributed from the surrounding areas was investigated. We found that illite and the regular mixed-layer chlorite-smectite, corrensite, were the principal components of the clay mineralogy in the source area. In contrast, in the pond where we have done most of our study the illite remains with some changes and the corrensite has lost some magnesium in alteration to an irregular 14 Å structure. Furthermore, we have observed that clay minerals have been significantly degraded at the top of the saline sequence.

Finally, several primary or early diagenetic structures generally having an ephemeral character have been described and interpreted. These include saline crusts, mud cracks, salt ridges, tepees, circular patterns, ripples, salt dunes, algal mats and bioturbation features (Figs. 12, 13 and 14).

I. INTRODUCCION

En trabajos publicados en los últimos años (ORDOÑEZ et al., 1973; BERMEJO, 1974; DE LA PEÑA et al., 1975; MARFIL et al., 1975; SORIANO, 1975; SORIANO et al., 1977; CARENAS, 1977; BUSTILLO et al., 1978; GARCIA PALACIOS et al., 1978; CARENAS y MARFIL, 1979; DE LA PEÑA et al., 1982; CARENAS et al., 1982; ORDOÑEZ et al., 1983) se han puesto de manifiesto diversos aspectos de las evaporitas (sulfatos, cloruros y, en menor proporción, carbonatos) que se generan en numerosas depresiones de la región manchega, relacionadas con masas de agua más o menos efímeras, a favor de las especiales características geomorfológicas y climáticas de la zona.

La complejidad de las paragénesis salinas en cuencas continentales es un hecho general a nivel mundial (BUSSON, 1968; STRAKHOV, 1970; EUGSTER & HARDIE, 1978; HARDIE et al., 1978; PERTHUISOT, 1980...) que se repite en las lagunas manchegas, planteando problemas genéticos que tienen relación con: la composición de las salmueras, la mineralogía de las rocas drenadas, los mecanismos de precipitación, etc. En este trabajo nos proponemos ofrecer una síntesis

de los datos existentes sobre la sedimentación salina actual en las lagunas de La Mancha (Fig. 1).

La conservación de dichas lagunas se encuentra en grave peligro dadas las utilizaciones indiscriminadas que de las mismas se hacen frecuentemente (CIRUJANO, 1980). Las labores agrícolas que tienden a desecarlas y cultivarlas y los vertidos de todo tipo de residuos de los pueblos, que en ocasiones están próximos a ellas, las pueden hacer desaparecer a corto plazo. Por ello debería ser empeño de la comunidad científica la defensa de estos auténticos laboratorios naturales, que por algunas de sus características pueden considerarse ejemplos únicos a nivel mundial.

Los interesados en el tema de la sedimentación salina actual en ambiente continental encontrarán numerosos datos complementarios a los aquí expuestos en los trabajos publicados en relación con las lagunas de Aragón por PUEYO, 1978-79, 1980a, 1980b, y PUEÑO e INGLÉS, 1984.

II. CARACTERISTICAS DE LA REGION MANCHEGA QUE CONDICIONAN LA FORMACION DE EVAPORITAS

Consideramos que el trabajo de PEREZ GONZALEZ (1982) es fundamental como punto de partida para conocer la problemática general de La Mancha por la extensión y profundidad con que aborda cuestiones básicas de esta región que condicionan la génesis en la actualidad de evaporitas en su ámbito. Por ello remitimos al lector a dicha publicación y nosotros utilizaremos aquí algunos de sus datos. Otros trabajos en los que pueden consultarse aspectos de tipo geomorfológicos, estructurales, etc., son los correspondientes a JESSEN (1930), HERNANDEZ-PACHECO (1955-56) y GARCIA ABAD (1975).

En una monografía sobre La Mancha HERNANDEZ-PACHECO (1949) comenta: «En el conjunto laberíntico de la montañosa Hispania, existen seis grandes llanuras..., la más llana de todas es La Mancha, en la que se originan los ríos que al reunirse forman el Guadiana y que en tiempos prehistóricos correspondía al país de los oretanos.» Dicho autor subdivide La Mancha en: *a)* llanura manchega (genuina Mancha) —donde se asientan la mayoría de las lagunas—, y *b)* Campo de Montiel, y comenta asimismo que el nombre de Mancha parece derivado de la denominación «ma'ancha» (sin agua) de los árabes.

Aunque los límites de La Mancha son poco precisos, su extensión superficial sobrepasa ligeramente los 30.000 Km², repartidos entre las provincias de Toledo (16,67%), Cuenca (24,42%), Ciudad Real (33,39%) y Albacete (20,52%), siendo la región natural mayor de España. Su máxima amplitud, casi 200 Km, se alcanza de oeste a este a la altura

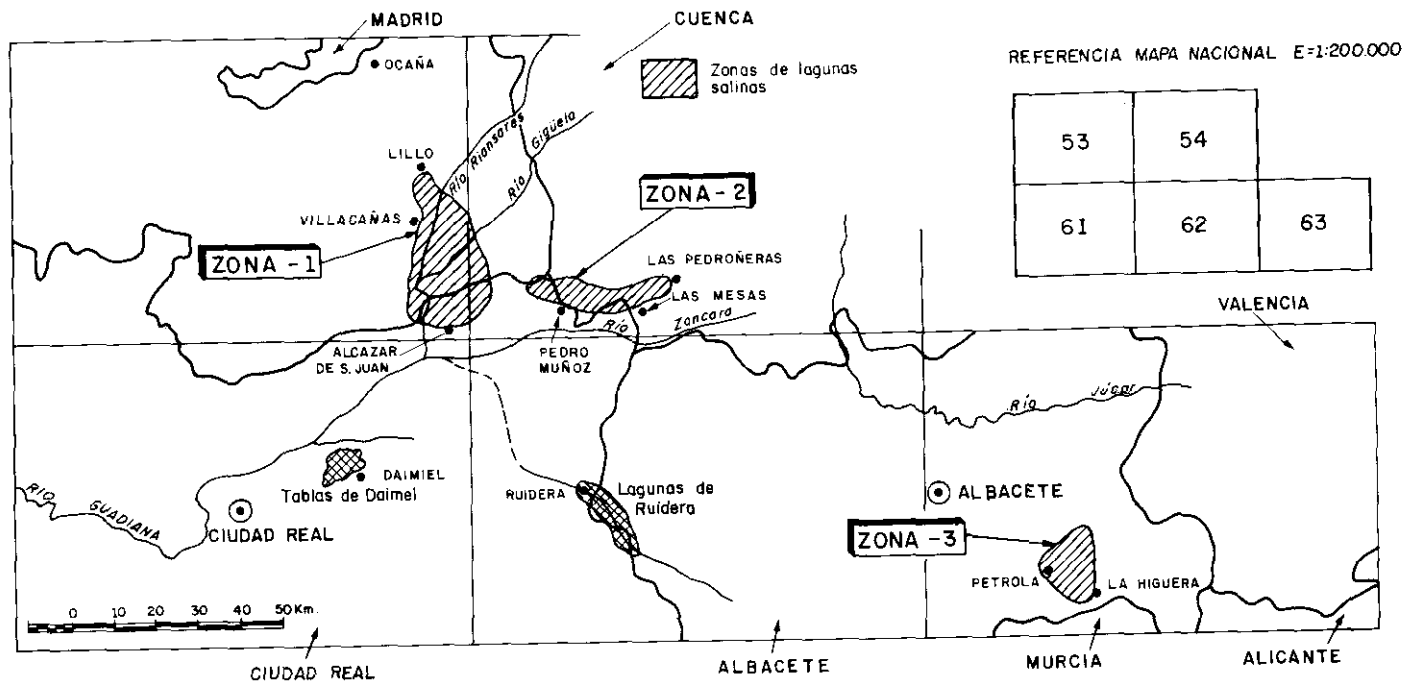


FIG. 1.—Esquema de situación de las zonas donde se concentran las lagunas salinas de La Mancha.

FIG. 1.—Geographical location of the zones of saline ponds («lagunas») in the La Mancha region.

de Ciudad Real-Chinchilla. La altitud de la llanura manchega está comprendida entre los 776 m al SE de El Picazo y alrededor de los 600 m al oeste de Ciudad Real. Como consecuencia de tan llana topografía en todo el ámbito de La Mancha existe un régimen de acusado endorreísmo con una «red hidrográfica compuesta por escuálidas vaquadas que funcionan en régimen semipermanente o estacional» (PEREZ GONZALEZ, 1982).

Un factor fundamental en la génesis de las evaporitas es el *clima*, responsable de la mayor o menor concentración de las salmueras a partir de las cuales se produce su precipitación. Así, valores tales como los correspondientes a precipitaciones, temperaturas, vientos, etcétera, repercuten en la estabilidad de las distintas fases minerales que integran las secuencias salinas. En el Cuadro I se tiene una síntesis de los datos climáticos de La Mancha, que en conjunto indican la existencia de un clima semiárido para la región. Además, en la Fig. 2 se han seleccionado las gráficas termopluviométricas correspondientes a Alcázar de San Juan y Los Llanos, como puntos representativos de las zonas en las que se concentran lagunas salinas:

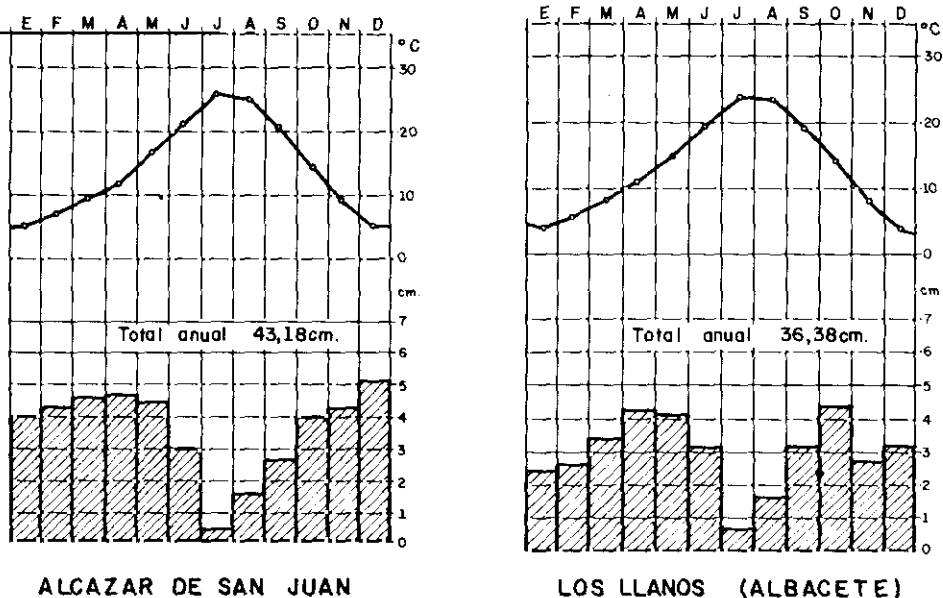


FIG. 2.—Gráficas termo-pluviométricas representativas de las dos zonas de La Mancha donde hay un mayor desarrollo de lagunas salinas (tomado de PEREZ GONZALEZ, 1982).

FIG. 2.—Seasonal temperature and rainfall in two areas of the La Mancha region containing the maximum number of saline ponds (from PEREZ GONZALEZ, 1982).

CUADRO I

RESUMEN DE LOS VALORES MAS SIGNIFICATIVOS DE LOS ELEMENTOS METEOROLOGICOS
 EN LA LLANURA MANCHEGA
 (PEREZ GONZALEZ, 1982. Cuadro II.15, pág. 65)

<i>Radiación</i>	<i>Nubosidad</i>	<i>Insolación</i>	<i>Temperaturas en grados centígrados</i>					
<i>Cal/cm² día. Media anual</i>	<i>En % Media anual</i>	<i>Horas de sol. Media anual</i>	<i>Media anual</i>	<i>Mes más cálido</i>	<i>Mes más frío</i>	<i>Amplitud anual</i>	<i>Extremas</i>	<i>Intervalo variación absoluta</i>
590 a 681	42	2.800	13,3 a 14,5	Julio de 24 a 26,5	Diciembre- enero, 4 a 4,5	19,2 a 22,2	—24 febrero 49 agosto	64,8
<i>Temperaturas en grados centígrados</i>			<i>Heladas</i>		<i>Precipitación en milímetros</i>			
<i>Medias máximas mayores</i>	<i>Media mínimas menores</i>	<i>Oscilación media</i>	<i>Periodo invernal</i>	<i>Días heladas por año. Media anual</i>	<i>Media anual</i>	<i>Mes más seco</i>	<i>Mes más lluvioso</i>	
32,6 a 37 en junio	—0,4 a —0,9 enero/febrero	17,1 a 17,9 julio 9 a 9,2 dic/enero	100/150 días	40/70	360 a 460	Julio, de 3 a 8	Marzo/octu- bre/diciembre, de 46 a 71	
<i>Precipitación en milímetros</i>					<i>Vientos</i>	<i>Humedad y evaporación</i>		
<i>Estación más lluviosa</i>	<i>Irregularidad interanual</i>	<i>Días de lluvia. Media anual</i>	<i>Máxima en 24 h.</i>	<i>Días con nieve. Media anual</i>	<i>Dominantes</i>	<i>Humedad relativa media en %</i>	<i>Evaporación potencial en mm</i>	
Otoño/invierno	Elevada	45 a 77	85 l/m ²	2 a 5	W y SW	60	1.000 a 2.000	

límite de las provincias de Toledo y Ciudad Real, y este de Albacete, respectivamente.

III. LAS LAGUNAS: CARACTERISTICAS GENERALES Y SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

Como consecuencia de las condiciones topográficas generales de la región se producen acumulaciones de agua favorecidas por: *a*) líneas de contactos entre formaciones sedimentarias; *b*) fondos impermeables de dolinas; *c*) llanuras aluviales, y *d*) zonas interdunares abiertas o cerradas (PEREZ GONZALEZ, 1982). Dichas masas de agua son normalmente efímeras y están relacionadas exclusivamente con períodos de lluvia, pero en ocasiones son más o menos perennes al estar vinculadas con aportes subterráneos.

El tamaño de las lagunas es muy variable, pero en general pequeño (inferior a 1 Km²) y su profundidad máxima es centimétrica (10-40 cm), salvo en algunos casos (Pétrola y Saladar —La Higuera—) en las que se llegan a superar el metro (Figs. 3,A-B-C).

Por su pequeño tamaño, características geomorfológicas de la región, tipo de clima y colonización de los entornos por tareas agrícolas, al igual que ocurre en las lagunas de Aragón (PUEYO, 1978-79), no se diferencian demasiados subambientes de los descritos por HARDIE et al. (1978). De ellos los mejor representados son *a*) Zona interna del lago salino («inner salt pan»), y *b*) Zona externa del lago salino («outer saline mudflat»). En ocasiones también están representados los subambientes de «dry mudflat», franjeando a las lagunas, y de «springs». El carácter más o menos hipersalino de todos ellos queda marcado por el desarrollo de una vegetación halófila característica (SANTOS CIRUJANO, 1981).

Durante los períodos de aportes de agua las lagunas sufren una expansión que puede llegar a inundar las zonas de «mud flat», y a lo largo de los meses en los que no hay aportes se produce una lenta contracción que lleva a la aparición de salmueras, a la subsiguiente precipitación de sales según se van alcanzando las saturaciones correspondientes y a la ulterior desecación de las lagunas con la formación de una capa de sales. En esta capa queda una salmuera residual que produce importantes procesos diagenéticos como son la aparición de sales secundarias y el desarrollo de cristales de hábito desplazante y poiquilotópico, y de su bombeo por evaporación se forman eflorescencias que cubre la costra que precipitó a partir de la masa de agua de las lagunas.

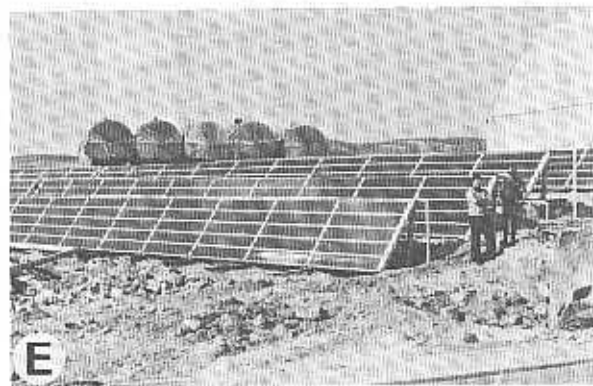
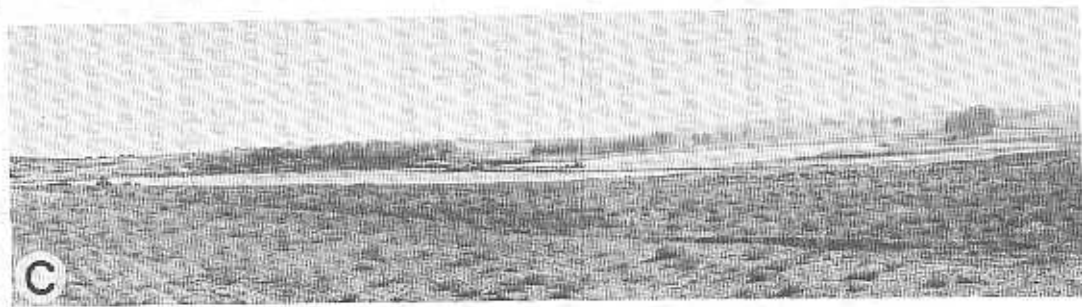
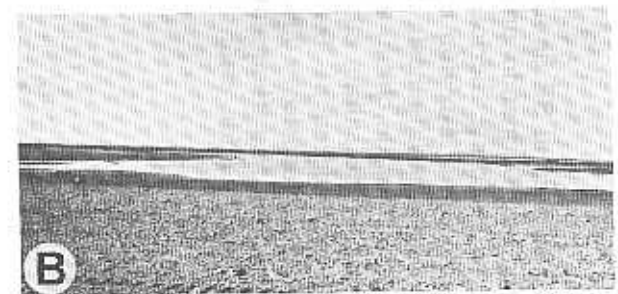
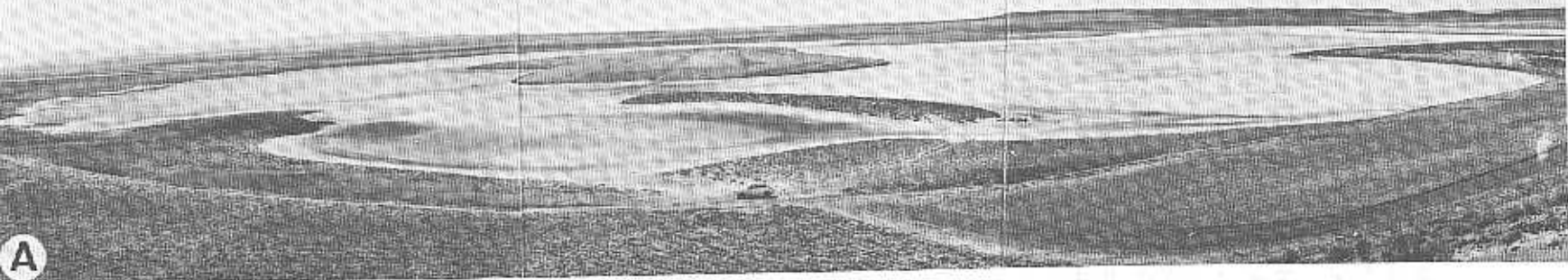
El conjunto de las lagunas manchegas puede agruparse en cinco zonas (Fig. 1): tres en las que se desarrolla una sedimentación salina

más o menos importante, y dos ligadas al curso del río Guadiana (Tablas de Daimiel y Lagunas de Ruidera), en las que por su hidroquímica no se produce dicha sedimentación. En esta síntesis nos referiremos exclusivamente a las tres primeras zonas.

a) *Zona 1.* Está situada entre las provincias de Toledo y Ciudad Real, junto a las localidades de Lillo-Villacañas-Alcázar de San Juan, siendo atravesada por los ríos Riansares y Gigüela. En esta zona existe una veintena de lagunas salinas (Longar, Altillo —grande y pequeña—, Albardiosa, Navarredonda, Salobral, Larga —de Villacañas—, Tirez, Taray, Peña Hueca, Grande —de Quero—, los Carros, Chica y Grande —en el curso del Gigüela—, la Yeguas, del camino de Villafraanca —Alcázar de San Juan—, Pájaros —o Pajares—, Salicor, Paloma y varias más sin denominación concreta en la toponimia de los mapas). La mayoría de las lagunas de esta zona tienen una altitud alrededor de los 650 m, alcanzándose los 690 m en las próximas al pueblo de Lillo y en la de los Pájaros —o Pajares—. Geológicamente las lagunas de esta zona se asientan sobre materiales de edad triásica o terciaria.

b) *Zona 2.* Comprendida en la cuenca del río Záncara, se extiende a lo largo del límite de las provincias de Cuenca y Ciudad Real hasta adentrarse ligeramente en la de Toledo. El número de lagunas en esta zona es de unas quince (Retamar, L. del Pueblo —Pedro Muñoz—, Navalafuente, Alcabozo, Manjavacas, Dehesillas, Sancho Gómez, Margarejo, Celadilla, Pozo de la Muela, Huevero, la Hoya, del Pozo de Pablico, Taray, de la Nava) y están sobre las formaciones terciarias que bordean por el sur los afloramientos Jurásico-Cretácicos de los alrededores de Mota del Cuervo y las Pedroñeras. La altitud de la mayoría de las lagunas de esta zona está comprendida entre los 600 y los 680 m. Datos específicos de esta zona figuran en CIRUJANO (1980) y ORDONEZ et al. (1983).

c) *Zona 3.* Se encuentra situada al SE de Albacete, entre las localidades de Pétrola y La Higuera. Ocupando una posición intermedia entre la Meseta y las Cadenas Béticas e Ibéricas, por lo que su situación no corresponde estrictamente a la región manchega, si bien goza de propiedades análogas a ella para la génesis de evaporitas actuales (condiciones de endorreísmo, aridez de clima, materiales en las áreas fuentes drenadas con alto contenido salino, etc.). Geológicamente los afloramientos de esta zona pertenecen a: Terciario (en el tránsito continental a marino), Cretácico, Jurásico y Triásico, este último con carácter diapírico en ocasiones. Hidrográficamente pertenece a la cuenca del Segura, si bien en el área donde están las lagunas los cauces



de agua son poco importantes, estando representados por cursos estacionales.

Dos son las lagunas más importantes de esta zona: Pétrola y Saladar (próxima a La Higuera), las cuales son tal vez las más permanentes de todas las lagunas salinas de La Mancha (son frecuentes los años en los que no llegan a desecarse por completo en la época de máximo estiaje) y además tienen tal volumen de sedimentación salina que en ellas existen a su vez las dos instalaciones más importantes para su aprovechamiento industrial (Figs. 3,D-E). De menor tamaño y menos salinas hay en la zona un pequeño grupo de lagunas que funcionan estacionalmente como la mayoría de las manchegas (Hoya Rasa, Mojón Blanco, Corral Rubio —grande y pequeña—, Salobralejo y Ontalafia). Es la zona topográficamente más elevada, siendo las cotas extremas de las lagunas: 840-850 m (Ontalafia-Pétrola) y 900-910 m (Saladar-Salobralejo).

IV. CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS E HIDROQUIMICAS

Los aportes de agua a las lagunas tienen distintos orígenes y en conjunto son los responsables del volumen total acumulado en mayor o menor medida:

a) *Influencia de los acuíferos superficiales.*—Las aguas subterráneas de la región tienen su recarga fundamentalmente a partir de las precipitaciones comentadas en el apartado II y una de sus zonas de descarga en las lagunas, pudiendo observarse cómo las isopiezas se cierran alrededor de ellas (OCTAVIO DE TOLEDO y LOPEZ CAMACHO, 1976). Dichas aguas subterráneas son las principales responsables del lixiviado de las rocas de los entornos y por tanto las suministradoras de los iones presentes en las salmueras de las lagunas.

b) *Corrientes efímeras.*—La escorrentía superficial en la zona es casi nula, ya que el agua se infiltra rápidamente tras las precipitaciones. Así el agua que de esta procedencia llega a las lagunas lo hace

FIG. 3.—*Algunos aspectos generales de las lagunas manchegas: A) Laguna de Salicor —zona 1—. B) Laguna de Tirez —zona 1—. C) Laguna de Saladar —zona 3—. D) La recogida de las sales en la laguna de Tirez. E) Paneles solares en la laguna de Pétrola —zona 3— para forzar la producción a lo largo de todo el año.*

FIG. 3.—*General views of the La Mancha ponds («lagunas»). A) Salicor «laguna», zone 1. B) Tirez «laguna», zone 1. C) Saladar «laguna», zone 3. D) Exploitation of the salt crust in the Tirez «laguna». E) Solar panels at the Petrola «laguna», zone 3, used to obtain yearound production.*

fundamentalmente a partir de fuentes que hay en el borde de las mismas y de ahí la pureza de las evaporitas al no haber prácticamente aportes de material detrítico. Estas aguas tienen un carácter mucho más local que las anteriores con respecto a las lagunas y, aunque en menor proporción, también contribuyen al aporte de material en disolución.

c) *Precipitación directa.*—En los períodos de lluvias las lagunas reciben una cantidad de agua meteórica directamente, siendo éstos los aportes que más contribuyen a la dilución de las salmueras, dando lugar a la disolución en fases precipitadas, con el consiguiente paso atrás en la secuencia de precipitación por evaporación.

Por sus características hidroquímicas las lagunas manchegas pueden ser incluidas dentro de los «saline lakes» de HARDIE et al. (1978), al sobrepasarse en general ampliamente las 5.000 ppm de sales disueltas en los momentos de máxima dilución (momentos de máxima cantidad de agua tras los períodos de lluvias) (Cuadro II).

CUADRO II

ALGUNOS ANALISIS QUIMICOS DE LAS SALMUERAS DE LAS LAGUNAS MAS REPRESENTATIVAS (en ppm), COMO ORIENTACION DE LA COMPOSICION DE LAS MISMAS

[Las muestras corresponden a las tomas efectuadas en invierno, salvo la de Salicor que pertenece a finales de primavera. Numerosos análisis más pueden ser consultados en: MARFIL et al. (1975); SORIANO et al. (1977); CIRUJANO (1980), y DE LA PEÑA et al. (1982)]

	Laguna de Tirez (a)	Laguna de Salicor (b)	Laguna de Alcabozo (c)	Laguna de Manjavacas (d)	Laguna de Saladar (e)	Laguna grande de C. Rubio (f)
SO ₄ =	116.000	245.746	63.566	5.400	33.820	846
Cl ⁻	27.500	54.576	30.242	4.611	17.040	2.769
CO ₃ H ⁻ +CO ₃	440	2.282	3.660	854	497	47
Ca ²⁺	1.100	13.020	3.509	72	620	260
Mg ²⁺	45.000	62.548	17.999	1.520	11.740	160
Na ⁺	68.000	18.491	11.988	1.792	4.394	1.605
K ⁺	2.600	7.001	2.706	1.103	680	300
ZONA	1	1	2	2	3	3

Datos tomados de: a) DE LA PEÑA et al. (1982); b) SORIANO et al. (1977); c y d) CIRUJANO (1980); e y f) MARFIL et al. (1975).

Por lo que respecta al contenido en aniones y cationes mayoritarios, las salmueras están integradas por *a*) aniones: SO_4^- y Cl^- , con CO_3^- y CO_3H^- subordinados; y *b*) cationes: Mg^{2+} y Na^+ , con Ca^{2+} y K^+ subordinados. Dichos iones se presentan, sin embargo, en cantidades y proporciones variables, por lo que cada laguna, por próximas que estén, tiene sus características composicionales propias.

En la Fig. 4 se muestran los campos de los diagramas triangulares de EUGSTER & HARDIE (1978) en los que quedan incluidas las aguas de las lagunas manchegas, observándose que las mismas, según dichos autores, corresponden a los grupos que figuran en el Cuadro III.

Asimismo, la determinación de elementos menores realizada sobre el residuo seco de las aguas ha puesto de manifiesto la escasez de los mismos, estando sólo representado de una manera constante el Sr

CUADRO III

ALGUNOS EJEMPLOS DE LA COMPOSICION DE LAS LAGUNAS DE LA MANCHA UTILIZANDO LA CLASIFICACION DE EUGSTER y HARDIE (1978)

(La numeración corresponde a los campos de los diagramas triangulares de la Fig. 4)

<i>Aniones y cationes mayoritarios</i>		<i>Lagunas</i>
	Mg - (Na) (14)	SALADAR
	Mg - (Ca) - (Na) (13)	ALCABOZO DEHESILLAS
Cl - SO_4 (5)	Na - Mg - (Ca) (7)	PETROLA QUERO ALTILLO MANJAVACAS
	Na - Mg (8)	TIREZ
	Na - (Ca) - (Mg) (3)	SALICOR
Cl (SO_4) (2)	Na - (Ca) - (Mg) (3)	CORRAL RUBIO

como elemento halófilo y Si, Al y Fe como litófilos. Otros elementos presentes en algunas muestras son Li, V, Cr, Mn y Pb. Elementos significativos tales como el B están ausentes o por debajo de los límites de detección del método utilizado (MARFIL et al., 1975).

Los valores de pH medidos *in situ* oscilan entre 7,6 y 9,4; teniendo como valor medio 8,2.

Además del reciclaje anual que se produce en las lagunas por disolución de las costras salinas anteriores, la composición de las salmueras depende de los procesos de alteración de los minerales existentes en las rocas drenadas por las aguas subterráneas y su enriquecimiento en iones función, asimismo, de la facilidad con que dichos procesos se produzcan según las condiciones de estabilidad de cada mineral y del tiempo que las aguas puedan estar en contacto con ellos.

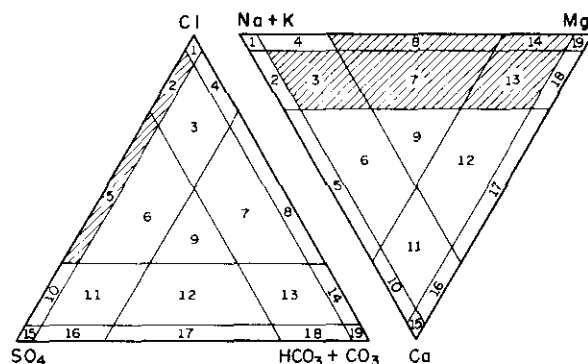


FIG. 4.—Diagramas de EUGSTER & HARDIE (1978) mostrando los campos (zonas rayadas) en los que quedan incluidas las aguas de las lagunas salinas de La Mancha.

FIG. 4.—Solute composition diagram from EUGSTER and HARDIE (1978). Points for the saline ponds of La Mancha plot within the striped fields.

HARDIE et al. (1978) citan los siguientes tipos de reacciones de alteración como responsables del enriquecimiento en iones de las salmueras de lagos salados:

- a) Disolución congruente de minerales no silicatados.
- b) Disolución congruente e hidrólisis de silicatos no alumínicos.
- c) Disolución incongruente e hidrólisis de silicatos alumínicos: feldespatos → arcillas.
- d) Oxidación de sulfuros metálicos → óxidos metálicos e iones sulfatos.

En dichos grupos de reacciones quedan incluidas las deducidas por nosotros. Ahora bien, la altísima concentración general de las salmueras de las lagunas manchegas y en particular la de determinados iones plantea serios problemas a la hora de justificar su presencia. Pensamos que el origen de los iones principales puede ser:

a) $SO_4^{=}$.—Derivados de la disolución de los yesos triásicos y/o terciarios muy abundantes en los alrededores de las lagunas.

b) Cl^- .—Procedente de la disolución de las halitas presentes en los sedimentos evaporíticos anteriores (triásicos y terciarios).

c) CO_3H^- .—La precipitación de carbonatos en lagos salados no está clara: ¿Origen orgánico o inorgánico?, HARDIE et al. (1978). La pequeña cantidad detectada en las lagunas estudiadas tal vez sea la suma de procesos de disolución de los carbonatos drenados más la contribución del CO_2 desprendido en los procesos vitales de los organismos presentes, fotosíntesis de algas fundamentalmente.

d) Mg^{2+} .—La justificación de la alta concentración de los iones magnesio es de las más difíciles. Fuentes probables son la disolución de dolomías —existen frecuentes procesos de dedolomitización en las rocas lixiviadas (FERNANDEZ CALVO, 1981)— y la alteración de silicatos magnesianos de tipo sepiolita, atapulgita y corrensita, muy frecuentes en los materiales drenados (GARCIA PALACIOS et al., 1978).

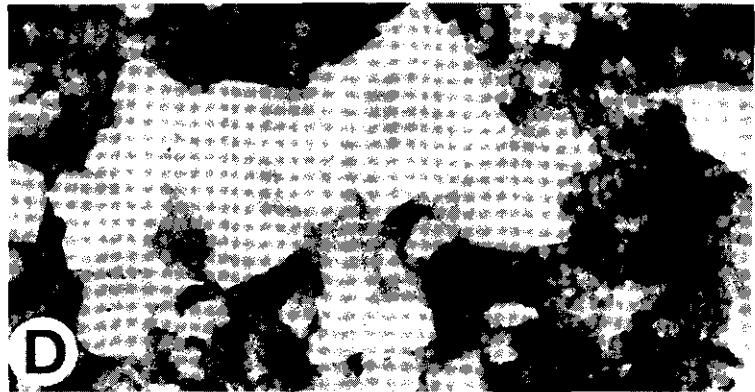
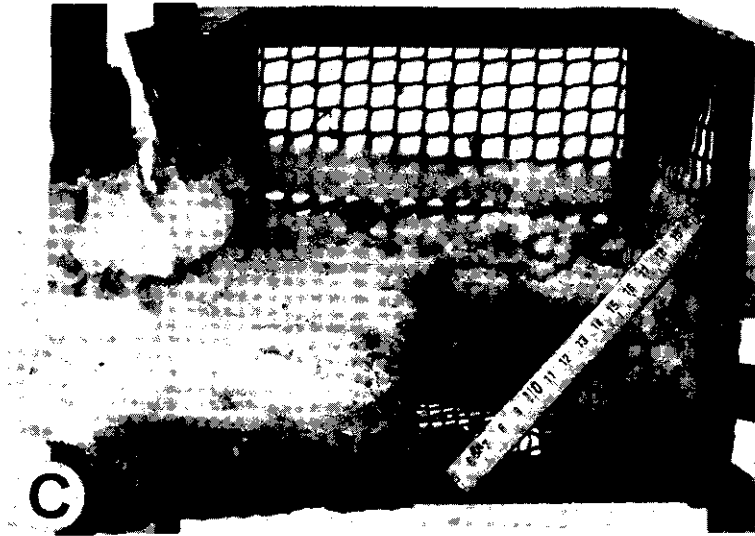
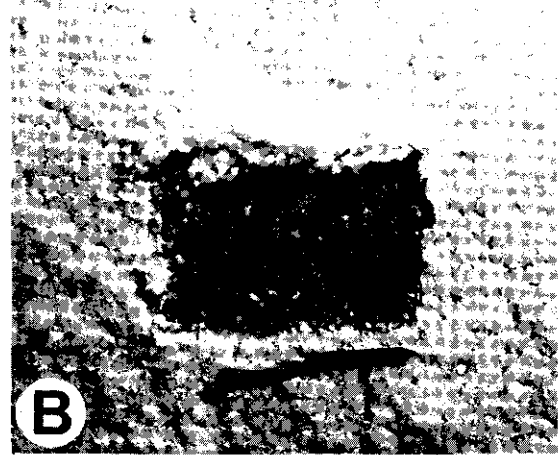
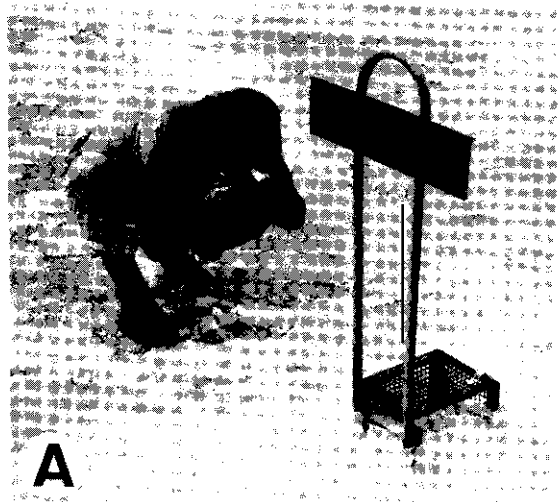
e) Na^+ .—La fuente principal de este catión, al igual que los Cl^- , debe buscarse en la disolución de halita preexistente, así como en las plagioclasas, componentes relativamente abundantes en los materiales de las áreas fuentes (triásicas y terciarias).

f) Ca^{2+} .—La disolución de yesos y rocas carbónicas de los entornos justifica plenamente su presencia y las cantidades disponibles.

g) K^+ .—Sus pequeñas cantidades, en comparación con los iones anteriores, pueden justificarse a partir de la alteración de feldspatos potásicos y micas, muy abundantes en las areniscas triásicas y terciarias de las áreas fuentes (YEBENES et al., 1977).

V. LA SEDIMENTACION SALINA

Los minerales que han sido identificados mediante petrografía microscópica y/o difracción de rayos X en el conjunto de las lagunas manchegas son los que figuran en el Cuadro IV. Dichos minerales son el resultado de:



CUADRO IV
RELACION DE MINERALES IDENTIFICADOS EN LAS LAGUNAS
DE LA MANCHA

<i>Minerales</i>		<i>Zonas en las que se presentan (ver Fig. 1)</i>		
Cl ⁻	HALITA	Cl Na	1	3
	EPSOMITA	SO ₄ Mg·7H ₂ O	1	2 3
	HEXAHIDRITA	SO ₄ Mg·6H ₂ O	1	2 3
	THENARDITA	SO ₄ Na ₂	1	
	MIRABILITA	SO ₄ Na ₂ ·10H ₂ O	1	
	BLOEDITA	(SO ₄) ₂ Na ₂ Mg·4H ₂ O	1	2
SO ₄ =	GLAUBERITA	(SO ₄) ₂ CaNa ₂	1	
	POLIHALITA	(SO ₄) ₄ K ₂ MgCa ₂ ·2H ₂ O	1	
	KIESERITA	SO ₄ Mg·H ₂ O	1	3
	LOEWETA	(SO ₄) ₁₃ Na ₁₂ Mg ₇ ·15H ₂ O		2 3
	VANTHOFFITA	(SO ₄) ₄ Na ₈ Mg		2
	YESO	SO ₄ Ca·2H ₂ O	1	2 3
CO ₃ =	CALCITA	CO ₃ Ca	1	3
	DOLOMITA	(CO ₃) ₂ CaMg	1	3

Los datos de la zona 2 corresponden a ORDOÑEZ et al. (1983) y el resto se encuentran descritos en trabajos anteriores de los autores (DE LA PEÑA y MARFIL) que se relacionan en la bibliografía de este trabajo.

a) Precipitación directa a partir de la lámina de agua de las lagunas, que da lugar a una costra de sales (Figs. 5,A-B-C; 6,A).

b) Ascensos de salmueras por capilaridad, que originan eflorescencias de mineralogía compleja y grandes cristales de yeso de mor-

Fig. 5.—*Diversos aspectos de la costra salina en la laguna de Tirez: A) Caja de muestreo que permite la observación en un mismo punto a lo largo del año. B) Detalle de la zona donde estuvo situada una de dichas cajas. El rectángulo oscuro corresponde al substrato arcilloso. C) La costra salina precipitada en un año. D) Detalle de los cristales de halita del techo de la secuencia.*

Fig. 5.—*Details of the saline crust at the Tirez «laguna»: A) Sampling box. B) Close-up view of one of the box locations. The dark rectangle corresponds to the mud substrate. C) Annual salt accumulation. D) Close-up view of the halite hopper crystals at the top of the salt crust.*

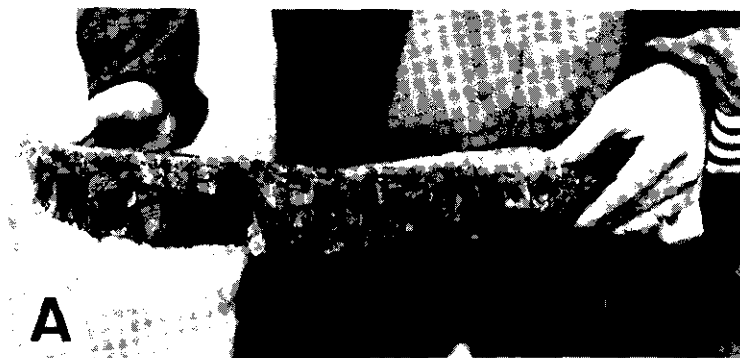


FIG. 6.—Laguna de Saladar: A) Costra salina recogida bajo la lámina de agua en enero, integrada casi exclusivamente por cristales de epsomita. B y C) Detalles de los cristales de epsomita de dicha costra.

FIG. 6.—Saladar «laguna»: A) Submerged saline crust sampled from beneath the water body in January. It is composed almost entirely of epsomite crystals. B and C) Close-up view of the epsomite crystals in the crust.

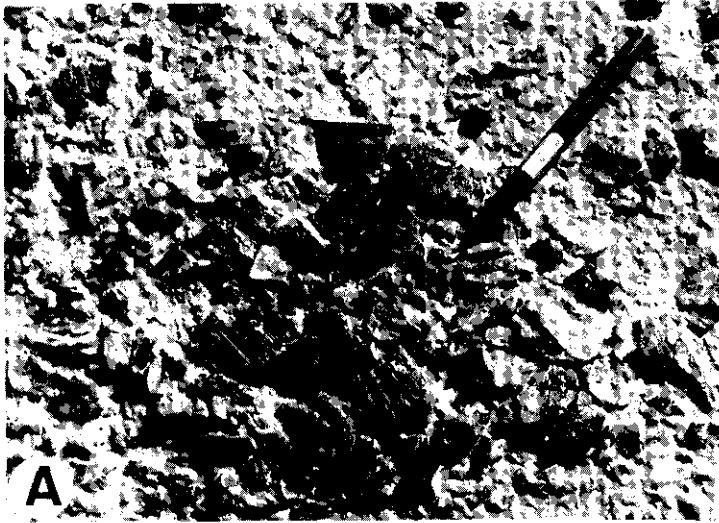


FIG. 7.—*Dos vistas de cristales de yeso formados en la superficie de los lodos salinos que rodean las salinas; ejemplos de la laguna de Tirez.*

FIG. 7.—*Two views of gypsum crystals developed on the surface of the saline muds which surround the «lagunas»; these examples are from the Tirez «laguna».*

fologías diversas y hábito desplazante en la superficie de los sedimentos (CARENAS, 1977; CARENAS y MARFIL, 1979, y CARENAS et al., 1982) (Figs. 7,3-B).

c) Reacciones entre minerales primarios, generados según a) o b), con salmueras residuales, que producen minerales secundarios (diagénéticos tempranos).

Por lo que respecta al grado de cristalinidad y tamaño de los minerales se presentan desde muy grandes (varios centímetros) y perfectamente euhedrales, caso de los cristales de epsomita de las lagunas de Tirez y Saladar (Figs. 6,B-C) y yesos de muchas de las lagunas (Figs. 7,A-B), hasta pulverulentos e imperceptibles a simple vista, caso de la mayoría de los integrantes de las eflorescencias.

La costra salina anual que cubre las lagunas se apoya sobre barros sapropélicos negros y mal olientes que en ocasiones sobrepasan los 15 cm de espesor, con carácter fuertemente reductor, formados a expensas de la materia orgánica acumulada en las lagunas procedente fundamentalmente de los tapices algales que se desarrollan en las mismas y también de los aportes de restos vegetales de los entornos (CI-RUJANO, 1980 y 1981). Como consecuencia del citado ambiente reductor en ocasiones se han identificado pequeños cristales de piritita dentro de la capa sapropélica. El substrato bajo esta capa es de naturaleza predominantemente arcillosa, con frecuentes cristales lenticulares de yeso que crecen desplazando al sedimento huésped y cantidades variables de carbonatos dispersos (calcita y dolomita) que plantean el problema de su origen: si representan las fases de producto de solubilidad más bajas de la sedimentación salina actual de las lagunas o son parte de los escasos aportes detríticos de los materiales del entorno de las mismas. Las pequeñas cantidades de estos minerales, detectados mediante difracción de rayos X, tal vez sean la suma de ambos orígenes.

Por lo que respecta a las costras salinas propiamente dichas es prácticamente imposible dar una secuencia tipo por varias razones: por la variabilidad hidroquímica de partida ya comentada de una laguna a otra y por las numerosas interrupciones que se producen a lo largo del ciclo de evaporación-precipitación. Es decir, cada vez que se produce un aporte de agua a las salmueras en un período de lluvia se produce la correspondiente dilución de la salmuera y un paso atrás en el orden de precipitación de las sales, con los consiguientes procesos de disolución de algunas de las sales ya formadas. Así, la costra resultante cada año es en realidad la superposición de secuencias parciales que en conjunto dan lugar a una ordenación hacia fases más solubles. Uno de los problemas que plantea el control de las costras salinas de las lagunas es el de la localización exacta de los puntos de observación en distintas épocas del año. Por ello, cuando fue necesario, se instalaron cajas de muestreo especialmente diseñadas para este fin como las de las Figs. 5,A-B-C.

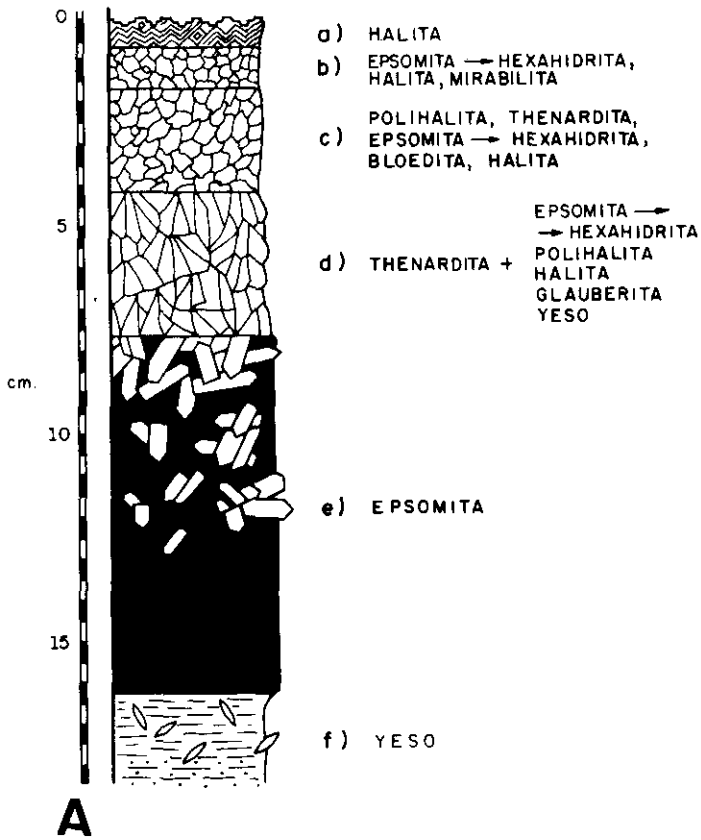
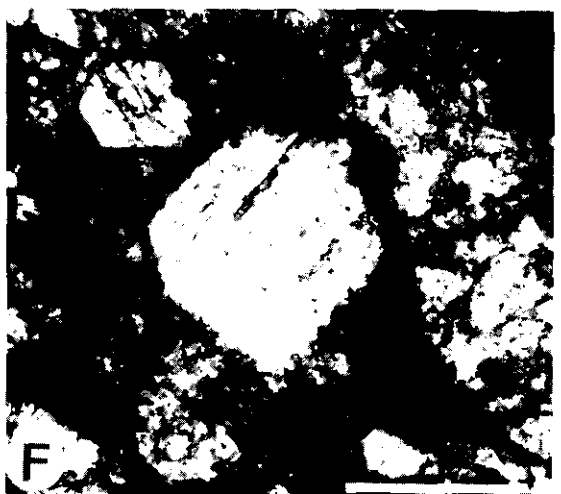
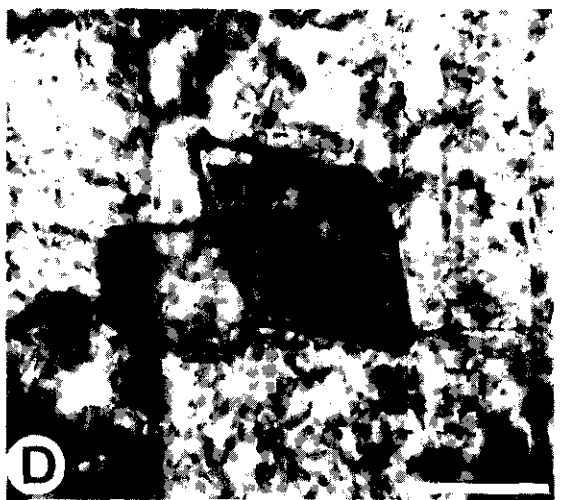
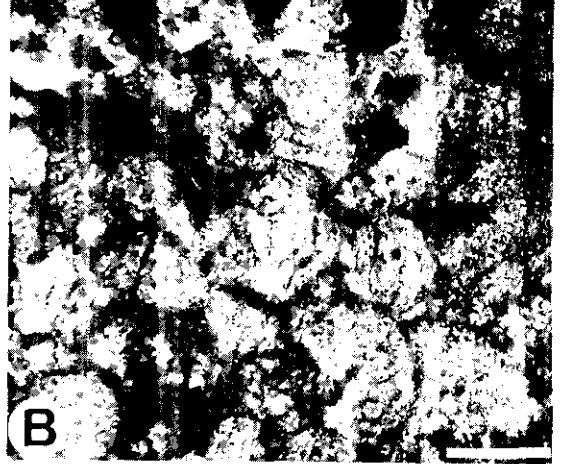


FIG. 8.—A y B) Secuencia mineralógica anual observada en el centro de la laguna de Tirez.

FIG. 8.—A and B) Annual mineralogical sequence observed in the central part of the Tirez «laguna».



Puede considerarse que la costra más compleja mineralógicamente y a la vez una de las más potentes es la descrita en el centro de la laguna de Tirez (DE LA PEÑA et al., 1982) (Figs. 8,A-B), la cual está integrada por:

- a) Techo: 0,5 a 1 cm de cristales «hopper» de halita (Fig. 5,D).
- b) 1, a 1,5 cm de cristales amarillentos subeuhedrales, con epsomita, halita y escasa mirabilita.
- c) 1,5 a 3 cm de sales con textura similar a b), pero de color blanco, conteniendo polihalita, thenardita, epsomita, hexahidrita, bloedita y halita.
- d) 2 a 5 cm integrados fundamentalmente por cristales prismáticos de thenardita con epsomita, polihalita, yeso, hexahidrita, glauberita y halita.
- e) Capa sapropélica, de unos 10 cm de espesor medio, con grandes cristales de epsomita.

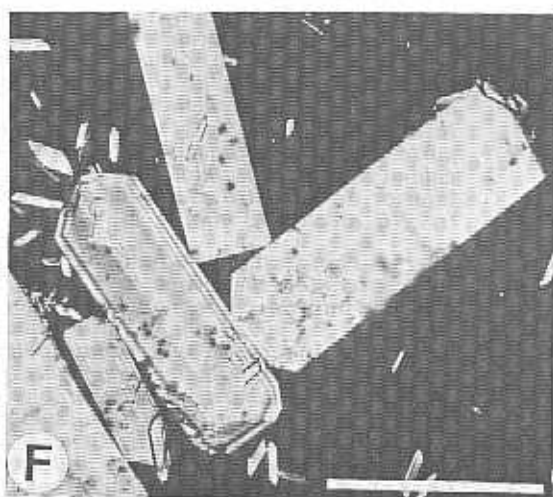
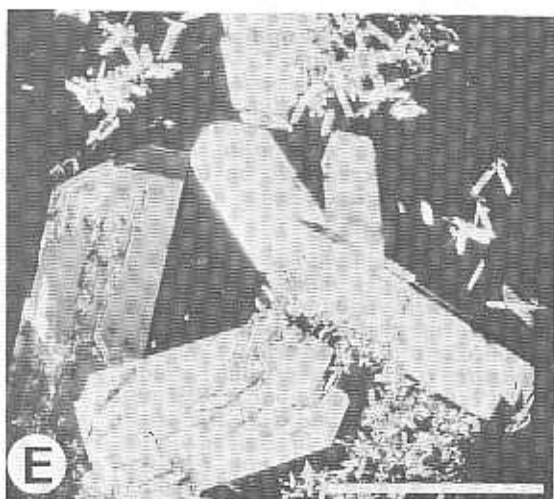
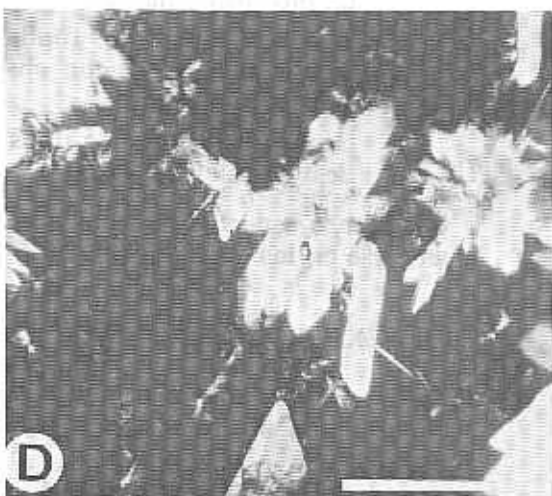
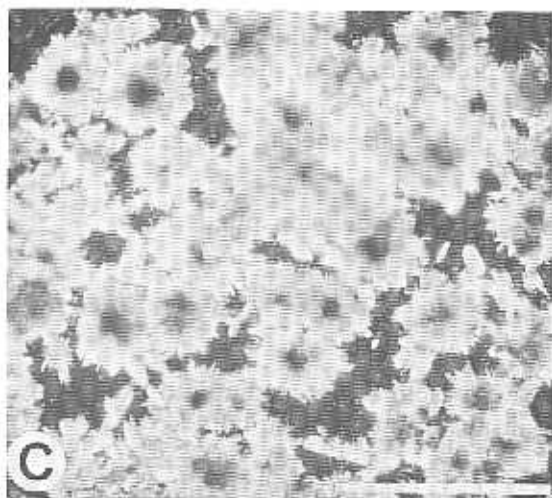
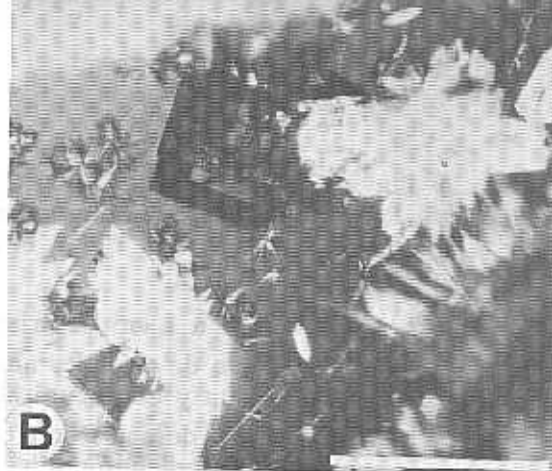
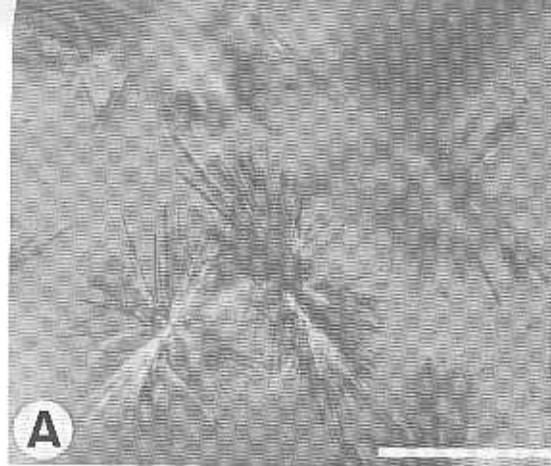
Algunos aspectos de estos minerales en lámina delgada pueden observarse en las Figs. 9,A-B-C-D-E-F.

VI. EXPERIMENTAL

Con el fin de conocer el resultado de un ciclo teórico completo de evaporación, sin los retrocesos que en la naturaleza se dan como con-

FIG. 9.—*Diversos aspectos en lámina delgada de la mineralogía y textura de las evaporitas de la laguna de Tirez: A) Cristales de polihalita de la parte c de la costra (ver Fig. 8) con textura fibroso radial. NC, escala=0,3 mm. B) Mosaico de cristales subeuhedrales de hexahidrita procedentes de la deshidratación de cristales de epsomita. Zona b de la costra. NC, escala=0,35 mm. C) Agregados radiales de cristales de thenardita alrededor de núcleos de glauberita. Zona d de la costra. NC, escala=0,35 mm. D) Cristal euedral de glauberita asociado a thenardita. Zona d de la costra. NC, escala=0,08 mm. E) Aspecto general de la parte basal de la zona d de la costra, con thenardita, yeso y epsomita. NC, escala=0,35 mm. F) Detalle de los cristales de epsomita creciendo en la parte inferior de la costra asociados a abundante materia orgánica. Zona e de la costra. NC, escala=0,3 mm.*

FIG. 9.—*Thin-section photomicrographs showing several mineralogical and textural aspects of the evaporites of the Tirez «laguna»: A) Polihalite whiskers growing into de c zone of the crust (see Fig. 8) with radial fibrous textures. CN, scale bar = 0.3 mm. B) Subeuhebral mosaic of pseudomorphous hexahydrate crystals formed by epsomite dehydration. Zone b of the crust. CN, scale bar = 0.35 mm. C) Radical aggregates of elongated thenardite crystals around an anhehal glauberite nucleous. Zone d of the crust. CN, scale bar = 0.35 mm. D) Euhebral glauberite crystal associated with thenardite. Zone d of the crust. CN, scale bar = 0.08 mm. E) General view of the lower part of zone d of the crust with thenardite, gypsum and epsomite. CN, scale bar = 0.35 mm. F) Close up view of the epsomite crystal growing in the lower part of the crust associated with abundant organic matter. Zone e of the crust. CN, scale bar = 0.3 mm.*



secuencia de aportes de aguas diluidas en los momentos de las precipitaciones, se han realizado experimentos en el laboratorio (DE LA PEÑA et al., 1982) consistentes en evaporar una salmuera tomada en el momento de máximo espesor de la lámina de agua (máxima dilución), justo antes de comenzar la precipitación del yeso. La salmuera elegida pertenece a la laguna de Tirez y la hidroquímica de partida es la reflejada en el Cuadro II, habiéndose obtenido la siguiente secuencia mineralógica según progresaba la evaporación:

- a) Cristales euhedrales de yeso.
- b) Cristales euhedrales de epsomita.
- c) Esferulitos de thenardita. En ocasiones han sido identificados cristales de glauberita formando parte del núcleo de los esferulitos.
- d) Cristales euhedrales de halita.
- e) Agregados cristalinos radiales de polihalita.

Como puede observarse al comparar esta secuencia de laboratorio, de la que se tienen algunos ejemplos en las Figs. 10,A-B-C-D-E-F, con la natural descrita en el apartado V (Figs. 8,A-B), existe un gran paralelismo entre ambas, tanto respecto a su mineralogía como a sus aspectos texturales.

Consideramos que la continuación de esta línea de investigación, comparando el resultado de la sedimentación salina en lagunas actuales con experimentos de laboratorio a partir de salmueras naturales, puede tener resultados muy importantes para un mejor conocimiento de los complejos procesos generadores de evaporitas en ambiente continental.

FIG. 10.—*Algunos ejemplos de los cristales desarrollados en la secuencia salina obtenida en el laboratorio: A) Agregados radiales de cristales de polihalita desarrollados en los estadios finales de la secuencia. NP, escala=0,05 mm. B) Cristales euhedrales de halita asociados a esferulitos de polihalita. NP, escala=1,5 mm. C) Agregados de cristales de thenardita con morfología esferulítica mostrando un núcleo no identificado (glauberita como en lámina delgada?). NC, escala=1,5 mm. D) Agregados radiales de cristales de thenardita con hábito laminar asociados a cristales euhedrales de yeso. NC, escala=0,6 mm. E y F) Cristales de epsomita asociados a cristallitos de yeso. NC, escala=1,5 mm.*

FIG. 10.—*Several examples of the crystals developed in the saline sequence obtained in the laboratory: A) Radial aggregates of polyhalite crystals obtained during the final phases of the sequence. PN, scale bar = 0.05 mm. B) Euohedral halite crystals associated with polyhalite spherulites. PN, scale bar = 1.5 mm. C) Aggregates of thenardite crystals with spherulitic morphology showing a non identified nucleus (glauberite like in thin section?). CN, scale bar = 1.5 mm. D) Radial aggregates of laminated thenardite crystals associated with euohedral gypsum crystals. CN, scale bar = 0.6 mm. E and F) Epsomite crystals associated with small gypsum crystals. CN, scale bar = 1.5 mm.*

VII. INFLUENCIA DE LAS SALMUERAS SOBRE LOS SEDIMENTOS ARCILLOSOS

Uno de los campos de investigación que plantean las lagunas mangachegas es el del estudio de las relaciones existentes entre sus salmueras y los minerales de arcilla que están en contacto con ellas, como consecuencia de formar parte del fondo impermeable de las mismas o por integrar los escasos aportes detríticos que llegan a ellas en las épocas de lluvias desde los entornos. Con el desarrollo de esta línea de trabajo, comenzada en GARCIA PALACIOS et al. (1978), se podrían aportar datos sobre los procesos de transformación y neoformación de minerales de arcilla en cuencas evaporíticas continentales, de los que no hay demasiada información bibliográfica en comparación con procesos semejantes en ambiente marino.

Los únicos datos de que se dispone por el momento pertenecen a una laguna de la zona 1, laguna de Pájaros (o Pajares), en la que dicho estudio se abordó por conocerse: a) la hidroquímica de la laguna (SORIANO et al., 1977), y b) la mineralogía original de los materiales triásicos sobre los que se asienta (YEBENES et al., 1977). Aunque el dato es, por lo tanto, puntual puede servir de orientación de las relaciones entre sedimentos arcillosos y las salmueras intersticiales de naturaleza fundamentalmente sulfatado-magnésicas.

La metodología de estudio consistió en el muestreo, a partir de calicatas de aproximadamente 0,5 m de profundidad, de los sedimentos de la laguna y el posterior estudio de la mineralogía, mediante difracción de rayos X, de la muestra total y de la fracción menor de 2 micras, realizándose difractogramas sobre polvo orientado así como del material tratado a 500 °C. Además, el estado incompleto de los interfoliares de los minerales arcillosos presentes exigió tratamientos con citrato y saturación con Mg^{2+} y K^+ .

Se intentó hacer microscopía electrónica de transmisión para el reconocimiento de las partículas y sobre ellas efectuar un barrido con microsonda que permitiera conocer su composición química. Ahora bien, la preparación de las muestras implica que las sales siempre residuales en la fracción menor de 2 micras se depositen sobre las partículas arcillosas, teniendo, tras el análisis químico de la partícula al MEB, la suma de la respuesta debida a la arcilla y a la sal, por lo que no se puede intentar identificar el mineral a partir de estos datos.

En el caso concreto estudiado se ha podido comprobar que la mineralogía de arcillas en el área fuente de la laguna está integrada por illita y un interestratificado regular ($14_c - 14_m$), corrensita, mientras que en la zona de influencia de las salmueras de la laguna la illita sigue persistiendo al tiempo que la corrensita ha perdido parte de sus iones Mg^{2+} para transformarse en una estructura irregular a 14 Å, re-

construida gracias a los tratamientos citados. Asimismo, se observa que los minerales están más degradados en el techo de las secuencias salinas (zona de eflorescencias) que en profundidad. Parece pues evidente una fuerte interacción ejercida por las salmueras, resultante de la progresiva evaporación, sobre la estructura de los silicatos.

En cuanto a la illita, aunque parece no sufrir modificaciones notorias bajo el efecto de las salmueras, de la Fig. 11 se deduce una mejor cristalinidad o una mejor ordenación estructural. Esta segunda inter-

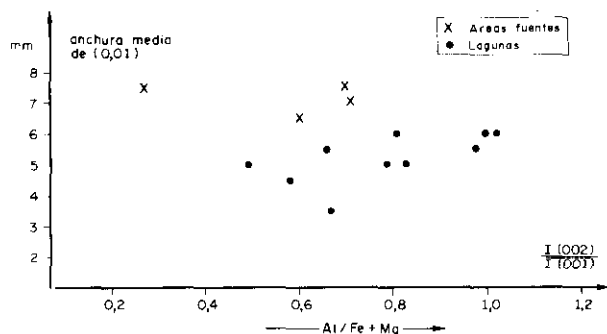


FIG. 11.—Diagrama de ESQUEVIN para las illitas de los sedimentos recientes y de las áreas fuentes de la laguna de Pájaros (tomado de GARCIA-PALACIOS et al., 1978).

FIG. 11.—ESQUEVIN'S diagram for the illites of recent sediments and for the source areas of the Pájaros «laguna». (From GARCIA-PALACIOS et al., 1978).

pretación parece la más correcta, ya que es bien conocido el hecho de que las illitas dentríticas desordenadas 1Md se ordenan en medios hipersalinos, pasando a dar estructuras de tipo 1M.

VIII. ASPECTOS ESTRUCTURALES DE LAS LAGUNAS

Diversas estructuras, en general de carácter efímero, se desarrollan asociadas a las evaporitas de las lagunas de La Mancha. Dichas estructuras temporalmente son primarias o diagenéticas muy tempranas (eodiagenéticas) y desde el punto de vista espacial se generan en relación con las dos zonas que en mayor o menor grado presentan todas las lagunas: *a*) zona interna, asociadas a la costra salina, y *b*) zona externa, asociadas a la orla de limos salinos (corresponderían, respectivamente, a las «inner salt pan» y «outer saline mudflar» de HARDIE et al., 1978).

a) *Costras salinas* (Figs. 5,A-B-C; 6,A; 8,B)

En la zona central de las lagunas se producen costras de escala centimétrica por precipitación a partir de las salmueras. En ellas suele distinguirse un bandeado como consecuencia de las variaciones en la vertical de mineralogía, texturas y coloración (Figs. 8,A-B). Dichas capas son frágiles y crugen al ser pisadas, al igual que describe PUEYO (1978-79) en las lagunas de Aragón, pero en ocasiones los niveles inferiores tienen una gran dureza y pueden ser pisadas sin que cedan prácticamente. A este respecto, por ejemplo, en la laguna de Tirez (zona 1) la capa de thenardita (nivel —d—, Fig. 8) soporta el peso de un tractor sin romperse y su perforación y toma de muestras se hace con gran dificultad por su extraordinaria dureza.

En la zona periférica («saline mudflat») las costras que se forman son milimétricas y corresponden a eflorescencias que genera el ascenso de aguas capilares.

b) *Grietas de desecación* (Fig. 12,A)

Preferentemente en los limos salinos de la zona externa («saline mudflat»), durante el proceso de desecación se generan típicas grietas de planta poligonal y escala centimétrica.

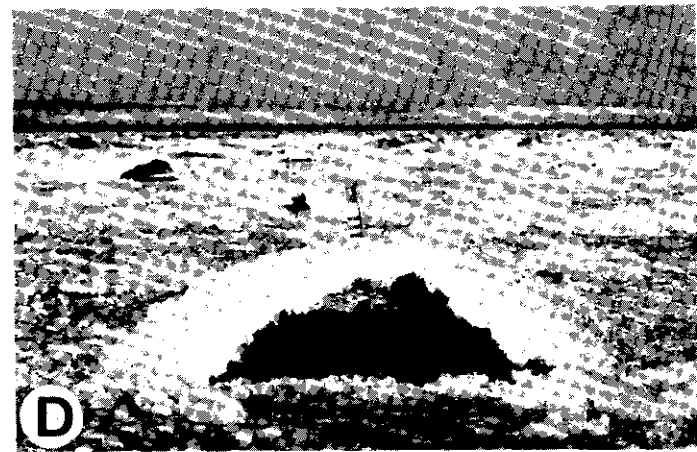
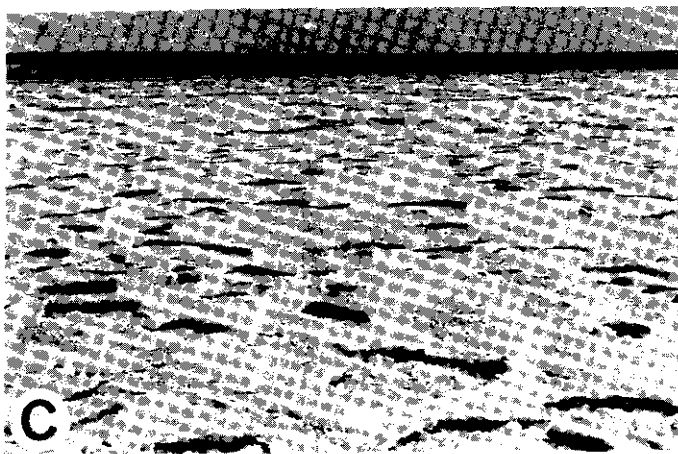
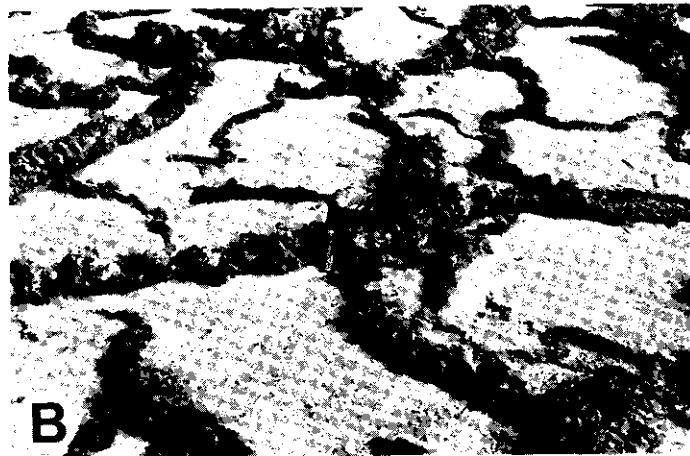
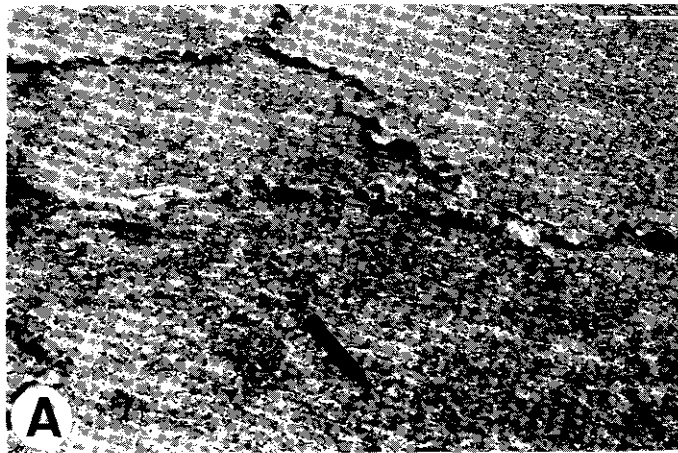
Coetáneas con las anteriores se producen en la zona central estructuras de rotura de la costra salina con planta también poligonal pero de mayor escala, en general métrica. Son pues grandes grietas poligonales que unas veces afectan sólo a la costra salina pero que frecuentemente son más profundas, llegando hasta la capa de sapropel e incluso a los limos infrayacentes. Como consecuencia de estas grietas se individualizan placas que llegan a tener varios metros cuadrados de superficie, las cuales a menudo se imbrican a modo de «cabalgamiento» entre ellas. Dichas placas, en los momentos de nuevos aportes de agua a las lagunas, pueden ser removidas de sus posiciones originales.

c) *Cresta de sal* (Fig. 12,B)

A veces, asociadas a las estructuras últimamente descritas, se producen unas estructuras consistentes en que a favor de las grietas po-

FIG. 12.—*Estructuras: A) Grietas de desecación de planta poligonal y escala métrica afectando a la costra salina del centro de la laguna de Tirez hasta la capa de sapropel. B) Cresta de sal. Laguna de Salicor. C y D) «Tepees». Laguna de Tirez.*

FIG. 12.—*Structures. A) Dissection cracks with a polygonal section and metric scale that affects the saline crust at the center of the Tirez «laguna» to the sapropel bed. B) Saline crust. Salicor «laguna». C and D) Tepees. Tirez «laguna».*



ligonales y el afloramiento por ellas de la capa de sapropel saturada en la salmuera, se desarrollan algas que posteriormente, como consecuencia del ascenso de aguas capilares, son recubiertas por eflorescencias, dando lugar a «crestas» de planta poligonal de hasta 10 cm de altura (SORIANO et al., 1977).

d) «Tepees» (Figs. 12,C-D)

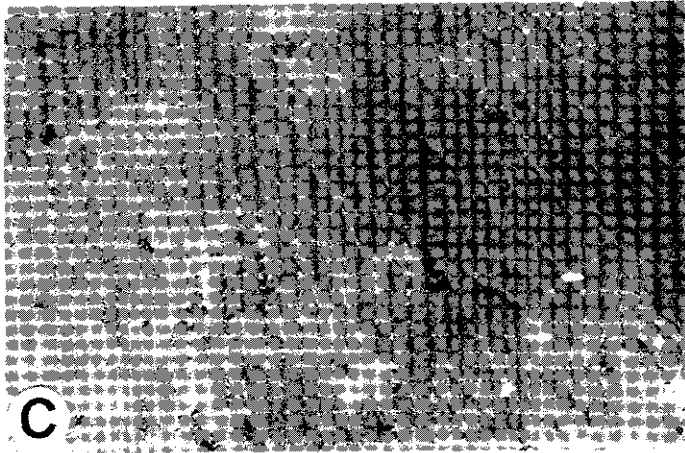
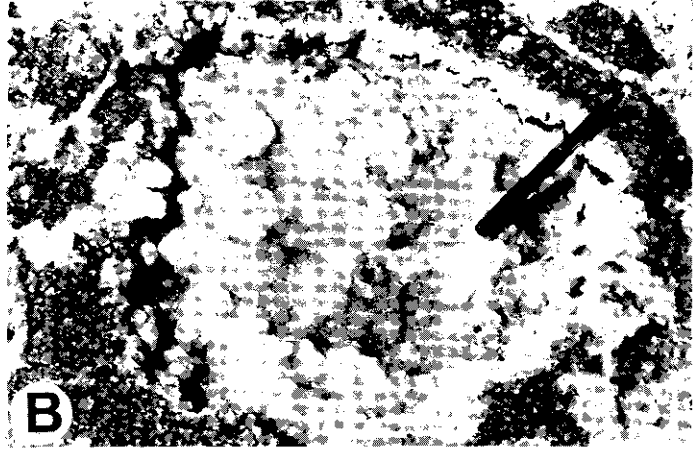
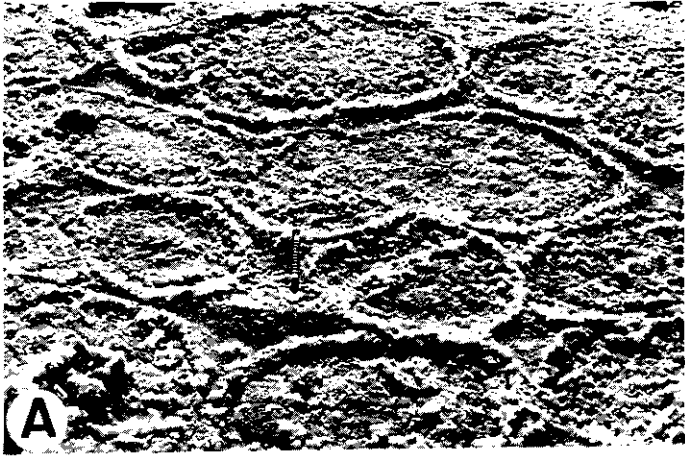
Una de las estructuras más frecuentes son los abombamientos y despegues que se producen en la zona central de las lagunas. Unas veces los despegues afectan a la costra salina completa, que se separa de la capa sapropélica, y otras lo que se abomba son los niveles superiores de dicha costra salina, quedando los inferiores intactos. Tal caso es frecuente en la laguna de Tirez. Estos abombamientos tienen génesis compleja estando regulados por la presión de cristalización y el empuje de los gases que se desprenden en los procesos de descomposición del sapropel. La fragilidad de estas estructuras provoca su fácil destrucción y como consecuencia de ello sus «ruinas», al desmantelarse sus bóvedas, se convierten en pequeños «charcos» en los que salmueras residuales precipitan las fases mineralógicas más tardías. Asimismo, los trozos de bóvedas erosionados son transportados y re-sedimentados en otras zonas de las lagunas, bien por el viento cuando las lagunas están secas o bien por efecto del oleaje en los momentos de lámina de agua.

e) *Estructuras circulares* (Figs. 13,A-B)

A favor de las «ruinas» de los «tepees» descritas y de zonas locales deprimidas de la costra salina se originan unas estructuras de planta más o menos circular (Fig. 13,A) que progresivamente van ganando individualización al desarrollarse en sus márgenes grandes cristales a modo de empalizada que tienden a ir creciendo hacia el interior de los «charcos» (Fig. 13,B). El resultado final son unas elevaciones circulares sobre el fondo de la costra salina integradas por cristales que delimitan zonas deprimidas internas en las que se conservan las salmueras más concentradas del proceso de evaporización general de las lagunas.

FIG. 13.—Estructuras: A y B) Estructuras circulares. Laguna de Tirez. C) «Ripples» subacuáticos en el borde de la laguna de Tirez. D) Dunas de sal. Laguna de Tirez.

FIG. 13.—Structures. A and B) Circle patterns. Tirez «laguna». C) Subaquatic ripples at the edge of the Tirez «laguna». D) Salt dunes. Tirez «laguna».



f) «Ripples» (Fig. 13,C)

El fuerte viento reinante con frecuencia en la zona de las lagunas provoca un intenso oleaje de la lámina de agua de las mismas que da lugar a la formación de «ripples» cuya génesis y migración puede observarse bajo el agua cerca de la zona de rompiente.

g) *Dunas de sal* (Fig. 13,D)

En relación con el viento mencionado y a favor de cualquier obstáculo del fondo plano, normalmente vegetales enraizados o arrancados de los entornos por el mismo viento y llevados al interior de las lagunas, se forman acumulaciones de forma semilunar integradas bien por eflorescencias superficiales transportadas por el viento o bien por salmueras de altísima concentración con cristales en suspensión, que por el batir del viento adquieren aspecto de natas.

h) *Tapices algales* (Figs. 14,A-B-C)

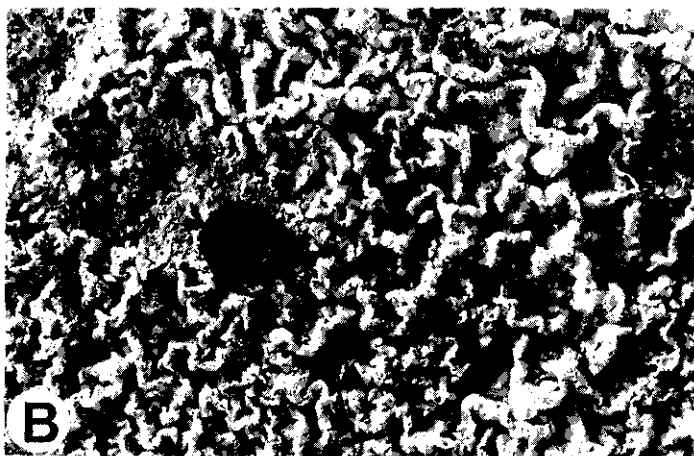
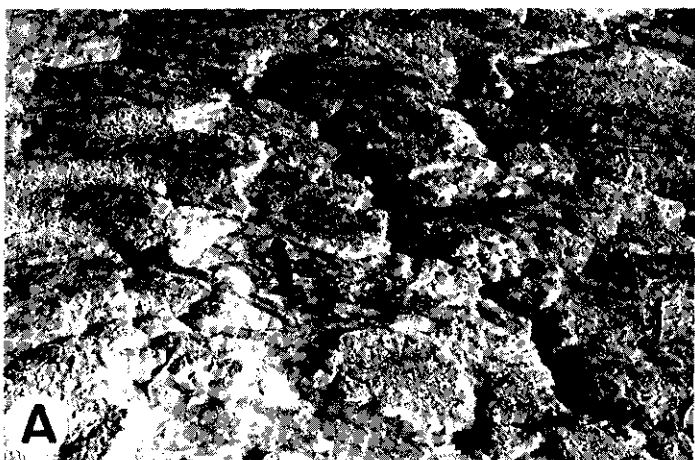
La presencia de algas cianofíceas es sin duda el aspecto biológico cuantitativamente más importante que presentan las lagunas manchegas, formándose a expensas suyas tapices algales de escala milimétrica en el fondo de las mismas. Su acumulación en el tiempo y correspondiente alteración anaerobia es la responsable fundamental de la génesis de la capa de sapropel mencionada en varias ocasiones.

i) *Bioturbación*

Además de las algas azul-verdes citadas hay una serie de organismos que por su gran tolerancia a los ambientes de alta salinidad (BEADLE, 1974; HARDIE et al., 1978; PUEYO, 1978-79) se encuentran en las lagunas de La Mancha, tales como crustáceos, insectos, gusanos, bacterias, plantas halófilas, etc. (CIRUJANO, 1980 y 1981; CASTRO VIEJO y CIRUJANO, 1980). La perturbación de los sedimentos de las lagunas por parte de estos organismos es muy pequeña en general

FIG. 14.—Estructuras: A) Tapiz algal afectado por grietas de desecación como consecuencia de la exposición subaérea. Laguna de Saladar —La Higuera—. B) Detalle de la estructura contorsionada del tapiz algal. Laguna de Pétrola. C) Estructuras estromatolíticas de la laguna de Saladar. Los niveles oscuros corresponden a la materia orgánica de antiguos tapices algales y los claros a limos salinos.

FIG. 14.—Structures. A) Algal mats with dissection cracks due to subaereal exposure. Saladar «laguna». B) Detail of the contorted structure of the algal mats. Pétrola «laguna». C) Stromatolitic structures in Saladar «laguna». The dark levels correspond to organic matter of ancient algal mats and the clear ones to saline muds.



dada su poca abundancia, salvo la bioturbación debida a las raíces de las plantas (Salicornias principalmente).

Otro aspecto diagenético importante es el debido a las bacterias sulforreductoras que juegan un papel importante en relación con la capa de sapropel al crear un ambiente que favorece la inestabilidad de los sulfatos y provoca la formación de sulfuros (las piritas citadas).

AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer constar nuestra gratitud al doctor Blair F. JONES, del Geological Survey de Reston (Virginia, USA), por la crítica del manuscrito y la corrección del inglés correspondiente al *abstract* y pies de figuras.

BIBLIOGRAFIA

- BEADLE, L. C. (1974): *The Inland waters of tropical Africa*, Longman, London.
- BERMEJO, P. (1974): Sedimentación actual en las lagunas de la zona de Corral Rubio-La Higuera (Albacete), Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 134 pp.
- BUSSON, G. (1968): La sedimentación des évaporites. Comparaison des donnés sahariennes a quelques théories, hypotheses et observations clasiques ou nouvelles, *Mém. du Muséum Nat. d'Histoire Naturelle*, 19, 125-169.
- BUSTILLO, M. A.; GARCÍA, M. A.; MARFIL, R.; ORDÓÑEZ, S., y DE LA PEÑA, J. A. (1978): Estudio sedimentológico de algunas lagunas de la región manchega, sector Lillo-Villacañas-Quero (Provincia de Toledo), *Estudios geol.*, 34, 187-191.
- CARENAS, B. (1977): Petrografía y Geoquímica de yesos actuales continentales: su comparación con depósitos antiguos, Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 97 pp.
- CARENAS, B., y MARFIL, R. (1979): Petrografía y Geoquímica de yesos actuales continentales de la región manchega, *Estudios geol.*, 35, 77-91.
- CARENAS, B.; MARFIL, R., y DE LA PEÑA, J. A. (1982): Modes of formation and diagnostic features of recent gypsum in a continental environment, La Mancha (Spain), *Estudios geol.*, 38, 345-359.
- CASTROVIEJO, S., y CIRUJANO, S. (1980): *Sarcocornietea* en La Mancha, *Anales Jard. Bot. Madrid*, 37, 143-154.
- CIRUJANO, S. (1980): Las lagunas manchegas y su vegetación. I, *Anales Jard. Bot. Madrid*, 37, 155-192.
- CIRUJANO, S. (1981): Las lagunas manchegas y su vegetación. II, *Anales del Jard. Bot. Madrid*, 38, 187-232.
- DE LA PEÑA, J. A.; GARCÍA-RUIZ, J. M.; MARFIL, R., y PRIETO, M. (1982): Growth features of magnesium and sodium salts in a recent playa lake of La Mancha (Spain), *Estudios geol.*, 38, 245-257.
- DE LA PEÑA, J. A.; MARFIL, R.; ALVAREZ, C., y BERMEJO, P. (1975): Geochemistry of the recent saline sedimentation in the ponds of «La Mancha» (Spain), *IXth Int. Cong. of Sedimentology*, Nice, 2, 45-49.
- EUGSTER, H. P., y HARDIE, L. A. (1978): Saline lakes. En: *Physic and chemistry of lakes* (Ed. por A. Lerman), Springer Verlag, 237-293.

- FERNÁNDEZ CALVO, C. (1981): Sedimentología y diagénesis del Cretácico superior de La Mancha (provincia de Cuenca), Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 297 pp.
- GARCÍA-ABAD, F. J. J. (1975): Estudio geológico de la región del Pantano de Alarcón (Cuenca), Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 475 pp.
- GARCÍA-PALACIOS, M. C.; MARFIL, R., y DE LA PEÑA, J. A. (1978): Medio evaporítico continental: influencia de las salmueras sobre los sedimentos arcillosos, *Tecniterrae*, 23, 1-9.
- HARDIE, L. A.; SMOOT, J. P., y EUGSTER, H. P. (1978): Saline lakes and their deposits: A sedimentological approach. En: Modern and ancient lake sediments (Ed. por A. Matter and M. E. Tucker), *Spec. Publ. Int. Assoc. Sedim.*, 2, 7-41.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1949): La Mancha, *Publs. Real Acad. Cien. Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, con motivo de su centenario*, Tomo I, 1-23.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1955-56): Fisiografía del solar hispano, *Memorias de la Real Acad. de Ciencias de Madrid*, 16: 1.ª parte, 657 pp., y 2.ª parte, 793 pp.
- JESSEN, O. (1930): La Mancha: Ein Beitrag zur landeskunde neukastiliens, K. sond. Mitt. Geog. Gesellsch., XLI. Hamburg (Traducción al español por J. Gómez de Llarena: La Mancha: Contribución al estudio geográfico de Castilla la Nueva, *Estudios Geográficos*, 1946, núm. 23, 269-321, y núm. 24, 479-524).
- MARFIL, R.; BERMEJO, E. P., y DE LA PEÑA, J. A. (1975): Sedimentación salina actual en las lagunas de la zona Corral Rubio-La Higuera (provincia de Albacete), *Estudios geol.*, 31, 543-553.
- OCTAVIO DE TOLEDO, F., y LÓPEZ CAMACHO, B. (1976): Relaciones entre el flujo subterráneo y la calidad química de las aguas en formaciones continentales: Caso del SE de Toledo. *Simposio Nacional de Hidrogeología, Valencia*, 1077-1101.
- ORDÓÑEZ, S.; GARCÍA, M. A., y MARFIL, R. (1973): Sedimentación actual: La Laguna de Pétrola (Albacete), *Estudios geol.*, 29, 367-272.
- ORDÓÑEZ, S.; MINGARRO, F.; GARCÍA, M. A., y LÓPEZ, M. C. (1983): Sedimentoquímica e hidroquímica de lagunas castellano-manchegas: Cuenca del Gígüela y del Záncara, *Comunicaciones X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca*, 1.53-1.56.
- PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1982): Neógeno y Cuaternario de la llanura manchega y sus relaciones con la cuenca del Tajo, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 787 pp.
- PERTHUISOT, J. P. (1980): Sites et processus de la formation d'évaporites dans la Nature actuelle, *Bull. Centre Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 4, 207-233.
- PUEYO, J. J. (1978-79): La precipitación evaporítica actual en las lagunas del área: Bujaraloz, Sástago, Caspe, Alcañiz y Calanda (provincias de Zaragoza y Teruel), *Rev. Inst. Inv. Geol. Diputación Provincial, Univ. de Barcelona*, 33, 5-56.
- PUEYO, J. J. (1980a): La sedimentación evaporítica actual en las lagunas de la zona Bujaraloz-Alcañiz (provincias de Zaragoza y Teruel), *IX Congreso Nacional de Sedimentología, Salamanca*, 60-61.
- PUEYO, J. J. (1980b): Procesos diagenéticos observados en las lagunas tipo playa de la zona Bujaraloz-Alcañiz (provincias de Zaragoza y Teruel), *Rev. Inst. Inv. Geol. Diputación Provincial, Univ. de Barcelona*, 34, 195-207.
- PUEYO, J. J., e INGLÉS, M. (1984): A model of continental evaporitic sedimentation: The playa lakes of Los Monegros and Bajo Aragón (Spain), *5º Cong. Eur. Sedim. S. A., Marsella* (Abstracts).
- SORIANO, J. (1975): Estudio de la sedimentación salina actual en las lagunas de la zona de Alcázar de San Juan y de la Petrología de los materiales triásicos

- de sus entornos, Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 122 pp.
- SORIANO, J., MARFIL, R., y DE LA PEÑA, J. A. (1977): Sedimentación salina actual en las lagunas del norte de Alcázar de San Juan (Ciudad Real), *Estudios geol.*, 33, 123-130.
- STRAKHOV, N. M. (1970): *Principles of Lithogenesis*, vol. 3, Plenum Publ. co., 577 pp.
- YÉBENES, A.; MARFIL, R.; SORIANO, J.; DE LA PEÑA, J. A., y DÍAZ MOLINA, M.: El Triás de Alcázar de San Juan (Región de La Mancha), *Cuadernos de Geología Ibérica*, 4, 495-508.