

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

ESCALA 1:50.000

MEMORIA EXPLICATIVA

DE LA

HOJA N.º 1.018

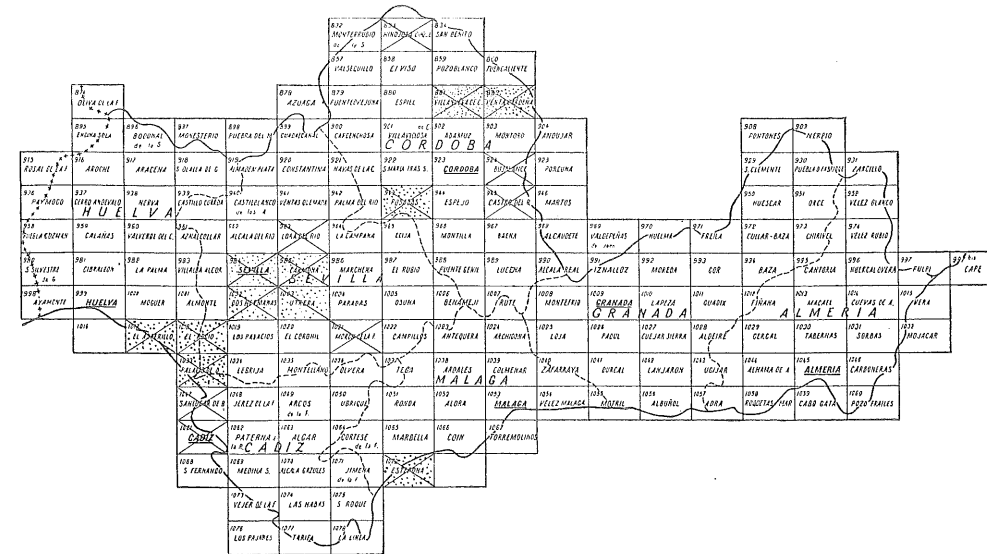
EL ROCÍO



MADRID
TIP. Y LIT. COULLAUT
MARÍA DE MOLINA, 58

SÉPTIMA REGIÓN

SITUACIÓN DE LA HOJA DE EL ROCÍO, NÚMERO 1.018



Publicada



En prensa



En campo

PERSONAL:

Jefe D. Juan Gavala y Laborde.
 Subjefe D. Manuel Pastor y Mendivil.
 Ingeniero D. Juan de Lizáur Roldán,
 > D. Eduardo Alastrué,
 > D. Juan Gavala Ruiz.

Esta Explicación y su Hoja, así como la correspondiente a la n.º 1.017, El Asperillo, ha sido compuesta por el Excmo. Sr. D. JUAN GAVALA Y LABORDE (*Ingeniero de Minas, Vocal del Instituto Geológico y Minero de España*), y publicada en 1949 bajo la Dirección del Excmo. Sr. don JOSÉ GARCÍA SIÑERIZ.

El Instituto Geológico y Minero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus Publicaciones son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

INTRODUCCIÓN

El territorio que abarca la Hoja de El Rocío corresponde aproximadamente por mitades a las provincias de Huelva y de Sevilla, y ocupa la región central del gran estuario diluvial del Guadalquivir. Comprende en su ángulo NO. terrenos formados por el relleno arenoso de este estuario, y cubre la superficie restante el relleno arcilloso del estuario moderno o aluvial. Por las razones que expusimos en la memoria correspondiente a la hoja de El Asperillo, con la que hemos comenzado la descripción de tan despoblada comarca, no es posible describir esos terrenos y menos hacer un esbozo de la historia geológica de esta parte de la cuenca del río fraccionadamente; ha de abarcarse en su totalidad el área de los estuarios que se representan en la lámina I para poderse dar cuenta de las distintas etapas de sus procesos de excavación y de relleno y consiguientemente del modo de formación de los sedimentos cuaternarios, de su distribución en el espacio y en el tiempo, de la topografía de esta parte de la costa del Golfo de Cádiz y muy especialmente de la particular fisonomía de la llanura marismesa, producto de los rellenos del estuario moderno. Comenzaremos, pues, por transcribir de la memoria de la hoja de El Asperillo los párrafos titulados: estuario diluvial, estuario aluvial y topografía e hidrografía contemporáneas de las formaciones de estuario del Guadalquivir.

MAPA DE CONJUNTO DEL ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR

Escala 1:800.000



BIBLIOGRAFIA

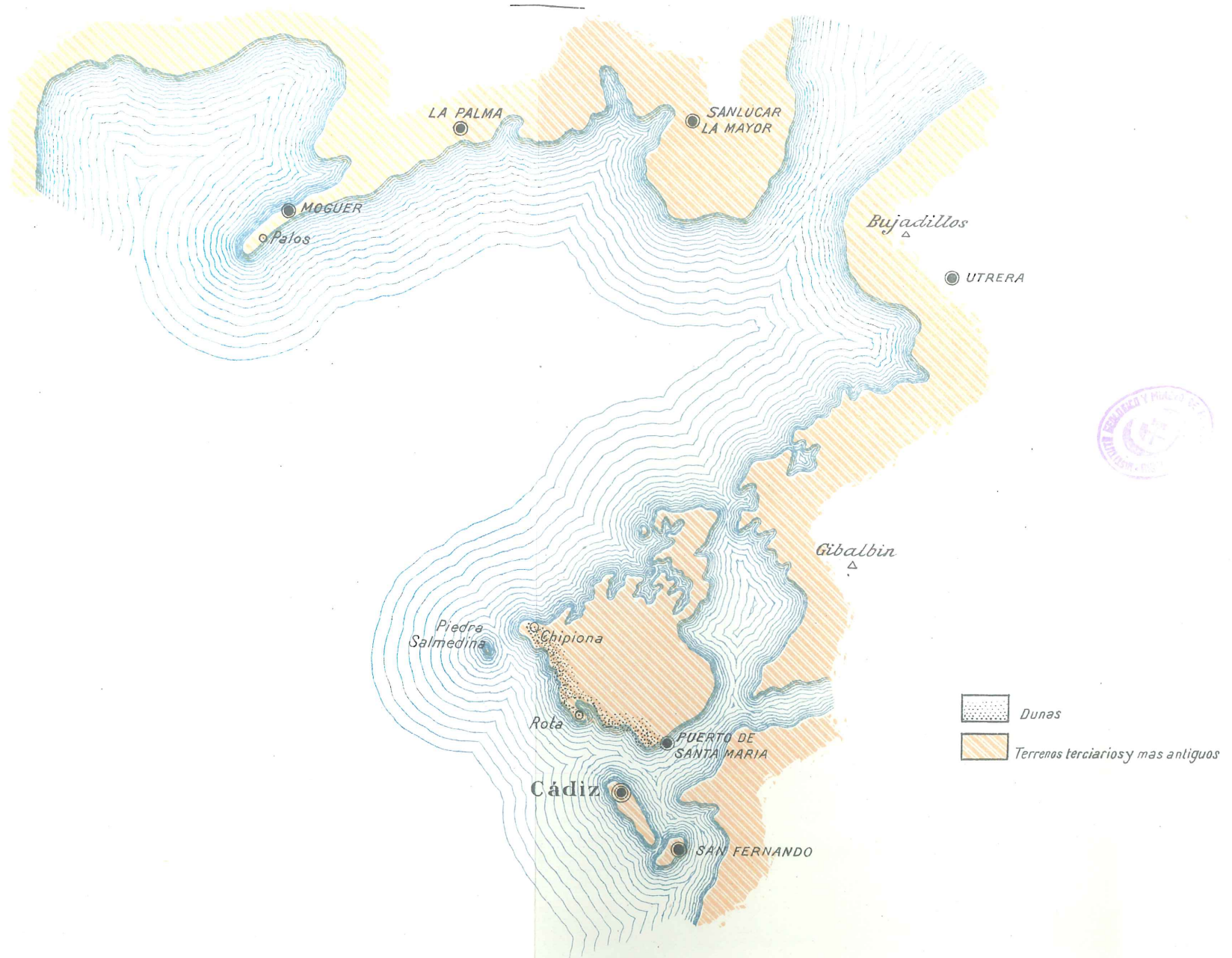
1873. MACPHERSON.—Bosquejo geológico de la provincia de Cádiz. Cádiz.
1878. MACHADO Y NÚÑEZ (A.).—Breve reseña de los terrenos cuaternarios y terciarios de la provincia de Sevilla. Sevilla.
1879. MACPHERSON.—Estudio geológico y petrográfico del Norte de la provincia de Sevilla.—«Bol. de la Com. del Mapa geol. de España», tomo VI. Madrid.
1879. MACPHERSON.—Noticia acerca de la especial estructura de la Península Ibérica.—«An. Soc. Esp. de Hist. Nat.», tomo VIII. Madrid.
1887. GONZALO Y TARÍN.—Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva.—«Memorias de la Com. del Mapa geológico de España», tomo I. Segunda parte. Descripción geológica. Estratigrafía.
1895. CALDERÓN Y ARANA.—Algunas observaciones sobre las arcillas del valle del Guadalquivir.—«An. de la Soc. Esp. de Historia Natural», tomo XXIV.
1895. CALDERÓN Y ARANA.—Estructura del terreno terciario del Guadalquivir en la provincia de Sevilla.—«Bol. de la Com. del Mapa geol. de España», tomo XX.
- 1895-1911. MALLADA.—Explicación del Mapa geológico de España. «Mem. Com. del Mapa geol. y del Inst. Geol. de España».
1897. CALDERÓN Y ARANA.—Movimientos pliocenos y postpliocenos en el valle del Guadalquivir.—«An. de la Soc. Esp. de Historia Nat.», tomo XXII.
1917. GAVALA.—Regiones petrolíferas de Andalucía.—«Bol. del Instituto Geol. de España», tomo XXXVII.

1924. SCHULTEN.—Tartessos. Contribución a la Historia antigua de Occidente. Madrid.
1924. GAVALA y MILÁNS DEL BOSCH.—Informe sobre el abastecimiento de aguas de la ciudad de Sevilla.—«Bol. del Inst. Geológico de España», tomo XLV.
1926. HERNÁNDEZ-PACHECO (E.).—La Sierra Morena y la llanura bética.—«Congreso Geológico Internacional». Madrid.
1927. GAVALA.—Cádiz y su bahía en el transcurso de los tiempos geológicos.—«Bol. del Inst. Geol. de España», tomo XLIX.
1929. MILÁNS DEL BOSCH.—Memoria explicativa de la hoja de Sevilla.—«Inst. Geol. y Min. de España».
1929. GAVALA.—La geología del Estrecho de Gibraltar.—«Bol. del Inst. Geol. y Min. de España», 3.ª serie, tomo XI.
1931. RUBIO y MILÁNS DEL BOSCH.—Memoria explicativa de la hoja de Carmona.—«Inst. Geol. y Min. de España».
1933. MILÁNS DEL BOSCH.—Memoria explicativa de la hoja de Dos Hermanas.—«Inst. Geol. y Min. de España».
1933. GARCÍA y BELLIDO.—El problema de Tartessos y la cuestión etrusca.—«An. de la Univ. de Madrid», tomo II, fasc. I.

ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR EN LA ÉPOCA DILUVIAL

LAMINA II

Escala 1:800.000



II

EL ESTUARIO DILUVIAL (1)

Forma de la ensenada.— En la época diluvial, los estuarios labrados por el Odiel, el Tinto, el Guadalquivir y el Guadalete se confundían en una sola y única ensenada que abarcaba desde la frontera portuguesa hasta las inmediaciones de Conil, al Sur de Cádiz.

La lámina II muestra la forma de esta ensenada, tal y como podemos replantearla apoyándonos en los límites de la gran mancha del terreno arenoso que constituye su relleno y de algunas otras pequeñas, desgajadas por erosión de la anterior, que se conservan en las cercanías de sus bordes.

En esta época, el valle propiamente dicho del Guadalquivir ocupaba a la altura de Sevilla todo el espacio comprendido entre el Aljarafe (colinas de San Juan de Aznalfarache, Castilleja de la Cuesta, etcétera) y los alcóres de Alcalá de Guadaíra, Mairena y Carmona: un espacio de 12 kilómetros aproximadamente. Por las cercanías de Palos (Huelva) se enlazaba esta ensenada con el estuario común de los ríos Odiel y Tinto, y por los Llanos de Caulina, al Norte de Jerez de la Frontera, con el del Río Guadalete. Un espolón o cabo de rocas pliocenas avanzaba desde La Palma del Condado por Bonares y Moguer hacia Palos, donde se internaba en el mar; y una isla, compuesta de terrenos terciarios, antiguos y modernos, se alzaba en medio de las aguas entre Sanlúcar de Barrameda y el Puerto de Santa María.

En esta ensenada o abra, excavada en la masa de los depósitos pliocenos, la denudación fluvial barrió casi por entero las rocas de esta formación dejando al descubierto al Norte de Huelva, el Culm: entre Alcalá de Guadaíra y Utrera, el Oligoceno; y entre Utrera y Lebrija, el Eoceno y el Triás.

Entre Sanlúcar de Barrameda y Conil, donde el asiento de los de-

(1) La mayor parte de los datos consignados en esta Memoria están tomados de la obra del autor, actualmente en prensa, «El Sector gaditano de la Cordillera Penibética».

pósitos pliocenos se hallaba a mayor profundidad, fué más respetada esta formación, como lo demuestra la mancha hoy existente entre Sanlúcar, Chipiona y Rota, y la de las islas de Cádiz y San Fernando y los arrecifes costeros de Salmedida, el Diamante y las Puercas, ya casi arrasados por los temporales del mar.

Nivel de base de la formación diluvial.—La formación arenosa que llenó este gran estuario tiene su asiento a cotas diferentes según el punto de la ensenada que se considere. Al Norte de Huelva, donde las arenas descansan en terrenos antiguos de la meseta, el terreno diluvial tiene su base a cotas de cerca de 200 metros sobre el nivel actual del mar. Así se comprueba, por ejemplo, en el cerro de la Alcornocosa, como también más al Oeste, en Villalba del Alcor, donde la formación diluvial, que forma justamente al lado del pueblo la colina o alcor de donde toma el nombre, descansa en terreno plioceno. En cambio a lo largo de la línea costera entre la Rábida y la Torre de la Higuera, en la llamada Playa de Castilla, las aguas del Océano cubren las hiladas inferiores de estos depósitos, que dominan la orilla del mar con un acantilado de 15 a 20 metros de altura (véase la fotografía número 1).

Entre Aznalcazar y la Puebla, el asiento de la formación arenosa baja hasta el nivel del relleno del estuario aluvial (1,50 metros sobre el nivel medio del mar) y a poca mayor altura (3 a 6 metros) queda por la margen izquierda del estuario entre Dos Hermanas y los Palacios, entre Chipiona y el Puerto de Santa María, y, más a Levante aún, entre Puerto Real y Conil. La mancha diluvial de Caulina, al Norte de Jerez, asienta en terreno plioceno y tiene su base a unos 40 metros sobre el nivel del mar.

De la variación de cota del plano de asiento de la formación arenosa diluvial del Guadalquivir se deduce que la línea de mayores profundidades del estuario pasaba por Coria y El Asperillo, y es probable, por lo tanto, aun cuando ningún dato concreto permita afirmarlo, que el cauce del Guadalquivir en aquella época y durante el proceso del relleno se mantuviera en las proximidades de esa línea.

Espesor de los depósitos diluviales.—Las capas de sedimentos arenosos que rellenan el estuario diluvial del Guadalquivir están, dondequiera que se las puede observar, sensiblemente horizontales, y ha de admitirse, por lo tanto, que el espesor de la formación pasa de los 200 metros, que es el desnivel existente entre la cumbre del Cerro de la Alcornocosa, coronado por las arenas y gravas cuaternarias, y la línea del litoral en la Playa de Castilla, donde hemos dicho que las capas más inferiores conocidas de estas arenas quedan cubiertas por las aguas del mar.

Al Sudoeste de Dos Hermanas, el Cerro de la Cascajera, cuyo nom-

HOJA 1.018. EL ROCÍO

(Instituto Geol. y Min.º)



Foto 1. — Acantilado costero de arenas diluviales en la playa de Castilla, cerca de la Torre de la Higuera. En la parte alta, las arenas voladeras del médano del Asperillo.

bre se debe probablemente a la gran cantidad de guijos de cuarzo que allí contienen las arenas y que al ser arrastradas estas últimas por las aguas llovedizas se acumulan en la superficie, tiene 42 metros de altura, y el de la Corchuela 59, y ambos están formados desde la base hasta la cumbre por estos depósitos diluviales.

En concordancia con estos datos, y atestiguando el gran espesor de la formación de que se trata, y sobre todo la altura de su plano de coronación sobre el nivel actual de los mares, se hallan los extensos mantos diluviales de la Campana, al Norte de Carmona, y los de la falda de la Sierra del Valle, en el borde oriental de la cuenca del Guadalete; estos últimos a 100 metros sobre el mar. Ambos corresponden a ensanches de los valles situados bastante tierra adentro, e indican la gran altura del nivel del mar durante las etapas de relleno de los estuarios diluviales.

Como por fuerza se ha de admitir que un espesor considerable de la formación arenosa, la mayor parte de sus bancos superiores, ha desaparecido por denudación desde la época en que emergieron estos depósitos hasta nuestros días, la potencia de 200 metros que en números redondos le hemos asignado debe considerarse como límite inferior de su espesor, tanto más si se tiene en cuenta que en la parte más profunda de la ensenada, la que corresponde a la Playa de Castilla, el plano de base no es desconocido. No sería, por lo tanto, aventurado suponer que la formación diluvial de que se trata tuviese en su origen un espesor mínimo de 300 o más metros.

Composición de los depósitos. Restos fósiles.— Los depósitos diluviales del estuario del Guadalquivir y de los ríos adyacentes varían poco, como ya se ha dicho, de unos puntos a otros y se caracterizan principalmente por la naturaleza silíceo de sus elementos componentes, sean gravas o arenas. Aguas arriba de la desembocadura en el estuario, en los ensanches de los valles, es donde únicamente se encuentran capas de conglomerados poligénicos.

La arena, elemento principal de la formación diluvial del estuario, suele ser de grano fino, silíceo, y por la interposición de un cemento arcilloso o arcillo-ferruginoso adquiere coherencia para formar en ciertos puntos areniscas, aunque de escasa tenacidad. La coloración de estas rocas es amarillenta, blanquecina y aun rojiza, y a veces por la combinación de las tres tonalidades resultan de aspecto abigarrado. El tamaño de los elementos, que suele ser de medio milímetro y aún de menos, alcanza a veces el de pequeñas almendras en las cercanías de los bordes de la formación: esto, por lo que se refiere al estuario propiamente dicho, porque en la desembocadura de los valles principales en la ensenada común, el tamaño de los cantos cuarzosos entremezclados con las arenas alcanzan cuatro y seis centímetros de dimensión máxima.

Como ocurre con todas las formaciones de estuario, depositadas en

el seno de una masa de agua dulce o salada según la importancia de las crecidas del río y la amplitud de la onda de marea, este manto arenoso diluvial del Guadalquivir, aunque de carácter más bien continental, contiene restos de organismos marinos, y en los acantilados costeros se encuentran, aunque con dificultad, fragmentos de conchas del *Chlamys opercularis*, Lin., *Lutraria elliptica*, Lam., *Panopæa Glycymeris*, Born. y *Solecortus strigilatus*, Lin., moluscos que viven en las playas actuales y a no mucha profundidad, sobre todo los tres últimos, por lo que es frecuente encontrar en las orillas valvas sueltas de estas especies arrojadas por las olas durante los temporales. Más al interior no se encuentran en esta formación fósiles marinos, ni tampoco terrestres, lo cual no es extraño dadas las malas condiciones que para la fosilización reúnen los depósitos arenosos, en los que las aguas de infiltración circulan con rapidez y disuelven y arrastran con facilidad cualquier cuerpo calizo interpuesto en su masa.

No es de extrañar tampoco que ni aun en la parte de la costa, que coincide con la zona más profunda del estuario conservada en nuestros días, abunden los fósiles marinos, pues estos depósitos arenosos se deben haber formado con bastante rapidez, y en un fondo que recibe constantemente nuevas masas de acarreo no pueden vivir organismos que, como la mayor parte de los moluscos, son sedentarios y se mueven con extremada lentitud.

Las fotografías 1 y 2, que publicamos en esta Memoria, dan idea bastante clara de cómo se presenta la formación arenosa diluvial del estuario del Guadalquivir en los acantilados marinos de la Playa de Castilla, entre Palos y la Torre de la Higuera. A veces, delgados lechos de toba ferruginosa señalan la separación de los bancos sucesivos y marcan claramente la horizontalidad de las capas.

Un carácter distintivo de estas arenas diluviales es la proporción, si no importante, al menos muy apreciable de partículas u hojuelas de magnetita y de ilmenita que contienen; ello se advierte al pie de los acantilados costeros, pues el mar, al batir sus arenas y disgregarlas, hace en la playa una clasificación mecánica de sus elementos y acumula en puntos determinados los más pesados, que se concentran en capas de 15 a 20 centímetros de espesor, y destacan por su coloración negruzca del resto de las arenas marinas en los puntos donde las olas producen algún escalón en el talud de la orilla (fot. 3).

Edad geológica.—En su «Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva», tomo I, parte 2.^a, hace referencia repetidas veces el Sr. Gonzalo y Tarín a este manto de arenas diluviales, cuya clasificación en cuanto a edad le ofrece dudas porque su separación de las rocas del sistema Plioceno no estima posible de modo claro y preciso. No obstante, señala la diferencia de composición mi-



Foto 2. — Acantilado costero de arenas diluviales blanquecinas entre Palos y el Asperillo. En el centro del asomo, la coloración de las arenas pasa al amarillo y al rojo (parte más sombreada de la fotografía).



Foto 3. — La costa de Almonte entre Palos y el Asperillo. Escalón producido por la ola en la playa actual, en el que aflora una capa de 20 centímetros de espesor de arenas negras muy cargadas de magnetita y de ilmenita.

neralógica entre las arenas pliocenas, muy cargadas de elementos calcáreos y con cemento francamente calizo, y las diluviales, exclusivamente silíceas y con cemento ferruginoso exento de cal, y en este hecho funda la separación geológica de los dos terrenos. Otro dato incontrovertible en que puede fundarse la separación de estas dos series de depósitos es su discordancia estratigráfica, pues si bien es verdad que en algunos puntos donde el Plioceno está horizontal existe concordancia entre uno y otro terreno, estos casos son los menos y la diferenciación puede establecerse también basándose en datos estratigráficos.

Además, entre el depósito del Plioceno y el de las arenas diluviales medió un largo período de denudación (el necesario para la excavación del estuario diluvial) durante el cual fué arrasada gran parte de la formación pliocena, como se ha indicado anteriormente, y por ello el Diluvial descansa indistintamente en los bordes del estuario sobre el Plioceno, el Oligoceno, el Trias y el Culm.

Extensión de los depósitos diluviales.—La formación de arenas diluviales que describimos continúa a Poniente de la desembocadura del Odiel hasta las inmediaciones de Ayamonte, y en la Sierra del Cebollar, a 16 kilómetros de la costa, coronan sus bancos un cerro de 183 metros de cota. Según el Sr. Gonzalo y Tarín en toda esta zona, correspondiente al estuario diluvial del Odiel, la posición horizontal de las capas está determinada por delgadas hojas de toba ferruginosa. Las arenas aparecen allí cubiertas por un manto de conglomerados cuarzosos, deleznable una vez, y formando otras una puddinga en la que el guijo de cuarzo está cimentado por arcilla ferruginosa.

En varias ocasiones hace alusión el Sr. Gonzalo y Tarín a este banco de conglomerados cuarzosos que supone de edad posterior a las arenas y como depósito francamente diluvial, en tanto que a las arenas les asigna una posición intermedia entre este terreno y el Plioceno. A nuestro juicio, tal manto de conglomerados o puddingas no es privativo de la parte superior del sistema, ya que a diversas alturas se intercalan estas rocas, y natural es que la labor de arrastre se haya detenido casi siempre en una de estas capas, más coherentes, y aparezcan en nuestros días coronando la formación sin que en realidad constituyan su horizonte más elevado.

En el acantilado costero, a Levante de la desembocadura del río Piedras, y en las proximidades del cabezo de Matamoros, las distintas hiladas de la formación, de arenas finas unas y de gravilla menuda otras, con coloraciones blanca, gris, amarillenta y abigarrada, se muestran al descubierto y atestiguan su identidad de composición con las que más al Este se extienden por el amplio estuario del Guadalquivir.

De los itinerarios que pueden seguirse para estudiar esta forma-

ción diluvial, ninguno tan interesante como el de la Palma del Condado-Almonte-Casas del Sacristán, en el arroyo de la Rocina-Torre del Asperillo. Entre Bollullos y Almonte se observan ya diversas manchas de las arenas diluviales, que descansan sobre la formación pliocena y donde la diferencia de coloración del terreno es suficiente para distinguir unos depósitos de otros, pues mientras el Plioceno tiene tinte amarillento blanquecino, a veces ligeramente verdoso, el terreno diluvial es amarillento-rojizo. Además delata la existencia de este último la gravilla silíceea que se encuentra regada por la superficie dondequiera que forma el subsuelo la arena diluvial.

De Almonte al Arroyo de la Rocina, y desde allí a El Asperillo, el camino se desarrolla constantemente por la formación de que se trata, y según la cota del terreno afloran las pudingas de menudos elementos, las arenas amarillentas de grano grueso o las arenas de grano fino ligerísimamente arcillosas. En estas últimas, las más inferiores, es donde la coloración cambia algo, pasando del amarillo claro al gris blanquecino.

A medida que se avanza desde Almonte hacia la Rocina, los campos, primeramente poblados de viñedos y olivares, van perdiendo su lozanía y a mitad del camino entre ambos puntos cesan los cultivos y sólo crecen matas de monte bajo y algunos rodales de pino (*Pinus pinea*). El esfuerzo del hombre a través de muchas generaciones ha influido indudablemente y en gran medida en el mejoramiento de los terrenos más cercanos a Almonte, cuyas características mineralógicas son muy similares, por no decir idénticas, a las del amplio valle de la Rocina, pero acaso haya acentuado la improductividad de esta extensa formación arenosa en toda la faja costera la acción de los vientos del mar, que han formado en no pocos sitios un grueso manto de arenas voladeras exentas de todo otro elemento que no sea la sílice, y por tanto, más estériles aún que la propia formación de donde proceden. De estas acumulaciones, a modo de dunas continentales, se observan grandes manchones en ambas vertientes de la Rocina, pero especialmente en los llamados cotos de Urzaiz, Ibarra y Doña Ana, planicies enormes donde sólo crecen raquíticos arbustos correspondientes a los géneros *Cistus*, *Ulex*, *Myrtus*, *Rosmarinus*, *Lavandula* y *Thymus* y contados ejemplares de acebuches y alcornocques. Donde las arenas de las dunas actuales se mezclan a las arenas diluviales, la proporción de cal del suelo aumenta, y la vegetación adquiere mayor frondosidad. Tal ocurre en las proximidades del Palacio de Doña Ana y entre éste y la aldea de El Rocío.

En estos últimos años se han hecho en el valle de la Rocina importantes plantaciones de *Eucalyptus globulus* con vistas a la fabricación de pasta de papel.

Desde El Rocío hacia Coria del Río, las lomas que bordean la marisma, relleno arcilloso del estuario diluvial, están formadas igualmente por las arenas y gravas diluviales, de coloración amarillenta o

ferruginosa, y el tamaño de los cantos rodados de cuarzo se acentúa más y más a medida que nos acercamos al cauce del Guadalquivir. La mayor parte de estas lomas están pobladas de pinos.

Por la margen izquierda del Guadalquivir, entre el cauce del río y la carretera de Sevilla a Los Palacios, descansa sobre la formación pliocena de los Alcores de Alcalá el manto de arenas y gravas diluviales y da origen a colinas de alguna importancia como las del Hornillo y la Cascajera. Al pie de estos cerros, y unas veces descansando sobre el Plioceno y otras intercalado en la base de la mencionada formación diluvial, se encuentra un manto de travertinos y tierras rojas. Uno y otro terreno está cubierto en las proximidades de la marisma por capas de poco espesor de arenas sueltas, restos de dunas litorales formadas en las orillas del estuario actual. Toda esta zona diluvial de Dos Hermanas, que se extiende por el N. hasta Sevilla y por el S. hasta Los Palacios, está poblada de soberbios olivares donde se producen las variedades de aceitunas denominadas manzanilla y gordal, objeto de una importantísima industria y comercio de exportación y que al decir de los naturales del país sólo se producen en un área muy limitada de los alrededores de Sevilla, hasta el punto de haberse generalizado el dicho un tanto andaluz de que el olivo gordal no se cría más que donde se oyen las campanas de la Giralda.

Desde Los Palacios hasta Jerez de la Frontera sólo se observan restos muy limitados de la formación diluvial con su típico carácter; acaso sea el más importante la manchita situada en las proximidades de Las Cabezas de San Juan, no lejos de la carretera de Sevilla a Cádiz. Más al Sur encontramos la formación diluvial con algún mayor desarrollo en los llanos de Caulina, en las proximidades de la estación de la Parra. El manto de arena silíceea con la gravilla de cuarzo descansa allí sobre el terreno plioceno, y lo mismo que al Oeste de Sevilla crecen en esta mancha bastantes rodales de pinos.

Por último, en Sanlúcar de Barrameda, desde Bonanza hasta la Jara, forman un acantilado de 15 a 20 metros sobre el valle del río y la costa las arenas amarillento-rojizas del Diluvial correspondientes a un pequeño manchón que se extiende escasamente un kilómetro tierra adentro. Restos desgajados de esta mancha son los pequeños mogotes que entre Chipiona y Rota se hallan a lo largo de la costa y que se extienden por el interior hasta el llamado Coto del Infante. Entre Rota y el Puerto de Santa María también afloran en la costa estos depósitos diluviales.

Por la margen izquierda del Guadalete, desde Puerto Real hasta Chiclana, y de allí a Conil, pasando por la Barrosa y Campano, cubren grandes extensiones las arenas ferruginosas y las gravas del Diluvial aunque con reducido espesor porque con frecuencia asoma en esa parte el Plioceno o el Oligoceno subyacentes.

Semejanza de estos depósitos con la arenisca del Algibe.—

Existe en la provincia de Cádiz y en el Norte de Marruecos una formación de areniscas oligocenas designadas con el nombre de Arenisca del Algibe que en muestras aisladas es imposible diferenciar de las areniscas diluviales que acabamos de describir y aún algunos afloramientos y cortes naturales de uno y otro terreno se llegarían a confundir si fuese posible aislarlos del paisaje circundante. Tiene importancia esta semejanza porque como no cabe duda de cuál sea el origen y el modo de formación del manto de arenas y de las areniscas diluviales se pueden deducir consecuencias de alto interés para la historia geológica del Mediterráneo occidental del origen y modo de formación de la Arenisca del Algibe, que debe haberse depositado obedeciendo a causas semejantes, aun cuando la importancia de los dos depósitos sea bien distinta. En la arenisca del Algibe no se encuentran restos fósiles de ninguna clase y es de suponer que se depositó también en una ensenada marina invadida por aguas fluviales y en la cual el espesor de los sedimentos aumentaba con rapidez, condiciones análogas a las que hemos indicado como probables para el depósito de las arenas diluviales, cuya conexión con los macizos montañosos de donde proceden y con los ríos que arrastraron sus elementos no deja lugar a dudas.

Por los datos consignados en las páginas que anteceden, el relleno del estuario actual debió quedar enrasado por encima de la cota 200, a un nivel que sería aproximadamente el del mar en aquella época. Por la planicie formada por los propios acarreos y situada a esa altura circularían los brazos del río entre Sevilla y el Océano, y en estas condiciones fácil es comprender, como ya indicamos en otro lugar, que no hay modo de encontrar restos de esos cauces, abiertos en un terreno que ha perdido parte de su espesor primitivo. Lo que de él se conserva en las proximidades de la costa no pasa de la cota 80 y, por lo tanto, los vestigios de cauces y lagunas que en él se advierten corresponden a diversos estados de excavación de la red actual y no a la antigua hidrografía diluvial. De ésta no nos es dado conocer más la situación de los valles antes de su desembocadura en el estuario común (Odiel, Guadalquivir y Guadalete).

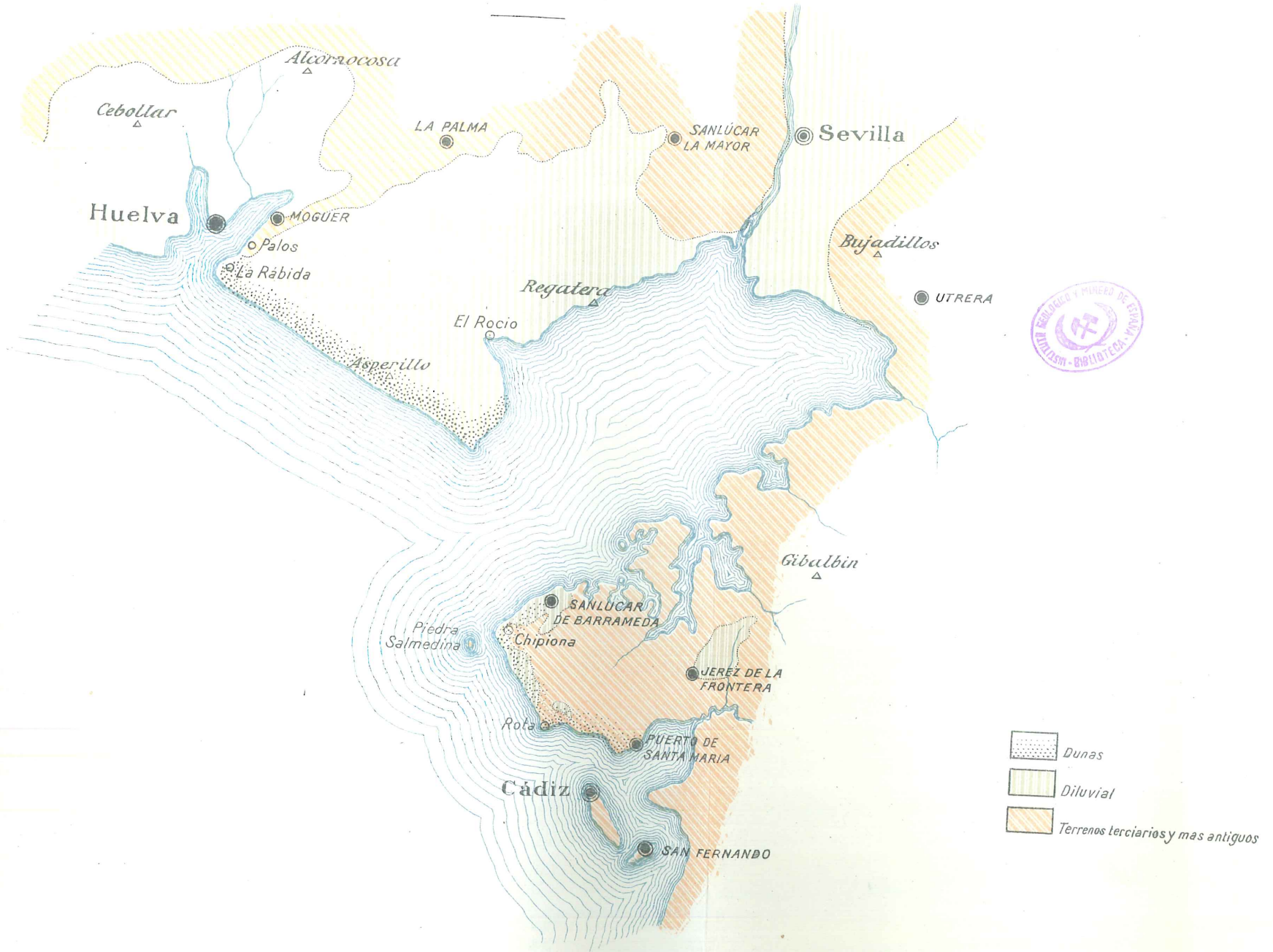
Para terminar esta ligera reseña geológica del estuario diluvial del Guadalquivir haremos constar que de los depósitos formados en esta época por los arrastres del río no conocemos sino los más inmediatos a la desembocadura del valle. En efecto, al mismo tiempo que se depositaban en esa zona los elementos gruesos del acarreo, gravas y arenas, se depositarían a mayores distancias del vértice del estuario, en la parte del Golfo de Cádiz hoy invadida por el Océano, los elementos arcillosos arrastrados por las corrientes terrígenas y que el mar ha debido arrasar después de emergidos o que acaso dispersara arrastrándoles a zonas más profundas del mar a medida que iban llegando al alcance de las olas. De la gran formación detrítica de la

arenisca del Algibe parece ser sincrónica una formación arcillosa más distante del Estrecho y no menos importante: las margas de diatomeas; mas de la formación arenosa diluvial del Guadalquivir no conocemos la formación arcillosa correspondiente, ni siquiera sedimentos que establezcan el paso o tránsito de una a otra.

ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR EN LA ÉPOCA ALUVIAL

LAMINA III

Escala 1:800.000



III

EL ESTUARIO ALUVIAL

Si nos imaginamos la gran ensenada que se dibuja en la lámina II rellena de arenas y gravas silíceas, y que el mar descende de nivel 200 metros o lo que es lo mismo que la costa se eleva aproximadamente 200 metros sobre el nivel actual de los mares, tendremos una idea aproximada del país costero en que el Guadalquivir y los ríos limítrofes hubieron de profundizar sus nuevos valles y excavar sus estuarios actuales. El proceso de formación de éstos, principalmente por lo que respecta al Guadalquivir, podemos seguirle ya, si no paso a paso, al menos en sus líneas generales, basándonos en los datos que nos suministra la red hidrográfica actual.

Las figuras números 1 a 10 tratan de representar las diversas fases por que ha pasado el actual estuario del Guadalquivir hasta llegar al estado en que hoy lo contemplamos.

Al iniciar el río su desembocadura en el mar produciría una brecha en la formación arenosa del Diluvial, en el relleno de su viejo estuario, y una solución de continuidad en la línea de la costa (figura 1). Su régimen sería, como el de sus afluentes, torrencial en un principio, y el cauce relativamente estrecho se apartaría poco de la dirección rectilínea dada la homogeneidad del terreno en que se iba formando. Describiría a lo sumo curvas poco pronunciadas allí donde la corriente principal desviada por las secundarias o afluentes se precipitase preferentemente sobre una de las orillas.

Como el caudal del río, dada su enorme cuenca y el régimen lluvioso imperante en la época de la excavación del estuario, sería copiosísimo y el terreno por donde discurrían las aguas era de rocas homogéneas y poco coherentes, la brecha de la desembocadura inicial se ensancharía con rapidez, profundizándose y adentrándose en

tierra firme (figura 2). El cauce principal iría después perdiendo pendiente y ensanchándose, y lo mismo ocurriría, aunque en menor escala, con los cauces afluentes.

Una vez que la denudación fluvial hubo alcanzado el nivel del mar, la onda de marea se propagaría por el cauce invadiéndolo en las horas de creciente y represando dos veces por día las aguas dulces, cuyo caudal se encontraría considerablemente aumentado en las horas de vaciante.

De este modo, con lluvias torrenciales y persistentes en la cuenca y una marea siquiera de mediana amplitud en la desembocadura, no tardaría el Guadalquivir en excavar una gran ensenada como la que se dibuja en la figura 3, cuyo dominio compartirían las aguas dulces y las marinas en proporción a las aportaciones del río y a las oscilaciones de la marea. En una palabra, se habría formado el estuario.

Si se compara el estuario hipotético que la figura representa, de correcta forma triangular, con el que se dibuja en la lámina III se observará una gran diferencia en cuanto a la línea de contorno, que en el caso concreto que estudiamos se debe al escaso relieve del país surcado por el río en las proximidades de la desembocadura, es decir, de la planicie resultante del relleno del estuario diluvial.

No podía conservar el estuario aluvial del Guadalquivir la forma triangular clásica, porque a medida que el vértice del mismo, o sea el punto de desembocadura del valle, retrocediera hacia tierra, los afluentes del río principal se irían convirtiendo sucesivamente en afluentes de la ensenada fluvio-marina, que es tanto como convertirse en afluentes directos del mar, y es natural que tendieran separadamente a formar estuarios secundarios, deformando así las orillas del estuario principal. Las dimensiones de estos estuarios de segundo orden están en relación con el caudal del afluente, pero como la acción de la marea fué para ellos más importante que el trabajo erosivo de las aguas dulces, han resultado poco alargados en el sentido de la corriente y en cambio de base muy ancha.

Dos cursos de agua (figura 4) son los que principalmente han deformado del modo que queda dicho el estuario del Guadalquivir: por la margen derecha, el Arroyo de la Rocina; por la margen izquierda, el Río Salado de Morón. Si se traza una recta desde Puebla del Río a la Torre de la Higuera, en la costa atlántica, esa línea coincide aproximadamente con el borde del estuario del Guadalquivir, y el triángulo que tiene esta línea por base y por vértice El Rocío debemos suponer que es el estuario excavado de la Rocina.

En la margen izquierda puede decirse que corresponde al estuario del Salado de Morón el triángulo que tiene como base la línea Coria-Lebrija y por vértice el Puente de las Peñuelas sobre dicho río en la carretera de Utrera a Cádiz.

Pero en el caso del Guadalquivir han contribuído también en gran medida a la deformación del contorno del estuario los temporales del

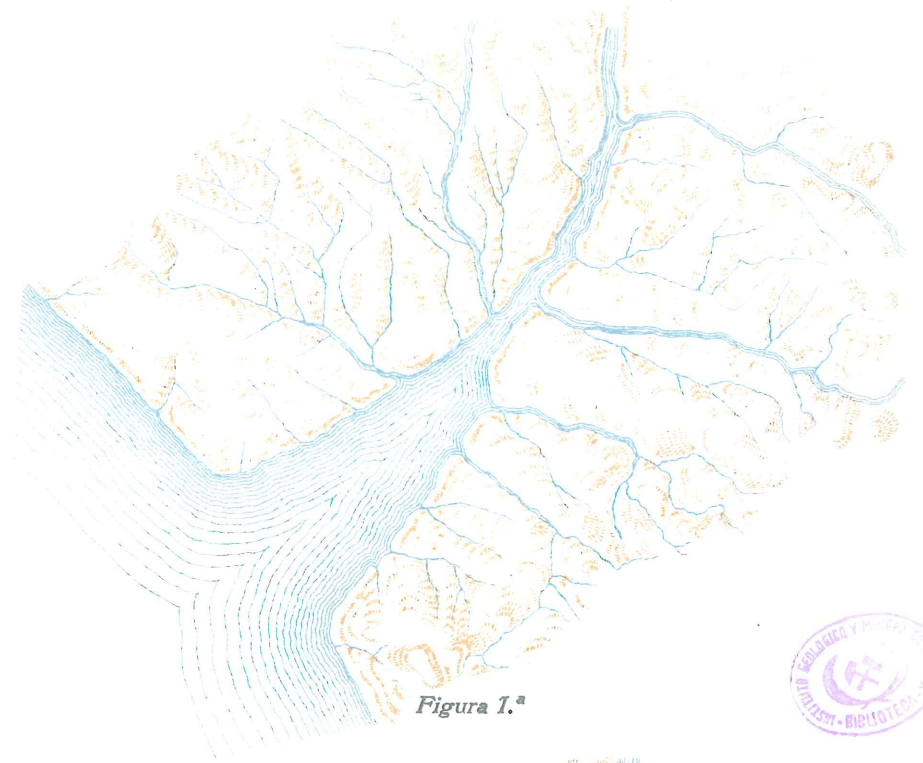


Figura 1.^a

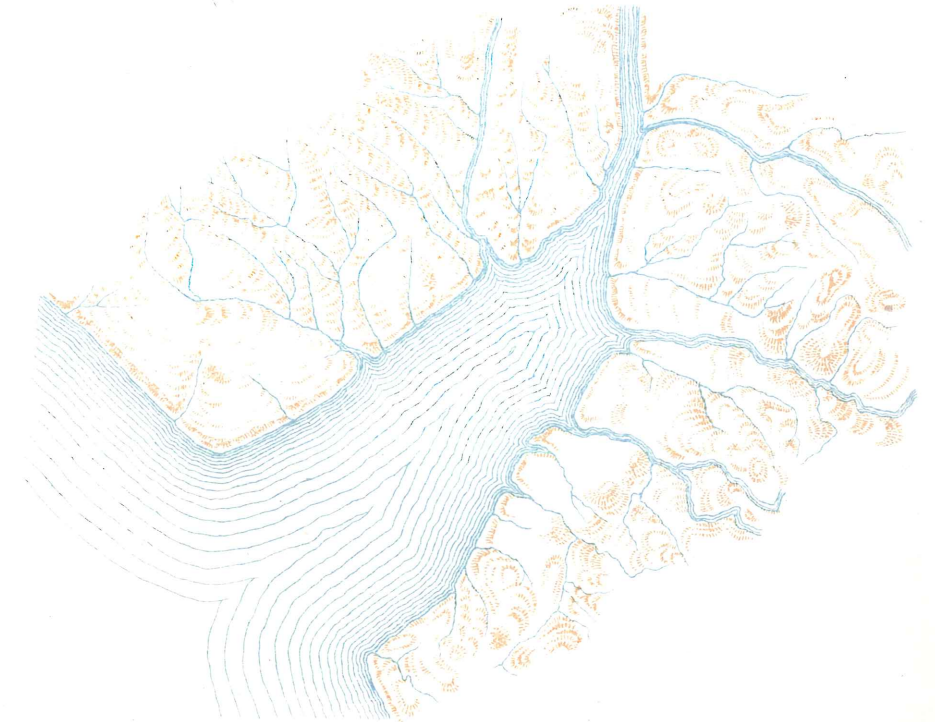


Figura 2.^a

Proceso de excavación del estuario del Guadalquivir



Foto 4. — Asomos de areniscas diluviales entre las dunas de la costa, a 100 metros de la playa y a cinco kilómetros al SE. de la Torre de la Higuera. Jalonan estos asomos el borde o margen derecha del estuario aluvial del Guadalquivir.





Foto 5. — Detalle de la fotografía 4. Vista de uno de los asomos de las arenas diluviales tomada en dirección NO. y en el que se aprecia el acantilado correspondiente al borde del estuario.



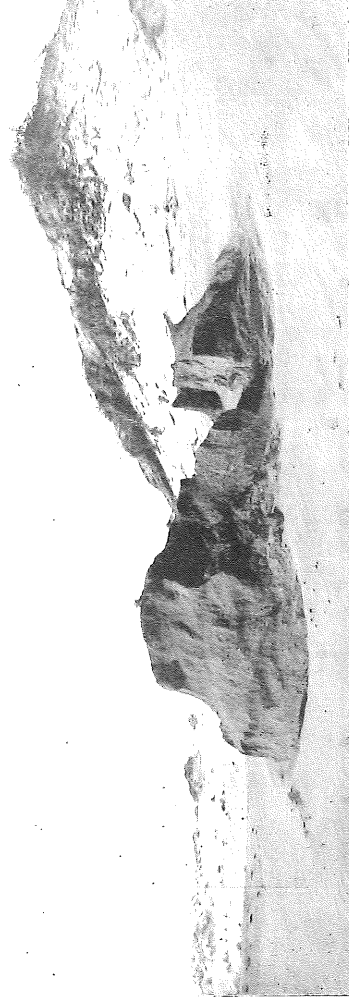


Foto 6. — Detalle de la fotografía 4. Asomo análogo al representado en la figura 5 y con las mismas características.



mar, que en estas costas andaluzas soplan generalmente del SO. y del Poniente. Así se advierte que la orilla del estuario expuesta a los temporales dominantes, la izquierda, presenta más irregularidades y ensenadas que la opuesta, algunas fiordiformes y profundas, aun cuando corresponden a arroyos de pequeña cuenca, y es que la acción del mar es siempre preponderante en esta clase de fenómenos de erosión. Ya hizo observar Duponchel en su «Hidrografía y geología agrícolas» que las mismas dimensiones tiene el estuario de un río de tan escasa corriente como el Somme que desemboca en un mar donde la onda de marea tiene 6,90 metros de amplitud, que el del caudaloso Gironde, que vierte sus aguas en un punto de la costa donde la oscilación de la marea no pasa de 3,70 metros.

Reducido a sus líneas esquemáticas tal ha sido el proceso de excavación del estuario moderno del Guadalquivir y tales las causas que han determinado la forma resultante de la ensenada fluvio-marina. Pero debemos llamar la atención sobre dos extremos interesantes: uno, el perfil peculiar que ostentan tanto las colinas de Lebrija como las de Trebujena, pues a pesar de tratarse de alturas formadas por roca tan deleznable como la marga diatomífera del Oligoceno, aun conservan por la parte que mira al estuario un talud rapidísimo, vestigio de antiguos acantilados costeros, hoy derruidos. Otro, la determinación que nos ha sido posible hacer del punto en que el borde occidental del estuario o margen derecha del mismo corta a la costa atlántica. Hállase situado este interesante punto a cinco kilómetros al SE. de la Torre de la Higuera y a 1.700 metros al NO. del lugar donde se establece la colonia veraniega de Matalascañas, y queda fijado por el afloramiento, entre las arenas de las dunas actuales, de unos cuantos mogotes de las arenas diluviales rojizas que ostentan por la cara que mira al SE., es decir, al estuario, el perfil que corresponde a un antiguo acantilado (véanse las fotografías 4, 5 y 6). La boca del estuario tiene, pues, unos 24 kilómetros de anchura en su intersección con la línea de la costa, y está limitado tanto en la margen derecha (Matalascañas) como a la izquierda (Sanlúcar de Barrameda) por acantilados de las arenas diluviales pertenecientes al relleno del estuario antiguo. El terreno comprendido entre esos dos puntos es, pues, todo él de formación aluvial y actual: relleno del estuario aluvial y dunas actuales.

Relleno del estuario.—Tratemos ahora de explicar las distintas fases del proceso de relleno.

Es evidente que la excavación de un estuario no puede prolongarse indefinidamente (el del Guadalquivir no había de constituir una excepción), pues aun en el supuesto de que no variase el régimen de aportaciones del río, fatalmente llegaría el momento en que la sección transversal de la ensenada habría de resultar excesiva para los caudales de avenida, con lo cual la velocidad de la corriente dismi-

nuiría y los arrastres sólidos comenzarían a depositarse en el dominio del estuario sin rebasar la primitiva línea costera.

Pero la actividad del proceso de excavación cesa con mucho mayor motivo sí, por disminuir las lluvias en la cuenca, los caudales de las crecidas se acortan y las aguas dulces no pueden conservar, en consecuencia, a su paso por el estuario la velocidad mínima indispensable para transportar en suspensión los materiales sólidos. Porque el mar actúa como elemento demoleedor de un estuario mientras se mantienen limpios de acarreo los que pudiéramos llamar frentes de ataque, pero desde el momento en que el río no puede llevar a cabo esta labor de limpia, que a él sólo incumbe, la obra destructora del mar se convierte en constructiva y los efectos de la marea se unen a la acción del río para reparar la obra anterior de destrucción.

Indiscutible es la disminución que en la época actual han experimentado las precipitaciones atmosféricas en la mayor parte de las regiones europeas y muy marcadamente en nuestro país, pues así lo demuestra, entre otros datos incontrovertibles, la aminoración de la masa total y del volumen de los elementos de los materiales acarreados por los ríos. Debemos, pues, admitir que a partir de una época dada, la corriente del Guadalquivir fué perdiendo importancia, con lo cual los materiales más gruesos comenzarían a depositarse apenas desembocaran las aguas dulces en el estuario. Las arenas finas y los légamos arcillosos se extenderían por todo él y en parte llegarían al mar libre; pero en las paradas de las mareas, en las estoas de pleamar y de bajamar, una gran parte de estos materiales finos se depositarían por decantación a lo largo de la línea costera y darían origen a una barra (figura 5). Sobre esta barra no tardaría en cimentarse el cordón litoral, esa masa movediza de arenas y gravas con que el mar tiende a arropar los zócalos costeros y a reparar los desgarres que causan los ríos en sus orillas. Este cordón litoral dificultaría progresivamente la comunicación entre el estuario y el mar y no tardaría en establecerse entre ambos una barrera que dejaría a aquél convertido en un lago donde el depósito de los limos de las arriadas quedara asegurado para siempre (figura 6).

Antes de que llegaran los depósitos a alcanzar el nivel de bajamar comenzarían a dibujarse unos islotes fangosos submarinos entre los cuales se abrirían paso las aguas del río principal y de sus afluentes, y al interferir unas corrientes con otras se originarían remolinos y áreas de poca agitación, que es donde principalmente se producen los depósitos de limos. Estas áreas de aguas tranquilas se terminarían por curvas caprichosas y encuadrarían los hileros de corriente

Continuando el proceso de relleno y llegado el momento en que los depósitos de limos emergieran a bajamar, comenzaría a formarse en el estuario del Guadalquivir, y en el seno de esa masa movediza e inestable de fango, la complicada red de canales tortuosos que se dibuja en la figura 9 y con los que, andando el tiempo, habían de coin-

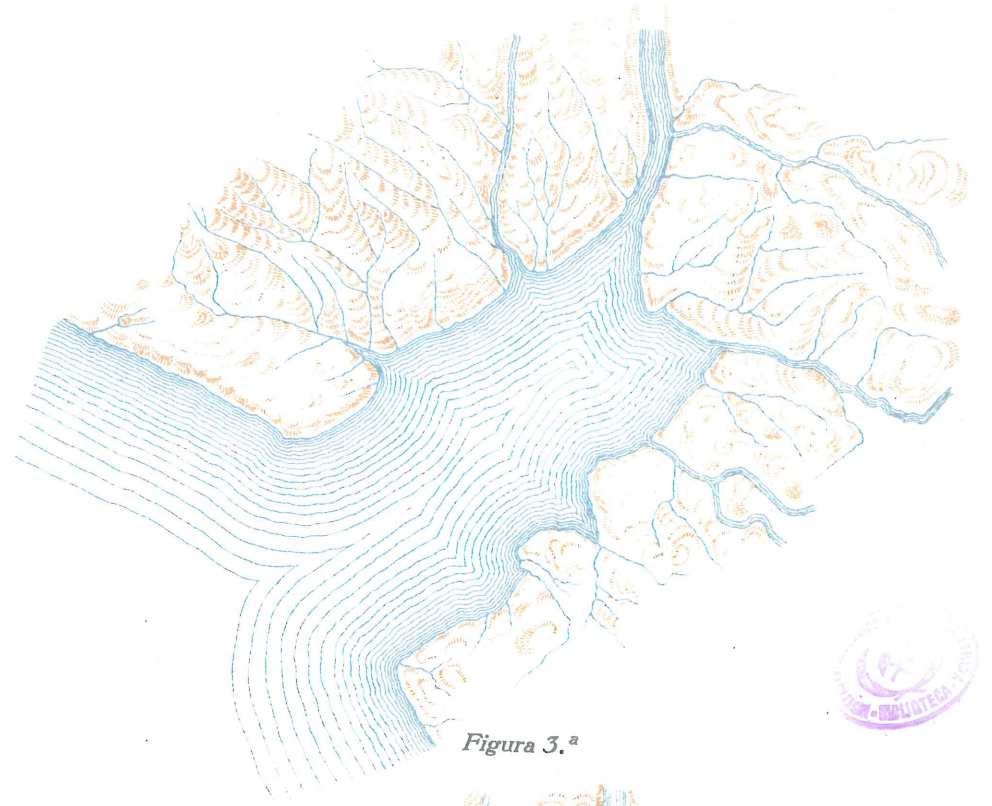


Figura 3.^a

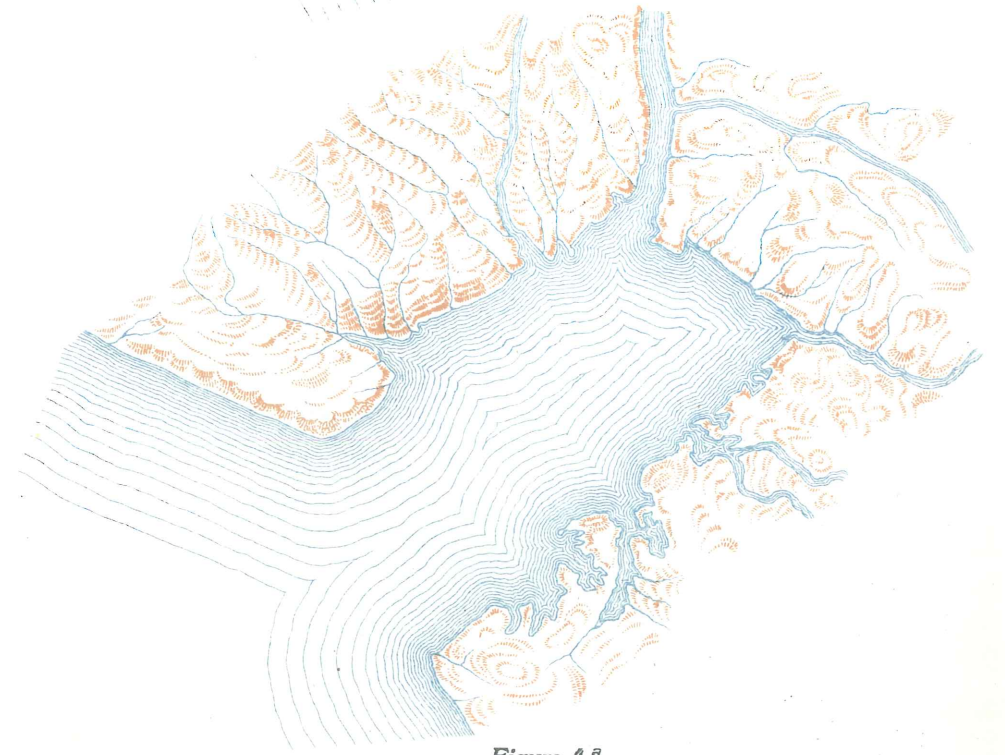


Figura 4.^a

Proceso de excavación del estuario del Guadalquivir

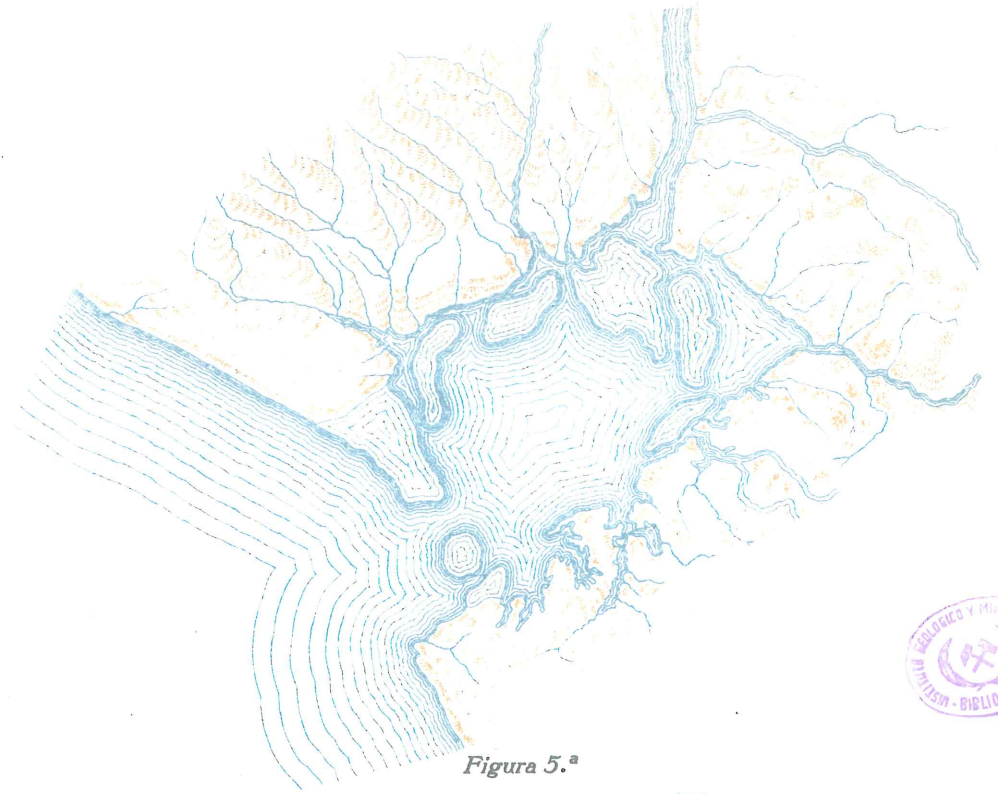


Figura 5.ª

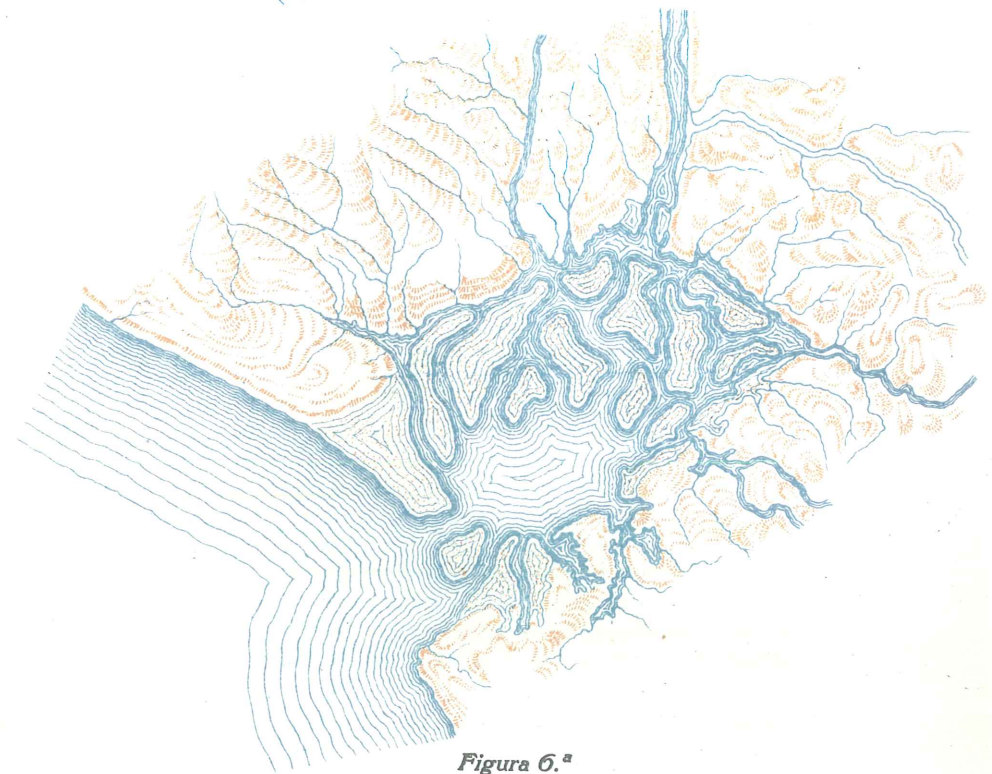


Figura 6.ª

Proceso de relleno del estuario del Guadalquivir

Mapa de la zona del estuario del Guadalquivir

cidir los lechos y madres viejas que hoy surcan la llanura marismesa. Entre tanto, las aguas fluviales concentradas en esos cauces tendrían por más tiempo su velocidad y arrastrarían los materiales gruesos a mayor distancia cada vez del vértice del estuario.

El período de relleno debe haber sido de enorme duración, consecuencia de un proceso de sedimentación extraordinariamente lento, por cuanto hay señales evidentes de que las arriadas que ocasionaban los depósitos de limos eran cosa accidental y pasajera en el régimen normal del río y de que el estuario del Guadalquivir estuvo casi constantemente ocupado por una masa de agua salitrosa y aun salada, clara, que permitía la vida de una fauna variadísima de moluscos que, si bien se caracteriza por su adaptabilidad a aguas con distinto grado de salazón, no puede prolongar mucho tiempo su vida ni en aguas dulces ni en aguas turbias. Y a la profundidad de cinco a seis metros se encuentran por doquier, en los dominios del estuario actual, una capa potente de arcilla azul con *Scrobicularia plana*, Dacosta, en que las conchas, unidas, ocupan la posición vertical que adopta este bivalvo al enterrarse en el fango, y su profesión demuestra la existencia de un vivero casi continuo de un extremo a otro del estuario.

Este molusco se encuentra en nuestros días, y en grandes cantidades también, en el cauce del Guadalete, al nivel de las bajamares equinociales enterrado cerca de medio metro en el fango, desde la desembocadura hasta cinco kilómetros aguas arriba, y como el caudal del Guadalete es muy escaso, salvo los días de crecidas invernales, esta región del cauce habitada por la *Scrobicularia plana* está ocupada generalmente por agua muy cargada de sal marina, y en verano por agua tan salada como la del mar.

A niveles superiores (dos a tres metros de profundidad) existe en el estuario otra capa bastante general, reconocida desde Puebla del Río hasta la altura de las Cabezas, con *Cardium edule*, Lin., *Nassa reticulata*, Lin. y *Ostrea cristata*, Born. De estos moluscos, el *Cardium edule* indica la posibilidad de grandes variaciones del grado de salazón de las aguas; pero, por el contrario, la *Nassa reticulata* y la *Ostrea cristata* demuestran el carácter francamente salino de las aguas que cubrían el estuario durante las últimas etapas del relleno.

De Lebrija hacia Sanlúcar, y como a un metro de profundidad, la fauna enterrada en los fangos aluviales indica un régimen francamente marino y la proximidad de zonas de bastante calado, pues el *Chlamys flexuosus*, Poli, la *Tellina cumana*, Dacosta, el *Dentalium novencostatum*, Lamarek, y otros gastrópodos que allí se encuentran, habitan en nuestros días a profundidades de cuatro a seis brazas. Estas conchas se hallan por regla general deshermanadas y amontonadas, como es frecuente encontrarlas en las playas del litoral gaditano después de los temporales.

En resumen, puede decirse que la gran masa de limos arcillosos

que con espesores variables entre seis y doce y más metros rellena el estuario moderno del Guadalquivir, se ha sedimentado en el seno de aguas saladas de composición muy similar a la del mar y, por lo tanto, en época en que las aportaciones líquidas del río en régimen normal eran más bien escasas.

Sobre estos limos arcillosos se han amontonado localmente y en distintas épocas arenas voladeras, que impulsadas por los vientos fo-reños han avanzado bastante tierra adentro a partir de la línea actual de la costa, y que coincidiendo con épocas de poca actividad del río han debido contribuir poderosamente a obstruir, o al menos a estrechar, la boca del estuario.

Los cauces mantenidos por las aguas divagantes del Guadalquivir y de sus afluentes no han cesado después de reducirse más y más con el depósito de los limos de las crecidas, reducción que trajo como consecuencia inmediata el desbordamiento cada vez más frecuente de las aguas en épocas de avenida con el consiguiente depósito de materiales sólidos, que fueron elevando el nivel del estuario (fig. 7). Ahora bien, como las aguas al desbordar los cauces pierden casi instantáneamente la velocidad, los acarreos se depositaban cerca de las orillas, las cuales progresivamente se iban elevando, en tanto que las partes centrales de las islas intermedias quedaban convertidas en lagunas sin desagüe. Si en una avenida se rompía el borde de alguna margen, cosa frecuente dada su poca consistencia, las aguas irrumpían por la brecha en busca de otro cauce cercano formando un nuevo lecho que, aunque poco profundo, estaba destinado como los anteriores a elevar sus orillas, dividiendo en dos la laguna que atravesaba. Así es como ha quedado convertido el estuario en una serie de islas, integrada cada una de ellas por varias lagunas, separadas por fajas irregulares de terreno más alto. Esta es la característica de la gran planicie marismeña que hoy surca el Guadalquivir entre La Puebla y Sanlúcar de Barrameda, y que corresponde a la última etapa del proceso de relleno del estuario; y una vez alcanzado este estado de equilibrio, con la superficie general del relleno a la cota de las pleamares ordinarias, las modificaciones que ha experimentado el estuario son tan pequeñas, y sobre todo tan lentas, que en el transcurso de una generación no es posible apreciar cambio alguno (figura 8).

Deltas lacustres.—En el estado que representa la figura 9, con los cauces reducidos a lo estrictamente necesario para la circulación de las avenidas ordinarias, el terreno no se volvía a cubrir de agua sino en caso de avenidas extraordinarias, o durante los pleamares equinocciales. Las avenidas extraordinarias desbordaron desde entonces el cauce fluvial antes de llegar al vértice del estuario y desembocaban en él como lámina de inundación, que se extendía a uno y otro lado y depositaba sobre la formación fluvio-marina una capa de sedimen-

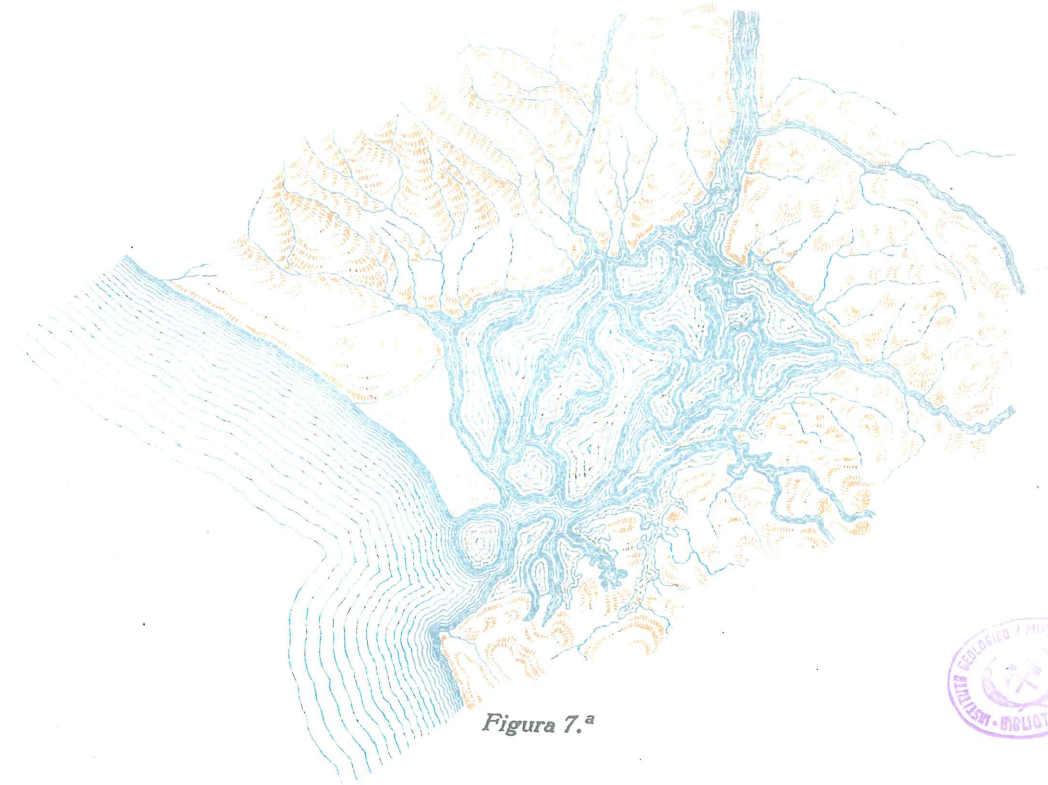


Figura 7.^a

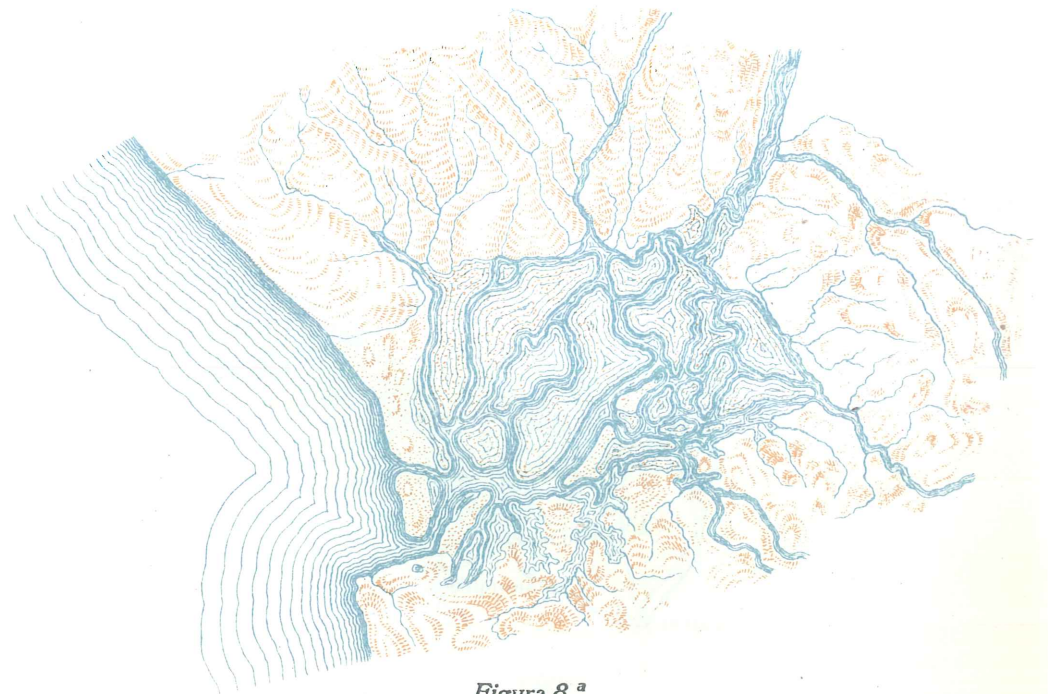


Figura 8.^a

Proceso de relleno del estuario del Guadalquivir

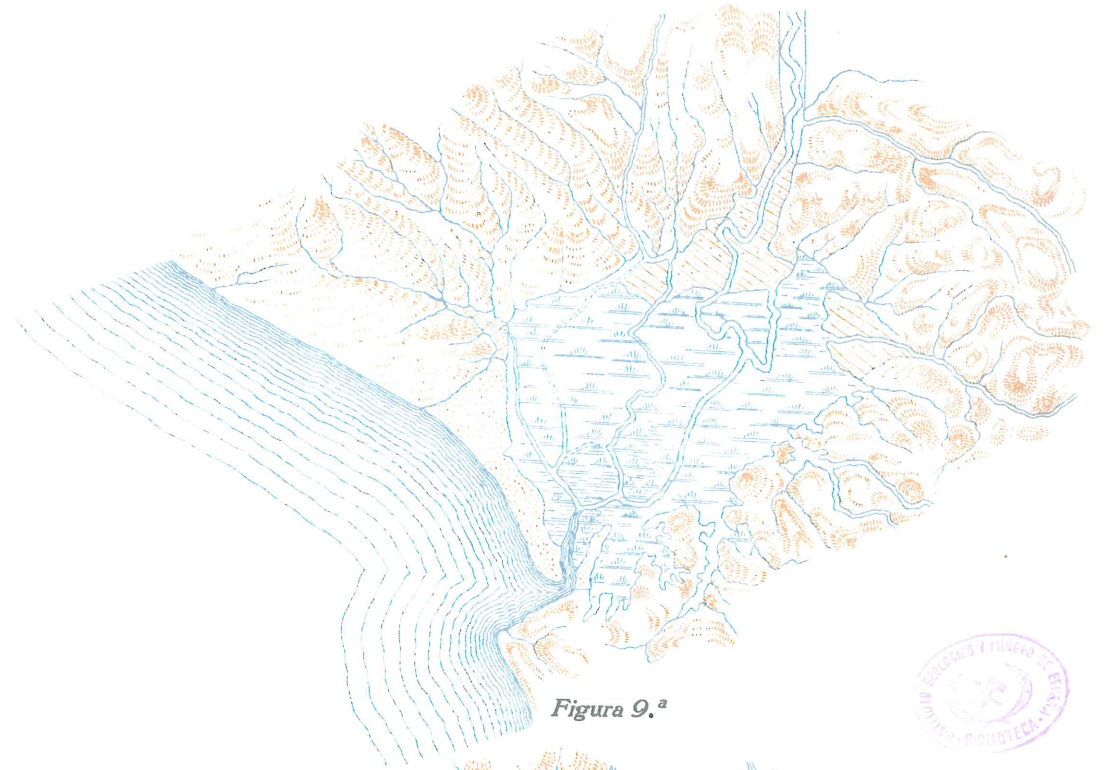


Figura 9.^a

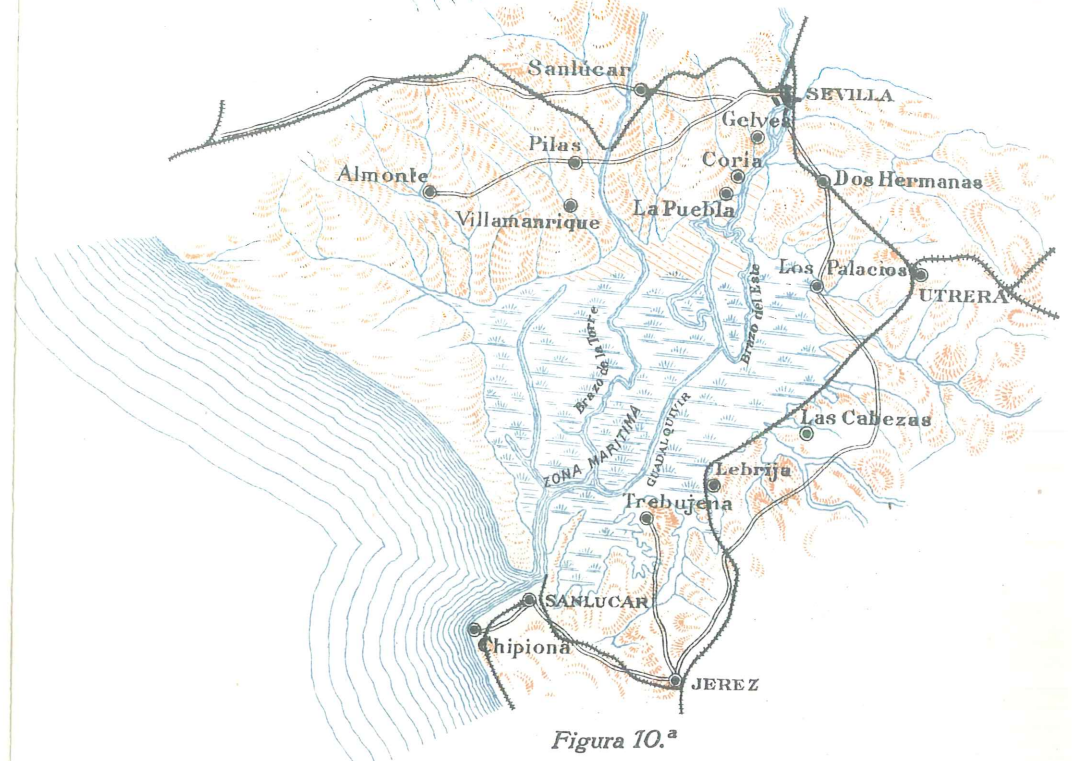


Figura 10.^a

Proceso de relleno del estuario del Guadalquivir

Figura 8.^a
Proceso de relleno del estuario del Guadalquivir

tos arcillo-arenosos, que avanzando como el cono de deyección de un torrente, relleno las antiguas depresiones, cauces y lagunas, y fué borrando las desigualdades del terreno. Estas capas de acarreo depositadas por el Guadalquivir y sus afluentes en el seno de una masa de agua dulce y que quedaban emergidas tan pronto como pasaban las puntas de las crecidas, constituyen el delta lacustre del río que avanza con lentitud extremada sobre la formación fluvio-marina del estuario. Algo análogo ocurre con los afluentes periféricos, que también han ido formando deltas y con mayor rapidez si cabe que el río principal, pues la falta de cauces profundos, que las avenidas del Guadalquivir han ido obstruyendo de antemano, contribuye a que la totalidad de los aportes sólidos se emplee en elevar el nivel del suelo.

El influjo de las pleamares de aguas vivas se manifiesta en el estuario del Guadalquivir por la invasión y el consiguiente ensalitrado de aquellas partes más bajas que están en comunicación con la zona inferior del río, constantemente ocupada por aguas saladas. Estas depresiones, al impregnarse de agua del mar cada vez que se produce una fuerte marea reciben, sobre todo el verano, un abundante depósito salino. Así pues, la formación fluvio-marina del estuario va perdiendo el carácter del terreno salitroso en las zonas interiores que invaden los deltas y lo va acentuando en las próximas al mar, donde lo continúan invadiendo las pleamares equinocciales.

Por un proceso muy semejante, si no idéntico al descrito, el estuario del Guadalquivir ha llegado al estado actual que es el que representa la figura 10, porque en la obra de la Naturaleza el hombre no ha introducido más modificaciones que las cortas de los Jerónimos, Fernandina y de Tablada, hechas para evitar tornos violentos del río y facilitar el acceso de los buques al puerto de Sevilla.

Actualmente surcan la superficie del estuario, además del brazo navegable o ría propiamente dicha, el Brazo de la Torre y el del Este, que formaron con el primero las islas Mayor y Menor; pero azolvados hoy por los depósitos del delta sólo comunican por sus bocas inferiores con el brazo navegable. La Corta de los Jerónimos produjo la Isla Mínima

El estuario aluvial del Guadalquivir, cuya forma exacta en la época de mayor denudación se dibuja en la lámina III, mide 1.780 kilómetros cuadrados, de los cuales 1.114 quedan en la margen derecha del brazo navegable y 666 en la izquierda. Todo ese extenso territorio está relleno con los fangos de la formación fluvio-marina hasta el nivel de las pleamares ordinarias. Sobre ella y en la margen derecha, descansan depósitos lacustres o de agua dulce correspondientes a los deltas unidos del Guadalquivir y del Guadiamar, que ocupan una extensión de 51 kilómetros cuadrados, y las dunas litorales del Coto de Doña Ana, que cubren 177. Sobre la formación marismesa de la margen izquierda se apoyan los depósitos del delta del Salado de Morón en

extensión de 28 kilómetros cuadrados, y las dunas de la Algaida, al Norte de Sanlúcar, que cubren 15 kilómetros cuadrados. Los 886 kilómetros cuadrados restantes de la margen derecha y los 623 de la izquierda pertenecen aún a la formación fluvio-marina y son, por lo tanto, terrenos marismeños sujetos a inundaciones periódicas, encharcados la mayor parte del año, y en los que sólo se desarrolla una vegetación halófila de escaso aprovechamiento para pasto. Así se explica que la gran llanura del Guadalquivir haya sido hasta hace poco, en que se han acometido obras importantes de desecación, un terreno inhospitalario y desértico.

Fenómenos de erosión marina.—Las formaciones de estuario que bordean la costa atlántica entre el puerto de la Rábida y Sanlúcar de Barrameda son objeto de un violento ataque por parte de las aguas del mar que hace retroceder incesantemente la línea costera y con velocidad bien apreciable. Todo el litoral del Golfo de Cádiz, desde la desembocadura del Guadiana hasta punta de Tarifa, expuesto a los temporales del Sudoeste, presenta señales manifiestas de este retroceso, y ya dijimos en otra ocasión que restos desgajados de ese litoral son los bajos de Salmédina y las Puercas, islotes de rocas pliocenas que apenas sobresalen del nivel de pleamar, pero como las formaciones diluvial y aluvial del estuario son más deleznable, de menor cohesión, en ellas ha hecho progresos más manifiestos el ataque de la ola marina, como bien claramente se aprecia por el escalón de la costa a la altura de Chipiona. Pero el avance del mar se hace más ostensible en la parte de la costa formada por las arenas diluviales por la especial situación en que aparece hoy el cordón litoral de dunas. Comienzan éstas en el faro de la barra de Huelva y sin solución de continuidad llegan hasta la desembocadura del Guadalquivir, alcanzando su máxima altura, 113 metros, en El Asperillo. Desde la Torre de la Higuera hacia el Guadalquivir, la posición de la faja de dunas es la normal en esta clase de formaciones costeras; las arenas lanzadas por el mar avanzan largo trayecto sin adquirir grandes alturas (fot. núm. 7) y como a un kilómetro del borde de pleamar empieza a dibujarse la primera línea de médanos que avanzan después en oleadas sucesivas, cada vez con mayor elevación, hasta unos seis u ocho kilómetros del mar; pero en El Asperillo las dunas comienzan en la parte alta del acantilado costero, que por término medio tiene de 15 a 20 metros de elevación y, por consiguiente, no pueden ser hoy alimentadas por las arenas que el mar lanza a la orilla, y como en estas condiciones no habría habido posibilidad de que tales dunas se hubiesen formado, por fuerza se ha de admitir que el borde o pie de la duna se hallaba en otro tiempo en lo que hoy es mar, y que el ataque de la ola no sólo ha destruído al pie del médano sino una parte importante del mismo, hasta dejarlo, por decirlo así, colgado, y sin posibilidades de ulterior alimentación (véase fot. núm. 1).



Foto 7. — Matalascañas. Primera etapa del avance de las arenas voladeras sobre los terrenos del estuario aluvial del Guadalquivir. Manto continuo de 10 a 12 metros de espesor, sin grandes elevaciones. En el fondo comienzan a dibujarse algunos médanos.



Foto 8. — Coto de Doña Ana. Camino de El Palacio al Cerro del Trigo. Avance de las dunas sobre un pinar; las ramas secas que aparecen en primer término son de la copa de un pino enterrado. En el fondo, el médano más interior, que avanza sobre la marisma de Almonte.



Foto 9. — Pinar del Coto de Doña Ana, en las cercanías del Cerro del Trigo, que va quedando sepultado por un médano, que avanza hacia la derecha del observador, a dos kilómetros de la costa.



(Instituto Geol. y Min.º)

HOJA 1.018. EL ROCÍO



Foto 10. -- Detalle de la figura 9.

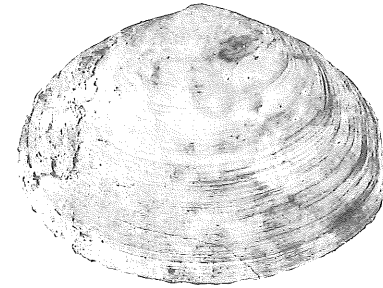




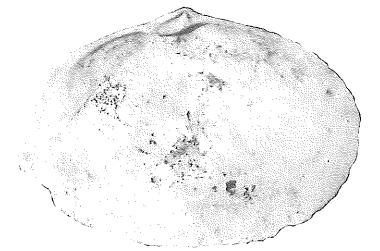
1

2

3



4



5



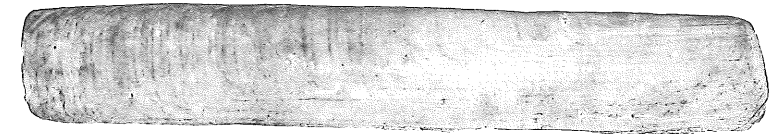
6



7



8



9

1-3 *Chlamys flexuosa*, Poli. 4-5. *Scrobicularia plana*, Da Costa. 6-7: *Barnea candida*, Lin.
8. *Tellina Cumana*, Da Costa. 9. *Solen marginatus*, Pennant.

Otra prueba del avance de la línea de la costa en estos parajes es la situación en que aparece la Torre de la Higuera, construída en lo alto del acantilado y hoy volcada en la playa y batida por las olas.

El cordón de dunas de la costa onubense se divide, pues, en dos partes: la septentrional o de El Asperillo, incomunicada con la playa y sin poder recibir nuevas aportaciones de arenas voladeras, y la meridional o del coto de Doña Ana, donde los médanos se forman, se desarrollan y avanzan con completa normalidad, como puede verse en las fotografías 8 a 11, en alguna de las cuales (la 9) se aprecia además cómo las arenas en su avance hacia el interior van sepultando los frondosos bosques de pinos que crecen en los valles o depresiones que separan dos líneas consecutivas de médanos.

En la primera zona, las dunas descansan en la formación diluvial; en la segunda, en los fangos del estuario moderno. Estas líneas de dunas, tanto por su altura como por la profundidad de la invasión de las arenas, son las más importantes de España, y el médano de El Asperillo el más alto de Europa. Las arenas que las forman proceden en gran parte de la formación arenosa diluvial, y en el rizado que el viento produce en la superficie de los cerros desprovistos de vegetación se advierten líneas onduladas negruzcas dibujadas por partículas de magnetita y de ilmenita.

Hemos suprimido deliberadamente el párrafo que en la memoria de El Asperillo trataba de «Los estuarios del Guadalquivir y del Guadalete en relación con las civilizaciones antiguas» por no ser de interés primordial para el conocimiento de la geología y morfología locales. En este apartado refutábamos la tesis sostenida por Schulten de que la ciudad de Tartessos se hallaba situada en las proximidades del cerro del Trigo (coto de Doña Ana) entre este punto y la Torre del Zalabar, y creemos haber demostrado que tal paraje no ha podido ser jamás asiento de una importante ciudad por la naturaleza pantanosa y el carácter desértico de toda esta zona, que probablemente, además, se ha consolidado con posterioridad a la época en que se supone a dicha ciudad de Tartessos en pleno apogeo (1.º, y acaso 2.º milenio a. de J. C.). Schulten se apoya principalmente al defender su tesis en la obra «Ora Maritima», de Avieno, en la que se refunde un periplo que unos autores atribuyen a un navegante masaliota del siglo VI a. de J. C., redactado con anterioridad a la batalla de Alalia, esto es, al año 535 a 540 a. de J. C., y otros suponen que fué su autor un navegante cartaginés, por citarse en él la ciudad de Cádiz con el nombre fenicio de Gadir y no dar siempre las distancias de las distintas ciudades y parajes que menciona en estadios o días de navegación; mas lo indudable es que la descripción que se hace en la «Ora Maritima» de las costas del Golfo de Cádiz concuerda con los alrededores de la capital y en modo alguno con la topografía de la costa en la desembocadura del Guadalquivir por muchos cambios que se supongan operados desde aquella lejana fecha por la acción combina-

da del río y del mar, y los datos más concretos parecen referirse a la bahía gaditana, a la isla de Cádiz y al estuario del río Guadalete. Si hay, por lo tanto, error en esta narración sería más bien por atribuir el nombre de Tartessos al Río Guadalete, pero no por decir que a la ciudad de Cádiz se la llamaba antiguamente Tartessos.

Prescindiendo de que sea o no posible la identificación de estas dos ciudades, lo que no parece ofrecer duda es que en el estuario del Guadalquivir y cerca de la costa actual no ha podido existir una ciudad importante hacia el año 600 a. de J. C. que es cuando se supone al reino de Tartessos en su apogeo, como tampoco que el periplo recogido por Avieno en su obra no se refería para nada a bocas o desembocaduras distintas del Río Guadalquivir. Y con esto la tesis de Schulten cae por tierra. Si al lector le interesan más detalles acerca de tan sugestivo tema puede ver lo que decimos en la memoria de la hoja de El Asperillo.

IV

LA TOPOGRAFIA Y LA HIDROGRAFIA CONTEMPORANEA DE LAS FORMACIONES DE ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR

Las formaciones cuaternarias del Guadalquivir (la diluvial y la aluvial o moderna) cuya distribución se dibuja en el mapa de conjunto de la lámina I, se diferencian: 1.º Por la distinta altitud que ocupan. 2.º Por la naturaleza de los sedimentos. La formación diluvial está enrasada a la cota 200 aproximadamente y la aluvial a 1,5 metros sobre el nivel medio del mar. La más antigua se compone casi exclusivamente de arenas y gravas *silíceas*; la más moderna de fangos y limos *arcillosos*. Sin la destructora intervención del hombre, la formación diluvial estaría poblada de pinos, alcornoques y acebuches, como lo estuvo en tiempos remotos y lo atestiguan los rodales y ejemplares aislados de esas especies arbóreas que encontramos hoy diseminados por los ardientes arenales de Almonte. La formación aluvial, en cambio, terreno pantanoso y salino, sólo produce raquífticas variedades de gramíneas y leguminosas, y pequeños arbustos esteparios.

El Guadalquivir, como en tiempos bien remotos, sigue siendo el desagüe natural de toda la mancha de terrenos cuaternarios: cruza trabajosamente, por la falta de pendiente, los depósitos aluviales, y a la caldera que éstos forman afluyen las aguas de lluvia que recoge la formación diluvial. El cauce del río ocupa una posición excéntrica con relación al estuario antiguo, porque el Guadalete ha captado recientemente cursos de agua que en los comienzos de la era cuaternaria eran afluentes del Guadalquivir, y así vemos ahora que mientras por la margen derecha los tributarios del Guadalquivir arrancan de los bordes de la gran mancha arenosa, en la margen izquierda, la divisoria con el Guadalete, de cota generalmente inferior a la de coro-

nación de los depósitos diluviales, limita a corta distancia del río los cursos de sus afluentes directos.

Esa divisoria con el Guadalete, que en muchos puntos fué rebasada por el nivel de las aguas durante el depósito de las arenas diluviales, hasta poner en franca comunicación los estuarios antiguos de ambos ríos, ha perdido, por efecto de su poca anchura y por el ataque de los afluentes opuestos de dos distintas redes hidrográficas, la cobertura general de arenas y gravas que, como dijimos en otra ocasión, sólo se conserva en los Llanos de Caulina, al Norte de Jerez.

Debido a esta circunstancia, se nos presentan con caracteres muy distintos los dos bordes, occidental y oriental, del estuario moderno. El borde occidental lo constituye una dilatada planicie arenosa que en su comienzo sólo se eleva de dos a tres metros sobre la marisma y paulatinamente va ganando altura en dirección a Moguer, pero que escasamente alcanza una altitud de 100 metros.

Esta región de arenas diluviales está surcada por varios arroyos, de los cuales el más importante es el de La Rocina, llamado en su parte inferior La Canaliiega, que desemboca en el estuario aluvial o marisma al pie de la aldea de El Rocío.

Este arroyo de La Rocina tiene su ladera septentrional algo pendiente, pues desde las Casas del Sacristán, por ejemplo, hacia Almonte, se sube en seis kilómetros unos 90 metros. En cambio, su vertiente Sur es una altiplanicie más que una ladera, pues a poco de separarse de las referidas casas en dirección normal a la costa sube el terreno a la cota 40, y para alcanzar la de 60 metros hay que llegar al pie de las dunas de El Asperillo, distantes 11 kilómetros.

Por efecto de esa falta de pendiente son innumerables las lagunas que se encuentran por toda esta zona, como puede verse consultando el mapa de la provincia de Huelva publicado por el Instituto Geográfico en escala 1:200.000 y la misma hoja a 1:50.000 de El Asperillo. Las lagunas corresponden a remansos profundos, charcas u *ojos* de antiguos cauces que surcaron este territorio. Muchas veces se distingue la traza del viejo arroyo de que formaban parte y con detenimiento se podrían replantear los antiguos cauces y determinar a cuál de ellos corresponde cada una de las lagunas. Algo de esto hemos hecho en la hoja de El Asperillo con las que más claramente manifiestan su natural enlace.

Ese fenómeno de los tollos, charcas, u *ojos* como en Almonte se les llama, que caracteriza al arroyo de la Rocina, donde se observan infinidad de ellos, y que por lo visto caracterizaba también a los otros cauces que surcaban la altiplanicie entre la Canaliiega y el mar, cuando han quedado señales evidentes de los mismos en las lagunas de que acabamos de hablar, tiene su origen en mantos profundos de agua subterránea que por efecto de la presión interna han roto las capas superiores del terreno que las retenían y han podido brotar al exterior. Se trata, por lo tanto, de un fenómeno artesiano cuyo pro-

(Instituto Geol. y Min.º)

HOJA 1.018. EL ROCÍO



Foto 11. — Coto de Doña Ana. Dunas entre el Cerro del Trigo y la Torre del Zalabar. Montículo que ha quedado en retraso al avanzar un médano y que ocupa hoy el centro de un *corral*. Un entramado de raíces ha contenido las arenas.



Foto 12. — Coto de Doña Ana. Casa del Cerro del Trigo y, a la izquierda, excavaciones hechas en busca de Tartessos.

ceso puede explicarse así: las aguas de lluvia que se infiltran en la gran mancha de arenas diluviales caminan por el subsuelo siguiendo las capas de arena menos arcillosas y más gruesas, por ser las más permeables, y se acumulan en uno o varios mantos profundos cuya altura hidrostática es superior a la cota del fondo del arroyo, y si, por efecto de la presión, el agua consigue abrirse paso hasta la superficie, queda la capa acuífera desde ese momento en comunicación con el agua que discurre por el cauce. El arroyo se alimenta entonces de dos modos: por las aguas de escorrentía de las laderas y por el agua subterránea de las capas profundas que brota por los *ojos*; y la presión del agua que sube por los conductos de comunicación con el exterior impide el depósito de acarreo fino en el embudo del *ojo* y mantiene la profundidad del charco.

Es evidente que una vez que se establece esa comunicación entre el cauce del arroyo y la capa subterránea hay ocasiones en que ésta se alimenta con el agua que discurre por el cauce (cuando la altura que toman las crecidas es mayor que la presión hidrostática de la capa), y otras, cuando el nivel de las crecidas desciende, en que la capa subterránea se descarga de nuevo en el cauce por los *ojos*.

Este fenómeno se manifiesta como reminiscencias de una actividad pasada en las lagunas de que está salpicada la vertiente derecha de La Rocina, y que son, según se ha expuesto, trozos de viejos cauces, y precisamente los más profundos, como es lógico. Muchas de ellas manan agua por el fondo, y la corriente ascendente, aunque débil, impide que se consoliden los arrastres que tienden a rellenarla y los mantiene en tal estado de disgregación que resulta peligroso cruzar su fondo sea a pie, sea a caballo.

Como a un kilómetro del mar, el plano suavemente inclinado que constituye la vertiente meridional de La Rocina alcanza su línea culminante próximamente a la cota 80 y de allí comienza a descender de nuevo hacia el mar, lo que indica que la mencionada línea es una antigua divisoria de aguas, pero a poco de comenzar la contrapendiente el terreno se va cubriendo con la arena de las dunas de la cadena costera y de nuevo vuelve a subir, ahora rápidamente y por un talud muy pronunciado hasta la arista culminante de dichas dunas. Pero la inclinación hacia el mar del terreno diluvial que soporta al médano continúa evidentemente bajo las arenas voladeras, pues, como ya hemos dicho en otra ocasión, el plano de separación de las arenas diluviales y las arenas de las dunas se halla en el acantilado costero tan sólo a 15 ó 20 metros sobre el mar. Ese plano de separación se marca en muchos sitios, y a veces durante trayectos bastante largos, por un lecho de turba de 20 a 30 centímetros de espesor.

Por el borde izquierdo del estuario, el tránsito de la formación diluvial a la aluvial es también bastante insensible desde el punto de vista topográfico, sobre todo desde el cauce del Guadalquivir hasta la estación de Las Alcantarillas. Allí se dibuja un entrante o ensenada

que corresponde al estuario del Arroyo Salado de Merón, que se encuentra bordeado por colinas eocenas y triásicas. La ensenada en cuestión está ligeramente elevada sobre la superficie general del estuario del Guadalquivir a causa de los depósitos del delta lacustre de dicho arroyo.

Desde Las Cabezas de San Juan hasta Saulúcar de Barrameda, los bordes del estuario aluvial lo forman altas colinas de margas triásicas y eocenas, y de albarizas oligocenas, cortadas en talud bastante fuerte, como corresponde a acantilados marinos que fueron. Entre estas colinas afluyen algunos arroyos de importancia como el Salado de Lebrija, entre esta población y Las Cabezas, y otros de pequeña cuenca pero que cebaron la excavación de estrechas y profundas rías o ensenadas fiordiformes, como las marismas del Cuervo y de Tabajete.

Dunas.—Echando una ojeada al mapa de conjunto de la lámina I se ve que las arenas del mar han invadido desde la aldea de Palos hasta Sanlúcar de Barrameda la zona costera, tanto la parte formada por las arenas diluviales como la más moderna de fangos aluviales, y han avanzado tierra adentro en proporción a las posibilidades que encontraron para su marcha progresiva. Desde La Rábida hasta la Torre de la Higuera, la costa, con pendiente acentuada (ya hemos visto que desde la orilla hasta un kilómetro próximamente tierra adentro sube el terreno unos 80 metros), contuvo algo el avance de las arenas marinas, pero en cambio obligó a las dunas a tomar mayor altura; en esa parte se ha formado el alto médano de El Asperillo con su punto culminante a 113 metros sobre el mar. Entre la Torre de la Higuera y Sanlúcar, los médanos han avanzado del modo normal en esta clase de formaciones litorales, es decir, en ondas u oleadas sucesivas separadas por valles de bastante amplitud. Las arenas por esta parte no han tomado en ningún punto tanta altura como en el médano único de El Asperillo, y la cadena más elevada, que es la interior, o sea la que avanza sobre la marisma, tiene unos 60 metros de cota (véase la fot. 8).

Las fotografías 9, 10 y 11, tomadas entre la Torre del Zalabar (fotografía 15) y el Cerro del Trigo, en cuyo trayecto se cuentan hasta tres crestas distintas, muestran cómo tiene lugar el avance de las arenas y cómo esas crestas se desplazan lentamente hacia los valles intermedios o *corrales*, y van sepultando los espléndidos pinares que crecen en algunos de ellos. En los valles o corrales más cercanos al mar se halla a veces el suelo materialmente cubierto de conchas de moluscos: *Murex brandaris*, Lin., *Cymbium papillatum*, Schumacher, *Maetra stultorum*, Lin., *Lutraria elliptica*, Lam., y sobre todo *Pectunculus gaditanus*, Gmelin., lo que indica que la superficie del terreno en estos corrales ha coincidido con la plataforma litoral de pleamar, cuyo borde actual se observa en la fotografía número 16.

HOJA 1.018. EL ROCÍO



(Instituto Geol.º y Min.º)

Foto 13. — Dunas del Coto de Doña Ana, en el Cerro del Trigo. Cimientos puestos al descubierto en las excavaciones hechas en busca de Tartessos.

Por la margen izquierda del Guadalquivir, las dunas han penetrado también tierra adentro, pues desde Bonanza llegan hasta casi al torno del Puntal, y a la lucha con el cordón litoral de dunas se debe el gran recodo que el río describe cerca de su confluencia con el Brazo del Noroeste. La duna de la Algaida, que así se llama la formada al Norte de Bonanza, impidió al Guadalquivir seguir la dirección rectilínea entre Tarifa y Sanlúcar, y le obligó a rodearla por Poniente. A su vez, en la margen derecha, las dunas de la Punta de Malandar forzaron a la corriente fluvial a ceñirse a la costa opuesta y de ahí resulta la S que describe la ría antes de desembocar en el mar (1).

(1) Datos acerca de la invasión de las dunas en el estuario del Guadalete pueden verse en el trabajo del autor: «Cádiz y su bahía en el transcurso de los tiempos geológicos». Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, tomo XLIX. 1927.



Foto 14. — Coto de Doña Ana. Cerro del Trigo. Otro detalle de las excavaciones hechas en busca de Tartessos.



Foto 15. — La Torre del Zalabar en el Coto de Doña Ana, a 300 metros de la orilla del mar. En el interior se ve la escalera de caracol en piedra labrada para el acceso a la plataforma superior.

(Instituto Geol.^o y Min.^o)

HOJA 1.018. EL ROCÍO



Foto 16. — Playa del Coto de Doña Ana, entre Matalascañas y la Torre de las Carboneras.
Terraza de pleamar y comienzo de las dunas.

REGIMEN DEL GUADALQUIVIR EN LA EPOCA
ACTUAL. SUS CRECIDAS E INUNDACIONES. LAS
MAREAS EN LA RIA

En la memoria de la hoja de El Asperillo hemos tratado con alguna extensión las cuestiones a que este epígrafe se refiere, y con objeto de no repetir punto por punto lo allí expuesto, al consignar ahora los datos que juzgamos más interesantes para que pueda formarse idea del régimen del río en nuestros días, especialmente a su paso por el estuario, es decir, donde se convierte, hablando propiamente, en ría, omitiremos aquellos razonamientos y consideraciones en que se apoyan los cálculos hechos para llegar a las cifras finales.

La cuenca del Guadalquivir mide 58.538 kilómetros cuadrados. El caudal del río en estiaje llega a bajar a 10 metros cúbicos por 1" y en las grandes crecidas puede alcanzar en la desembocadura en el estuario el de 10.500 metros cúbicos por 1", de modo que el máximo caudal de avenida, descontando las cuencas que vierten directamente al estuario corresponde con bastante aproximación a un gasto de 200 litros por segundo y kilómetro cuadrado.

La crecida en que el Guadalquivir parece haber alcanzado ese caudal de 10.500 metros cúbicos por 1" ocurrió hace ya bastantes años, en 1892, del 7 al 17 de febrero y las aguas tomaron en Sevilla una altura de 10,31 metros sobre el nivel de bajamar viva, y 3,65 metros sobre el muro del muelle. A su paso por Sevilla se calculó un caudal de 9.000 metros cúbicos por 1" que subió a 10.500 en el origen del estuario, al sumársele las aguas del Guadaira y del Guadiamar, con cuencas respectivamente de 1.770 a 1.530 kilómetros cuadrados.

Las avenidas del Guadalquivir se consideran en Sevilla *extraordinarias* si las aguas alcanzan alturas próximas a la arista del muelle,

esto es, 5,40 metros sobre el nivel de bajamar; 6,34 metros sobre el cero del Instituto Geográfico, u 8,44 metros sobre el del Mareógrafo de Bonanza, que coincide con el nivel de la bajamar equinoccial. Cuando el nivel de las aguas se mantiene entre 3,00 y 5,40 metros sobre la bajamar, la avenida se considera *ordinaria*, y, por último, se llaman pequeñas avenidas a *bujarretes* aquellas en las que las aguas mantienen su nivel a menos de tres metros sobre la bajamar. En realidad, estas últimas no afectan al carácter propio de crecidas y representan más bien el estado de las altas aguas de invierno.

De un estudio comparativo de diversas crecidas se deduce que la invasión del estuario por las aguas desbordadas del cauce depende, tanto o más que del caudal propio del río, de la amplitud de la marea el día en que sobreviene la crecida. Con mareas vivas (cota de pleamar en Bonanza 3,40) desborda el río todo a lo largo del cauce en la región inferior, es decir, desde la Horcada (punto de confluencia con el brazo del Este) hasta el Puntal (punto de confluencia con el brazo del Noroeste), en cuanto las aguas alcanzan en Sevilla 5,45 metros sobre la bajamar. Con mareas de amplitud media (cota de pleamar en Bonanza 2,60), crecidas que suben en Sevilla a 7,10 metros sobre el nivel de bajamar, no desbordan sino ligeramente en la Horcada; por último, con mareas muertas (cota de pleamar en Bonanza 1,90) una crecida de 4,40 metros en Sevilla no hizo subir las aguas en la Horcada por encima de la cota 2,65. En resumen, y con la reserva que siempre se impone al generalizar, y más tratándose de materia tan compleja como el régimen de un río en estado de crecida, se puede decir que la altura del mar en Bonanza influye más en los desbordamientos del Guadalquivir sobre el estuario que el caudal de la avenida, y que por regla general, mientras el nivel de pleamar en Bonanza no pasa de la cota 3,00 y la altura de la crecida en Sevilla de 5,40 metros el desbordamiento no se produce. Esto equivale a decir que el Guadalquivir sólo desborda su lecho menor en la región inferior de la ría cuando la avenida tiene carácter de extraordinaria y coincide con una marea viva.

Inundaciones.—En las grandes avenidas extraordinarias el río desborda su cauce menor antes de llegar a Sevilla, y al desembocar en el estuario, en Puebla del Río, se extiende rápidamente por la llanura, llevando sus aguas hasta el pie de las colinas que bordean el estuario (1); entonces la superficie inundada mide unos 150 kilóme-

(1) A estos estados del río se hace alusión en los siguientes versos, atribuidos por algunos al poeta sevillano Ríoja:

«Dejémosla para pasar como a la flora
corriente del gran Bétis, cuando airado,
dilata hasta los montes su rivera».

tros cuadrados y la lámina de inundación, que tiene su punto culminante en el vértice del estuario, va descendiendo hasta el Puntal.

La llanura marismeña, una vez inundada, desagua en el mar con extremada dificultad, parte por el cauce principal de la ría, parte por el Brazo del NO. o de la Torre, emisarios principales a los que a su vez afluyen varios cauces antiguos, ya tan cegados que sólo se señalan en el terreno como insignificantes depresiones.

La distribución del desagüe entre esos dos emisarios principales que se unen en el Puntal, a 16 kilómetros de Bonanza, depende de la cuantía de la crecida del Guadalquivir propiamente dicho y del caudal que aporta el Guadiamar, cuyas aguas siguen preferentemente la dirección del Brazo del NO.; por este motivo, y por la posición excéntrica del cauce principal del Guadalquivir con relación al eje del estuario, dicho brazo da paso en las arriadas a un caudal de agua mucho mayor del que por su sección cabría esperar. En efecto, las aguas que se extienden por el estuario experimentan tanta mayor dificultad para llegar a los cauces cuanto más se alejan de ellos y cuanto menor es la altura de la lámina de inundación, porque entonces es menor también el desnivel entre la superficie de la lámina y la orilla del río, siempre algo más elevada que el terreno que queda a su espalda; por este motivo una parte importante de las aguas que cubren en arriada los 100 kilómetros cuadrados de la zona occidental del estuario se vierten al mar siguiendo la ría del Guadiamar, que las cruza aproximadamente por el centro.

Por lo que queda consignado acerca de las crecidas del río y de sus desbordamientos sobre los terrenos del estuario, se ve que no sería preciso una gran modificación en el régimen meteorológico de la cuenca para que las aguas del Guadalquivir volvieran a ocupar de un modo más o menos permanente el ámbito total del mismo. Una avenida de 2.000 metros cúbicos por segundo haría recobrar al estuario, si se prolongara unos días, el aspecto que debía tener cuando el relleno se encontraba a 50 centímetros por debajo del nivel actual, con la diferencia de que en estas condiciones el estuario quedaría convertido en un lago de agua dulce y en aquella época toda la región inferior era una bahía de agua salada.

Ya hemos indicado que la cuenca del Guadalquivir mide 58.538 kilómetros cuadrados. Las máximas crecidas del río registradas en nuestros días hemos visto que pueden calcularse en 10.500 metros cúbicos por segundo y se producen cuando lluvias pertinaces saturan las capas superficiales del terreno, haciéndolas prácticamente impermeables, y a continuación descargan fuertes aguaceros que suman 60 a 70 milímetros en las 24 horas. Estas lluvias torrenciales dan con frecuencia una lluvia elemental de 0,036 milímetros, pero aun suponiendo la lluvia de 70 milímetros uniformemente repartida en el tiempo, o sea una lluvia elemental de 0,00081 milímetros, multiplicada por la superficie de la cuenca equivale a 47.415 metros cúbicos

por segundo, y aunque el caudal de la punta de la crecida regulada por la capacidad de los cauces fuese sólo el 25 % de la lluvia elemental, llegaríamos a un volumen de 11.854 metros cúbicos por segundo. Pero hay zonas de la cuenca donde se producen lluvias de 200 milímetros por día, y si estas lluvias se generalizaran el caudal de las crecidas llegaría con facilidad, adoptando los mismos coeficientes, a más de 33.800 metros cúbicos por segundo. Y todos sabemos que la escorrentía crece rápidamente con la lluvia elemental, de modo que en vez de ese coeficiente de 0,25 adoptado para una punta de crecida con lluvia de 70 milímetros, habría que tomar al menos uno de 0,50 con lluvia de 200 milímetros. Esto hace ver que a poco que variaran las condiciones meteorológicas en la cuenca, las crecidas del río serían cinco a seis veces mayores que las actuales, es decir, del orden de los 60 ó 70 mil metros cúbicos por segundo. Muy lejos está sin duda esta cifra todavía de las que debieron representar los caudales de avenida del Guadalquivir en la época en que este curso de agua excavó su estuario aluvial, pero si se llega a ella operando con alturas de lluvia que se comprueban en nuestros días, si bien en áreas localizadas de la cuenca, no puede parecer excesivo que en una época que se caracterizó por sus abundantes precipitaciones las crecidas del río alcanzaran caudales extraordinariamente mayores que los actuales.

Capacidad de desagüe del cauce de la ría.—Por efecto de la corriente de marea, del volumen de agua contenido en la región inferior de la ría (la Horcada a Bonanza) salen al mar 69.900 metros cúbicos en cada vaciante, es decir, un caudal *medio* de 3.137 metros cúbicos por segundo.

Si el estuario está inundado, las aguas en la Horcada a la cota 4,50, es decir 4,50 metros sobre el nivel de bajamar, y el río a bajamar en Bonanza, el cauce de la ría desagua, sólo por efecto de la pendiente, un volumen medio de 5.433 metros cúbicos por segundo, y si, por el contrario, el río está a pleamar en Bonanza, 3.272 metros cúbicos por segundo. De aquí se deduce que en períodos de inundación la potencia de desagüe del cauce de la ría en su tramo inferior es con marea creciente de 4.352 metros cúbicos por segundo y con marea vaciante 7.491 metros cúbicos por segundo, cifras que explican por qué el Guadalquivir desborda fácilmente su lecho menor en la región alta del estuario en cuanto las crecidas en Sevilla llegan a 5.000 metros cúbicos por segundo.

Onda de marea.—Entre Bonanza y la Horcada, es decir, en la región inferior de la ría, la amplitud de las mareas es de 3,25 metros en las vivas y de 1,00 en las muertas. Cuando soplan fuertes vientos de Sudoeste, las aguas alcanzan a pleamar la cota de 3,60 metros en Bonanza y 3,40 en el resto de la región inferior, pero exceptuando

estos casos extraordinarios, la cota máxima de pleamar en Bonanza, el Puntal y la Mata, varía de 3,30 a 3,35 y llega a 3,42 en la Horcada.

En las mareas vivas ordinarias, las aguas llegan en Bonanza durante las pleamares a la cota 2,95 y en la Mata y en la Horcada, respectivamente, a 3,00 y 3,10. En las mareas muertas los niveles de pleamar no pasan en esos tres puntos de las cotas 2,00, 2,05 y 2,10 y en las mareas de amplitud media, la cota máxima que alcanzan las aguas es la de 2,50 en la parte del cauce a que nos referimos.

En las bajamares equinocciales, las aguas bajan en Bonanza hasta la cota que hemos tomado como plano de comparación, es decir, hasta la cota cero. En el Puntal bajan también a la misma cota, pero en la Mata se mantienen ya 40 centímetros más altas, y 60 en la Horcada. En las bajamares de mareas vivas ordinarias llegan las aguas en Bonanza a la cota 0,10; en la Mata a 0,30 y en la Horcada a 0,35. En mareas muertas a 0,90, 1,05 y 1,05; y en las mareas de amplitud media a 0,20, 0,30 y 0,30; de modo que en estas mareas es cuando bajan más las aguas en la Mata y en la Horcada.

Si se dibujan las curvas representativas de un ciclo completo de mareas en Bonanza, la Horcada y Sevilla y se colocan por este orden unas debajo de otras, de modo que todas ellas arranquen de un mismo día y una misma hora, queda de manifiesto la velocidad de propagación de la onda y se ve que la cresta de la curva, o sea la estoa de pleamar tarda 4 horas y 25 minutos en llegar de Bonanza a Sevilla. Y como la distancia que separa estos dos puntos siguiendo el cauce es de 80 kilómetros, resulta que esa velocidad de propagación es de 5,44 metros por segundo, y la longitud de la onda 243 kilómetros.

El establecimiento de puerto de Bonanza es 2 horas 35 minutos.

La corriente propia del río ocasiona un retraso en el momento de la producción de la bajamar que se traduce en una falta de simetría en las ramas ascendentes y descendentes de la curva del mareógrafo. La distancia media, en tiempo, de cada pleamar a la bajamar siguiente, es de 6 horas 30 minutos en vez de 6 horas 13 minutos que sería si la curva fuese simétrica, en Bonanza, la Mata y la Horcada, y de 7 horas 15 minutos en Sevilla. El retraso, constante en un principio como se ve, se acentúa a partir del estrechamiento del cauce en la Horcada.

La distancia media, en tiempo, de pleamar a pleamar, que es de 12 horas 25 minutos 42 segundos, varía entre ciertos límites en los días que preceden y siguen a las mareas vivas, pero estas variaciones, siempre pequeñas, no tienen interés.

El examen de las curvas de los mareógrafos pone de manifiesto, que la onda de la marea conserva íntegramente su amplitud hasta la Horcada, en donde, por término medio, suben las aguas al mismo nivel que en Bonanza. Este fenómeno se debe a que la onda de la ma-

rea avanza por el río como tal movimiento ondulatorio y ejerce su influencia sobre las aguas contenidas en el cauce, pues si las variaciones de nivel fueran consecuencia únicamente de la obstrucción mayor o menor que en cada momento produce el agua del mar en la desembocadura, en la Horecada el nivel de pleamar estaría limitado por el que toman las aguas en Bonanza 2 horas 40 minutos después de la pleamar; y del mismo modo, el nivel de bajamar por el que el mar tiene 2 horas 40 minutos después de la estoa de baja (2 horas 40 minutos que es el tiempo que tarda la onda de la marea en recorrer el trayecto de Bonanza a la Horecada) y la inspección de las curvas hace ver que en la práctica ocurren las cosas de muy distinto modo. Así, en una marea de quinoecio, por ejemplo, 2 horas 40 minutos después de la pleamar están las aguas de la ría en Bonanza a la cota 2,00 y 2 horas 40 minutos después de la bajamar a 1,48 de cota; en caso de verificarse la hipótesis antes dicha, estas cifras, 2,00 y 1,48, serían las ordenadas límites de la curva de la marea en la Horecada y, por lo tanto, 0,52 metros la amplitud de la carrera, mientras que en realidad las alturas límites son 3,42 y 0,50 metros, y 2,42 metros la oscilación de la marea.

Los hechos expuestos están, además, de acuerdo con la manera de producirse los desbordamientos del río en las crecidas. Al establecerse la pleamar en Bonanza, el nivel de las aguas sube con rapidez porque el vacío que lleva delante de sí la onda de la marea se llena con las aguas de tierra, pero el desbordamiento del lecho menor sólo tiene lugar en cada punto de la ría durante la estoa de pleamar, esto es, al pasar por él la cresta de la onda; y la duración del desbordamiento aumenta a medida que se remonta el cauce porque aquel vacío se va reduciendo progresivamente por la menor anchura del cañero, hasta anularse prácticamente en la Horecada. Así, en el Puntal, rara vez dura el desbordamiento más de media hora; en la Mata suele durar tres cuartos de hora, y una hora y cuarto en la Horecada. Los desbordamientos comienzan casi simultáneamente desde el Puntal hasta la Horecada todo a lo largo de las márgenes, pero van cesando en cada punto tan pronto como pasa por él la cresta de la onda.

Consecuencia de la transmisión del movimiento ondulatorio de la marea son las corrientes de hinchante y de vaciante que reinan continuamente a lo largo del cauce de la ría. En mareas vivas, la corriente de hinchante entre Sevilla y Bonanza alcanza velocidades de 2,55 a 2,90 millas por hora, y la vaciante de 2,70 a 3,10. En mareas muertas, las mismas cifras son respectivamente 1,10 a 1,40 y 1,70 a 1,90 millas. La velocidad máxima indicada corresponde a 1,57 metros por segundo y la mínima a 0,56 metros.

Zonas de aguas dulces, salobres y saladas. Por efecto de la corriente de hinchante entra en la ría, en estado de aguas ordinarias, el agua salada del mar mezclándose con las dulces contenidas en el

HOJA 1.018. EL ROCÍO

(Instituto Geol. y Min.º)



Foto 17. — Avenida del río Salado, de Morón, que, después de cruzar la vía férrea por la estación de las Alcantarillas, irrumpe en la llanura de Los Palacios, su delta lacustre. Sobre la superficie de inundación flotan haces de cebada arrastrados por las aguas.

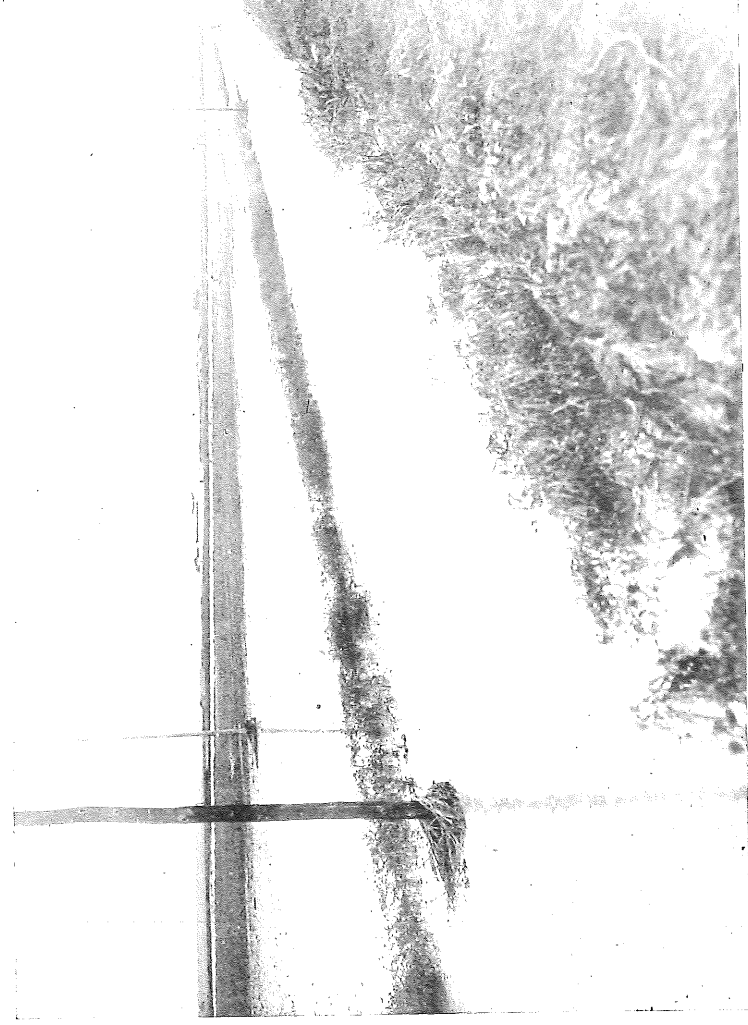


Foto 18. — Efecto de una arriada del Salado de Morón en la campiña de Los Palacios. Obsérvese la broza detenida en los postes del telégrafo, que indica la velocidad de la ola de inundación.

cauce, haciéndolas impotables en una zona más o menos extensa, según el caudal propio del río

Las aguas dulces que descienden por Sevilla a la región inferior de la ría cuando reina vaciante en la región superior, no llegan seguidamente al mar porque la corriente de marea se invierte antes de que alcancen la desembocadura y se ven forzadas a remontar de nuevo el cauce. Debido a este movimiento de vaivén existe en la ría una zona comprendida entre la Horcada y el Puntal en la que las aguas dulces están mezcladas con las saladas; esta es la zona de las aguas salobres. Por último, entre el Puntal y Bonanza, donde las aguas, sobre todo a pleamar, apenas se diferencian de las del mar, se sitúa la zona de las aguas saladas.

El límite entre las zonas de aguas dulces y de aguas salobres desciende más o menos en el cauce según el caudal propio del río. En otoño, invierno y primavera, y en general cuando el gasto se mantiene alrededor de 50 metros cúbicos por segundo, las aguas se conservan potables aún en pleamar hasta la punta de la Mata; en los meses de mayo y junio, exceptuando las estoas de mareas vivas, también se conservan las aguas dulces hasta la Mata; pero en julio, y algunos años en la segunda quincena de junio, el agua para la bebida ha de recogerse en las estoas de bajamar. En pleno estiaje, hasta unos cinco kilómetros aguas arriba de Bonanza, las aguas del Guadalquivir apenas se diferencian en su composición de las del mar hasta el punto de que puedan emplearse en la obtención de la sal común, y sólo su aspecto fangoso, su coloración amarillenta, las hace diferenciar de las del mar libre.

REGIMEN DE LOS AFLUENTES DEL ESTUARIO ALUVIAL. SUS CAUCES ANTIGUOS.

El Guadalquivir, como todos los ríos de llanura, ha ido elevando progresivamente las márgenes de su lecho menor con el depósito de los limos de las crecidas y dificultando de paso el desagüe de los terrenos situados entre el cauce y los bordes del estuario. Hoy día ni uno solo de los afluentes del estuario desemboca directamente en el lecho del Guadalquivir; todos ellos vierten sus aguas en depresiones interiores, reminiscencias de antiguos cauces, las cuales a su vez sólo comunican con el río principal por algún que otro pequeño desgarré de la margen.

Los arroyos de La Rocina y de Almonte reúnen sus aguas en un viejo cauce casi totalmente cegado que se llama Madre de las Marismas del Rocío o simplemente La Madre, que comunica con el Caño de Brenes a la altura del Puntal. Los arroyos de Hinojos y Villamanrique continúan a través de la marisma por el llamado Caño de Guadamar, que afluye igualmente al Caño de Brenes. Ese nombre de Caño de Guadamar indica que en alguna época ha comunicado por la depresión que corre al pie de las colinas de Villamanrique con el río Guadamar que, al parecer, una vez que desembocaba en el estuario se dividía en tres brazos: este que acabamos de mencionar y el Guadamar propiamente dicho, que luego se bifurca en Caño Travieso y Brazo del Noroeste, y por último otro que siguiendo al pie de las colinas de Puebla del Río iba a desembocar en el Guadalquivir frente al extremo de aguas arriba de la Isla Menor. Estos caños componen la red hidrográfica de la llanura marismeña situada al Oeste

del río, y todos ellos por su anchura considerable y por hallarse bordeados por fajas de terreno algo más alto debieron ser en tiempos no muy remotos cauces tan importantes como el actual río navegable. Hoy están totalmente cegados, y por tal motivo las aguas de esos afluentes del estuario no pueden llegar al Guadalquivir y se extienden en forma de lámina de inundación por la llanura.

En la zona oriental o de la margen izquierda ocurre algo semejante. El arroyo de Utrera continúa a partir de Los Palacios por la depresión del terreno llamado Caño de la Vera, que ciñéndose al pie de las colinas de Dos Hermanas primero se bifurca más tarde en dos brazos: uno que continúa bordeando dichas colinas y que, con el nombre de Caño Navarro, desemboca en el Brazo del Este; otro, llamado Caño Gordo de Utrera, que corre en dirección SO. paralelamente a dicho brazo y desemboca en otro antiguo cauce de más de un kilómetro de anchura, cegado también por supuesto, que se llama Albina de Lebrija. El último tramo de Caño Gordo y la propia Albina forman el viejo cauce del río Salado de Morón y su confluencia con el Guadalquivir tenía lugar frente al Punta, al Norte de la duna de la Algaida; entre la Albina y el borde de las colinas aún corre otra depresión: el Caño Gordo de Lebrija, que es el viejo cauce natural del Salado de Merlina, que, a su vez, desemboca en la Albina.

Todos estos viejos cauces conservan, como se ve, el nombre de *caños* con que en el país se designan a los cauces por donde pueden navegar embarcaciones menores y en los cuales se deja sentir el juego de las mareas; esto es, cauces en que el movimiento de las aguas es alternativo y no en un solo y mismo sentido, como ocurre en los ríos y arroyos. Esa denominación demuestra que su azolvamiento data de la época histórica y que la generación moderna ha conservado nombres que le transmitieron las generaciones pasadas pero que ella no hubiera aplicado jamás a accidentes topográficos tan insignificantes y a los que tan mal cuadra hoy el nombre genérico con que se les designa.

En nuestros días los cursos de aguas que son causa principal de la inundación permanente del estuario en otoño, invierno y primavera son, por lo que respecta a la margen derecha o mitad occidental del estuario, el río Guadamar y La Rocina, pero como la cuenca de este arroyo es toda ella, según se sabe, de terrenos arenosos y entrellanos, el que verdaderamente produce las inundaciones es el río Guadamar, de 1.700 kilómetros cuadrados de cuenca, y que arrastra crecidas de más de 1.000 metros cúbicos por segundo. En la margen izquierda, los principales afluentes del estuario son el Salado de Morón y el Salado de Merlina. Ambos ríos arrastran fuertes crecidas, pues sus cuencas están formadas casi exclusivamente por terrenos impermeables: arcillas salíferas, margas y yesos del Triás y arcillas y margas del Terciario inferior; hay en ellas poco terreno cultivado y en cambio abundan los cerros y colinas de laderas muy pendientes. El

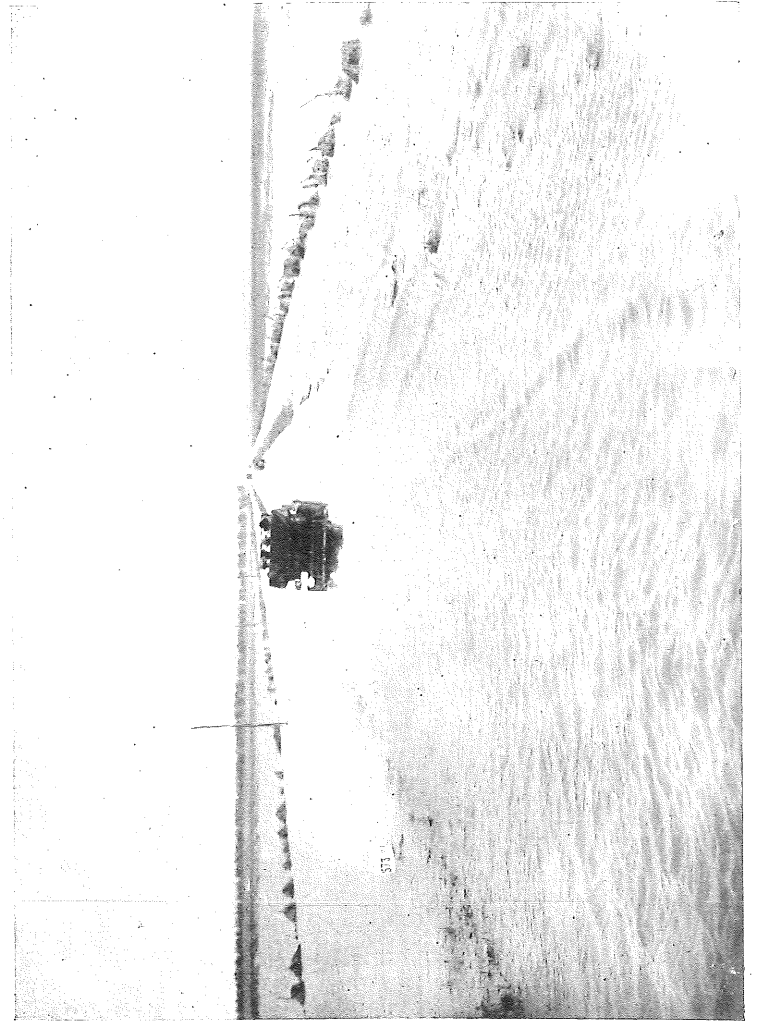


Foto 19. — La carretera de Madrid-Cádiz, cerca de Los Palacios, después de una arriada del Salado de Morón. Por las brozas enganchadas en las alambradas de uno y otro lado se puede ver la altura que alcanzó la lámina de inundación.

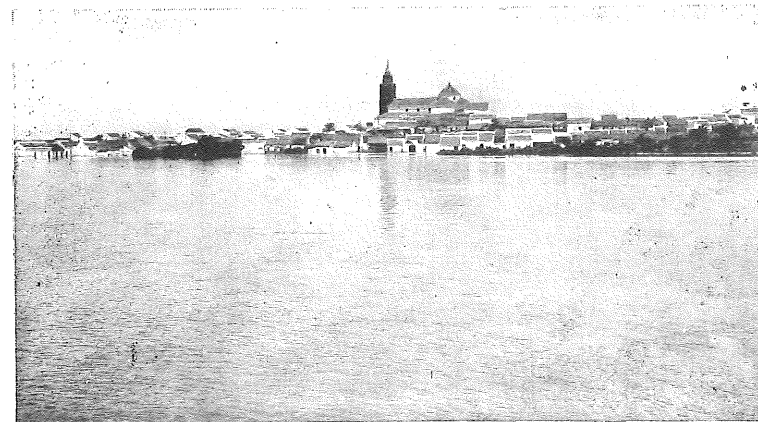


Foto 20. — Los Palacios en día de gran crecida del Salado de Morón.



Foto 21. — Vista parcial del estuario del Guadalquivir después de una avenida del río.



Foto 22. — La llanura marismeña frente a las Cabezas de San Juan. Al fondo, los terrenos altos que bordean el estuario.

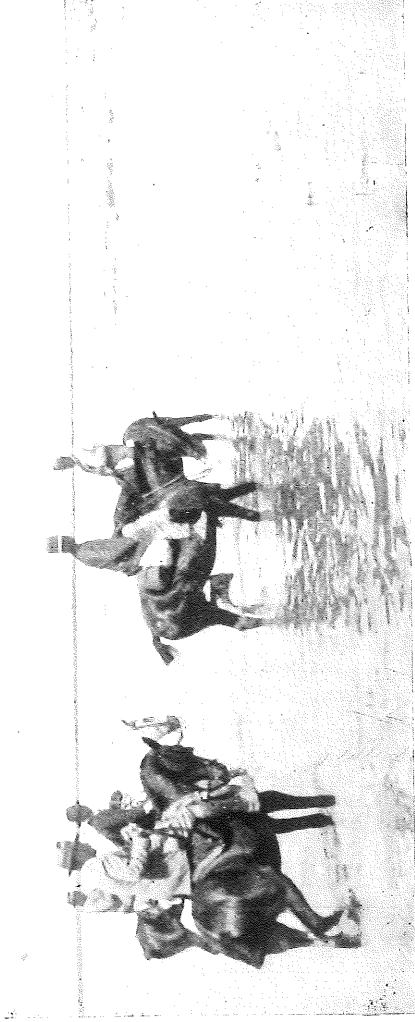


Foto 23. — La Albina de Lebrija, en el estuario del Guadalquivir, después de una arriada.

Salado de Morón tiene 630 kilómetros cuadrados de cuenca; el de Merlina 301, pero unidos a otros arroyos de menos importancia dan para la cuenca que vierte directamente a la región oriental del estuario una superficie de 1.700 kilómetros cuadrados, lo que hace que también se registren en esta parte puntas de crecidas del orden de los 1.000 metros cúbicos por segundo. Las aguas de avenidas de los afluentes laterales del estuario invaden la llanura marismeña antes de que se produzcan los desbordamientos del Guadalquivir, y por tal motivo el río no utiliza íntegramente el estuario como desagüe interior que regule sus avenidas. Hay arriadas de los afluentes de la margen izquierda en que éstos lanzan a la llanura 75 millones de metros cúbicos, lo que supone una lámina de inundación de 15 centímetros de altura para las 50.000 hectáreas de marismas de dicha margen.

Pero el Guadalquivir, entre la Horcada y el Puntal, cuando vierte sobre la margen derecha durante las estoas de pleamar, deja en un par de días la marisma rasa de agua, esto es, de nivel con la margen sobreelevada del cauce menor, estrecha faja de terreno que se levanta 40 ó 50 centímetros sobre la superficie general del estuario, pero que en este país de desniveles mínimos se designa pomposamente con el nombre de «Montaña del Río». Tal desbordamiento significa por término medio un volumen de 150 millones de metros cúbicos, que con los 75 millones procedentes de los afluentes laterales suman los 225 millones de metros cúbicos que embalsa la margen izquierda en las grandes avenidas.

Las fotografías números 17 a 20 muestran cómo irrumpen en la llanura las avenidas de los afluentes del estuario y cómo queda la marisma después que pasa la riada cuando ya han bajado un poco las aguas merced a la evacuación por algunos caños que cortan la montaña del río entre la Horcada y el Puntal.

De los viejos cauces que acabamos de mencionar cruzan la Hoja de El Rocío: la Madre de las marismas, el Caño Guadiamar y el Brazo del Noroeste. La zona comprendida entre el borde de la capa de arenas voladeras y la Madre es la marisma de Almonte; la limitada por la vieja Madre y el Caño Guadiamar, la marisma de Hinojos; la comprendida entre este caño y el brazo del Noroeste, la marisma de Aznalcazar; y, por último, la que queda a levante del Brazo del NO. es la isla Mayor, del término de Puebla del Río. El Caño de Guadiamar sirve de límite a las provincias de Huelva y Sevilla.

Estas marismas son terrenos bajos que permanecen inundados o al menos encharcados desde octubre hasta junio, y después se desecan tan rápidamente al sobrevenir los calores estivales que el suelo se endurece sobremanera, los pastos se pulverizan y por la falta de agua el ganado tiene que abandonar la comarca. Con éxito vario se han perforado algunos pozos artesianos en la marisma de Aznalcazar, no lejos del borde de las arenas diluviales que, por otra parte, si no de

un modo continuo, se prolongan bajo las arcillas del estuario aluvial y encauzan corrientes subterráneas. Desde El Rocio hacia el S. y siguiendo el borde de la marisma se encuentra agua con relativa facilidad perforando pozos ordinarios en las arenas del manto de dunas, hasta encontrar la capa freática que aunque no muy abundante tiene una alimentación más regular por parte de la formación diluvial que se extiende hacia El Asperillo, cubierta de vez en cuando por el propio manto de arenas voladeras. Este es el motivo de que los pocos cañeríos que se encuentran por esos terrenos se hallen situados en el borde de la marisma; así ocurre con los de las Barreras, la Algaida y Martinazo, y ya fuera de la Hoja, aunque próximo a su borde meridional, el palacio del Coto de Doña Ana, extensa propiedad que, aunque no de gran aprovechamiento agropecuario, goza de fama por su abundancia en caza mayor, principalmente venados y jabalíes. También tiene bastante renombre como lugar de caza la parte de la marisma de Aznalcazar situada entre el llamado Caño Travieso y el Brazo del Noroeste, conocida con el nombre de marisma gallega, pues sus lucios, es decir, las partes más distantes de esos cauces, más profundas, y por lo tanto, de más difícil desagüe, se pueblan en los meses de invierno de patos y otras aves acuáticas que llegan a nuestro país de las regiones septentrionales de Europa como Suecia, Finlandia, zona de lagos masurianos, etcétera.

Nada hay que decir, tratándose de estas inhospitalarias regiones, inundadas en invierno y convertidas en verano en un desierto africano, de vías de comunicación. Consultando la Hoja se ve que no hay en toda ella una mala carretera, ni siquiera caminos vecinales, y hasta para llegar al Santuario de El Rocio, al que acuden en típica peregrinación todos los años millares de sevillanos y onubenses a celebrar la fiesta de Nuestra Señora de las Marismas, la Blanca Paloma de Almonte, hay que seguir un camino carretero que es todo él un puro arenal. En verano, y a través de la marisma, se puede transitar en carruaje hasta el palacio de Doña Ana, pero para continuar hacia la costa hay que recurrir a las caballerías, y de este primitivo medio de locomoción tienen que valerse los veraneantes de Matalascañas para cruzar la faja costera de dunas.

ÍNDICE DE MATERIAS

	<u>Páginas</u>
Introducción	7
I. Bibliografía	9
II. El estuario diluvial	11
III. El estuario aluvial	21
IV. La topografía y la hidrografía contemporánea de las formaciones de estuario del Guadalquivir	31
V. Régimen del Guadalquivir en la época actual. Sus crecidas e inundaciones. Las mareas en la ría	37
VI. Régimen de los afluentes del estuario aluvial. Sus cauces antiguos	45

