

SUELO Y SUBSUELO DE LAS CHARCAS DE CERRILLOS (Roquetas de Mar)

Por

*José M.^o Artero García

Continuando la actualización de datos de mi archivo geológico sobre la provincia de Almería (1), desarrollo a continuación un trabajo titulado «Suelo y subsuelo de las charcas de Cerrillos (Roquetas de Mar)», que intenta explicar el origen de hoyas formadas de modo natural en el fondo de antiguas charcas de la salinas de Cerrillos, que en tiempos pasados motivaron el abandono de su explotación hasta el momento actual.

No es posible pensar que esa zona, tan codiciada turísticamente, pueda dedicarse de nuevo a la obtención de sal. Pero el conocimiento de las características de su suelo y subsuelo sí tienen interés hoy, en 1988, porque en bastantes hectáreas de su superficie acabarán edificando viviendas de todo tipo y su cimentación tropezará con los hechos que se exponen en este trabajo.

ANTECEDENTES

El problema, en términos muy generales, consiste en la súbita aparición de hoyos o hundimientos en el fondo de las charcas de evaporación, con la natural aportación de nuevos caudales de agua de diferente temperatura y densidad, que alteran el proceso normal de la extracción de sal. A veces estos hundimientos se originan en las proximidades de los terraplenes de separación de dos charcas contiguas, con una clara comunicación entre ellas, lo que al eliminar las diferencias de nivel impide la libre circulación de las aguas.

Estos hoyos presentan formas variadas, pues se han localizado hundimientos perfectamente circulares, otros más bien ovales y en ocasiones muy alargados,

*Licenciado en Ciencias Naturales.

como originados a partir de una larga grieta. El posible origen de estos últimos es más fácil de explicar, porque permaneciendo en seco el fondo de esas charcas algún tiempo, su piso es cruzado por vehículos de todas clases y se ha comprobado que las huellas dejadas por el paso de motocicletas, han servido, a veces, de eje de hundimientos al volver a ser ocupadas por las aguas. No es tan fácil encontrar una explicación satisfactoria en el caso de los hundimientos circulares. Su diámetro es extremadamente variable, oscilando alrededor del medio metro de diámetro, pero habiéndose visto también hoyos de más de tres metros de diámetro y otros que son poco más anchos que la contera plana de un bastón, verdaderos sumideros cuyo fondo no se alcanza hasta los tres o cuatro metros de profundidad.

La capa superior del terreno es de constitución bastante monótona, predominando la arena o una arcilla compacta de grano finísimo procedente en su mayor parte de la decalcificación de las calizas tan abundantes en los horizontes inmediatos del terreno, que desde el Terciario —Mioceno inferior— repiten constantemente este material. Como por otra parte los arrastres desde la Sierra de Gádor son de calizas magnesianas del Trias y de restos metamórficos todavía más antiguos, se explica la poca presencia de granitos de cuarzo que se encuentran en los análisis que se detallan más adelante. Así pues, esa capa superior, más arcillosa hacia el interior y más arenosa hacia el mar, se extiende uniformemente con un espesor variable entre 40 y 120 centímetros y debería tener la suficiente compacidad para mantenerse continua. Todavía existe otro factor para darle mayor resistencia y continuidad y es el conjunto de las sales poco solubles que van rápidamente a depositarse en la superficie del terreno cuando las charcas se llenan de agua del mar. El sulfato cálcico, especialmente, mezclado con las partículas de arcilla y los granos de arena, debería dar en los períodos secos a estos fondos de charcas, una especial resistencia que en la práctica no ocurre, no sabemos por qué.

Los hoyos no tienen los bordes cortados a pico ni ofrecen sus paredes formando un cilindro hasta su fondo, más o menos profundo. Son más bien tronco-cónicos, con la base menor en la superficie y en muchos casos las paredes son cóncavas, formando una especie de bóvedas de desconocida anchura en su base mayor, que será el fondo de la depresión. Siempre hay agua a partir de los 25 ó 30 centímetros y el conjunto del hundimiento no parece profundo o importante porque el fondo aparece inmediato. Pero es un fondo ficticio, ya que cuando introducimos un jalón, éste se hunde sin el menor esfuerzo hasta metro y medio o dos metros y a veces más, saliendo manchado de fango y enturbiándose para largo rato el agua visible que llenaba la porción superficial del hoyo.

En una primera visión del problema nos hacemos las siguientes preguntas:

- A) Estos hoyos, ¿indican aportes o llegada de agua? En diversas ocasiones se ha comprobado que la salinidad de una determinada charca permanecía

estacionaria pese a la intensa evaporación, lo que indica, sin duda, una aportación de nuevos caudales de agua. Lo que hay que ver es si esa agua procede del mar y es salada o procede de tierra y es dulce. En uno y otro caso el efecto es el mismo de impedir la concentración del agua de mar inicial.

- B) ¿Indican pérdidas o salida de agua? También en algunas ocasiones se ha comprobado que estas charcas tardaban mucho más en llenarse que otras de capacidad similar o bien, que no llegaban nunca a adquirir el nivel teórico para el que estaban destinadas.
- C) Finalmente, ¿indican comunicación entre sí relacionando charcas próximas según el principio de los vasos comunicantes, independientemente de su relación con el nivel medio del agua del mar y el de la posible capa freática que baja de Sierra de Gádor?

En cinco lugares distintos (no es importante su localización exacta), se han tomado otras tantas muestras, lo más profundas posibles, del material que compone la zona inferior, no visible, de los hundimientos. Las dos primeras pertenecientes a dos charcas recientemente abandonadas pero llenas todavía de agua en este momento (1964), a uno y otro lado de un caballón o pantalla. La tercera es de una zona en seco desde la guerra civil, más próxima al mar que las dos anteriores y tomada en un hundimiento reciente, sin huellas externas que permitan justificar su formación. La cuarta es superficial, tomada de los bordes de un hundimiento somero, sin agua en el fondo, próxima a la anterior y de zona seca también hace largos años. Y la quinta y última pertenece a una charca seca sólo parcialmente, cuyo abandono se remonta a los años 50.

Las cinco muestras han sido analizadas geológica y paleontológicamente en el Laboratorio de Micropaleontología del Instituto Geológico, de Madrid. Han sido preparadas por el método habitual de levigación para separar una fracción mineral y otra orgánica. En la primera quedan incluidos restos animales calizos: *conchas de Moluscos* y de *Ostrácodos* y en la segunda los restos vegetales celulósicos.

Muestra 1. Cieno negro.

La fracción más densa está formada, casi exclusivamente por yeso en cristales lenticulares muy pequeños, a veces corroidos parcialmente, acompañado por muy escaso cuarzo rosado. Como elementos orgánicos, anotamos ejemplares vivientes de *Ostrácodos* y pequeños *Gasterópodos* del género *Bulino*. La fracción ligera contiene enorme cantidad de partículas vegetales en putrefacción, con predominio total de restos desmenuzados de algas *Feofíceas* y *Clorofíceas acintadas*. El depósito es una acumulación de algas marinas sepultadas, que están en putrefacción, no en carbonización, lo que indica que el agua subterránea no está totalmente estancada, sino que tiene una cierta circulación y renovación lenta.

Muestra 2. Cieno negro.

La fracción más densa está formada predominantemente por granos rodados de cuarzo, cuarcita, micacita y otras rocas metamórficas junto con abundante yeso en cristales lenticulares pequeños. Como elementos orgánicos anotamos algunos oogonios de *Charáceas* y los mismos *Ostrácodos* y *Bulimos* vivientes que en la muestra precedente. La fracción ligera es idéntica

a la de la muestra 1: formada por gran cantidad de restos desmenuzados finamente de algas *Clorofíceas acintadas* y *Feofíceas*. Las características del depósito son las mismas que en la muestra precedente.

Muestra 3. Arena con cieno negruzco.

La fracción más densa se compone exclusivamente de cristales lenticulares de yeso y de granos rodados de cuarzo, cuarcita, neis, micacitas y otras rocas metamórficas. Los restos orgánicos son muy escasos, tan sólo aparecen algunos ejemplares de *Rotalia beccarii*, cuyo estado indica que se depositaron en playa. No son vivientes, pero sí muy recientes y deben ser contemporáneos de la formación del depósito arenoso litoral. La fracción ligera es casi estéril, sólo contiene muy escasas partículas de algas del mismo tipo que las precedentes. Esta muestra representa perfectamente a la formación de playa que debe formar la base de toda la zona.

Muestra 4.

La fracción mineral contiene gran cantidad de yeso en cristales lenticulares de diversos tamaños, en general más grandes y mejor conservados que los de las muestras precedentes y abundante cuarzo en grano fino y medio. No se ven restos animales. La fracción ligera es totalmente estéril. El perfecto estado de conservación del yeso puede explicarse si esta muestra ha sido tomada por encima del nivel acuífero. En caso contrario los cristales deben aparecer corroídos.

Muestra 5.

La fracción mineral está formada por cristallitos lenticulares de yeso, a veces corroídos y escasísimos granos finos de cuarzo. No se ven granos de rocas metamórficas ni restos orgánicos. La fracción ligera es totalmente estéril.

Considerando este conjunto, observamos que los elementos minerales, cuarzo y rocas metamórficas, tienen todos los caracteres de haberse sedimentado en playa, desde luego cuaternaria (la muestra 3 con *Rotalia*) y seguramente actual o casi actual, pero con anterioridad al yeso. Este parece de formación muy reciente y aunque no falta en ninguna muestra, sólo la 4 lo contiene con aspecto fresco; las demás lo contienen parcialmente alterado y redissuelto. Lógicamente se habrá formado por evaporación de aguas saladas y al depositarse se entremezcló con los elementos minerales del suelo.

Los restos vegetales, cuando los hay (Muestras 1, 2 y 3), son de algas marinas desmenuzadas y en putrefacción. En cuanto a los pequeños *Bulimos* y los *Ostrácodos* de las muestras 1 y 2 conservan muchas veces su cuerpo reseco, lo que indica que estaban vivos en el momento de recoger la muestra. Su presencia coincide en señalar una cierta circulación en las aguas del subsuelo, cuyo nivel hidrostático tiene que aflorar en los puntos donde se han recogido estas dos muestras.

En resumen, hay un depósito de playa cuaternaria, cuya arena son granos de cuarzo y de rocas metamórficas y acumulaciones de algas intercaladas de modo irregular. Algunos *Foramíniferos* y trozos de conchas rodadas por el oleaje forman parte de este depósito inicial. A estos elementos se añadió en fecha reciente gran cantidad de yeso en cristallitos menudos, por evaporación de aguas salinas, posiblemente en las mismas salinas. El conjunto está empapado a cierta profundidad por el manto de agua salada que viene del mar y que tiene una pequeña circulación; probablemente sube y baja con las mareas. La parte de arena bajo

la superficie de este manto acuífero es móvil, de consistencia semilíquida. En las depresiones en que aflora el nivel acuífero viven ahora pequeños caracoles y *Ostrácodos* marinos, de ambiente de estuario, alimentándose de la materia vegetal en putrefacción.

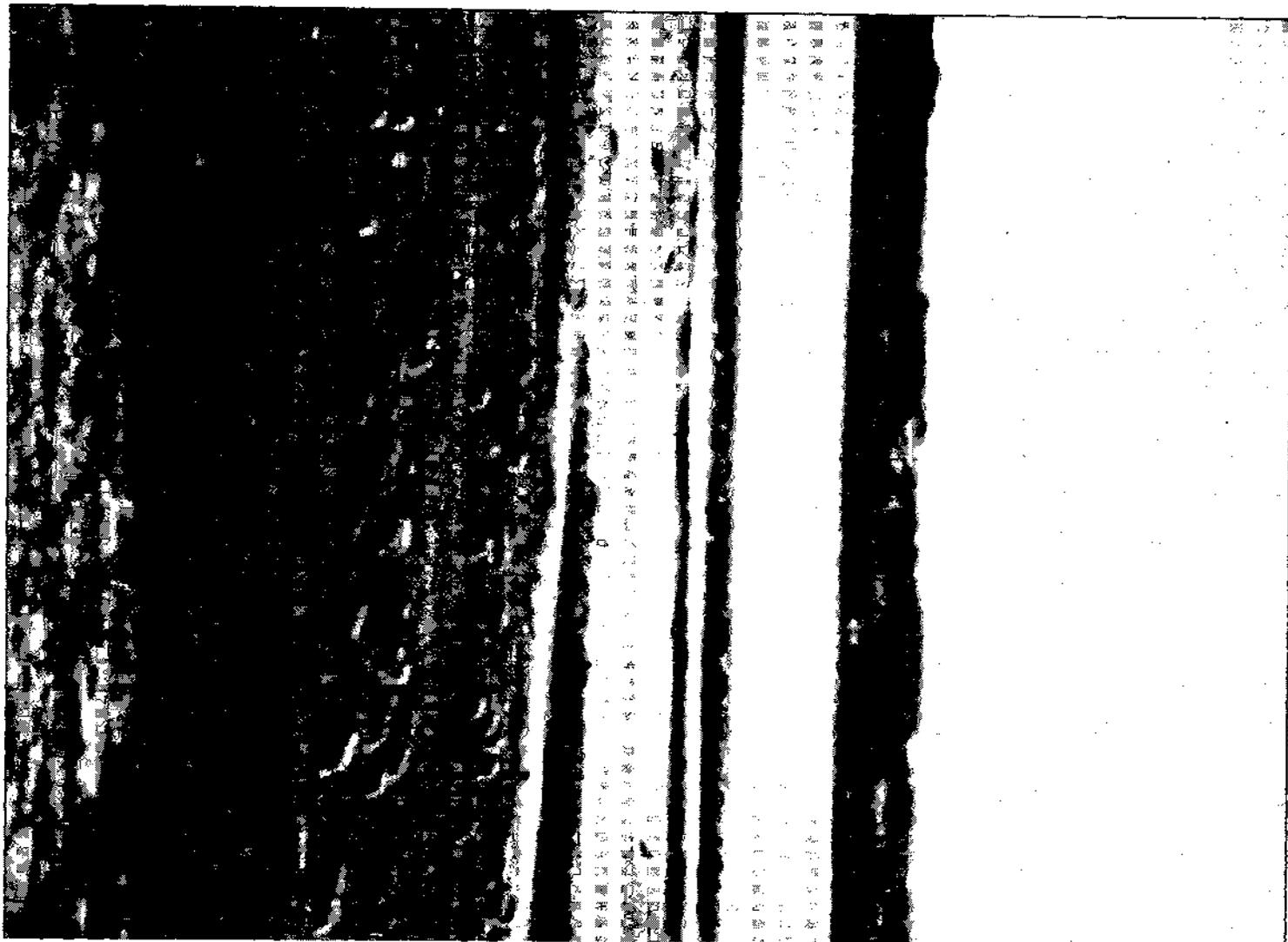
Todo esto concuerda con los conocimientos que se poseen sobre la geología del Campo de Dalías, en el sentido de admitir que toda esta costa es una costa de levantamiento o «emergencia», y su base es, pues, la antigua terraza formada por los restos dejados por la abrasión marina. El lento levantamiento de toda esta plataforma, permite suponer que en mareas altas o fuertes temporales de Poniente fuese barrida por las olas una gran superficie habitualmente ya por encima del nivel normal del mar y en ella se depositarían algas y restos orgánicos animales. La formación de dunas costeras, secuela forzosa de todas las costas de levantamiento por la gran finura de las arenas que van quedando al descubierto y que los vientos dominantes ponen inmediatamente en movimiento, harían el fenómeno cada vez menos frecuente cubriendo las arenas los restos vegetales y en ocasiones entremezclándose con ellos.

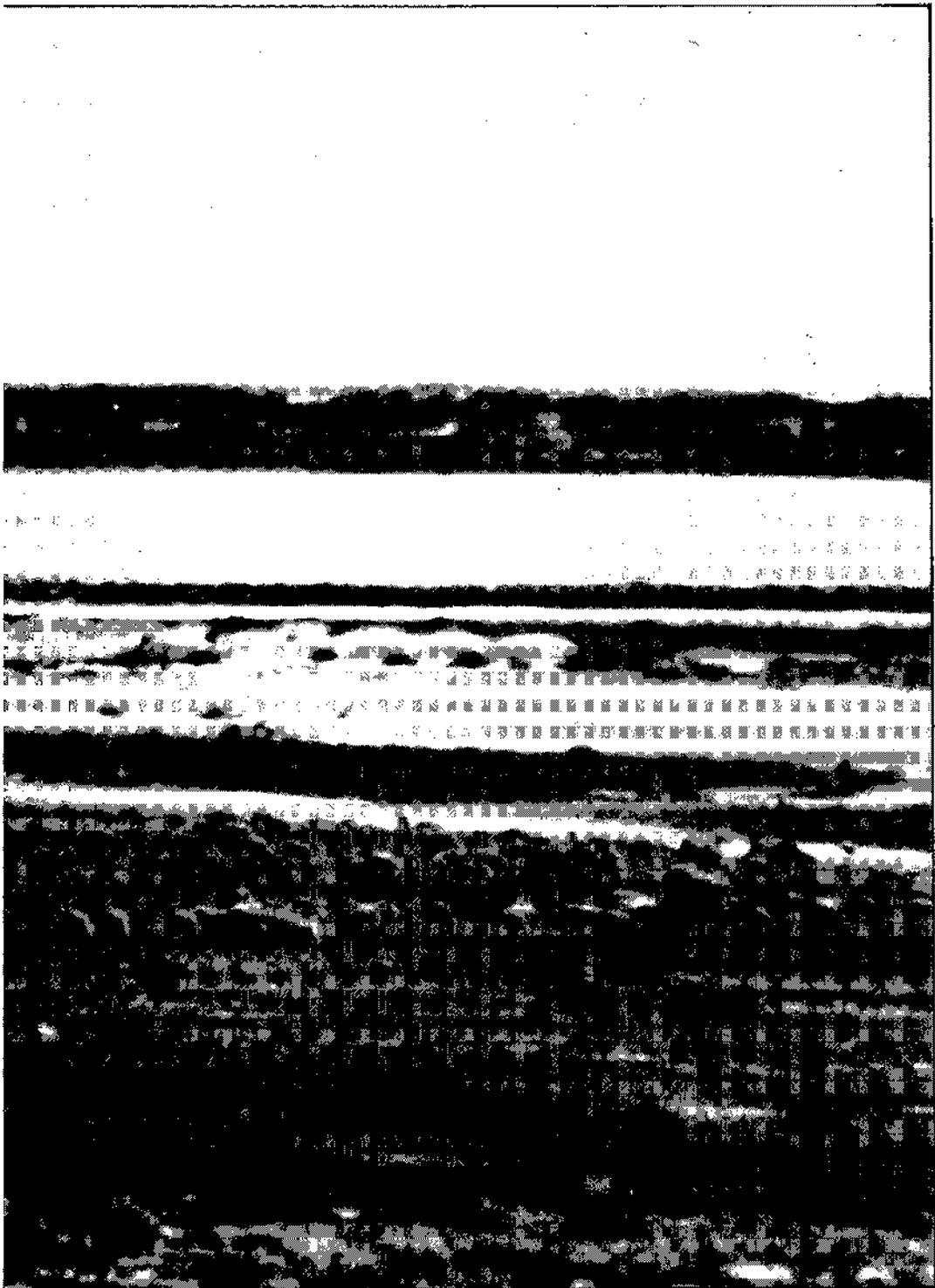
Por la convexidad de la zona, la barrera de dunas protege perfectamente del ataque frontal de las olas. Pero el ángulo de Poniente queda más expuesto a la violencia del mar y hasta recientemente esa zona se ha visto invadida en inviernos muy duros. Las aguas circulan entonces de Poniente a Levante por detrás del cordón de dunas que impiden su vuelta al mar y se forman lagunas saladas en donde incluso pudieron desarrollarse formaciones vegetales propias de restingas cerradas. La gran nivelación de ese terreno y la presencia de sales en su suelo, principalmente cristales de yeso, justifican estas hipótesis. Luego, las lagunas se secan. Bajo la capa superior muy plana de arena, yeso y arcillas traídas por el viento desde el interior, quedó enterrada una masa vegetal importante, en descomposición, que por su agrupación laxa y su pérdida de volumen continua, permite una fácil circulación de agua en el subsuelo.

Podemos dejar sentado, a manera de base para estudios posteriores de detalle, los siguientes hechos comprobados:

- A) Bajo un nivel de suelo aparentemente compacto de espesor variable, se presenta un subsuelo esponjoso, orgánico, empapado en agua, cuyo volumen tiende a disminuir, por lo que deja huecos que en unos casos se llenan de agua y en otros, si no hay circulación suficiente, provocarán hundimientos de la capa superior a poca presión que en ella se produzca. La circulación suficiente se presentará cuando una marea alta haga subir el nivel hidrostático general de una llanada como ésta, tan permeable. Y hablamos sólo de circulación de agua salada, porque en esta zona baja del Campo de Dalías es absolutamente imposible la existencia de una capa freática abundante de agua dulce, por razones de estructura tectónica que no vamos a abordar ahora (2).

Mirafles: Desert Photo.





- B) La formación de hundimientos en charcas con agua coincidirá con un aumento de su nivel y consiguientemente, aumento de presión sobre el fondo. En los hundimientos de zonas en seco, podría explicarse por presiones originadas al paso de vehículos que debilitarían la resistencia de los poco cohesivos materiales que constituyen el horizonte A del suelo.

A la vista de estas consideraciones basadas en una observación «in situ» de las charcas de Cerrillos, nos planteamos una serie de cuestiones que deben centrar un estudio más detallado de la zona, que se desarrolla a continuación.

1. Decidir si se trata de un fenómeno natural o si ha sido provocado por la ruptura de un equilibrio entre factores ecológicos como consecuencia de la intervención del hombre.
2. En cualquier caso, si el fenómeno es progresivo, estacionario o regresivo.
3. Delimitar su extensión en el espacio fijando el área afectada y en el tiempo comprobando si sus primeras manifestaciones pueden datarse con alguna exactitud.
4. Confirmar las hipótesis previas sobre las causas, evolución y desarrollo de los hundimientos.
5. Estudiar la posibilidad de su corrección total o al menos, limitar sus efectos perjudiciales.

DATOS CRONOLÓGICOS SOBRE LA ZONA A ESTUDIAR

La amplia zona de costa que se extiende desde Punta Entinas por Poniente y la urbanización de Roquetas por Levante, era propiedad de D. Antonio Acosta a quien se le adquirió por compra en 1923. La zona ya había sido explotada como salinas desde bastantes años atrás por Salinas de Almería y Sosalda, S.A. pasando más tarde a ser propiedad de Unión Salinera de España, S.A. Todo ello indica que las condiciones naturales del terreno han sido modificadas desde muy antiguo.

En 1923 el llamado Charco del Flamenco era mucho más grande que en la actualidad, prácticamente se comunicaba con las grandes balsas de evaporación sin solución de continuidad y ya se conocían hoyas en toda esa zona con clara comunicación subterránea con el mar por debajo de la línea costera de dunas. En ese mismo año se comenzó por el Ingeniero Sr. Abellán a luchar con las hoyas, intentando cegarlas a base de cemento y piedra, pero con poco éxito. A medida que se establecía el cuadrículado de charcas para la evaporación, se presentaban nuevas hoyas que inutilizaban el esfuerzo y el gasto hecho para aterrizar las anteriores. En 1948 se abandonó la lucha y estas salinas de Cerrillos se unieron a las llamadas Salinas Viejas, pasando ambas a ser meros depósitos de evaporación, que enviaban sus aguas ya concentradas a las charcas de cristalización de las Salinas de San Rafael, a Levante del pueblo de Roquetas de Mar. En los fon-

dos de las charcas que habían sido balsas de cristalización nunca se presentó el fenómeno de las hoyas, que parece circunscribirse a las Salinas de Cerrillos y más intensamente a las proximidades del Charco del Flamenco y en la zona, nunca utilizada para fines de obtención de sal, de Punta Entinas.

Pese a todos los inconvenientes y gastos realizados hasta la fecha, en 1950 se realizaron los últimos intentos para resolver el problema, consistentes en nivelar depósitos colindantes. El relleno con unos 50 Cm de arena y tierra arcillosa no dio resultado alguno, sino que por el contrario aumentó la proporción de hoyas, quizá por el mayor peso sobre un subsuelo poco firme. Sí fue más eficaz en otra charca el rebaje del nivel efectuado en su fondo y la disminución de la altura habitual de la lámina de agua. Finalmente, desde esa fecha se abandonaron definitivamente para su explotación, las zonas de hoyas más pertinaces, que persisten semienterradas por un desplome natural de sus paredes rellenas por una especie de solaje muy fluido, turbio y movedizo, independientemente de que estén cubiertas o no por las aguas permanentes del Flamenco, que en ocasiones favorables inundan la mayor parte de estas charcas hoy inutilizadas como productoras de sal, pero de un gran valor ecológico que ha motivado muy recientemente su inclusión en el Proyecto de Espacios Protegidos de Andalucía.

DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA ZONA

TECTONICA DE LA SIERRA DE GADOR

Resultaría incomprensible describir la plana costera que nos ocupa sin dedicar algún espacio a la Sierra de Gádor dominante, que ha conservado durante tantos años su carácter enigmático por la ausencia total de fósiles en toda su extensión, exceptuando el mínimo hallazgo de Gonzalo Tarín en 1882 en la rambla del Cañuelo, que por su carácter de muestra exclusiva tampoco puede proporcionar certezas absolutas.

Para Carandell, defensor de lo que se llamó «hipótesis autóctona» el macizo de Sierra Nevada, como los ojales de metamórfico que aparecen rodeados de una aureola de calizas triásicas en las sierras penibética de Baza, Filabres, Alhamilla, etc., sería simplemente un abombamiento anticlinal de la cobertera triásica, de buzamiento periclinal, desmantelado por la erosión, lo que permite ver el basamento paleozoico metamorfoseado. Pero es más aceptable la «hipótesis halóctona» de Staub, Brow, Blumenthal, Fallot y más modernamente los españoles Solé Sabaris, Fontboté y otros, de que las cordilleras Béticas constituyen un conjunto de mantos de corrimiento de estilo alpino, corridos de Sur a Norte y han tenido que formarse en otra cuenca sedimentaria alpina al Sur de la costa actual.

De momento no es imprescindible profundizar en la edad geológica de la Sie-

rra de Gádor, que resultaría distinta según se siga una u otra teoría. Porque, entre otras razones, se va afirmando una solución un tanto ecléctica a medida que avanzan los conocimientos estratigráficos de la región, a saber: autoctonía para el cristalino de Sierra Nevada, que es el núcleo sólido, la raíz de la Penibética; ligera haloctonía para los sedimentos mesozoicos de la cordillera sub-bética que avanza hacia la Meseta y son frenados por ella y franca haloctonía para el Trias de los mantos alpujarreños del que es pieza fundamental nuestra discutida Sierra de Gádor.

Pasados los movimientos prealpínicos o paleoalpínicos, vienen los propiamente alpinos del Mioceno medio, completados finalmente en el Plioceno con las fases rodánica y valáquica. Los relieves estructurales que emergen a consecuencia del plegamiento, son atacados violentamente por la erosión, con lo que se acentúa el aislamiento de los macizos montañosos ya en disposición desordenada como consecuencia del estilo de plegamiento. En todas partes, a fines del Mioceno gran parte del relieve ha quedado enterrado bajo una cubierta de conglomerados y molasas de la que destaca la gran arruga de la Penibética y algunos islotes aislados, de los que uno de lo más conspicuos es nuestra Sierra de Gádor.

Según Solé Sabaris, las relaciones topográficas actualmente existentes entre los depósitos miocénicos revelan que después de su sedimentación y anteriormente a la del Plioceno, sufrieron un abombamiento de radio medio que acentuó el hundimiento de las depresiones subsistentes, al mismo tiempo que exageró la personalidad de los macizos anteriormente existentes, ya aislados. A consecuencia de esta elevación, el relieve se rejuvenece y empieza a desarrollar un ciclo erosivo importante que produce abundantes derrubios. En la costa de la Sierra de Gádor es muy probable que esta colmatación tuviese lugar dentro del mar Plioceno.

Finalmente y siguiendo al mismo autor, debió tener lugar un segundo y último abombamiento de gran radio de curvatura que para la Penibética en general tuvo la gran repercusión del desagüe de la depresión del Guadalquivir y para la zona de nuestro estudio, en particular el plegamiento de los sedimentos pliocénicos de estratos horizontales, que dieron lugar a un sinclinal de eje aproximadamente Este-Oeste y buzamiento en sus capas de ángulo no mayor de 5°. Su límite Sur está bien delimitado en el escarpe de Guardias Viejas.

TECTONICA DE LA LINEA COSTERA

Sobre este sinclinal el mar cuaternario avanzó y retrocedió al compás de los movimientos eustáticos de equilibrio. Porque hay que insistir en que no fueron sólo los plegamientos alpinos los que dieron a la región el aspecto que con pequeñas variaciones tectónicas ofrece en la actualidad, sino que pasado el paroxismo estructural, es la «tectónica morfológica» la que viene a modificar la topografía de la región. Han sido los agentes erosivos exógenos y las oscilaciones eustáticas

del nivel del mar, los que al modificar una y otra vez el nivel de base de la erosión pluvial y el frente de ataque de la abrasión marina, rejuvenecieron las formas del relieve antes de que éste alcanzase su perfil de equilibrio.

Sus efectos fueron, esencialmente, los siguientes:

a) En las regresiones, tallar nuevas líneas de costa por efecto de la abrasión marina. (Aunque SERMET ha llegado a localizar en la costa andaluza entre Málaga y Almería cuatro niveles distintos de este mar, el más alto de 140 m sobre el nivel actual, nosotros sólo podemos hablar de dos de ellos, aproximadamente delimitados por las cotas de 100 y de 60 metros).

b) En las transgresiones, las olas arrasan las cabezas de los estratos pliocenos, contribuyen a endurecer las superficies calizas del manto detrítico y limpian de restos aluviales la plataforma que ocupan, dejando al retirarse una delgada capa de guijarros y arena, extendida con regularidad por toda la superficie.

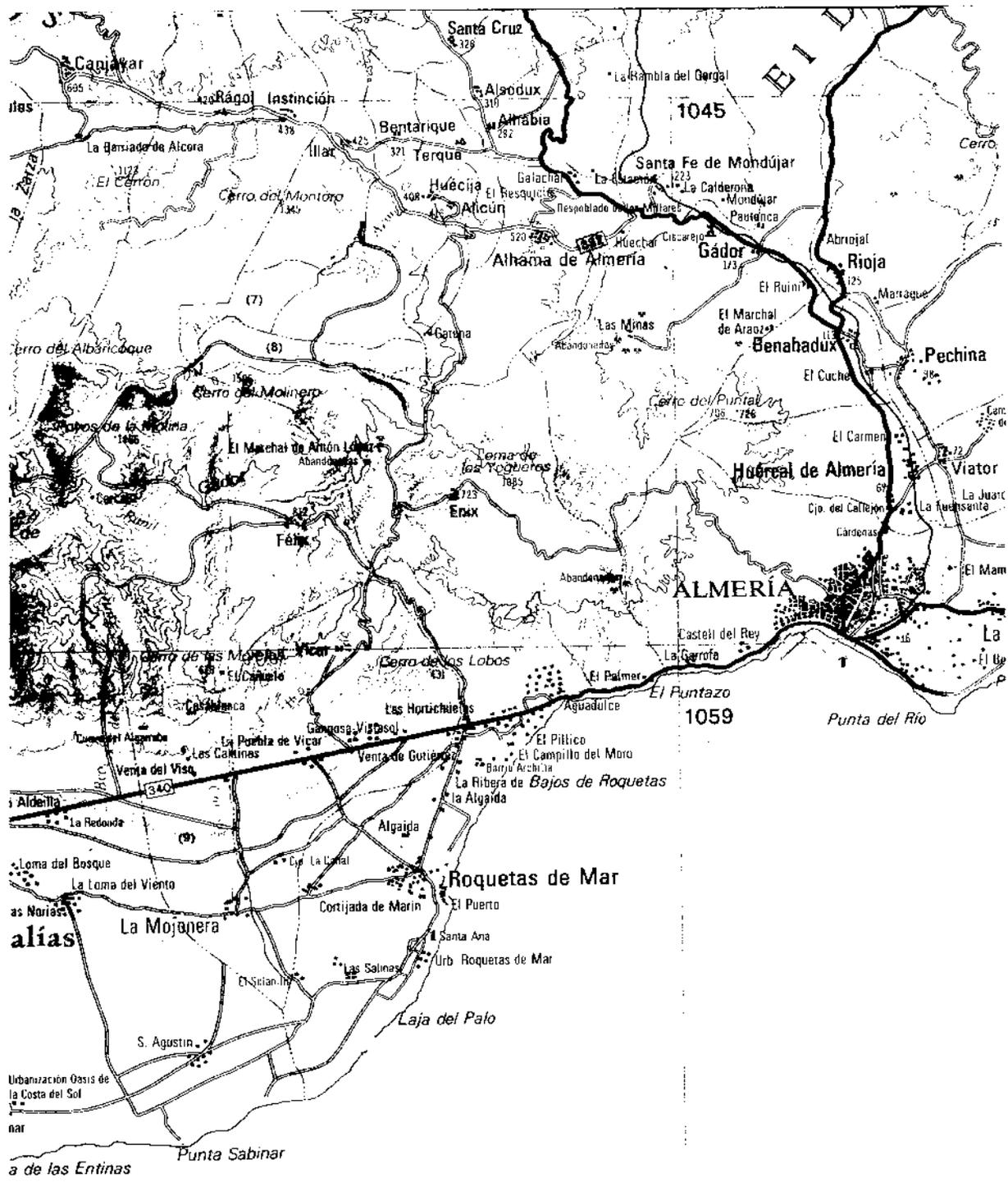
Si tenemos en cuenta que el mar Tírrénico, anterior al último período glacial, tuvo una fauna cálida al estilo de la que acualmente se conoce como senegaliense, encontraremos la coincidencia cronológica necesaria para afirmar que la cota de los 60 m marca la línea de costa de la regresión marina del comienzo del cuaternario y el clima, más cálido que el actual, favoreció el rápido encortezamiento laterítico de los conos de deyección que como consecuencia del arroyamiento torrencial post-milaziense se formaron cerca de la costa.

En resumen, que después de una primera emersión posterior al Plioceno, el mar ha vuelto sobre la llanura y descendiendo gradualmente —de Punta Entinas a Roquetas— o por sacudidad —de Punta Entinas a Guardias Viejas—, ha tallado en el material plioceno dos líneas de costa en el cuaternario reciente.

Esta costa, como todas las llamadas de «emergencia» —contrapuesto a las denominadas de «inmersión»—, es sencilla, con amplia ondulación de su contorno, de superficie casi horizontal por debajo del nivel del mar. Durante todo el cuaternario restante hasta nuestros días, la costa ha seguido elevándose formándose parte del movimiento general del macizo ibérico que tiende a elevar la costa mediterránea y a hundir la cantábrica. Así, la ancha playa actual, que está defendida del mar por un potente cordón de dunas, señala el frente actual, inestable, de la batalla entablada entre la acción abrasiva del mar y la lenta emersión de la plataforma continental.

Observando el plano general del Campo a escala 1:50.000 que acompaña se aprecian con claridad las cotas de 100 m y sobre todo de 60 m a que venimos haciendo referencia. Por línea costera se admite tradicionalmente que no es sólo la línea ideal que separa la tierra firme del mar, sino que se trata de una zona más o menos ancha según la amplitud de las mareas, que puede alcanzar hasta 15 Km de anchura con un desnivel de 15 m. En nuestro caso las mareas no son agente a considerar, pero existe otro agente más importante aún que éste para justificar cualquier ensanchamiento de esa estrecha banda definida como domi-





nio litoral, que es el desplazamiento progresivo que se produce sea porque el mar avanza sobre la tierra, sea porque las aguas retrocedan.

Estas transgresion y regresiones se han considerando generalmente como consecuencia inmediata de un fenómeno tectónico de desplazamiento del suelo en las proximidades de la línea costera. Pero el estudio de los niveles marinos en el Pleistoceno hace difícil el aceptamiento total de esta teoría, porque es difícil adscribir a movimientos tectónicos aquellos lugares en los que se puede trazar horizontalmente las líneas costeras antiguas, a veces a lo largo de muchos kilómetros, con independencia de las unidades tectónicas o estratigráficas de los terrenos inmediatos. Es mucho más clara la explicación pensando en que es el nivel marino el que se eleva o desciende. La teoría eustática interpreta a la perfección las fluctuaciones del nivel marino en el transcurso del Pleistoceno y por lo menos para los niveles más bajo del mismo, la eustasia glacial explica los hechos (3).

La aceptación de esta teoría para explicar la evolución de la costa que nos ocupa, ha sido también motivada porque su aspecto actual encaja con el tipo más extendido de costas planas. Su característica es la existencia de un cordón de lagunas alargadas limitadas por el lado del mar por una barrera litoral de dunas. El contorno litoral es una simplicidad extraordinaria, con alguna punta triangular o deltas más o menos desarrollados. En nuestro caso no hay aporte de sedimentos continentales en absoluto, pero a la altura de Punta Entinas sí es bien evidente una punta triangular de arena. Esta costa tipo «lido» se transforma si la emersión se detiene, cegándose las lagunas con aportes terrígenos debidos principalmente a deflación y transformándose en pantanos y marismas.

Los estudios de LAMOTHE (1911) en la costa del Norte de Africa y de DEPERET (1906) en el litoral italo-francés, concuerdan en delimitar las líneas costeras siguientes:

Siciliense	90/100 metros
Milazziense	55/60 metros
Tirreniense	28/32 metros
Monastiriense Pral.....	18/20 metros
Monastiriense Post.	7,5 metros

Siciliense y Milazziense son fácilmente detectables en la zona, especialmente la segunda por la gran cantidad de materiales y de restos de rocas que presentan huellas de haber sufrido la abrasión marina. Coincide con la llanura estructural superior ya citada anteriormente. Y también la Monastiriense Principal ha quedado bien marcada en el último escarpe del terreno, calcificado después en el período cálido que caracterizó al último Interglaciario y que sigue aproximadamente la cota de 20 m del plano general del Campo. Posteriormente a éste, sobrevino el último período glaciario, el Würm, que al fijar en forma de hielo gran cantidad de agua hizo descender el nivel del mar por lo menos 30 m por debajo del nivel

actual. La transgresión o invasión marina que siguió para elevar las aguas hasta el nivel actual, es el que se conoce como transgresión Flandense o Flamenca y es la responsable última del aspecto actual de la costa.

Resumiendo este apartado podemos decir que nuestra costa, de Roquetas a Guardias Viejas, permite comprobar los niveles de los tiempos cuaternarios estudiados en otros lugares y seguir la evolución natural de una costa plana formada a consecuencia de una emersión. Tal emersión posterior a la transgresión Flandense, es lo suficientemente lenta como para permitir la transformación de las lagunas litorales en pantanos y marjismas, aunque ésta no se haga según el modelo normal sino con rasgos originales como veremos en el apartado siguiente.

OBSERVACIONES CONCRETAS SOBRE LA ZONA

Los análisis químicos que se han realizado sobre muestras de diversos puntos de la zona, se detallan en Los Anexos correspondientes. También en Anexo figuran los resultados del estudio microscópico de la fracción mineral. Ambos grupos de elementos de juicio informan sobre la composición química y la estructura de los materiales más abundantes del terreno, pudiendo resumirse sus datos diciendo que hay limos arcillosos donde predominan cloruros y sulfatos, arenas silíceas a base de granitos de cuarzo, restos conchíferos que aumentan el porcentaje de calizas del suelo y con personalidad propia, gránulos de yeso y cristales de sal común. Aparte de estos materiales de carácter mineral, hay que señalar la presencia de un importante número de algas de aguas salobres y la actividad vital de algunos moluscos, entre ellos los caracoles llamados *Litorinas*, capaces de atacar las areniscas mal consolidadas, para disgregarlas disolviendo el cemento de unión.



Miralles: Desert Photo.

La evolución de una marisma es siempre un proceso extremadamente complicado. Las costeras, que están influenciadas por las mareas que hacen sentir su efecto por debajo del cordón arenoso que las separa del mar, unen también esta circunstancia especial y en ocasiones se complica todavía más por dos fenómenos de índole distinta: la compresibilidad de la turba y el retroceso hacia el interior de los cordones de cierre que limitan por el lado del mar. Por otra parte, desde el punto de vista de la composición, la sedimentación de las marismas es muy diversa. En ellas, al lado de fangos semejantes a los de los estuarios, se encuentra arena, turba de agua salada y turba de agua dulce, entre otras cosas. En nuestro caso no se ha comprobado plenamente la presencia de turba salvo en zonas alejadas de los puntos de las costas que estudiamos, aunque sí es cierto que las condiciones para ello han sido favorables: turba de agua dulce hacia el interior, derivada mayormente de plantas fragmites y de la familia de las *Irideas*, en la zona donde afloran levísimos hilos de agua más bien salobre que proceden de la llanura interior (3,480 g de ClNa/litro en Salinas Vicjas y 3,321 g de ClNa/litro en Punta Entinas) ambas aflorando de manera natural a la superficie entre juncos y turba de agua salada cerca de la línea de costa con abundancia de *Fucáceas* y *Laminarias*.

En las marismas cerradas por una flecha o un cordón litoral como aquí, la sedimentación arenosa precede a las otras. Pero a despecho de recurrencias pasajeras y locales, se cede el lugar a otros tipos de sedimentación cuando la marisma está en período de madurez. Entonces, como ocurre en nuestro caso, se forman depósitos de aspecto y consistencia muy diversos según la zona de la marisma que se estudie. En unos lugares predomina una fase de arenilla con presencia de la fase polvo y casi ausencia de arcilla coloidal, muy pobre en materia orgánica, de color grisáceo claro y altamente permeable; en otros, esta formación que aquí es superficial, viene a constituir toda la capa sedimentaria, no existiendo debajo arena franca; en otros, este depósito fino apenas si forma una película delgada sobre la arena y esta película tan pronto sufre erosión como aumento inusitado de espesor, etc., etc.

En el examen de las muestras obtenidas, se reconoce una fracción gruesa cuyo origen es siempre el mismo: procede de la desintegración de los materiales arrasados desde las alturas de Sierra de Gádor por los torrentes cuaternarios y terminados luego de erosionar por la abrasión marina. Formaron parte de la plataforma de erosión de finales del cuaternario y han ido quedando en seco por la emergencia general de la costa. En parte, proceden de la faja costera de dunas y han sido trasladados por el viento. Pero a lo que no es tan fácil encontrar origen y forma de depósito, es al fango que forma el subsuelo de esas grandes llanadas blanquecinas en que se han convertido las marismas en la zona de Punta Entinas y que parcialmente se inundan todos los inviernos.

El fango es de diversos colores, predominando el gris oscuro o el negro. Contiene una fracción arenosa de tamaño variable y abunda en coloides arcillosos



que pueden ser Caolinita, Illita, Montmorillonita, etc. y una gran fracción orgánica. Una muestra vertical que profundice apenas 40 ó 50 cm presenta una coloración por capas, que va desde la blanca intensa superior, que es casi exclusivamente cloruro sódico, hasta la gris negruzca del fango que tratamos de definir, pasando por una rojiza —quizás silvinita con algo de sulfato férrico—, otra verdosa —sulfatos ferrosos, sales amoniacaes quizás— y, por fin, la fracción arenosa caliza que pasa insensiblemente a los coloides mencionados antes y a la materia orgánica.

Aunque la capa superior domina con su coloración todo el conjunto, no es uniforme su espesor, sino que en algunos lugares es tan delgada que predominan las características de los fangos inferiores. Así podemos comprobar que el suelo se hace blando en el sentido de que al pisarlo andando, los pies penetran profundamente con riesgo, a veces, de hundimiento de él, siendo tanto más acusada la huella dejada, cuanto menor sea su porcentaje de arena. El fango es plástico y rígido, esto es, conserva la forma que en él se imprime, sean huellas de pasos, dibujos de neumáticos de moto, auto, etc. Finalmente, es tixotrópico, es decir, que al amasarlo se liquida, lo que nos informa sobre su gran proporción de agua.

¿De dónde procede este material? Para los sedimentólogos de los Países Bajos, los depósitos fangosos de su país proceden del mar y no de los ríos. Esto, que en un principio pareció una teoría excesivamente revolucionaria, se va admitiendo cada vez con mayor generalidad y en nuestro caso no parece existir otra, ya que esta zona carece en absoluto de corrientes continuas ni discontinuas de aguas continentales que aportasen sedimentos, ni tampoco la deflación eólica es tan intensa desde el Norte como para justificar los rellenos. Debemos, pues, pensar en que proceden del mar, de las partes más próximas al talud continental, última zona de depósito de los materiales más finamente desmenuzados por la abrasión marina.

Pero si hipotético resulta el origen de estos fangos, también es complejo y discutido el modo cómo se produce el depósito. Opina Francis-Boeuf que los fangos en suspensión no se depositan por floculación (formación de copos) debida a los

electrolitos del agua del mar, puesto que si bien por esta causa se explicaría la aglomeración de las partículas no se explicaría al mismo tiempo su depósito, sino que debe asemejarse al depósito de agua jabonosa que se adhiere a las paredes de una bañera cuando ésta se vacía y con una adherencia tan intensa que esa película ya no vuelve a flotar cuando de nuevo se llena el baño de agua. Aquí sería el flujo y reflujos de la marea que vienen forzaron a las partículas coloidales a depositarse sobre las algas en continuo crecimiento, en las primeras fases de la sedimentación de estas marismas. Más adelante cesaría el fenómeno, una vez fuese aumentando el depósito salino por evaporación de las aguas cada vez más salobres. Y en profundidad quedaría entonces una masa esponjosa formada por cienos y materia orgánica en descomposición y perennemente bañada por el agua del mar por su nivel más bajo que el nivel medio de la orilla. En todo caso, lo cierto es que si se practica un agujero en cualquier punto de la zona, este agujero se llena con extremada prontitud hasta el nivel que tiene en ese momento el mar.

Actualmente, sólo debe existir actividad orgánica en este conjunto, habiéndose paralizado del todo el proceso de sedimentación mineral a base de lodos. Los procesos de putrefacción de las masas de algas y la actividad de las Litorinas acarreado desde el subsuelo arenoso los granitos de carbonato cálcico que ayudan a cementar la superficie, mantienen hasta cierto punto «vivo» este subsuelo, que se va apisonando por la capa superior formada por los productos de la evaporación de las aguas salobres.

La morfología actual de esta zona es, pues, la de una gran superficie llana, con anchas depresiones de poca profundidad en forma de cubeta. Estas depresiones, cuando están por debajo del nivel medio del mar, se llenan todavía de agua en inviernos lluviosos, lo que invierte temporalmente el proceso natural del depósito, al disolver parcialmente las sales solubles dejadas por evaporación de aguas salobres y también tienen su papel regulador la serie de pequeñas pero profundas pozas naturales, verdaderos respiraderos de toda la masa pútrida inferior, en donde, analizada el agua que en ellos aflora, ha dado porcentajes extraordinarios de 110,200 g y 150,800 g ClNa/litro.

Finalmente, en las zonas donde la vegetación ha fijado los lodos, el proceso se ha modificado desde sus primeras manifestaciones. Por su cota más alta fueron las primeras en desecarse totalmente y en ellas han podido medrar diversas especies halófilas, tales como el Aster, el género Salicornia, diversas Gramineas, especies próximas a la *Espartina Townsendi*, etc. etc. Hoy se encuentran en una fase totalmente estacionaria, toda vez que en ellas no se produce evaporación que deje un sedimento químico y por tanto no aumenta la capa de suelo en donde se implantan las raíces. El proceso de afirmado es todavía más lento que en las zonas de llanura salina sin vegetación, estudiadas anteriormente.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y PALEONTOLOGICO DE LAS MUESTRAS

En varios itinerarios se tomaron numerosas muestras que pretendían dar una idea completa del conjunto. Pronto se comprobó que para obtener esa visión total hubiera sido preciso estudiar centenares de muestras, muy uniformemente seriadas. Ante el coste del proyecto y conocidos los rasgos generales de la tectónica de la zona, se tomaron únicamente muestra tipo, que más que definir una amplia zona representaban el valor individual de un punto determinado del terreno. La coincidencia o no de sus resultados concretos con el conocimiento previo teórico de todo el conjunto, determinaría el porcentaje de acierto en la elección de esos puntos para caracterizar la totalidad de la zona.

De todos ellos reducimos ahora a doce las muestras analizadas, que son suficientes para encajar en tres niveles sucesivos los terrenos que venimos estudiando.

Muestra 1. Tierra con yeso, pardo-blanquecina.

La fracción más densa está formada exclusivamente por yeso en cristales lenticulares. No contiene restos orgánicos. La fracción ligera es también totalmente estéril. Es una muestra muy superficial con el yeso en perfecto estado, seguramente por encima del nivel acuífero.

Muestra 2. Tierra negra con yeso.

La fracción densa se compone casi exclusivamente de cristales lenticulares de yeso. Contiene algunas vértebras de peces y conchas de *Bulimos* vivientes. La fracción ligera está formada por gran cantidad de restos desmenuzados de Algas Feofíceas y con *Clorofíceas acintadas*, de origen marino. La presencia de sustancia orgánica en descomposición y la corrosión parcial de los cristales de yeso indican que esta muestra procede de más abajo del nivel acuífero.

Muestra 3. Tierra pardo-blanquecina.

La fracción más densa del residuo se compone exclusivamente de cristales de yeso. La más ligera es totalmente estéril. Muestra semejante a la uno.

Muestra 4. Arena con yeso blanquecina.

La fracción más densa del residuo contiene mucho yeso, gran cantidad de granos rodados de cuarzo y de rocas eruptivas y fragmentos de restos calizos, en especial *Moluscos* actuales (*Murex*, *Tellina*, *Turbonilla*, etc.). La fracción ligera tiene muy escasos restos de Algas marinas. Es un depósito típico de playa cuaternaria, con agua circulante.

Muestra 5. Arcilla con mucha arena, pardo-oscuro.

La fracción densa contiene gran cantidad de granos rodados de cuarzo y de rocas eruptivas y metamórficas, junto con fragmentos de organismos calizos, en especial *Moluscos* muy rotos. La fracción ligera es casi estéril, con restos de *Feofíceas* marinas.

Muestra 6. Arena terrosa parda con yeso y un fieltro de raíces.

La fracción más densa es idéntica a la de la muestra precedente. La fracción más ligera contiene escasa cantidad de restos de Algas marinas y gran cantidad de raíces de plantas sin carbonizar, especialmente de *Monocotiledóneas*. Estas raíces son muy recientes, pero el depósito es el mismo de las dos muestras precedentes. Playa cuaternaria.

Muestra 7. Tierra yesosa gris.

El residuo más denso se compone exclusivamente de cristales lenticulares de yeso, a veces parcialmente corroídos. La fracción ligera tiene frecuente materia orgánica, especialmente raíces de plantas terrestres en putrefacción.

Muestra 8. Cieno negro.

La fracción más densa está formada casi exclusivamente por yeso en cristales lenticulares muy pequeños a veces corroídos parcialmente, acompañado por muy escaso cuarzo rodado. Como

elementos orgánicos anómalos de ejemplares vivientes de *Ostrácodos* y pequeños *Gasterópodos* del Género *Bulimo*. La fracción ligera contiene enorme cantidad de partículas vegetales en putrefacción, con predominio total de restos desmenuzados de *Algas Feofíceas* y *Clorofíceas* acintadas. El depósito es una acumulación de algas marinas sepultadas que están en putrefacción y no en carbonización, lo que indica que el agua subterránea no es totalmente estancada sino que tiene una cierta circulación y renovación lenta.

Muestra 9. Cieno negro.

La fracción más densa está formada por granos rodados de cuarzo, cuarcita, micacita y otras rocas metamórficas, junto con abundante yeso en cristales lenticulares pequeños. Como elementos orgánicos anotamos algunos oogonios de *Charáceas* y los mismos *Ostrácodos* y *Bulimos* vivientes que en la muestra anterior. La fracción ligera es idéntica a la de la muestra 8, formada por gran cantidad de restos finamente desmenuzados de algas *Clorofíceas acintadas* y *Feofíceas*.

Muestra 10. Arena con cieno negruzco.

La fracción más densa se compone exclusivamente de cristales lenticulares de yeso y de granos redondos de cuarzo, cuarcita, neis, micacitas y otras rocas metamórficas. Los restos orgánicos son muy escasos: tan sólo algunos ejemplares de *Rotalia beccaril* cuyo estado indica que se depositaron en playa. No son vivientes, pero sí muy recientes, pero ser contemporáneos de la formación del depósito arenoso litoral. La fracción ligera es casi estéril; sólo contiene muy escasas partículas de Algas del mismo tipo que las precedentes. Esta muestra representa perfectamente a la formación de playa que debe formar la base de toda la zona.

Muestra 11.

La fracción mineral contiene gran cantidad de yeso en cristales lenticulares de diversos tamaños, en general más grandes y mejor conservados que los de las muestras precedentes y abundante cuarzo en grano fino y medio. No se ven restos animales. La fracción ligera es totalmente estéril.

Muestra 12.

La fracción mineral está formada por cristallitos lenticulares de yeso, a veces corroídos y escasísimos granos finos de cuarzo. No se ven granos de rocas metamórficas ni restos orgánicos. La fracción ligera es totalmente estéril.

Resumiendo los datos aportados por estas muestras y por los análisis puramente químicos de las mismas, podemos establecer entre ellas la siguiente relación:

Muestras	Elementos minerales		Elementos orgánicos	
	Propios	Añadidos	Propios	Añadidos
1, 3 y 11		yeso sin corroer		raíces de plantas
2, 7, 8 y 12	arcilla, escaso cuarzo	restos de corroído	raíces de Clorof. y Feofic.	plantas, Bulimos,
4, 5, 6, 9 y 10	arena de cuarzo, etc.	poco yeso corroído	Rotalia, Murex, Lamelib. Algas, etc.	raíces de plantas

Es decir, que en el grupo inferior ponemos las muestras que indican nivel más antiguo, la playa cuaternaria que forma la base de este llano. En ella hay Moluscos, Foraminíferos y Algas marinas autóctonas, sedimentados a la vez que los granos de cuarzo y de rocas metamórficas que caracterizan la fracción mineral gruesa. Posteriormente pueden haberse añadido cristales de yeso y raíces de plantas actuales.

Un segundo grupo, segundo nivel, está formado por las muestras de aporte terrígeno: lodos de origen marino y loes continental, ambos de naturaleza coloidal, que pueden contener como elementos añadidos las raíces de plantas y el yeso en la base de la formación salina, cuya corrosión se debe a la circulación del agua que empapa este nivel perpetuamente fangoso y movedizo.

Y el tercer grupo —tercer nivel—, el más superficial, que carece de elementos orgánicos propios y en el que predominan la arcilla continental incorporada por arrastre de deflación eólica desde el interior y el yeso sin corroer que soporta el resto de la serie sedimentaria propia de las aguas salobres superficiales.

CONCLUSIONES

A la vista de todos los antecedentes de carácter general que hemos desarrollado y los análisis y estudios realizados sobre muestras actuales del terreno tomadas a diversas profundidades podemos dar las siguientes respuestas:

1. El fenómeno de la formación de hoyas en terrenos ocupados o no por las Salinas de Cerrillos, es completamente natural y consecuencia lógica de la incompleta evolución geológica de la zona de marismas instaladas en esa costa llana de carácter emergente.

2. Tanto si la emersión continúa como si se ha detenido, la zona de marismas tiende a su atterramiento total, por lo que las hoyas se consideran un fenómeno regresivo.

3. La posibilidad de su aparición se extiende a toda la faja costera situada entre la cota de 8/10 metros (aproximadamente) y el mar, teniendo en cuenta que se considera esa cota como la línea de costa del Monastiriense Posterior, último período cuaternario de hace sólo diez mil años. El diferente espesor de los depósitos salinos de la capa superior en la zona sin vegetación y del suelo agrícola fabricado por las raíces de las plantas donde hay manto vegetal, dan el mayor o menor porcentaje de probabilidad natural de que aparezcan. Este porcentaje aumentará si el hombre modifica las condiciones naturales del terreno.

4 y 5. Las posibles respuestas a estas preguntas iniciales no tienen demasiado interés en este momento de 1988. Evidentemente, esta zona costera nunca volverán a intentar convertirla en salinas, por lo que resulta obsoleto cualquier preci-

sión a ese respecto. Todo lo que vaya a permanecer dentro del área de espacios reservados por su valor ecológico, principalmente fuanístico, continuará su lenta pero irreversible evolución al margen de la intervención humana. Y las zonas perimetrales de desarrollo turístico, encontrarán para su urbanización y aprovechamiento de masas de ocupantes, los problemas de estructura y composición de suelo y subsuelo que hemos intentado poner de manifiesto.

A N E X O 1

RESUMEN DE LAS MUESTRAS TOMADAS DURANTE JUNIO Y JULIO 1964

1. Derecha del caballón entre parte explotada y el Flamenco. 1,10 m de profundidad. Fango negruzco y maloliente.
2. Izquierda del mismo lugar. 1,60 m. Arenas muy claras.
3. Izquierda del camino del faro. 0,60 m escasamente. Hoyo pequeño, de bordes convexos. Mezcla de parte superficial y final.
4. Hoyo sin agua. En un borde la arena es como la muestra, mezclada. En el otro, completamente rubia y limpia.
5. Estanque n.º 7. Agua en diversas zonas y en el fondo del hoyo. 1,50 m. Arena más blanca; no aparece el color negruzco anterior.

RESUMEN DE LAS MUESTRAS TOMADAS DURANTE AGOSTO Y SEPTIEMBRE 1964

1. Donde el coche se rehundió. Se escarbó un poco para encontrar agua.
Caliza = 1,76%
2. Algo más allá. Se tomó agua muy limpia. Caliza = 1,92%
3. Hoyito duro, a la salida de la pista. Sin agua. Muy firme el suelo.
4. Resumen de varios hoyos, junto a las dunas, en el comienzo del canal.
Caliza = 3,36%
5. Fin del canal. Catas hechas desde antes, de unos 50 cm, por todo el borde.
Caliza = 11,36%
6. Flamenco, suelo ya seco y con algas muy soleadas. Caliza = 8,48%
7. Hoya entre las dos series de charcas, junto a la caseta de elevación, en plena zona de explotación. Caliza = 1,92%

MUESTRAS DE AGUA PARA ANALISIS DE CLORUROS

1. En el juncal del Entinas, lo más a Poniente. 3,321 g ClNa/litro.
2. En el pozo de la primera muestra de arenas. 150,80 g ClNa/litro.
3. En el de la segunda muestra, agua clara que estaba allí de una manera habitual. 110,20 g ClNa/litro.
4. Pocillo en Salinas Viejas, entre los juncos. 3,48 g ClNa/litro.
5. En la otra cata próxima. 2,90 g ClNa/litro.

A N E X O 2

*RESULTADO DEL ANALISIS CUALITATIVO
DE DOCE MUESTRAS DE TIERRA*

Cationes:

Calcio	positivo	++
Potasio	positivo	+++
Sodio	positivo	+
Amonio	indicios	
Hierro	indicios	
Manganeso	negativo	
Magnesio	indicios	

Aniones:

Carbonatos	positivo	+++
Cloruros	positivo	+++
Fosfatos	indicios	+
Sulfatos	positivo	+++
Nitratos	positivo	+
Bromuros	ligeros indicios	
Ioduros	ligeros indicios	
Silice	positivo	

Textura de las tierras:
Arenosa

Las reacciones que se han efectuado por vía cualitativa han sido positivas o negativas en todas las tierras analizada, es decir, que químicamente existe muy poca diferencia entre ellas.

AGRADECIMIENTOS

Al geólogo José Luis Saavedra, del Instituto Geológico y Minero de Madrid, que hizo el estudio microscópico de las muestras.

Al perito químico Emilio Carrión Fos, de la Jefatura Agronómica de Almería, por los análisis cuantitativos de las muestras de tierra y los cloruros de las de agua.

A ambos, desgraciadamente ya fallecidos, mi gratitud y mi perenne recuerdo.

NOTAS

- (1) Ver Boletín del I.E.A. n^o 6-C, 1986, «Síntesis geológico-minera de la provincia de Almería» y Boletín I.E.A. n^o 7-C, 1987, «Hidrogeología del Campo de Dalías».
- (2) Véase, no obstante, Boletín I.E.A. n^o 7-C, 1987, artículo citado.