

LIBRO DE REGISTRO  
FACULTAD DE  
SECRETARÍA  
30-7-85  
ENTRADA N.º 454

TS  
R. 4492 634



GEOMORFOLOGIA Y EDAFOGENESIS DE LAS ARENAS  
DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA



por

Patricia Siljeström Ribed

TD  
634

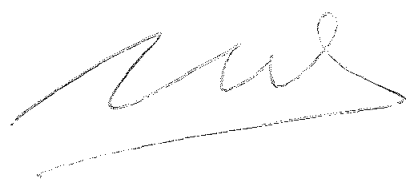
Trabajo presentado para aspirar al  
Grado de Doctor en Ciencias Bioló  
gicas.

P. Siljeström

Fdo.: Patricia Siljeström Ribed  
Licenciada en Ciencias Biológicas

Sevilla, 25 de Julio de 1985

EL CATEDRÁTICO PONENTE



Fdo.: Manuel Losada Villasante  
Catedrático de Bioquímica de la  
Facultad de Ciencias Biológicas  
de la Universidad de Sevilla.

EL DIRECTOR



Fdo.: Luis Clemente Salas  
Colaborador Científico del  
Consejo Superior de Inves  
tigaciones Científicas.

PROFESOR DOCTOR DON JOSE MARTIN ARANDA, DIRECTOR DEL CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DEL CUARTO, DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS, DE SEVILLA,

CERTIFICA: Que D<sup>a</sup> Patricia Siljeström Ribed, ha realizado bajo la dirección del Dr. D. Luic Clemente Salas, Colaborador Científico de este Centro, adscrito a la U.E.I. "Morfología y Génesis de Suelos", el trabajo titulado: "Geomorfología y Edafogénesis de las arenas del Parque Nacional de Doñana", para optar al Grado de Doctor en Ciencias Biológicas, reuniendo todas las condiciones exigidas a los trabajos de Tesis Doctoral.

Y para que conste, firmo el presente en Sevilla, a veinticinco de Julio de mil novecientos ochante y cinco.

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que me han ayudado en la realización de esta Tesis, bien directamente en los trabajos prácticos, o bien aconsejándome y estimulándome en todo momento; por ello estoy muy agradecida:

Al Prof. Dr. D. Manuel Losada Villasante, por su gentileza al presentar esta Tesis Doctoral ante la Facultad de Ciencias Biológicas de Sevilla.

Al Prof. Dr. D. José Martín Aranda, Director del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto, por las facilidades concedidas en todo momento para la realización del presente trabajo.

Al Dr. D. Luis Clemente Salas, por la dirección y orientación del presente trabajo y por las "guerras" y discusiones mantenidas que tanto me han ayudado en la comprensión y resolución de los problemas planteados. Asimismo le agradezco su sincera amistad demostrada a lo largo de todos estos años de trabajo en común.

Al Dr. D. José Luis Mudarra Gómez, quien además de ser mi mejor Profesor de Edafología ha sido el más ameno compañero de campo.

Al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, por la concesión de una Beca Predoctoral que me ha permitido realizar la presente Tesis Doctoral.



Al Dr. D. Javier Castroviejo Bolívar, Director de la Estación Biológica de Doñana, por las facilidades ofrecidas en los trabajos de campo.

Al personal del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto, siempre dispuesto a ayudar y enseñar, y especialmente al D. Humberto Japón Navarro-Pingarrón, compañero incondicional de sondajes y trabajos duros.

Al Prof. Dr. D. Benito Valdés Bermejo, Catedrático de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de Sevilla, que tan amablemente me asesoró sobre cuestiones espinosas.

Al Prof. Dr. D. Ramón Llamas Madurga, Catedrático de Zoología de la Universidad Autónoma de Madrid, por su interés y amabilidad en todo momento.

A los Lcdos. en Geológicas D. Antonio Vela, D. Javier Rodríguez Arévalo y D. Jesús Tenajas, que además de su amistad me han ofrecido otro enfoque para explicar la Edafogénesis: la Hidrogeología.

Al Prof. Dr. D. E.A. Fitzpatrick, por el interés demostrado en este trabajo ayudando en el estudio micromorfológico del suelo a pesar de la distancia.

Al Lcdo. en Químicas D. José Garrido, Jefe de los laboratorios de análisis del IRYDA, por su inestimable ayuda y valiosos consejos.

A los guardas de Doñana por las facilidades, ayudas y enseñanzas en todo momento. Ellos han sido quienes, en realidad, me han hecho conocer el campo y sus secretos.

A la Srta. María de las Mercedes García Orgaz, gran artista de la mecanografía, por su amabilidad y esfuerzos en escribir toda esta Memoria en el menor tiempo posible.

A D. Juan Martínez Santoveña, cuyos dibujos y gráficas tanto alegran y ayuda a la comprensión de este trabajo.

A todos mis amigos, por su incansable apoyo moral, y especialmente a Juan, siempre dispuesto a aguantarme y animarme.

Por último, a mis padres, que siempre me han ofrecido una ayuda y apoyo incondicional, y cuyos consejos y sugerencias han sido siempre de un valor inestimable. A ellos les dedico esta Tesis.

IX. CONCLUSIONES ..... 436

X . BIBLIOGRAFIA ..... 444

ANEXO : SONDEOS ..... 468

Que la astucia, la ambición y el rencor  
se extingan en la noche de la Razón  
hasta que la debilidad se convierta en poder  
hasta que la oscuridad sea luz  
hasta que lo erróneo sea correcto.

(L. Carroll)

La planificación ecológica se ha convertido en objetivo prioritario de toda ordenación territorial ante el enorme impacto que la actual tecnología está demostrando poseer sobre el equilibrio y estabilidad del ecosistema. Desde el punto de vista edafológico, desertización, pérdidas irrecuperables de suelos, etc., son ejemplos de una falta de gestión de los recursos naturales, derivada de un desconocimiento total o parcial de las características biofisiológicas del medio.

Ante la imposibilidad de un estudio detallado a escala mundial; se ha optado por un estudio integral de ciertas zonas comprendidas dentro de una red de Reservas de Biosfera (Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la UNESCO), cuyo conocimiento profundo puede llevar a extender las conclusiones de estos trabajos a zonas similares de interés diverso (económico, social, científico, etc.).

Una de estas zonas de extraordinario interés científico es la Reserva Biológica de Doñana que, con unas 7000 Has, se crea en 1964 gracias a la gestión del Prof. Valverde y a la ayuda económica

de la World Wildlife Foundation, pasando a depender del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. La importancia ecológica de la zona conduce en 1969 a la protección de un área mayor, creándose el Parque Nacional de Doñana con una extensión de 35000 Has que incluye, además de la Reserva Biológica, ecosistemas tan singulares como las dunas móviles y una parte importante de las marismas del Guadalquivir.

Aún cuando existen algunas publicaciones anteriores a las fechas citadas, es a partir de la constitución del Parque Nacional cuando se realizan numerosos trabajos de investigación, fundamentalmente sobre fauna, vegetación y algunos aspectos geomorfológicos. Sin embargo, faltaba un estudio detallado de una parte tan importante del medio físico como es el suelo, soporte finalmente de la vida tanto vegetal como animal.

La conservación natural del Parque, o al menos de ciertas zonas, ha permitido la evolución del suelo en equilibrio con los factores ecológicos del medio, tales como clima, geomorfología, vegetación y otros. Por ello, se han desarrollado una serie de suelos perfectamente conservados que por sí solos justifican el presente estudio, llevado a cabo en el área de arenas que se extiende, de norte a sur, entre El Rocío y Torre la Higuera hasta la desembocadura del Guadalquivir con una extensión aproximada de 26000 Ha.

Un estudio anterior, realizado por la misma autora en la Reserva Biológica de Doñana, puso de manifiesto la íntima relación que existe entre vegetación, geomorfología y suelos. Por este motivo, aún cuando la tesis doctoral está orientada y fundamentada en el estudio de los suelos, en particular, y en el conocimiento de la evolución edáfica, en general, se hace una exhaustiva revisión bibliográfica de los trabajos concernientes a la vegetación de Doñana y una

interpretación detallada de las diferentes unidades y subunidades geomorfológicas con ayuda de la fotografía aérea 1/15.000 y de una densa red de sondeos. Esta fotointerpretación de detalle ha permitido descender en el reconocimiento de las formas del terreno hasta lo que se denominan elementos morfoedáficos que se corresponden con gran exactitud con las diferentes formaciones edáficas desarrolladas en el Parque Nacional de Doñana.

I. INTRODUCCION



...sólo puedo prometeros sangre, sudor y lágrimas.

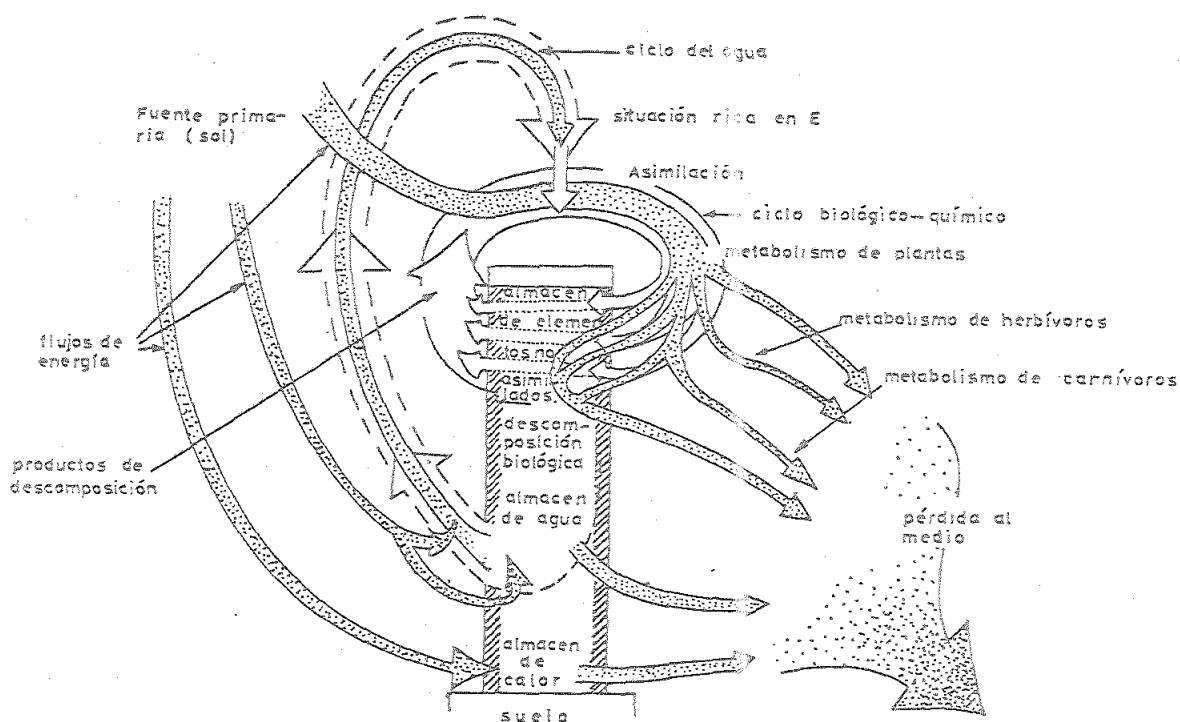
(W. Churchill)

## I.1 GENESIS Y EVOLUCION DEL SUELO

La formación del suelo tiene lugar a partir de un sustrato geológico puesto al descubierto por la erosión o procedente de un depósito más o menos reciente de tipo fluvial, eólico, etc. Sobre los materiales de partida actúan diversos factores ecológicos tales como clima, vegetación, topografía, etc., dando lugar a una serie de procesos que conducen a la diferenciación de distintos estratos llamados horizontes, cuyas propiedades definen diferentes tipos de perfiles de suelos. En este sentido, puede afirmarse que el suelo es el resultado de una interacción prolongada entre biosfera y litosfera, por lo que hay que considerar dichos procesos como autoorganizadores de una interfase (Margalef, 1974).

Por otro lado, y desde un punto de vista termodinámico, Hartge (1983) propone el siguiente esquema de flujos energéticos para el sistema suelo:

Dicho modelo considera al conjunto del suelo como un ecosistema en el que intervienen numerosos ciclos que presentan en su mayor parte componentes biológicos. Asimismo, se observa que dichos ciclos no son cerrados, existiendo una pérdida general de energía en forma de calor, agua o nutrientes al medio. El suelo, a pesar de todo, no tiene porqué ser considerado como un sistema aislado, sino como un elemento de sistemas diferentes que, a su vez, constituyen la biosfera. En este sentido, y siguiendo la teoría de los sistemas postulada por numerosos autores (Bertalauffy, 1968; Terradas, 1977; Margalef, 1978; y otros) puede afirmarse que toda la biosfera es un gigantesco ecosistema.



Según Duchaufour (1970), la evolución de un suelo está gobernada por tres procesos generales:

1. Descomposición de las rocas, que conduce a la formación de un complejo de alteración.

2. Aumento del contenido de materia orgánica a partir de la vegetación que coloniza el suelo en formación, hasta alcanzar un equilibrio en el que las pérdidas por mineralización se compensen con los aportes de restos vegetales.
3. Movilización de elementos solubles y coloidales bajo la influencia del agua, que determina la formación de horizontes empobrecidos (eluviales) y otros enriquecidos o de acumulación (iluviales).

Todos estos procesos presentan una dirección definida por las condiciones de equilibrio y por la tendencia a reducir la energía libre, tanto en su aspecto mecánico como químico (Margalef, 1974), es-tanto, al mismo tiempo, influenciados por los factores ecológicos. En una primera clasificación pueden considerarse dos tipos de factores: activos y pasivos. Entre los primeros, hay que destacar el material original, relieve y tiempo, considerando el clima y la actividad biológica y antrópica como los principales factores activos. De entre todos ellos, el clima puede ser considerado como un factor independiente, mientras que los demás se encuentran más o menos relacionados (Strahler, 1977).

El material parental constituye el estado original del sistema suelo (Jenny, 1941). Si bien a escala mundial la roca madre desempeña una función secundaria, su influencia es muy importante cuando se estudia el suelo a escalas de mayor detalle. Esta influencia viene determinada fundamentalmente, además de por su composición, por la permeabilidad y la superficie específica de sus constituyentes, siendo más importante en los primeros estadios de la evolución edáfica (Fitzpatrick, 1980). La roca madre aporta el material mineral del suelo a través de procesos físicos de disgregación y procesos químicos tales como disolución, hidratación, hidrólisis, óxido-reducción, etc. La actuación de estos procesos conducen a la formación de un

complejo coloidal responsable de las propiedades físico-químicas del suelo, que a su vez condicionan los procesos edafogenéticos y su intensidad.

De cualquier forma, no es el factor roca madre el principal condicionante del proceso de formación del suelo, ya que sobre distintos tipos de materiales puede llegar a desarrollarse un mismo tipo de suelo. Sólo en casos extremos el material parental, por sus propiedades físicas y químicas muy especiales, desempeña un papel esencial en la evolución edáfica, independizándola de las condiciones climáticas. Esto da lugar a suelos denominados intrazonales, que generalmente se caracterizan por asociaciones especializadas (vertisoles, suelos calcimorfos, etc.).

El relieve es el segundo factor pasivo a considerar en el estudio edafogenético, siendo necesario a la hora de interpretar la génesis de un suelo, tener en cuenta su posición en relación con el paisaje. Considerando el clima y el material original factores constantes en un área determinada, es la geomorfología el principal condicionante en el desarrollo del suelo, hasta el punto que puede afirmarse que la evolución geomorfológica suministra el marco a la evolución edáfica (Tricart y Michel, 1965). Es evidente, por tanto, la gran importancia que adquiere el relieve en la génesis del suelo, sobre la que ejerce una doble acción: directa e indirecta.

La acción directa se manifiesta, fundamentalmente, a través de los procesos de erosión y lavado. El primero tendrá una mayor influencia sobre pendientes fuertes, rocas blandas y bajo clima favorable, pudiendo llegar a poner al descubierto los horizontes profundos o incluso el material original, con el consiguiente rejuvenecimiento del suelo. El segundo, lavado oblicuo o lateral, se manifiesta a través del transporte de material a lo largo de la pendiente ya sea en

estado soluble o coloidal. Por ello, el lavado oblicuo es un proceso genético característico de relieves poco acentuados en climas templados y fríos, pudiendo acelerar la evolución en la parte superior de las laderas. En efecto, en relieve suave, donde el lavado es bueno y la erosión lenta, se favorece la formación del suelo ya que las pequeñas pérdidas por erosión son compensadas por los aportes de la roca original. El resultado de la acción conjunta de estos dos procesos (erosión y lavado oblicuo) es una sucesión de suelos, idénticos a lo largo de las curvas de nivel y variando regularmente a lo largo de la pendiente, que se denomina catena. La naturaleza de ésta puede variar en función del predominio de uno de los procesos sobre el otro, dependiendo siempre del material original.

La acción indirecta alcanza una relativa importancia en zonas mal drenadas ya que las pequeñas diferencias de nivel ejercen una influencia manifiesta sobre la evolución de los suelos a través del proceso de hidromorfía que puede derivarse de la presencia de una capa freática o colgada. La saturación en agua produce importantes fenómenos evolutivos ya que al restringirse su influencia, se favorece su movimiento lateral, las reacciones anaeróbicas o de reducción y el aumento del calor específico del suelo, tendiendo éste a enfriarse más que los no saturados circundantes (Buol y col., 1973).

Quizás sean los procesos de óxido-reducción los más importantes derivados de dicha saturación en agua, pues debido a los cambios estacionales de humedad se pueden movilizar los metales pesados, produciéndose acumulaciones puntuales en el perfil en forma de manchas, concrecionamientos o incluso costras.

Como en el caso del material original, en superficies muy llanas el factor relieve a través del proceso de hidromorfía puede llegar a desviar la evolución climática del suelo hacia una evolución intrazonal.

Un tercer factor pasivo que interviene en la formación del suelo es el tiempo, necesario en la actuación de los diferentes procesos. La formación de un suelo es un proceso muy lento que requiere miles o incluso millones de años. Por ello, es muy difícil precisar el estadio de evolución en el que se encuentra dicho suelo sin tener en cuenta las variaciones de clima y vegetación que hayan podido influir en su configuración actual. El resultado es que muchos suelos no sólo son producto de los factores actuales, sino que conservan características heredadas (Fitzpatrick, 1980). De cualquier manera, un suelo alcanza la madurez cuando han actuado sobre él todos los procesos un tiempo lo suficientemente largo como para desarrollar un perfil que cambiará de forma imperceptible en el futuro. Se dice entonces que el suelo ha alcanzado el climax, encontrándose en equilibrio con los factores ecológicos.

El clima es el principal factor activo en la evolución del suelo al ejercer un papel relevante sobre la forma e intensidad de los tres procesos fundamentales: alteración, evolución de la materia orgánica y emigraciones.

En los procesos de alteración, el clima interviene, por una parte, mediante el factor agua y, por otra, mediante el factor temperatura, de tal forma que las alteraciones en clima cálido y húmedo se diferencian claramente de las que caracterizan los climas templados, no sólo por su velocidad e intensidad sino también por la naturaleza del proceso físico-químico.

Si bien los factores locales que caracterizan un área determinada (material original, relieve, etc.) pueden llegar a modificar el proceso climático, a escala mundial y en estaciones con drenaje similar existe una íntima relación entre el modo de alteración y el clima en general. Así, los climas fríos y húmedos se caracterizan por

una hidrólisis ácida derivada de la acumulación y escasa mineralización y neoformación de arcilla existiendo una importante complejación de elementos metálicos. Hacia climas templados y cálidos, la influencia de la materia orgánica se minimiza, condicionándose esencialmente la alteración por los factores climáticos y alcanzando la neoformación de arcillas una mayor importancia (Paquet, 1969). En los casos extremos (climas ecuatoriales muy húmedos), la génesis de arcillas es frenada de nuevo al mismo tiempo que se favorece el proceso de liberación de sesquióxidos. Asimismo, el clima influye en la evolución de la materia orgánica desde el momento que condiciona la actividad biológica. Puede afirmarse que una temperatura elevada y una humedad suficiente favorecen la descomposición rápida de la materia orgánica mientras que los climas fríos y, en menor grado, los climas atlánticos húmedos ralentizan el proceso de la humificación, originando un humus bruto muy ácido que influye de forma decisiva en la génesis del suelo.

Un tercer aspecto de la influencia climática en la edafogénesis es el de las emigraciones a través del proceso de lixiviado. Dicho proceso provoca el movimiento por lavado de las bases y coloides, formando horizontes empobrecidos o "de eluviación" y, por otro lado, su deposición en horizontes inferiores de acumulación llamados "de iluviación".

El proceso de lavado en los suelos está regido esencialmente por el factor "drenaje climático" es decir, por la diferencia entre pluviometría y evapotranspiración. Hénin y Aubert (1945) han definido el "drenaje calculado" en base a la pluviometría y a la temperatura media anual, demostrando que el lavado de los coloides minerales se hace considerable por encima de un valor de 200 mm. Sin embargo, en climas como el correspondiente a Andalucía Occidental, donde las precipitaciones coinciden con las épocas más frías, el índice calculado por Hénin y Aubert no tiene gran validez y debe considerarse con ciertas reservas (Gandullo y col., 1984). De todas formas, a escala mun-



dial es la aridez del clima el factor que condiciona la importancia relativa de los diferentes factores. En climas muy secos no ocurren emigraciones y los suelos permanecen carbonatados desde la superficie, mientras que en climas húmedos el lavado alcanza a los coloides llegando a formar horizontes de acumulación.

En general, se observa que a medida que aumenta la pluviometría (dentro de un rango que va desde 380-890 mm/año) disminuye el pH y aumentan la profundidad de los carbonatos y el contenido de nitrógeno y arcilla en los suelos. Por otro lado, a medida que ascienden las temperaturas los colores tienden a ser más rojizos, las bases tienen una lixiviación más completa, disminuye el contenido de nitrógeno y materia orgánica y aumenta el contenido de arcilla en el perfil (Buol y col., 1973).

Dependiendo del predominio de uno u otro factor (pluviometría o temperatura) puede establecerse una doble secuencia climática (Géze, 1951). La primera, dependiente de la temperatura, va ligada a climas con un índice de aridez ( $I_a = \frac{P}{T} + 10$ ) superior a 25 y comprende suelos que van desde la tundra hasta podsoles y suelos lavados y ferralíticos, que tienen en común la presencia de un horizonte B. La segunda secuencia corresponde a climas en los que el índice de aridez es inferior a 25 y va ligada a la pluviometría, comprendiendo suelos de desiertos, grises subdesérticos, castaños con costra, chernozems, etc. Todos ellos con horizontes carbonatados.

De todo lo expuesto, se observa que a escala mundial es el clima el principal condicionante de la génesis del suelo, pudiéndose definir diferentes tipos de suelos correspondientes a distintas zonas climáticas (suelos zonales). Sin embargo, dentro de un área determinada son los factores locales los que condicionan la evolución edáfica pudiendo llegar incluso a desviarla, como se ha indicado anteriormente (suelos intrazonales).

La vegetación tiene una marcada influencia en la edafogénesis por el microclima que crea, el humus que produce, la profundidad de su enraizamiento y, finalmente, por la protección que ofrece al suelo contra la erosión (Aubert y Leneuf, 1960). La cobertura vegetal protege la formación del humus debido al ambiente sombrío y húmedo que favorece. Al destruirse dicha cobertura, el humus se descompone rápidamente por efecto de la insolación, lo que provoca modificaciones en la estructura del suelo.

Al mismo tiempo, el humus, agente esencial en la edafogénesis, dependerá de los restos que la vegetación incorpora al suelo, sobre todo a largo plazo ya que a plazo corto, parecen ser las características del medio las que predominan en la formación de un tipo determinado de humus (Duchaufour, 1975). Por otro lado, el enraizamiento profundo favorece al máximo el movimiento descendente de los coloides (Volobuev, 1964; Duchaufour, 1960), por lo que la alteración en un suelo de bosque será más rápida y profunda que en uno de pradera. En este último caso, el enraizamiento superficial y denso, origina horizontes húmicos de gran espesor y un descenso regular del contenido en materia orgánica en el perfil (suelos isohúmicos).

Las asociaciones vegetales devuelven al suelo, a través de los restos orgánicos, los cationes, el nitrógeno y el fósforo que le habían sido tomados. Sin embargo, este ciclo no afecta solo a los nutrientes sino también a la economía del agua y a las emigraciones de los coloides, manteniendo un cierto equilibrio en la composición y propiedades de los diferentes horizontes, condicionándose así la estabilidad del perfil (Hartmann, 1952).

Influenciada por los factores ecológicos, la actividad biológica (micro y macro) tiene una importancia muy particular ya que provoca la división más o menos intensa de los restos vegetales y animales, su incorporación a la materia mineral y la formación de com-

plejos organo-minerales, procesos todos ellos de gran interés en la evolución de los suelos.

Finalmente, el hombre puede ser causa de un cambio en la orientación de la evolución edáfica, ya sea en un sentido regresivo (erosión) o progresivo (protección). Pero quizás la influencia más poderosa que presenta el hombre es el cultivo. A causa de un prolongado trabajo en el suelo a una profundidad generalmente constante, los horizontes superiores se homogeneizan, cambiando el tipo de humus primitivo, lo que ha llevado a la definición de un horizonte "antrópico" (Soil Taxonomy, 1975). Los horizontes más profundos suelen estar poco modificados salvo en el caso de cultivos muy prolongados, en cuyo caso se forman los horizontes "ágricos", enriquecidos con arcilla y humus, observándose recubrimientos negros en las grietas, canales radiculares o galerías de animales.

Tanto la presencia de los horizontes antrópicos como de los ágricos, modifica profundamente la morfología del perfil natural, influyendo incluso a nivel de clasificación.

En resumen, de lo anteriormente expuesto se pone en evidencia la importancia que tienen los factores ecológicos en la génesis y evolución del suelo, por lo que es necesario conocerlos profundamente al abordar cualquier estudio edafológico de un área determinada.

## I.2 CLASIFICACION DEL SUELO

Una de las misiones de las Ciencias de la Naturaleza es ordenar los conocimientos adquiridos y agruparlos en sistemas. De este modo nacen las clasificaciones, las cuales evolucionan al mismo tiempo que nuestros conocimientos; esto es, las clasificaciones marcarán en un momento dado el nivel alcanzado por la Ciencia.

La Edafología ha tenido en los últimos años un rápido progreso, por lo que son numerosas y diversas las clasificaciones de suelos aparecidas.

En el siglo pasado, en Europa Occidental, se consideraba el suelo como una roca; por ello, las primeras clasificaciones con fundamento científico fueron geológico-petrográficas. Esta caracterización de los suelos dentro de una línea geológica, culminó en la clasificación de Fallou (1862).

Pero mientras los edafólogos de Europa Occidental vieron en la Geología las causas de las diferencias entre los suelos, debido quizás a limitarse a un área relativamente pequeña y de clima bastante uniforme, los edafólogos rusos, con una extensión de superficie más grande vieron en el clima el factor dominante de la génesis del suelo, por lo que se pretendió su clasificación de acuerdo con las condiciones climáticas bajo las que habían evolucionado. El fundador de la gran escuela rusa fue Dokuchaiev, cuyos primeros trabajos sobre clasificación aparecieron en 1870. Estas clasificaciones climáticas continuaron durante el presente siglo, y en ellas se basa la antigua clasificación americana de Baldwin y col. (1938), en la que se dividen los suelos en tres grandes ordenes: zonales, intrazonales y azonales.

Otra de las clasificaciones importantes de la primera mitad de este siglo son las que se apoyan sobre propiedades químicas del suelo. Entre éstas, hay que citar la de Gedroiz (1929), basada en el estado del complejo de cambio, y la de Pallmann (1947) que basa la definición de las clases en el sentido del lavado y la de los ordenes en la naturaleza química del "filtro".

Robinson (1949) presenta su clasificación apoyada al mismo tiempo sobre propiedades químicas del suelo y climáticas, representando las llamadas clasificaciones mixtas.

A esta primera mitad del siglo XX pertenece el primer intento verdaderamente importante de clasificación de suelos en España, con el trabajo de Huguet del Villar (1937).

Las modernas clasificaciones de suelos pueden enjuiciarse a partir de la base y fecha de la sistemática de Kubienska (1953). Estas modernas clasificaciones dan prioridad a los caracteres que traducen el proceso evolutivo frente a las causas externas de la evolución (Duchaufour, 1961). Sin embargo, hay que exceptuar la actual clasificación rusa en la que la base fundamental sigue siendo el medio climático y las condiciones ecológicas con preferencia sobre los procesos evolutivos. Como criterios de base más frecuentemente empleados, pueden citarse:

- a) Desarrollo del perfil
- b) Modo de alteración climática
- c) Tipo de materia orgánica
- d) Hidromorfía

Estos criterios aislados, combinados entre sí, o bien puestos de manifiesto a través de características especiales de algunos horizontes, se emplean de manera distinta en las diversas clasifica-

ciones. Por ejemplo, la hidromorfía tiene un sitio diferente en la jerarquía de los caracteres en unas clasificaciones respecto de otras. Basándose en ellas, Avery (1956) clasifica los suelos en dos grandes categorías: hidromorfos y no hidromorfos. De la misma forma, Kubiena (1953) y Mückenhausen (1954) dividen los suelos en: terrestres, semiterrestres y subacuáticos.

En 1956, Aubert y Duchaufour presentan un proyecto de clasificación en el VI Congreso de la Ciencia del Suelo, celebrado en París. Esta clasificación es revisada en 1963, 1965 y 1967 y se conoce con el nombre de Clasificación francesa.

La actual clasificación francesa agrupa las diferentes formaciones edáficas en doce grandes categorías denominadas clases, basándose en los criterios anteriormente expuestos. Las principales subdivisiones son: Subclase, definida principalmente por el pedoclima o microclima interno del suelo; Grupo, definido por los caracteres de conjunto del perfil que traducen un proceso genético de terminado; Subgrupo, definido por la intensidad de un proceso o por la manifestación de otro secundario.

Más tarde, en el VII Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, celebrado en Madison (1960), el Departamento de Agricultura de EE.UU. dió a conocer la 7ª aproximación del sistema americano para la clasificación de suelos, revisada posteriormente en 1967 y que finalmente se ha impuesto en todo el mundo occidental.

La idea más original de esta clasificación es la definición de horizontes de diagnóstico y otros superficiales denominados epipedones, que permiten caracterizar y clasificar el perfil en las unidades superiores u órdenes, salvo en el caso de los aridisoles (definidos por el clima) y de los vertisoles (definidos por la textura y naturaleza de la roca madre).

Las categorías superiores de esta clasificación son, además de los órdenes, los subórdenes y los grandes grupos. Las categorías inferiores comprenden los subgrupos, familias y series, cuyas definiciones se recogen en el Soil Survey Staff (1967).

Los edafólogos rusos mostraron en el VIII Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo (Bucarest, 1964) una nueva puesta a punto de la Clasificación inicial de Dokuchaiev. En ella se siguen teniendo en cuenta las condiciones ecológicas que presiden la formación del suelo antes que el proceso evolutivo en sí mismo.

Finalmente, en los últimos años, se han desarrollado diversos métodos de taxonomía numérica de aplicación a la sistemática de suelo (Bidwell y col., 1964), (Rayner, 1966; Norris, 1970).

II. HISTORIA GEOLOGICA



La faz de la Tierra ha cambiado desde entonces  
y han surgido y se han eclipsado muchos reinos;  
han caído los árboles y los ríos han modificado  
su curso; sólo quedan las montañas y aún éstas,  
erosionadas por los vientos y las lluvias...

(J.R. Tolkien)

El área de estudio está constituida por materiales sedimentarios pertenecientes a la gran depresión de la Cuenca del Guadalquivir. Por tanto, tienen un origen Cuaternario y se encuentran recubriendo otros más antiguos de edad mio-pliocena.

Para una mejor comprensión de la dinámica deposicional de dichos materiales, es necesario referirse no sólo a la evolución del Cuaternario reciente, sino incluso a la historia Precuaternaria que condicionó la configuración de la posterior Cuenca del Guadalquivir.

#### HISTORIAL PRECUATERNARIA

El valle del Guadalquivir es un antiguo golfo, que con anterioridad constituyó un verdadero estrecho, comunicando el Atlántico con el Mediterráneo durante el Mioceno (Gignoux, 1960; Terán, 1967). Más tarde, las grandes convulsiones alpinas expulsan el mar de casi todos sus antiguos dominios, a excepción del sector bético, donde se encuentran las máximas profundidades del geosinclinal, continuándose

la sedimentación marina durante bastante tiempo. Durante el Mioceno Superior (Tortonense), se produce una subsidencia continuada en la depresión del Guadalquivir, originándose una gran transgresión marina, durante la cual se depositan facies detríticas de base (areniscas), a las que se superponen sedimentos margosos. Resultado de dicha sedimentación es un potente manto de margas y de areniscas detríticas, de facies francamente marinas, que constituyen el relleno del lecho primitivo.

Dicho manto de margas azules o totonienses (FAO, 1970; 1972; Leyva y Pastor, 1976 (a), 1976 (b); Corominas Masip y col., 1976; etc.) descansa directamente sobre el paleozóico al N de la Cuenca, como ha sido puesto de manifiesto en diferentes sondeos (Salteras, Villalba, Castillejo) (Perconig, 1961), mientras que en la zona de estudio lo hace sobre otros sedimentos identificados como Jurásico Superior, Lías y Triás, hasta llegar al Paleozóico a una profundidad de 3500 m en el Asperillo (Perconig, 1961).

En la zona de Almonte-Marisma, las margas azules presentan una topografía muy irregular como se deduce de las profundidades a las que aparecen en los diversos sondeos realizados por FAO-Proyecto Guadalquivir. En general, es una topografía que evoca un valle muy profundo, donde el talweg se situaría a -250 m. Dicha depresión presenta un eje NE-SW asimétrico, que atraviesa el centro de las marismas, mostrando el borde occidental una pendiente más acentuada que el borde oriental donde aflora a veces el Plioceno inferior.

Los sondeos hidrogeológicos señalan la existencia, en la zona de Almonte-Marismas, de un paleocurso situado en la vertical del actual Caño del Guadiamar, que parece corresponder a uno de los muchos valles submarinos que desembocan en el fondo de un golfo. Este cañón submarino se habría formado durante la regresión que marca el

pasaje del Plioceno Inferior al Plioceno Medio (Menanteau, 1981). Dicha regresión invierte la secuencia de deposición, sedimentando facies detríticas sobre las margas, por lo que va a modelarse un inmenso glacis sobre los antiguos fondos emergidos, formados por materiales poco consistentes (calcarenitas, areniscas), que pone en comunicación la meseta hercínica con las costas atlánticas.

Así puede observarse bajo las Marismas, que el Plioceno Medio aparece representado esencialmente por un "falun" (Viguiet, 1974) que ha colmatado la depresión del Plioceno Inferior, igualando considerablemente las irregularidades del relieve con distintos materiales detríticos (gravas, arenas más o menos gruesas, limos y arcillas), como corroboran los diferentes sondeos (FAO, Proyecto Guadalquivir, 1972).

En ciertas descripciones de sondeos (Menanteau, 1981), aparecen dos niveles característicos, muy a tener en cuenta:

- Entre 80 y 120 m aparece un nivel de conchas formado fundamentalmente por el género *Ostrea* (Viguiet, 1974), típico habitante de mares poco profundos, que, unido a la presencia de sedimentos gruesos, confirman una formación de carácter litoral.
- Entre 85 y 65 m aparecen cambios bruscos, representados por una variación de arenas a arcillas, o de arcillas a sedimentos gruesos, que puede producirse a través de una capa de arenisca o a través de un nivel con conchas.

Según Menanteau (1981), dicho nivel representa una modificación del régimen morfosedimentario al término de la regresión del Plioceno Medio. La presencia de arenas parece indicar cierta influencia continental en la sedimentación, a la vez que los sedimentos gruesos caracterizan la desembocadura de un paleoestuario (Viguiet, 1974).

## LIMITE PLIOCENO - PLEISTOCENO

El límite Plio-pleistoceno presenta una gran dificultad en su reconocimiento debido a una serie de discordancias erosivas que se observan a lo largo del área litoral y sobre todo a la ausencia de fósiles.

Aunque en la hoja geológica 1/50.000 de Moguer no se señala de forma explícita la existencia del Plioceno Superior, Pastor y Zazo (1976) dan a una de las formaciones (arenas basales) edad plio-cuaternaria al no estar de acuerdo con Viguié en la continuidad que marca entre el Plioceno Medio (datado por *Globorotalia crassaformis*) y dicho depósito, puesto que aunque en el corte de Moguer la discordancia es suave, en otras áreas (Bonares) es muy evidente, y viene marcada por la existencia de un conglomerado con cemento ferruginoso.

Así, las arenas basales o arenas rojas constituyen el primer depósito claramente cuaternario en el litoral de Cádiz, donde por otra parte no se presentan con mucha potencia. Sin embargo, en el litoral de Huelva, es posible que la parte basal de las mismas pertenezcan al Plioceno Superior, tratándose en ese caso de una formación heterócrona en la base e isócrona en el techo (Zazo, 1980).

Asimismo, se señala la posibilidad de que en la zona de estudio las "arenas rojas" o "arenas basales" correspondan en parte al Plioceno Superior ya que este no ha sido datado ni micro- ni macropaleontológicamente.

Por otro lado, Zazo (1980) afirma que no existen datos suficientes para poder afirmar si dichas "arenas rojas" corresponden a una sedimentación continuada en el paso Plioceno - Cuaternario o si tienen la misma edad que en la provincia de Cádiz, es decir, post-Plioceno

(con *Globorotalia inflata*), estando entonces representado el límite Plio- Pleistoceno por una discordancia erosiva.

En resumen, las arenas basales, de edad Plio - Cuaternaria, pueden considerarse como una formación fundamentalmente arenosa de colores variables (blanco a rojas en parte por tinción), en la que predomina el cuarzo sobre el resto de los componentes. Desde un punto de vista sedimentológico, hay que considerarlo como un depósito litoral formado en aguas poco profundas, constituyendo una serie de barras de estuario paralelas al litoral (longshore bar) similares a las que se desarrollan actualmente en la costa de Huelva.

Dichas arenas corresponden a una fase de discordancia erosiva, que separa los depósitos del Plioceno Superior de los depósitos del Pleistoceno Inferior con *Margaritea meridionalis*.

Por tanto, en el litoral de Huelva, el primer nivel cuaternario corresponde a un glacis de erosión con gravas que entierran las arenas rojas. En el contacto de ambas formaciones aparecen frecuentemente alios férricos o costras, cuyo origen está favorecido por cambios texturales de los depósitos y por antiguos niveles freáticos. Este origen puede corroborarse por la formación actual de costras ferruginosas en el contacto de las arenas con la marisma en el nivel superior de fluctuación de la capa freática (Clemente y col., 1981).

En general, el límite Plio - Pleistoceno está representado en el área de estudio por el paso del Plioceno Medio (marcado por *Globorotalia crassaformis* s.l.) al Cuaternario, sobre el que descana directamente debido a una discordancia erosiva.

## EL CUATERNARIO

Al comienzo del Cuaternario se configura el área de Doñana como una depresión con movimientos episódicos de subsidencia en bloques con desplazamientos relativamente independientes, estando las márgenes de la depresión ocupadas por sedimentos marinos epicontinentales terciarios, parcialmente recubiertos de depósitos continentales áridos o fluviales (García Novo, 1981).

En efecto, el análisis de los sondeos pone en evidencia una gran variabilidad en la repartición de los sedimentos, tanto en el sentido horizontal como en el vertical, así como en el espesor y estructura a medida que se van desplazando del centro al borde de la Marisma (Proyecto FAO - Guadalquivir, 1972). Esto podría deberse a los cambios que se produjeron en las condiciones hidrogeológicas durante la deposición de dichos sedimentos.

Durante el Pleistoceno Inferior se sigue manteniendo una depresión en la parte central de las Marismas, donde el tránsito sedimentario mantiene abierta la cabeza del cañón submarino. Así, se mantiene un fenómeno deposicional que varía dependiendo de los movimientos eustáticos del nivel del mar. El conocimiento de dichas fluctuaciones climático-eustáticas, sucedidas en el curso del Cuaternario reciente y durante los períodos geológicos precedentes, es fundamental para la comprensión de la morfología y génesis del Parque Nacional de Doñana.

## VARIACIONES PRE - HOLOCENAS (antes de 12.000 años)

Ya a lo largo del Plioceno se producen variaciones climáticas de gran amplitud. El clima de las regiones mediterráneas se caracterizó por la instalación progresiva de una sequía estival, asociada a un enfriamiento del hemisferio N (Suc, 1980). Fases de recalentamiento con pluviometría creciente y ausencia de sequía estival bien marcada alternaron con fases de enfriamiento con estaciones bien contrastadas y con una gran sequedad estival. En la Cuenca del Guadalquivir, durante el Plioceno Inferior se estableció un clima cálido y húmedo, que pasó a ser de tipo tropical a lo largo del Plioceno Medio para finalizar con un clima de tipo mediterráneo en el Plioceno Superior (Viguier, 1974). En el Cuaternario Inferior, el clima se enfría notablemente y se hace más seco, favoreciendo la formación del glacis de acumulación, que, partiendo de Sierra Morena, se dirige hacia los bordes N y W de las Marismas (Dumas, 1977).

Durante el Cuaternario se suceden episodios climáticos claramente diferenciados que se reflejan en la formación de una serie de terrazas que se distinguen tanto por su evolución edáfica (Clemente y col., 1979), como por la aparición de accidentes morfológicos (Clemente y col., 1979), o incluso de macrofósiles (Clemente y col., 1977).

Estas alternancias climáticas se han puesto de manifiesto durante el Cuaternario Medio en Europa Occidental, donde se han detectado hasta 18 brotes glaciares (Menanteau, 1981), aunque los únicos bien conocidos corresponden a los del Pleistoceno Superior o Würmiense.

Así, en el Würm I (hace 90.000 - 60.000 años), el bosque se extiende enormemente en detrimento de los espacios abiertos, con cortos episodios de retraimiento en las interfases, donde una reducción en superficie produce condiciones estépicas.



Durante el Würm II (de 55.000 - 35.000 años), hay una preponderancia de la estepa sobre el bosque, ya que el clima se hace más riguroso, lo cual ocasiona la desaparición de la vegetación arbustiva y la intensificación de la acción eólica.

Finalmente, el Würm III, después de una interfase con el II en la que hay un retorno al clima húmedo, pasa a ser de nuevo frío y seco (Mörner, 1973).

En cualquier caso, el clima no debió ser muy riguroso en la Baja Andalucía, según lo demuestran los niveles tirsificados de la base del acantilado del Asperillo (Caratini y Viguiet, 1973), pertenecientes al Würm III (Vanney y col., 1982), donde aparecen restos polínicos de avellanos y pinos.

En respuesta a todas estas variaciones climáticas, hubo grandes fluctuaciones eustáticas. A lo largo del Plioceno, hay una regresión generalizada, que se traduce en una disminución importante de la profundidad del golfo marino actualmente ocupado por la Marisma. Dicho cambio provoca la deposición de los faluns del Plioceno Medio sobre las margas azules del Plioceno Inferior.

Más adelante, a finales del Pleistoceno, uno de los eventos más importantes del Würm es la regresión pre-flandriense ó grimaldienne ocurrida a finales del Würm III: Según diversos autores (Delibrias, 1974; Ters, 1973; Vanney y col., 1979; etc.), dicha regresión habría sido de unos 110 m en las costas atlánticas (hace aproximadamente 18.000 años), por lo que la plataforma continental de la Baja Andalucía se habría alargado unos 40 Km (Melieres, 1974; Baldy y col., 1977).

Este proceso habría ido acompañado de una profundización de los valles al descender el nivel de base y un aumento de los cordones

arenosos a medida que avanzaba la línea de costa. De hecho, se cree que este es el origen de los numerosos paleovalles detectados a lo largo de la costa entre Huelva y Cádiz (IGME, 1973, 1974; Vanney y col., 1982).

#### VARIACIONES HOLOCENAS (después de los 12.000 años)

La evolución geomorfológica en el curso de los últimos 13 o 14.000 años ha ido avanzando en base a un recalentamiento climático (13.500 años B.P.) que se acentuó hace 12-11.000 años, según aparece en los sondeos realizados por Melieres (1974) en el Golfo de Cádiz. En la Baja Andalucía, debido al problema de la escasez de datos, no se pueden establecer de forma clara las fluctuaciones bioclimáticas durante el Holoceno ya que sólo se dispone de las medidas radiométricas de la turbera de la Laguna de las Madres (Mazagón) y de los niveles tirsificados visibles en el farallón costero entre Mazagón y Matalscañas.

A partir de estos datos, puede suponerse que había un clima más húmedo que el actual, por lo que una densa vegetación cubría el suelo (Horowitz, 1976). De hecho, el análisis palinológico de los depósitos turbosos de la Laguna de las Madres (Menéndez y Florschütz, 1964) revela una gran diversidad en la cobertura vegetal desde el comienzo de su formación y a lo largo de unos 6.000 años, esto es, hasta hace 5.500 años, cuando acaba el período Atlántico y comienza el Subboreal. Dicho bosque se fué degradando progresivamente, hasta la desaparición de la vegetación arbórea durante el período Subboreal a causa de la sequía creciente que se establece en dicho período, con el consiguiente recrudecimiento de la actividad eólica.

Desde otro punto de vista, A. Poi (1977) atribuye un valor paleoclimático a los frentes dunares más antiguos, cuya orientación permite discernir 5 cambios en la dirección de los vientos dominantes a lo largo de unos 7.000 años. Esta variación permite una mayor información de los desplazamientos de los frentes atlánticos que han barrido la Península. Asimismo, se deduce que unos vientos provenientes del W o W-SW corresponden a un clima más húmedo que el actual, gracias a una mayor influencia atlántica.

Durante esta época, continuación del máximo de la glaciación del Würm III, se produce la transgresión Flandriense que ha provocado, entre otros fenómenos, el relleno de las Marismas. Dicha transgresión no se ha producido a velocidad constante, subiendo el mar en los primeros 8.000 años (desde 18.000 - 10.000 años) 60 m, y en los 4.000 años siguientes (desde 10.000 - 6.000 años), unos 40 m, quedando el mar a -10 m del nivel preflandriense (Menanteau, 1981). La estabilización final del nivel marino origina el cierre por el mar de la Laguna de las Madres (Mazagón) y la formación consecutiva de los primeros niveles turbosos datados en unos 5.000 años B.P. (Menéndez Amor y Florschütz, 1964).

Puede afirmarse, por tanto, que la formación de dichos niveles turbosos marcan una estabilización general de la transgresión flandriense: De cualquier forma, hay que admitir pequeñas fluctuaciones del nivel marino en los últimos milenios, como se pone en evidencia en diferentes sondeos realizados en las Marismas del Guadalquivir (FAO, Proyecto Guadalquivir, 1972). Estas variaciones son debidas fundamentalmente a fenómenos locales de compactación de los sedimentos limo-arcillosos fluviales, o a subsidencias del área de estudio, como han puesto de manifiesto diversos autores en la costa atlántica europea (Pirazzoli, 1976; De Jong, 1971; etc.).

Restos arqueológicos de la Edad del Bronce (Menanteau y Clemente, 1977) y de la época romana en los alrededores de Chipiona (Martínez, 1949, y Romero de Torres, 1934) ponen de evidencia un ascenso del nivel marino hasta el principio de la Era Cristiana.

Los datos disponibles permiten establecer la existencia de una bahía donde desembocaba el río Guadalquivir. Dicha bahía ha sido cerrada por el avance de las arenas en forma de "spits" y frentes dunares, hasta evolucionar hacia una laguna (Lacus Ligustinus) según testimonio de Strabon.

El relleno de dicha laguna ha sido especialmente rápido en tiempos históricos, favorecido por el cierre de la desembocadura del río, dando como resultado las actuales Marismas.

#### EVOLUCION A PARTIR DEL SIGLO XX

El trazado de la costa se encuentra fuertemente influenciado por las corrientes, presentando un medio de alta energía con un tránsito sedimentario importante. La corriente principal presenta una deriva NW-SE que origina el transporte de sedimentos arenosos en dicha dirección (Menanteau, 1981).

El volumen arenoso desplazado varía en función del choque del oleaje contra la costa, pudiendo llegar a  $300.000 \text{ m}^3/\text{año}$  en el spit de El Rompido (Subdirección de Costas, 1977).

En efecto, el farallón costero de arenas würmenses situado al NW de Matalascañas ofrece poca resistencia a la erosión (Zazo y col., 1981). Dicho farallón, roto por una serie de barrancos, es

tá sometido al ataque de las mareas fuertes, que evacuan periódicamente los conos arenosos formados a la salida de dichos "barrancos" (Vanney y Menanteau, 1979).

Al SE de Matalascañas, el farallón desaparece para dar paso a una costa baja, donde la continua acumulación de arena, unida a la constancia de la dirección del viento, ha dado lugar a la formación de pequeños montículos, que nacen en la partes altas de la playa y van creciendo a medida que avanzan hacia el interior, donde forman el sistema de dunas móviles de Doñana.

El avance de las arenas traídas por la corriente de deriva termina provisionalmente en la desembocadura del Guadalquivir. El trazado costero desde Matalascañas hasta dicha desembocadura presenta así una gran dinámica geomorfológica, que se pone de manifiesto en la observación comparativa de las fotografías aéreas de 1956 y 1977. Los mejores testimonios históricos de dicha dinámica están representados por las "Torres Vigía" o "Torres Almenara", construidas después de 1590 por orden de Felipe II para vigilancia de la costa (Mora-Figueroa, 1978).

En general, se observa un retroceso de la línea de costa al NW de Matalascañas y una progradación hacia el SE. El retroceso se pone de manifiesto por el derrumbamiento sobre la playa de las torres situadas entre Mazagón y Matalascañas (Torre del Loro, Asperillo y La Higuera). Concretamente, la Torre de La Higuera cayó durante una tempestad a mediados del siglo XVIII, lo que ha permitido calcular un retroceso costero aproximado de 140 m o lo que es igual, un avance del mar de 65 m/siglo (Menanteau, 1981).

Por el contrario, las Torres situadas al SW de Matalascañas (Carbonero, Zalabar y San Jacinto) se retiran de la playa como consecuencia del proceso de progradación anteriormente mencionado. A par

tir de la ubicación de las Torres reflejada en cartas marinas, se calcula un ensanchamiento mediocostero de 183 m a partir de mediados del siglo XVIII, destacando el caso de la Torre de San Jacinto, que se ha visto desplazada de la orilla más de 600 m en los últimos cuatro siglos (Menanteau y Martín, 1979).

La dinámica geomorfológica actual de la zona y más concretamente el régimen morfosedimentario está asimismo muy influenciado por los constantes dragados en el canal de acceso al puerto de Huelva y por el alargamiento de su barra costera, hoy artificialmente agranda da por la construcción de un dique para la protección de la ría de Huelva contra los aportes arenosos.

Esta circunstancia parece ser la causa del desplazamiento del punto de inflexión de la onda erosiva hacia el SE, afectando a las playas de Mazagón y Matalascañas.

De cualquier forma, la corriente de deriva contribuye a dar al litoral entre la Ría de Huelva y la desembocadura del Guadalquivir, un trazado cóncavo que se acentúa continuamente, erosionando los acantilados al NW de Matalascañas y ensanchando la playa al SE.

La instalación de un potente cordón dunar en Doñana sería la consecuencia de la regularización de dicho proceso. Estas dunas aportan la sutura final a la obturación de las Marismas, fosilizando en su avance la mayor parte de las formas residuales de las fases anteriores.

Actualmente, el área de estudio corresponde por un lado a arenas eólicas estabilizadas (datadas entre 6.000 y 12.000 años) y móviles, provinientes de la erosión costera, que forman los cordones dunares anteriormente mencionados. Por otro lado, están los sedimentos limo-arcillosos depositados por el río durante el Holoceno recien

te, que han rellenado el antiguo estuario del Guadalquivir, posteriormente convertido en laguna (Lacus Ligustinus), y que corresponde hoy a las Marismas. Por tanto, los materiales de la superficie del Parque Nacional de Doñana son de reciente deposición y configuran una gran diversidad de unidades geomorfológicas con una activa dinámica como consecuencia de su relativa juventud.

#### SINTEISIS DE LA EVOLUCION

El área de estudio se encuentra situada en la comarca conocida con el nombre de Llano de Huelva. Esta corresponde a una cuenca tectónica hundida desde el Mioceno entre el zócalo antiguo de Sierra Morena y las últimas estribaciones de la Cordillera Bética, constituidas por colinas margosas del Oligoceno y Eoceno. El antiguo golfo que ocupaba dicha depresión fue progresivamente colmatado por sedimentos finos marinos y finalmente, durante la etapa regresiva, por una potente serie arenosa que, a pesar de su diversidad, ha sido interpretada desde Gonzalo y Tarin (1886-1887) hasta Zazo (1980) como acumulaciones en deltas inestables y con límites fluctuantes. En esta superficie se sitúa el tramo final del Guadalquivir durante el comienzo de la época aluvial, con un estuario que se diseña de forma esquemática en la figura 1 según Gavala (1936). Por tratarse de terrenos homogéneos y poco coherentes, la desembocadura en el estuario se ensancha con rapidez al mismo tiempo que es invadido por el mar durante la transgresión flandriense (figura 2). La Margen izquierda presenta un contorno más irregular debido a su exposición a los vientos dominantes del SW y aún hoy pueden observarse formas de acantilado en colinas próximas a Lebrija y Trebujerna (Menanteau, 1981). La margen derecha, por el contrario, es más uniforme y rectilínea y, según Gavala (1936), estaría situada a unos 5 Km al SE de Torre la Hi-

guera, donde aparecen entre las dunas móviles actuales formaciones de areniscas diluviales rojizas cuya cara SE (orientada al estuario) conserva un perfil que corresponde a antiguos acantilados. La movilidad de estas dunas se debe a su situación al nivel del mar, lo que apoyaría la hipótesis de la erosión fluvial sufrida por el farallón costero que se conserva en dirección a Maragón.

A partir de este momento, la amplitud del estuario frena los sedimentos aportados por el río, que se depositan sin sobrepasar la línea de costa. Pronto se forma una barra de limos que el mar afirma con aportes arenosos (cordón litoral). Una vez que se alcanza el nivel de bajamar empieza una dinámica de spits (Clemente y col., 1985), que permite la deposición de materiales finos en zonas muertas protegidas por las arenas del cordón litoral (figura 3). Conforme se independiza el estuario de la acción directa del mar, los limos aceleran su relleno formando corrientes divagantes que configuran islas cuyos bordes crecen a consecuencia de las avenidas. El proceso de colmatación decrece conforme se vá alcanzando el nivel de pleamar (figura 3). En este momento, sólo grandes avenidas o pleamares equinocciales consiguen que se produzcan desbordamientos que lentamente rellenan antiguas depresiones, lagunas y cauces, borrando desigualdades del terreno y originando la superficie uniforme con pocas variaciones topográficas que constituye la actual Marisma del Guadalquivir (figura 4).



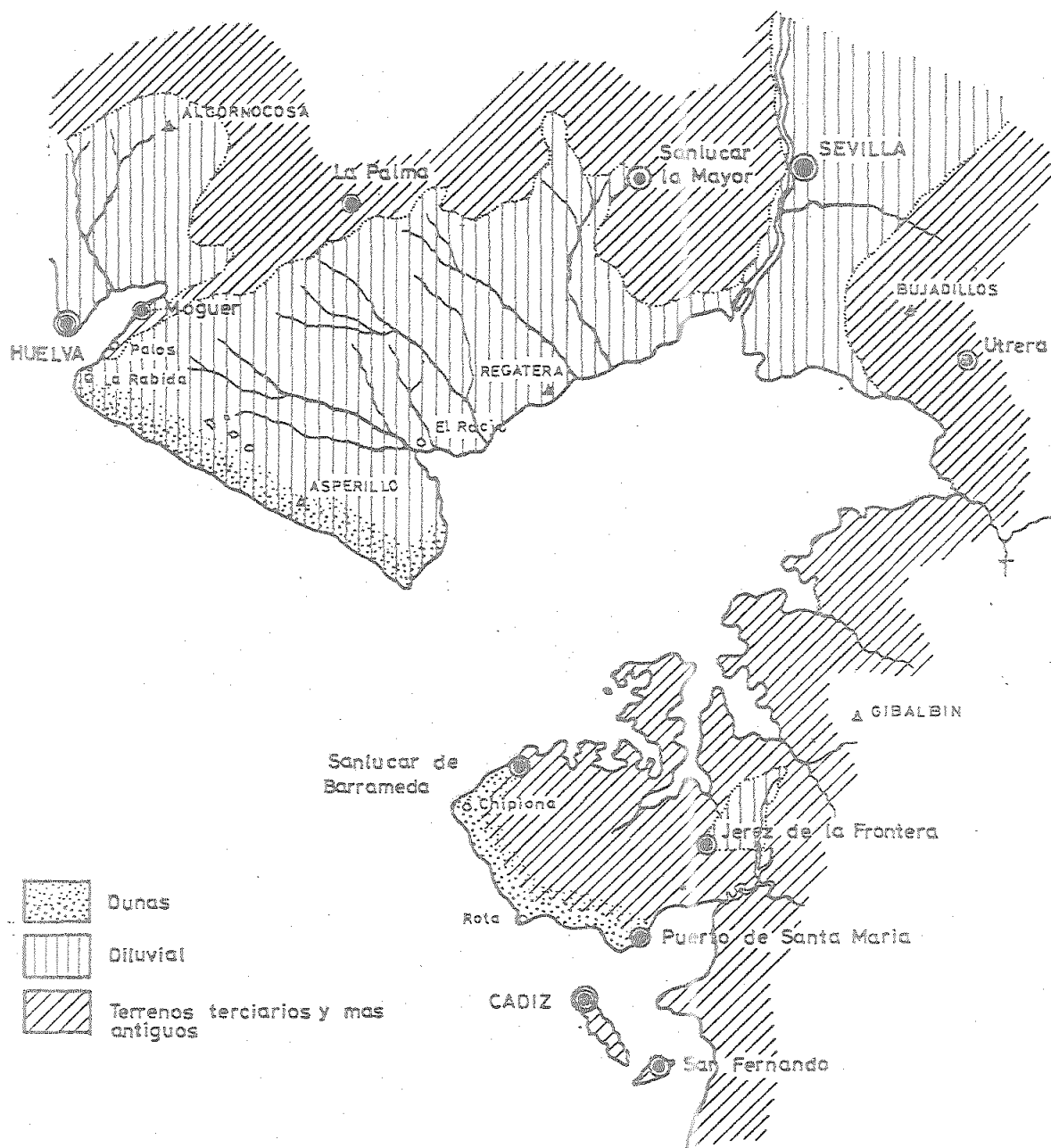


Figura 1. Estuario del Guadalquivir al final del Pleistoceno (Diluvial).



Figuras 2 y 3. Evolución del estuario del Guadalquivir durante el Holoceno.



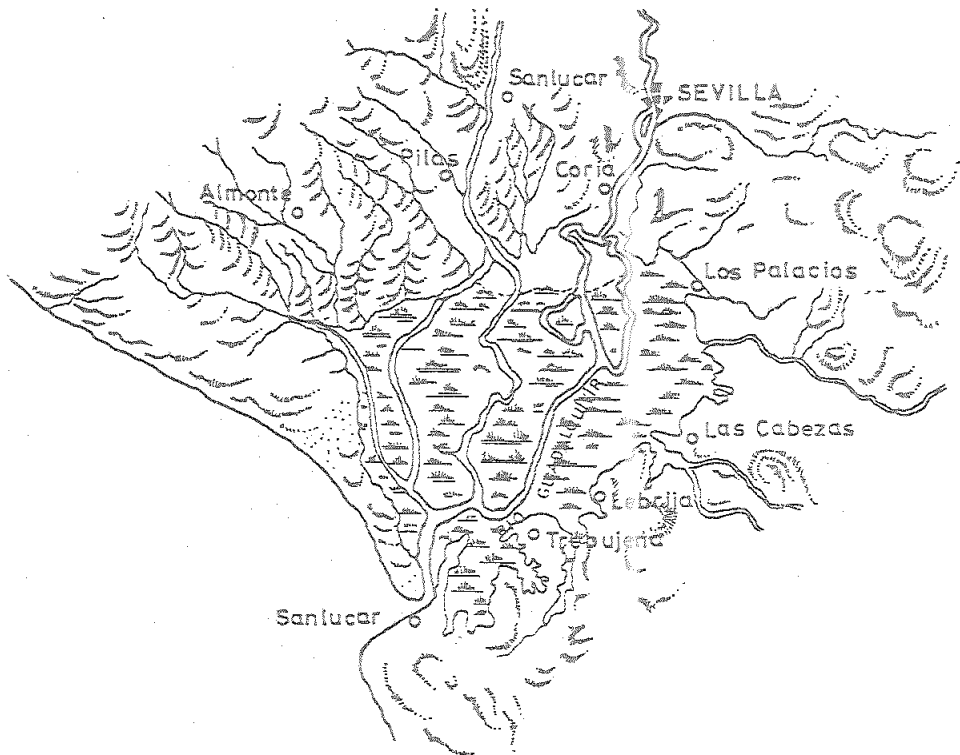


Figura 4. Situación actual del estuario del Guadalquivir:  
Marismas.

III. GEOMORFOLOGIA

El terreno se sostiene en su sitio gracias a las montañas más grandes. Las rocas son sus huesos, los ríos sus venas y la vegetación es su pellejo. Su carne es la tierra: ese metro superior de suelo en que los seres viven...

(Chang Hua)

La Geomorfología, definida en el Glosario de Geología (Howell, 1957) como "El examen sistemático de las formas del terreno y su interpretación como registro de la historia geológica...", presenta un fuerte nexo de unión con la Edafología, ya que ambas trabajan con partes de un mismo conjunto: la superficie terrestre. En efecto, la Geomorfología es la ciencia que estudia la evolución de dicha superficie, basándose fundamentalmente en cómo se ha transformado, qué factor o factores se han visto envueltos y cuando han comenzado y finalizado los diferentes procesos (Daniels y col., 1971). Es, por tanto, necesario un conocimiento geomorfológico en profundidad para la interpretación genética del suelo, ya que la evolución geomorfológica suministra el marco a la evolución edáfica (Tricart y Michel, 1965).

La contribución de la Geomorfología debe ser, entonces, algo más que un listado de edades de superficies y sedimentos (Wooldridge, 1949), pues a partir del concepto de que el suelo es el producto de la intersección de los factores ecológicos, éstos podrían combinarse en diferentes grados para producir el mismo resultado en superficies de distintas edades (Daniels y col., 1971).

De lo anteriormente expuesto se desprende la importancia que tiene el conocimiento de las formas del paisaje para la mejor comprensión de la génesis y evolución de los suelos. En este sentido, se ha establecido una jerarquía geomorfológica de los distintos materiales presentes en el Parque Nacional de Doñana, teniendo en cuenta el medio en el que se formaron, los procesos genéticos que los produjeron, su geometría, etc..., definiéndose las siguientes categorías: Dominio y Sistema morfogénéticos, Unidades y Subunidades geomorfológicas y Elementos morfoedáficos.

#### DOMINIO MORFOGENETICO

Se considera como tal una zona o área de morfología variada, cuyas formas están relacionadas geométricamente (Zazo, 1980) y han sido originadas en un determinado medio. En base a este concepto, pueden establecerse en el Parque Nacional tres dominios claramente diferenciados:

- A. Marino
- B. Marino - Continental
- C. Continental

#### SISTEMA MORFOGENETICO

Se define como un conjunto de acciones que configuran un proceso determinado (Zazo, 1980). Dentro del área de estudio, siguiendo esta definición, a cada Dominio le corresponde un Sistema Morfogénético concreto:

- A. Litoral
- B. Estuarino
- C. Eólico

#### UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Dentro de cada sistema morfogenético se han definido una serie de Unidades Geomorfológicas como "áreas donde la morfología y los procesos están relacionados" (Zazo, 1980). Corresponden generalmente a depósitos o formas que presentan una geometría concreta y están producidos por una acción igualmente concreta. Las principales unidades enumerables en el Parque Nacional de Doñana son:

- A.1 - Posplaya
- A.2 - Cordones litorales
- A.3 - Flechas litorales
- A.4 - Estrán
- A.5 - Barras
- B.1 - Slikke
- B.2 - Schorre
- B.3 - Vetas y Paciles
- B.4 - Lucios
- B.5 - Caños
- C.1 - Arenas estabilizadas
- C.2 - Arenas móviles
- C.3 - Zonas de contacto



## SUBUNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Incluyen las características accesorias que permiten subdividir la Unidad en varias formas cartografiables con independencia, que presentan una geometría concreta y están producidas por una acción particular.

El reconocimiento de estas Subunidades requiere un trabajo de campo minucioso, por lo que se ha limitado su diferenciación al área que comprende el presente estudio, esto es, a las arenas del Parque Nacional de Doñana (Dominios A y C).

Es a este nivel donde existe la más estrecha relación con las formaciones edáficas. La inexistencia de suelos propiamente dichos en el Sistema Morfogenético Litoral (Dominio A), además de la juventud y precariedad de estas últimas formas, limita el estudio geomorfológico de detalle al dominio continental.

Dentro de éste, pueden reconocerse con ayuda de la fotointerpretación, las siguientes subunidades :

- C.1.1 - Naves
- C.1.2 - Manto arrasado
- C.1.3 - Cordones de la Marismilla
  
- C.2.1 - Frentes móviles
- C.2.2 - Corrales
- C.2.3 - Gusanos
  
- C.3.1 - Vera
- C.3.2 - Lagunas permanentes

ELEMENTOS MORFOEDAFICOS

Se consideran Elementos Morfoedáficos las formas más simples que constituyen el paisaje, pudiéndose apreciar que, en general, a iguales elementos, corresponden suelos similares.

Dentro de las subunidades identificadas anteriormente, pueden describirse los siguientes elementos morfoedáficos:

- C.1.1.1 - Alto de nave
- C.1.1.2 - Ladera de nave
- C.1.1.3 - Bajo de nave
  
- C.1.2.1 - Alto de duna
- C.1.2.2 - Ladera de duna
- C.1.2.3 - Bajo de duna
- C.1.2.4 - Bosque conservado
- C.1.2.5 - Lagunas temporales
- C.1.2.6 - Eucaliptar
  
- C.1.3.1 - Zona alta de Marismillas
- C.1.3.2 - Zona baja de Marismillas
  
- C.2.1.1 - Dunas móviles
  
- C.2.2.1 - Corrales húmedos
- C.2.2.2 - Corrales secos
  
- C.2.3.1 - Gusano alto
- C.2.3.2 - Gusano bajo
  
- C.3.1.1 - Vera arcillosa
- C.3.1.2 - Vera arenosa
- C.3.1.3 - Nucle
- C.3.1.4 - Arroyos
  
- C.3.2.1 - Borde higrofitico
- C.3.2.2 - Fondo de laguna

## A. DOMINIO MARINO - SISTEMA LITORAL

Se considera Dominio Marino a todos los materiales que han sido trabajados bajo la influencia de la dinámica marina a través, fundamentalmente, del oleaje y las corrientes.

Dentro del área de estudio, la transgresión holocena, mencionada en la historia geológica, ha sido la causa de la erosión del farallón Würmiense costero, de donde procede la mayor parte de las arenas que el oleaje y las corrientes marinas se encargan de transportar y depositar.

El resultado es la génesis de un sistema morfogenético denominado Litoral, que presenta una morfología muy variada, cuyas unidades geomorfológicas se describen a continuación.

### A.1 Posplaya o Backshore

Es la zona de playa que está comprendida entre la línea de dunas litorales y una ruptura de pendiente llamada "berma" o "escalón de playa", que marca el límite de las aguas en la pleamar. El límite superior es a veces difícil de precisar por la variación que sufren las mareas a lo largo del ciclo lunar en el Océano Atlántico, aunque se suele considerar como tal, a la zona en la que ya aparece la vegetación permanente de tipo continental. El límite inferior también es difícil de marcar cuando existen varias bermas o ninguna. En cualquier caso, se puede definir como el área de la playa que sólo es cubierta por el agua durante los temporales (Obrador, 1973).

## A.2 Cordones litorales

Constituyen pequeñas elevaciones arenosas (0,5-1 m), que comienzan a formarse en la línea de "playa alta" y van asociándose a medida que se alejan de ella. Pueden considerarse como dunas embrionarias constituidas por arenas y conchas marinas que presentan una forma irregular debido a su gran movilidad, manteniéndose en general paralelas al litoral en dirección NW-SE.

## A.3 Flechas litorales (spits)

Son estructuras arenosas que corresponden, en general, a depósitos con punta libre ("spit") cuyo crecimiento se origina por sucesivas acumulaciones en forma de ganchos ("hooks") (Guilcher, 1957). El alargamiento de los mismos se relaciona con la deriva litoral y sus formas curvadas provienen de la refracción de las olas en la punta. Dichas formas son ajustables a una espiral logarítmica y constituyen una situación de equilibrio en el que el movimiento de materiales se reduce al mínimo (King, 1975).

Protegidas por estas bandas de textura gruesa, se depositan limos y arcillas que evolucionan a marismas de tipo mareal con una tupida red de esteros ("tidal marsh") (Figueroa y Clemente, 1979).

En general, la formación de "spits" tiene una gran influencia en la dinámica costera ya que se estabilizan las estructuras arenosas situadas entre el spit y la costa, aumentando la superficie de la plataforma litoral, a la vez que traslada la zona de mayor turbulencia (zona de alta dinámica) hacia mar abierto, donde comienzan a generarse nuevas estructuras arenosas constituidas por la unión de

distintos spits. Esta dinámica se hace particularmente patente a lo largo de la costa de Huelva, donde incluso se ha hecho necesario la construcción de un espigón que impida el cierre progresivo del estuario del Tinto y Odiel (Junta de Obras del Puerto de Huelva, 1979) (Figueroa y Clemente, 1979).

#### A.4 Estrán o Foreshore

El estrán es el área comprendida entre las líneas de marea alta y baja y por tanto, barrida diariamente por la oscilación del nivel del agua (Zazo, 1980).

#### A.5 Barras

Las barras son estructuras generalmente paralelas a la costa, situadas en la zona inferior del foreshore con una dirección que depende del ángulo de incidencia de la ola (Zazo, 1980). Estas construcciones arenosas presentan un perfil asimétrico que les confiere forma de gancho (Vanne y Menanteau, 1979).

La formación de las barras es debida a los remolinos hidráulicos que se originan en el rompeolas. La acción de la rompiente erosiona el flanco dirigido hacia el mar y deposita hacia tierra. La migración de la línea del rompeolas origina varias barras y explica el que una misma pueda formarse en una parte de la costa y migrar hacia otra menos profunda (Zazo, 1980).

Dichas formas suelen estar emergidas al menos en mareas bajas y aparecen a lo largo del litoral del área de estudio. En todos

los casos se trata de estructuras "libres", según la clasificación de Zenkovich (1967), y simples, es decir, de una sola barra con su correspondiente surco prelitoral. Estas formas pueden estar interrumpidas por pequeños canales de resaca (sip - current), adquiriendo entonces un aspecto festoneado (Zazo, 1980).

#### B. DOMINIO MARINO - CONTINENTAL. SISTEMA ESTUARINO

El Dominio Morfogenético Marino-Continental está representado fundamentalmente por el Sistema Estuarino, en el que la acción conjunta de las mareas y la dinámica fluvial originan una morfología característica, cuya unidad geomorfológica más representativa es la Marisma.

Según la definición de Berthois (1965), se considera el estuario de un río "la zona fluvial sometida a la acción oceánica que modifica la clorinidad de las aguas, tendiendo a aumentarla".

La sedimentación en el Dominio Marino-Continental está regida por la dinámica del estuario que depende de un equilibrio fluvio-marino inestable en el tiempo y en el espacio. En efecto, la corriente fluvial desarrolla una fuerza viva que se traduce en la zona estuarina en un empuje de las aguas continentales sobre las oceánicas que constituyen una barrera a su libre esorrentía. La intensidad de la fuerza desarrollada por el río depende esencialmente de su caudal en un período determinado mientras que la presión ejercida en sentido inverso por las aguas oceánicas, invasoras del estuario, dependen de la amplitud de la marea (Zazo, 1980). La acción contrapuesta de ambas fuerzas sitúa la zona del equilibrio fluvio-marino, según el cual Berthois (1965) hace una clasificación de los estuarios. Dicho autor considera que la zona de equilibrio en el estuario del Gua

dalquivir está próxima al litoral, aguas arriba, originándose un delta interno que emerge parcialmente. Es un estuario típico de cursos de agua que presentan grandes fluctuaciones (Zazo, 1980).

Según la amplitud de las mareas, Hayes (1975) incluye el estuario del Guadalquivir dentro de los Mesotidales con una amplitud de marea de 2 a 4 m. R.H. Fairbridge (1968) lo clasifica dentro del tipo "estuarios de barrera" que tienen la comunicación al mar parcialmente cortada por la existencia de flechas, barras y demás acumulaciones deltaicas.

Vanney (1970) afirma, por otro lado, que el estuario del Guadalquivir ha experimentado un fuerte cambio en el curso de su historia reciente, pasando del estadio de marisma marítima en la época romana (Lacus Ligustinus) al de delta interior recorrido por canales inestables responsables de su relleno rápido. El delta interno del Guadalquivir lo constituyen las Marismas, llanura de fango y arena recorrida por multitud de canales que se extienden a espaldas de la flecha litoral de Doñana. Desde un punto de vista morfológico, se trata de una marisma conforme, es decir, con pendiente que disminuye regularmente hacia el mar. Topográficamente, pueden distinguirse tres zonas: Marisma alta, media y baja. La primera está comprendida entre cotas de 3 a 6 metros y se sitúa hacia el NE (Vanney, 1970). La segunda, entre 2 y 3 metros, ocupa las marismas de la margen derecha con límite S en la Marisma Gallega. Finalmente, la tercera zona presenta una altura menor de 2 metros y se ubica en la parte S y SW.

Dentro de este conjunto pueden separarse las siguientes unidades geomorfológicas:

### B.1 Slikke

Zona de marisma cubierta por las mareas, incluso por las menos vivas. Dicha zona coincide con el concepto de "llanura mareal" (tidal flat) de otros autores. El agua que cubre la llanura durante la pleamar es llevada a través de un sistema de canales dendríticos dispuestos como las ramas de un árbol ("gully"). Los materiales que se depositan en un slikke suelen ser fangos, no existiendo en esta zona fanerógamas halófilas (Zazo, 1980).

### B.2 Schorre

Area sólo inundada durante las mareas vivas o grandes tempesades. Está constituida por sedimentos más arenosos que los anteriores, densamente cubierta por vegetación halófitas y recorrida por numerosos canales meandriiformes denominados "creek", que presentan tendencia a migrar lateralmente.

### B.3 Vetas y Paciles

Los paciles son elevaciones formadas por rellenos aluviales depositados verticalmente en el borde de los caños y brazos que recorren las marismas. Dichas bandas se presentan de forma discontinua debido a la erosión ocasionada por las migraciones laterales de los lechos fluviales (Menanteau, 1981).

Las vetas son, asimismo, pequeñas elevaciones de forma elíptica o redondeada y superficie muy variable. En general, se consideran como restos de antiguos paciles cortados por la erosión.



Los paciles y las vetas son perfectamente diferenciables durante las crecidas de la misma forma que los slikke y schorre durante las mareas (Verger, 1968), apareciendo delimitados por unos microacantilados que conforman las contra-vetas o caídas de vetas (Menanteau, 1981).

#### B.4 Lucios

Son formaciones deprimidas con aguas muy someras (no suelen sobrepasar los 50 cm de profundidad) de salinidad variable que depende de su situación dentro de la Marisma. Durante la época seca, presentan agrietamiento superficial acompañado en muchos casos de encostamientos salinos.

#### B.5 Caños

Son antiguos canales de marea que ya no funcionan más que como cauces de la escorrentía fluvial en épocas de crecidas y/o grandes lluvias. En general, presentan formas sinuosas, siendo los más importantes el Caño Guadiamar y el Arroyo de la Madre de las Marismas (Menanteau, 1981). En la parte norte, los caños reciben el nombre de "quebradas" (Valverde, 1960).

### C. DOMINIO CONTINENTAL. SISTEMA EOLICO

El Dominio Continental dentro del Parque Nacional de Doñana está representado por el Sistema Morfogénético Eólico, originado por la deposición de arenas volanderas en diferentes frentes dunares que cubren la formación Plio-Cuaternaria de arenas basales.

En este sistema pueden describirse diferentes Unidades Geomorfológicas. En efecto, trazando una línea imaginaria entre Matalascañas y el Palacio de Doñana, toda la zona norte puede considerarse como un vasto complejo dunar inmovilizado por la vegetación, cuya amplitud y nitidez permiten separar dos sistemas dunares heredados (Pou, 1977): Un sistema externo bien conservado, que constituye una barrera costera ininterrumpida a lo largo del litoral desde la Ría de Huelva a Matalascañas. De norte a sur dicho sistema se enriquece morfológicamente pudiéndose observar tres estadios progresivos, cuya división no se va a considerar por situarse fuera del área de estudio. El segundo sistema, denominado interno, ocupa gran parte del Parque Nacional de Doñana. Está formado por dos o tres generaciones dunares (Vanne y Menanteau, 1979) que han sido desmanteladas por la deflación, la fluctuación de la capa freática, así como por el arroyamiento somero correspondiente al drenaje de la zona hacia la marisma. El resultado es un manto eólico que pierde potencia rápidamente hacia el NNE y cuyas formas dunares se difuminan igualmente en la misma dirección, conservándose en la parte suroccidental del Parque (área de navés) y apenas reconocible en fotografía aérea hacia el arroyo de La Rocina, cerca de El Rocío.

Al sur de la línea imaginaria Matalascañas-Palacio de Doñana, aparece un sistema de dunas móviles actuales formadas por tres o cuatro frentes con ondulaciones alineadas en dirección NW-SE paralelas al mar y transversales al viento dominante. Se trata de un sis-

tema con una dinámica muy activa que avanzan hacia el interior con una velocidad en algunos enclaves superior a los 5 m/año (Allier y col., 1974, 1975; Torres, 1975).

Finalmente, los contactos entre estas dos grandes unidades (arenas estabilizadas y móviles) y entre las arenas estabilizadas y la marisma definen zonas que presentan características morfológicas muy definidas y variadas que las independizan de las áreas que limitan.

De todo lo expuesto, el Dominio Continental, ocupado por el Sistema Morfogénético Eólico, puede dividirse en tres grandes Unidades Geomorfológicas: Arenas estabilizadas, arenas móviles y zonas de contacto.

### C.1 Arenas Estabilizadas

Las arenas estabilizadas se sitúan al N de la línea imaginaria Matalascañas-Palacio de Doñana, así como en una pequeña zona al SE del Parque, representando alrededor de un 70 % del área de estudio. Se trata de un sistema antiguo de dunas de potencia variable y extensión de unos 25 Km hacia el interior (García Novo, 1980) en el que pueden distinguirse varias fases dunares sucesivas que han ido variando de dirección a lo largo del Cuaternario en función a los vientos dominantes, que han rolado de W a SW (Pou, 1977).

Las dunas que conforman los frentes pueden ser transgresivas (Davies, 1980) o parabólicas (Chapman, 1976; McKee, 1979), y se encuentran alineadas en frentes parcial (SW) o totalmente arrasados (N-NE), pero siempre con una ondulación suficiente como para reco-

nocer una orientación N-S. El factor responsable de la mayoría de variación dentro de esta unidad es la profundidad de la capa freática, estrechamente relacionada con la topografía (Allier y col., 1974). En función de dicho factor, se pueden separar dos grandes subunidades que a su vez coinciden con la diferenciación fisiográfica anteriormente mencionada en relación con el estado de conservación de los frentes dunares: Naves y Manto arrasado.

Como se ha indicado, al SE del Parque Nacional de Doñana aparece asimismo un pequeño enclave de arenas estabilizadas, alrededor del Palacio de las Marismillas, cuyo origen es completamente diferente al de las Naves y Manto arrasado. En efecto, constituyen diferentes spits que han ido cerrando el antiguo Lacus Ligustinus hasta convertirlo en la actual Marisma. Son arenas de distinta composición mineralógica y granulométrica a las situadas hacia el N del Parque y presentan una disposición en frentes curvados en forma de ganchos de morfología similar a la actual Punta del Malandar (desembocadura del Guadalquivir).

Pueden, por tanto, distinguirse tres Subunidades dentro de la gran Unidad Geomorfológica de arenas estabilizadas: Naves, Manto arrasado y Cordones de la Marismilla.

#### C.1.1 Naves

Las Naves se corresponden con las zonas más altas de las arenas estabilizadas, situándose hacia el SW del área de estudio. Las Naves o dunas fijas presentan una alineación N-S, por lo que parecen haber sido originadas por vientos predominantes del W. Están bien conservadas y se encuentran interrumpidas por ligeras depresiones, vestigios de los valles interdunares del antiguo sistema. A excep-

ción de estas pequeñas depresiones, la capa freática aparece a gran profundidad (más de 3 m), lo cual, unido a un sustrato muy permeable, condiciona una vegetación muy característica que impide la movilidad de dicho sustrato.

En función de la profundidad de dicha capa freática, condicionante del desarrollo vegetal, se ha dividido la Subunidad "Naves" en los siguientes Elementos Morfoedáficos:

#### C.1.1.1 Alto de nave

Comprende las partes altas de las dunas, encontrándose las cotas más elevadas de la Unidad de arenas estabilizadas (cota de 32 m). Las arenas presentan un color amarillo anaranjado debido a la presencia de óxidos de hierro que recubren los granos. La gran profundidad de la capa freática (más de 3 m en la época húmeda) y la poca alterabilidad del sustrato condicionan suelos con escaso desarrollo y perfiles poco diferenciados, no observándose horizontes de alteración ni acumulación.

#### C.1.1.2 Ladera de nave

Se define como zona intermedia entre el elemento morfológico descrito anteriormente y los enclaves más deprimidos. En esta situación, la capa freática afecta ligeramente al sustrato en profundidad durante la época húmeda. Como consecuencia, existe un cambio pequeño en la cobertura vegetal y las especies que la constituyen. Al mismo tiempo, se produce una redistribución de los óxidos de hierro que recubren los granos de arena, organizándose suelos con horizontes profundos, ligeramente hidromorfos.



C.1.1. Naves : Alto y Ladera de Naves.



C.1.2. Manto arrasado : Alto, ladera y bajo de dunas.

### C.1.1.3 Bajo de nave

El área de bajo de nave está constituida por pequeñas depresiones entre los antiguos frentes de avance, actualmente estabilizados, que parecen corresponder a restos de antiguos corrales.

La mayor altura de la capa freática provoca un aumento de la humedad del sustrato que se traduce en una cobertura vegetal más densa y en el desarrollo de un horizonte orgánico más potente. Paralelamente, existe un lavado más intenso que, unido a la presencia de compuestos orgánicos, decolora las arenas hacia tonalidades blanco-grisáceas, apareciendo horizontes claramente hidromorfos con manchas de óxido-reducción (Clemente y col., 1984).

### C.1.2 Manto Arrasado

El Manto Arrasado o Manto Eólico (Leyva y Pastor, 1976 a, b) está compuesto por 2 o 3 generaciones dunares interiores, dismanteladas por la deflación y erosionadas por el drenaje (Vanney y Menanteau, 1979). Presentan un escaso relieve, vestigio apenas visible de lo que fueran antiguas dunas. El conjunto se presenta como un glacis de erosión cuyos límites son las arenas móviles al S, la marisma al E y los materiales Pliocuaternarios al N. Debido a la erosión, la capa freática se encuentra más cercana a la superficie que en la Unidad anterior, aflorando durante la época húmeda en numerosos enclaves.

El manto arrasado consta de un mayor número de Elementos Morfoedáficos, debido a las grandes posibilidades de variabilidad de situaciones que ofrece la capa freática presente a menos de 2 m

durante la época estival, y al desarrollo edáfico y vegetal que ello conlleva. Dichos Elementos Morfoedáficos son los siguientes:

#### C.1.2.1 Alto de duna

El área que comprende las partes altas puede homologarse a la zona anteriormente comentada dentro de las Naves, denominada "alto de nave". Esta parte del manto arrasado presenta un escaso desarrollo edáfico, aunque, en general, ligeramente superior al de las naves, debido a la influencia de la capa freática en la profundidad del perfil. Siguiendo la comparación con el área de naves, la vegetación es asimismo escasa, aunque menos rala y de composición diferente, como se recoge en el capítulo correspondiente.

#### C.1.2.2 Ladera de duna

Las zonas intermedias y difusas que existen entre las partes más elevadas y las depresiones han sido denominadas "laderas". En esta situación, la capa freática afecta más al sustrato que en la subunidad de ladera de nave anteriormente descrita, provocando grandes manchas de hidromorfía. La consecuencia es una mayor cobertura vegetal así como un cambio en las especies y una removilización parcial de la cutícula de óxidos de hierro que recubren los granos de arena, organizándose suelos con horizontes profundos hidromorfos y superficiales ligeramente más orgánicos (Clemente y col., 1983).



### C.1.2.3 Bajo de duna

Son áreas deprimidas que aparecen entre las dunas erosionadas del manto arrasado, coincidentes probablemente con restos de antiguos corrales. En dichas situaciones, la mayor altura de la capa freática, que incluso puede aflorar en superficie en la época más húmeda provoca una densa cobertura vegetal, favorecedora de la formación de un potente horizonte orgánico. Esta evolución de los suelos hacia una mayor acumulación de materia orgánica en superficie provoca una mayor acidez, que junto al lavado presente en el área, favorece una decoloración de las arenas hacia tonalidades blanco-grisáceas, con horizontes profundos que pueden llegar a considerarse de gley (Clemente y col., 1984).

### C.1.2.4 Bosque Conservado

En algunas zonas deprimidas, principalmente en la parte N y E de la Reserva Biológica de Doñana, la vegetación alcanza una etapa próxima al clímax que corresponde al bosque potencial, hoy desaparecido. El ejemplo más característico lo constituye "Encinillas Altas", donde existe un desarrollo edáfico caracterizado por la formación de un potente horizonte orgánico. Las condiciones de lavado anteriormente mencionadas se intensifican, dando lugar a una total evacuación de los óxidos de hierro a través de la capa freática que puede aflorar en la época más húmeda (Clemente y col., 1981).

#### C.1.2.5 Lagunas temporales

Dentro del manto arrasado aparecen una serie de charcos o lagunas, que en la época húmeda retienen el agua de lluvia por el carácter impermeable del fondo de textura fina y por la proximidad de la capa freática.

Estas pequeñas lagunas temporales podrían corresponder a corrales húmedos, donde la presencia del agua ha permitido la sedimentación de los elementos finos (limos fundamentalmente) que constituyen su fondo. Los sondeos realizados muestran una serie de discontinuidades granulométricas que estarían de acuerdo con alternancias en el tiempo de períodos más secos (invasión de arenas) y más húmedos (deposición de limos).

Las lagunas están enlazadas en su mayor parte por un sistema de drenaje que termina en caños más o menos encajados por donde desagúa a la marisma la red de drenaje de las arenas estabilizadas (Allier y col., 1974).

#### C.1.2.6 Eucaliptar

La zona más al norte del Parque Nacional de Doñana está ocupada por un eucaliptar de repoblación que se corresponde, al mismo tiempo, con el área de manto arrasado de menor potencia. En efecto, las arenas basales pliocuaternarias aparecen a una profundidad aproximada de 1 m, llegando a aflorar en algunos sitios.

La discontinuidad litológica que suponen las arenas eólicas enterrando las arenas compactas basales, provoca una hidromorfía de tipo pseudogley primario (Duchaufour, 1963). Los suelos son, por



C.1.2. Manto arrasado : Bosque conservado

C.1.2. Manto arrasado :  
Eucaliptar.





C.1.2. Manto arrasado : Lagunas temporales (Navazo del Toro inundado).



C.1.2. Manto arrasado : Lagunas temporales (Navazo del Toro seco).

tanto, hidromorfos con horizontes orgánicos muy poco potentes debido a la escasa presencia de matorral, condicionado por el eucaliptar.

#### C.1.3.1 y C.1.3.2 Cordones de la Marismilla

Los cordones de la Marismilla se presentan como una serie de crestas subparalelas de dirección NW-SE, claramente identificables en la fotografía aérea. Dichas crestas, redondeadas y bajas (no superan los 10 m), alternan con pequeñas depresiones que se encharcan en épocas lluviosas al encontrarse prácticamente al mismo nivel de la pleamar (Menanteau, 1981).

La presencia de numerosos bivalvos en el fondo de las depresiones parece confirmar el origen marino de estos cordones, que corresponderían a un alargamiento de bancos de arena por unión de flechas (spits) sucesivas (Vanney y Menanteau, 1979; Vanney y col., 1979). Según Hails y Carr (1975) y Zenkovich (1967), se trata de una dinámica de evolución geomorfológica muy clásica.

Hacia el sur, los cordones se espacian, observándose una ligera desviación en la dirección del aporte arenoso, que pasa de ser NW-SE a WNW-ESE, lo cual indica que se ha producido un giro en el trazado de la costa del NW hacia el SE.

El área ocupada por los cordones de la Marismilla se ha visto reducida por el avance de las arenas móviles, de un lado, y por otro, por erosión del río, como lo testifica el cordón que rodea el lucio del Membrillo que muestra trazas visibles de inmersión fluvial (Menanteau, 1981).

Asimismo, la reconstrucción, mediante la fotografía aérea,





C.1.3. Cordones de la Marismilla: zonas  
alta y baja (Vista aérea).

de los cordones dunares más allá de la margen izquierda del Guadalquivir, implica un retroceso de sus extremidades de alrededor de 1 Km. Esto evidencia una deriva local hacia el oeste del lecho del Guadalquivir, con la consiguiente erosión de dicha área.

## C.2 Arenas móviles

La segunda gran unidad geomorfológica comprende las arenas móviles. Estas ocupan una estrecha franja al SW del Parque, paralela al litoral y con una extensión de aproximadamente 30 Km. Empiezan a formarse a unos 5 Km de Torre la Higuera coincidiendo con la desaparición de las dunas fijas, a las que recubren en parte, y terminan en la desembocadura del Guadalquivir, con una dirección de avance SW-NE.

La desaparición de las dunas fijas, enterradas por la progresión de las arenas móviles, parece apoyar la hipótesis de un basculamiento de la costa hacia el este producido, probablemente, por una subsidencia en el área de la desembocadura del Guadalquivir, que provocaría un efecto doble. Por un lado, las dunas situadas al oeste de Torre la Higuera se estabilizan ya que no reciben nuevos aportes al no poder remontar las arenas el desnivel del acantilado. Por otro, hacia el este, el mar erosiona las dunas antiguas, siendo posteriormente cubiertas por nuevos frentes que constituyen uno de los más importantes complejos dunares de Europa (Ranwell, 1972). En algunos puntos de dicho complejo dunar aparece la superficie de arenas basales como testigos de dicha erosión (Torres y col., 1977).

El sistema de arenas móviles está constituido por 3 o 4 frentes bien definidos, de altura y velocidad variables que se mueven so-



C.2. Arenas móviles: Frentes, corrales y  
contradunas (vista aérea).



bre una base de arenas humedecidas por el nivel freático en dirección SW-NE, coincidente con el viento dominante. Dentro de dicho sistema pueden distinguirse diversas estructuras relacionadas con la dinámica del mismo, que constituyen las siguientes subunidades: Frentes móviles, Corrales y Gusanos.

### C.2.1 Frentes dunares

En esta subunidad pueden diferenciarse dos tipos de trenes dunares con dinámica diferente: un tren litoral y otro interno. El primero está compuesto por dunas de pequeño tamaño y gran movilidad, denominadas "dunas embrionarias". Comienzan a formarse en la "playa alta", constituyendo en un principio montículos de arena que después se unen, crecen y avanzan hacia el interior (Paul, 1944, 1953). A unos 200 m de la playa, se forma un tren interior irregular, más o menos continuo y paralelo al litoral. A medida que dicho tren se vá alejando de la línea de costa disminuye su velocidad, permitiendo ser alcanzado por las sucesivas dunas que se forman en la zona alta de la playa. El resultado es un frente de dunas bien desarrollado, de mayor tamaño que el inicial, que avanza hacia el interior (Torres y col., 1977). En general, la pendiente de deflación en las dunas litorales ( $5^{\circ}$ ) es mayor que en los trenes internos, mientras que la pendiente de vertido es menor ( $11^{\circ}$ ) (Allier y col., 1974). De una forma general, puede afirmarse, que los trenes internos son más regulares. Su principal característica es la asimetría ya que presentan una pendiente de deflación muy tendida de aproximadamente  $3$  o  $4^{\circ}$  (Allier y col., 1974) y otra de avance muy abrupta que varía en función de la altura que alcanza la duna, ya que al aumentar ésta también lo hace el límite de estabilidad de las arenas, encontrándose pendientes en el Parque Nacional de hasta  $48^{\circ}$  (Torres y col., 1977).



C.2.1. Frentes móviles avanzando sobre un corral.



C.2.1. Frente móvil: Avance  
por derrumbamiento de  
las crestas.

La dinámica de avance de los trenes dunares consiste en el transporte de la arena por el viento que va acumulándose en la cima de la duna hasta que, alcanzado un punto de desequilibrio, se derrumba en amplias avalanchas. El resultado es el avance del tren de dunas a una velocidad irregular en el espacio y en el tiempo. García Novo y col. (1975) han determinado en el frente dunar del Corral Largo una velocidad de avance muy variable pero que llega a superar los 5 m/año en zonas concretas.

La movilidad de las arenas impide el desarrollo edáfico, por lo que los suelos a considerar no presentan más que un horizonte C constituido por granos redondeados de color claro como consecuencia del lavado sufrido en el mar.

### C.2.2 Corrales

Los corrales son valles interdunares de fondo horizontal y húmedo que corresponde a la capa freática del conjunto. Por la proximidad de dicha capa freática, la arena adquiere una coherencia que permite el desplazamiento de las dunas sobre dicho fondo. Al pasar la duna, la arena barrida por el viento queda retenida por el agua ascendente por capilaridad, apareciendo detrás del tren una superficie casi horizontal (cola de duna) que dará origen a un nuevo corral.

Los corrales situados delante de los frentes más activos tienen una edad media de 40 años (Allier y col., 1974), variando enormemente en función de la velocidad del frente y del tamaño del corral. La vegetación que se establece (constituida fundamentalmente por pinos que pueden sobrepasar los 40 años y 15 m de altura) es invadida por las arenas, muriendo y quedando esqueletizada. Una vez pasada la

duna, la reconstrucción comienza de nuevo a partir de la base de la "cola" o extremo de la pendiente de deflación (Allier y col., 1974; Figueroa, 1976).

El funcionamiento de la capa freática es fundamental en la formación de los corrales. En un transecto que fuera desde el mar hacia la marisma, la capa freática presenta, de manera general, un abombamiento en el centro del sistema dunar, especialmente bajo los corrales, para hundirse ligeramente en los extremos como resultado de un mayor volumen de agua percolada a través de las márgenes en comparación con la zona central (Ranwell, 1972; Vela, 1984).

Este modelo es de especial aplicación en el caso de los corrales donde la capa freática sube ligeramente, adoptando una forma de platillo con los bordes inclinados hacia abajo en su periferia (Ranwell, 1972).

El funcionamiento de los corrales está, por tanto, muy condicionado al de la capa freática y en razón a ésta pueden ser clasificados en secos y húmedos.

#### C.2.2.1 Corrales húmedos

Presentan un nivel freático próximo a la superficie que puede aflorar en la época más húmeda. Según afirma Salisbury (1952), la superficie húmeda del corral que queda expuesta en el curso de la erosión de las dunas se calienta por efecto de los rayos solares, conformando un sustrato ideal para el establecimiento de semillas. En efecto, a medida que se vá retirando el antiguo frente, se van implantando ejemplares de Pinus pinea L., fundamentalmente, cuya ecología se adapta perfectamente a la del sistema de dunas móviles. A medida que

el nuevo frente avanza, el pino crece al mismo tiempo que vá siendo enterrado, pasando por un estadio denominado "pino bola" (Figueroa, 1976) durante el cual la parte superior de la copa asoma por encima del tren de dunas. En raras ocasiones, el pino (o sabina y/o enebro en corrales muy secos) sobrevive, quedando sobre montículos denominados "cerros testigos".

En los corrales húmedos es posible el inicio de los procesos edafogénicos, condicionados fundamentalmente por la capa freática que provoca fenómenos de hidromorfía de tipo gley y/o pseudogley en ocasiones muy concretas.

#### C.2.2.2 Corrales secos

Suelen representar comunidades muy evolucionadas, y en algunas ocasiones, hábitats de tránsito. Se originan delante de frentes dunares prácticamente estabilizados; o bien, en el segundo caso, en la ladera de sotavento de los frentes y ocasionalmente en zonas más amplias donde cambios producidos en el contorno de la duna han producido una re-erosión de una zona dunar baja. En este tipo de corrales son las influencias biológicas, en vez de otros factores ambientales, las que controlan los cambios en la comunidad (Ranwell, 1972). Los suelos presentan muy poca evolución debido al escaso desarrollo del horizonte orgánico y a la gran profundidad de la capa freática.

### C.2.3 Gusanos

(Dentro del Parque Nacional de Doñana se conocen por Gusanos a unas pequeñas lomas arenosas muy alargadas que aparecen en los corrales, haciendo que el fondo de los mismos presente una serie de ondulaciones paralelas entre sí y a la cola de la duna precedente (García Novo, 1975).

La superficie piezométrica de la zona presenta una pendiente máxima del 1 % (Ramírez, 1973). Por esta razón, aparece agua libre o humedad elevada en la cola de la duna, siendo por tanto un buen enclave para la implantación de semillas. Si este fenómeno coincide con una detención o disminución de la velocidad de avance del tren, la vegetación coloniza dicha cola de duna, fijándola. Cuando el frente comienza de nuevo a desplazarse, deja atrás de sí parte de la cola, que da lugar a una futura contraduna (García Novo y col., 1975). Además de esta hipótesis sobre el origen de los gusanos, que parece ser la más aceptada, Allier y col. (1974) propone un origen similar al de los Gegenwällen descritos por Paul (1944, 1953) en las dunas de la Kurischen Nehrung. Según dicho autor, los vientos de dirección opuesta a los dominantes, al soplar durante períodos secos suficientemente largos, hacen descender la arena por la pendiente de deflación de la duna principal. En el corral, la arena queda fijada por una vegetación pionera especial que participa en la edificación de las contradunas. Vanney y Menanteau (1979), por otro lado, las interpretan como antidunas antiguas modeladas por los vientos erosivos al abrigo de una gran duna o bien, como crestas abandonadas por la cola de una duna cuya base, inmovilizada por la humedad, no ha podido seguir avanzando. Dichos autores definen, asimismo, unas estructuras semejantes a los gusanos, que denominan interdunas. Las interdunas, asegurarían el enlace entre las grandes dunas vivas que encierran un corral, y se habrían originado a partir de los brazos residuales de antiguas dunas parabólicas.

Todas las hipótesis mencionadas pueden ser válidas aunque no en la misma medida, sobre todo para una zona concreta.

La subunidad geomorfológica denominada Gusanos dentro del Parque Nacional de Doñana abarca un área situada al sur de la laguna de Santa Olalla donde existe un gran desarrollo de contradunas en formas semicirculares y concéntricas.

De acuerdo con Ramírez (1973) y García Novo (1975), estos gusanos serían restos de la cola de un frente dunar cuya parte central ha desaparecido dentro de la laguna de Santa Olalla continuando su avance por ambos lados. La disminución de superficie de dicha laguna en tiempos recientes apoya esta teoría como se desprende de los datos que se encuentran recogidos en los archivos ducales de Medina Sidonia (Granados, 1981).

En esta subunidad, se han separado dos elementos morfológicos en función, una vez más, de la profundidad de la capa freática: Gusano alto y Gusano bajo.

#### C.2.3.1 Gusano alto

Corresponden a pequeñas lomas arenosas de escasa altura (entre 0,5 y 1 m) y forma semicircular, que borden la orilla S-SW de la laguna de Santa Olalla.

En estas pequeñas elevaciones, el nivel freático oscila aproximadamente entre 60 cm en primavera a 180 cm al final del verano y condiciona una vegetación pionera que aporta poca materia orgánica al sustrato. Estas circunstancias hacen que los suelos sean poco evolucionados con horizonte orgánica de escaso desarrollo y ligeras manchas de hidromorfía en profundidad.

#### C.2.3.2 Gusano bajo

Se denominan así las pequeñas depresiones que separan dos Gusanos altos. Por tanto, se presentan como surcos paralelos y semi-circulares que se hacen concéntricos y más húmedos conforme se acercan a la laguna.

El nivel freático se presenta más cercano a la superficie, llegando a inundarla en la época húmeda. La mayor profundidad registrada en la época seca ha sido de 70 cm, por lo que la parte inferior del perfil de suelo se encuentra permanentemente encharcada. Esta humedad permite el establecimiento de una densa cobertura herbácea que origina un importante horizonte orgánico.

#### C.3 Zonas de Contacto

Por sus características muy especiales y la variedad de elementos morfológicos que se reconocen, conviene separar una tercera unidad geomorfológica dentro del área de estudio. Dicha unidad comprende las zonas de contacto de los tres grandes ecosistemas del Parque Nacional de Doñana: arenas estabilizadas, arenas móviles y marisma.

La primera zona se conoce con el nombre de "Vera" y se sitúa en el límite entre las arenas estabilizadas y la marisma, formando una orla alrededor de ésta que desaparece sólo hacia el sur cubierta por las arenas móviles que invaden directamente los fangos marismes.

La segunda zona corresponde al área limítrofe entre las arenas móviles y estabilizadas. En ella aparece un rosario de lagunas



permanentes que en épocas excepcionalmente lluviosas pueden unirse desaguando hacia la marisma.

Ambas zonas presentan como característica común una gran humedad a lo largo de todo el año a causa de la proximidad del nivel piezométrico del acuífero del área de estudio (IGME, 1983). Esta circunstancia convierte dichas zonas de contacto en las más productivas del Parque, creándose unas biocenosis muy especiales.

### C.3.1 Vera

La Vera comprende la zona de contacto de las arenas estabilizadas con la marisma, constituyendo una discontinuidad ecológica entre ambos sistemas. Se presenta como una franja en dirección aproximada N-S con una anchura que puede variar entre 200 y 1500 m, en cuyo espacio el nivel topográfico baja dos o tres metros. Hacia el sur desaparece enterrada por el avance sobre la marisma de las arenas móviles, apareciendo un límite brusco y neto.

La Vera se encuentra cortada por una serie de caños que recogen el drenaje del área de arenas estabilizadas. La presencia de estos caños aumenta la ya alta dinámica geomorfológica del área, observándose gran cantidad de interdigitaciones, fundamentalmente en sentido vertical, de los sedimentos limo-arcillosos de la marisma y arenosos de la unidad colindante. La realización de diversos sondeos ponen de manifiesto este extremo y según el predominio y la disposición de dichos sedimentos, puede distinguirse una Vera arenosa y otra arcillosa.



C.3.1. Vera (época húmeda).



C.3.1. Vera (época seca).

#### C.3.1.1 Vera arcillosa

La vera arcillosa equivale aproximadamente a lo que Allier y col. (1974) denomina Premarisma. Corresponde a una estrecha franja limitada por el Caño de las Madres de las Marismas del Rocío, que se amplía hacia el N aprovechando las desembocaduras de los arroyos Soto Grande, Soto Chico y Rocina, principalmente.

Existe un gran contraste entre esta zona y la vera arenosa tanto desde el punto de vista sedimentario (limos y arcillas de origen aluvial) como geoquímico. En efecto, mientras que la zona considerada anteriormente tiende a la oligotrofia y a la distrofia, presentando problemas de nutrición mineral, la Vera arcillosa se caracteriza por su alcalinidad. Al mismo tiempo, como consecuencia de su textura, es escasamente permeable, lo que provoca una inundación periódica coincidente con la época invernal.

La transición entre las veras arenosa y arcillosa es, a veces clara pero en ocasiones ocurre a través de un complicado mosaico de praderas de diferentes especies hasta llegar a la marisma más salina.

#### C.3.1.2 Vera arenosa

Corresponde a la zona de contacto con la marisma que presenta una textura francamente arenosa hasta por lo menos 1 m de profundidad. Por tanto, sus características estarán influenciadas por las arenas estabilizadas, presentando suelos similares a los de dicha unidad geomorfológica. En efecto, salvo que la discontinuidad litológica que representan los sedimentos de la marisma aparezcan en el

perfil, los suelos son poco evolucionados, con escaso desarrollo del horizonte orgánico y manchas de hidromorfía en profundidad.

Uno de los accidentes morfológicos que mejor caracteriza la Vera arenosa es la presencia de una costra ferruginosa formada por arenas cementadas por óxidos de hierro (Siljeström, 1981). Estas costras aparecen en los alrededores de los caños de desagüe a una profundidad que oscila entre 1 m en la parte más alejada de la marisma, y 55 cm, en la más próxima. Esta profundidad corresponde siempre al límite superior de fluctuación de la capa freática, donde precipitan los óxidos de hierro que han sido reducidos, complejados y evacuados del área de arenas estabilizadas (Clemente y col., 1981).

#### C.3.1.3 Nucle

El Nucle representa un enclave muy peculiar, que no puede ser englobado dentro de la vera arenosa aunque esté situado dentro de ella. En efecto, representa a un típico lugar de descarga del acuífero de las dunas móviles, que se refleja en una gran acumulación de sales en superficie, fundamentalmente carbonatos, como se discutirá más adelante.

#### C.3.1.4 Arroyos

Como se ha indicado anteriormente, en la parte N existen arroyos bien encajados en el manto eólico y con su cauce excavado en las arenas basales, a las que a veces ponen al descubierto.

Se incluyen en la zona de contacto ya que es en sus desembocaduras a la marisma donde se desarrollan condiciones especiales



C.3.1. Vera: Nucle



C.3.1. Vera: Arroyos.

(edáficas y de vegetación, fundamentalmente), que dan una clara iden tid ad a éste elemento morfológico. La principal característica es el desarrollo de un bosque galería que pasa a un denso carrizal, encharcado la mayor parte del año, que origina suelos turberizados o tendentes a ellos.

### C.3.2 Lagunas permanentes

Delante del último frente de dunas móviles y en toda su extensión, aparecen una serie de lagunas que mantienen el agua durante todo el año, salvo en épocas de especial sequía. Su origen podría estar en un antiguo brazo fluvial que ponía en contacto el mar con las marismas como parece poner en evidencia la teledetección y la in ter pre ta ción de la fotografía aérea (Menanteau y Pou, 1978; Menanteau, 1981), en la que se observa de forma clara el trazado del lecho de un antiguo canal que se prolongaba hacia el sur de la laguna del Sopotón. A favor de esta teoría está el hecho de que en épocas de máxima pluviosidad, las lagunas se conectan entre sí y desaguan en la marisma a través de un caño claramente diferenciado.

La alimentación de las lagunas se efectúa directamente por las precipitaciones e indirectamente por la descarga del acuífero de las arenas móviles en la zona de contacto con el sistema de drenaje de las arenas estabilizadas colindantes (Vela, 1984). En efecto, la ap or ta ción de agua de las dunas a la cadena de lagunas es con si de ra ble ya que aumentan el balance hídrico de la superficie por varios mecanismos como son una menor evapotranspiración (mala conductividad del suelo y escasa vegetación), mayor drenaje del agua de lluvia y aumento de la condensación del rocío y su percolación al interior.

A pesar de tener un mismo origen, las lagunas presentan diferencias en la composición química del agua (Hernando, 1978; Toja y Furest, 1981; Vela, 1984), en el fitoplancton (Margalef, 1976) y en el zooplancton (Armengol, 1976).

Dentro de la subunidad lagunas permanentes se diferencian los siguientes elementos morfológicos en función al tiempo en encharcamiento y a las características del sustrato: Bordes higrofíticos y Fondos de laguna.

#### C.3.2.1 Borde higrofítico

Se considera borde higrofítico a una banda de textura arenosa o limo-arenosa que rodea las lagunas, en la que la saturación en agua a lo largo del año permite el establecimiento de un pastizal acompañado de un juncal característico. El borde higrofítico puede considerarse como una zona distrófica que varía sensiblemente hacia la laguna, donde existe abundante materia orgánica en suspensión que contribuye a la formación de suelos higróturbosos (Allier y col., 1974).

En el límite exterior del borde higrofítico, los suelos son menos hidromorfos, aunque la vegetación herbácea que sostienen aporta suficiente materia orgánica para la formación de suelos de tipo isohúmico.

#### C.3.2.2 Fondo de laguna

Es el área normalmente cubierta por el agua. La existencia de esta lámina acuosa provoca la sedimentación de partículas finas, así como de la materia orgánica que abunda en suspensión. El resultado es una textura mucho más fina que la del borde higrofitico, predominando limos y arcillas.

En épocas de sequía, como la ocurrida recientemente, la desaparición del agua permite la colonización temporal de una vegetación de carácter halófilo. Los suelos son, por tanto, algo salinos y muy hidromorfos, presentando un intenso proceso de reducción puesto de manifiesto por el fuerte olor sáprico debido al  $\text{SH}_2$ .





C.3.2. Lagunas permanente: Borde higrofítico y Fondo de la laguna del Taraje (época seca).



C.3.2. Lagunas permanentes: Vista de la laguna de Santa Olalla con el frente dunar móvil al fondo (época húmeda).

IV: VEG ETAC ION

Verde, que te quiero verde.

Verde viento. Verdes ramas....

Verde que te quiero verde,

bajo la luna gitana....

(F. García Lorca)

La vegetación en el Parque Nacional de Doñana aparece como un fiel reflejo de los factores ecológicos dominantes en cada uno de los diferentes dominios morfogenéticos. Puede afirmarse que las diferentes asociaciones y/o grupos de vegetación y su distribución en todo el área de estudio guardan una estrecha relación con la geomorfología, de forma similar a la que existe entre ésta y los suelos. Por ello, pueden describirse dichas asociaciones según las distintas unidades geomorfológicas anteriormente comentadas, que a su vez están condicionadas por el predominio de algún factor ecológico. Dicho factor predominante es aquel cuyos cambios son responsables de la mayor cantidad de variación dentro del área de estudio (Dansereau, 1957; Huguet del Villar, 1928).

Asimismo, se intenta dar una aproximación sobre la evolución vegetal en el área de trabajo a través de un estudio de las sucesiones, en su mayor parte secundarias. En efecto, la vegetación de Doñana no presenta una sucesión primaria (salvo escasas excepciones), como cabría esperar de un Parque Nacional, debido a que su reciente crea

ción no ha permitido la recuperación de la vegetación climácica tras el intenso manejo sufrido.

Ciertos ejemplares arbóreos sugieren la primitiva existencia de un bosque mediterráneo en todo el área ocupada actualmente por comunidades de matorral. El bosque estaría compuesto por alcornoques y madroños en las partes más húmedas, enebros y sabinas en la cercanía de la costa y un denso matorral de coscoja, acebuches y algún alcornoque en las zonas más secas, permaneciendo el pino piñonero relegado a los lugares más inestables (García Novo, 1979).

El hecho de que no exista un bosque de este tipo, que representa la etapa madura del ecosistema, se debe a la tremenda presión ejercida por el fuego, talas, rozas y pastoreo, teniéndose constancia en los archivos ducales de Medina Sidonia del aprovechamiento de las sabinas, pino piñonero o incluso del cultivo de cereales, cuyos surcos paralelos se observan aún hoy en algunas comunidades de matorral (Martín Vicente, 1977).

Debido a la baja fertilidad que presentan los suelos arenosos, el fuego ha sido particularmente perjudicial en Doñana. En efecto, cuando el horizonte orgánico arde, el humus se mineraliza rápidamente y es lavado y evacuado del perfil. Este hecho, producido una y otra vez, ha empobrecido considerablemente el suelo, lo que unido al elevado número de herbívoros, dificulta la implantación de la vegetación anterior, favoreciéndose las especies pirofíticas y colonizadoras. El resultado de estos procesos (García Novo, 1979) es la desaparición del bosque, que tiene lugar desde hace 300 años.

Así pues, la vegetación de Doñana, exceptuando la que sufre una destrucción anual como ocurre en la marisma, es el resultado de una sucesión secundaria, apreciándose en ella una gran adaptación al

fuego y un mayor número de especies pirofíticas a las que cabría esperar. A pesar de todo, y en lugares muy húmedos y difícilmente accesibles al fuego, aparecen algunos restos de vegetación conservada (García Novo, 1979), como se describirá más adelante.

De una manera muy general y a grandes rasgos, pueden separarse tres dominios morfogenéticos, que coinciden con los ya descritos en el capítulo anterior. En el dominio Marino, la inestabilidad del sistema, el límite de las mareas y la salinidad del aire son los principales factores controlantes de la vegetación, mientras que en el Marino-Continental lo son la salinidad del medio y el tiempo de encharcamiento. En el tercer dominio, Continental, dichos factores son la profundidad de la capa freática y la movilidad del sustrato. Al centrarse el estudio en el tercer dominio, los otros dos serán descritos con menor profundidad.

#### A. DOMINIO MARINO: LITORAL

Está constituido por la zona de playa y presenta un escaso desarrollo de la vegetación. Esta se encuentra fuertemente condicionada por las sales que transportan las brisas marinas así como por la gran dinámica que presenta el sistema, frenando su evolución.

La zona barrida por las olas (estrán), no presenta ningún tipo de vegetación. Esta comienza a aparecer en el límite de la pleamar, donde las mareas equinocciales arrojan algunos depósitos de restos orgánicos. Suele ser una vegetación pionera halonitrófila y psamófila, constituida por terófitos de talla mediana, que a veces poseen tallos y hojas algo suculentos. Esta comunidad ha sido denominada de Centaurea polyacantha y Cakile aegyptiaca por Rivas Martínez y col. (1980).

En la unidad de cordones litorales, fuera ya de la influencia mareal, aunque con una gran inestabilidad de sustrato por ser donde comienzan a formarse las dunas embrionarias, la vegetación anterior cede su lugar a la asociación Euphorbio-Agropyratum junceiformis R. Tx. in Br. - Bl. & R. Tx. 1952, formada fundamentalmente por la gramínea rizomatosa Agropyron junceiforme (A. & F. Löve) A. & D. Löve, y por otras especies psaméfilas litorales vivaces (Rivas Martínez y col., 1980).

#### B. DOMINIO MARIO - CONTINENTAL: MARISMAS

El sistema morfogenético estuarino, representado por el ecosistema de marisma, se caracteriza por un encharcamiento temporal y periódico, consecuencia de las propiedades físicas del sustrato, asociadas a las altas precipitaciones invernales. Esta inundación, junto con la salinidad del medio, caracteriza los patrones de distribución de la vegetación. De una manera general, y en función de la conductividad eléctrica, se puede dividir la marisma en tres grandes zona (González Bernáldez y col., 1977):

##### - Marisma dulce

Presenta una conductividad media de 800  $\mu$ hos/cm y un mayor tiempo de inundación, pudiendo llegar la lámina de agua a los 40 cm o más. Corresponde a zonas ligeramente deprimidas o con un importante aporte de agua, como son aquellas limítrofes del caño de la Madre de las Marismas y de los canales de desagüe del drenaje de las arenas estabilizadas. Las especies presentes en la marisma dulce son muy sensibles a la salinidad, incapaces de soportar valores superiores al an

teriormente mencionado, siendo las más frecuentes Myriophyllum alterniflorum DC in Lam & DC, Damasonium alisma Miller, Arundo plinii Turra y Elatine alsinastrum L. Entre estas especies, puede hacerse una separación en función del tiempo de encharcamiento que sufren a lo largo del año. Un primer grupo estaría compuesto por grandes hidrófitos que viven en aguas profundas y tranquilas, que no llegan a desecarse en verano, constituyendo la asociación Myriophyllo-Nuphraetum lutei W. Koch 1926 (Rivas Martínez y col., 1980). El segundo grupo, formado por la asociación Damasonio alismae-Crypsietum aculeatae as. nova, estaría compuesta básicamente por terófitos tendidos de pequeña talla, que se desarrollan sobre suelos arcillosos algo salinos durante la época estival, tras la desecación de la marisma (Rivas Martínez y col., 1980).

#### - Marisma salobre

La marisma salobre presenta una conductividad media de 1300  $\mu\text{mhos/cm}$ , variando en un rango que vá desde los 800  $\mu\text{mhos/cm}$  de la marisma dulce a los 2000  $\mu\text{mhos/cm}$  de la marisma salada. La vegetación característica está compuesta por especies capaces de tolerar la salinidad pero no especialmente adaptadas a ella, como son Eleocharis uniglumis (Link) Schultes, Scirpus maritimus L. y Ranunculus baudotii Godron, entre otras. Estas especies, ligeramente halófitas, que se desarrollan sobre suelos arenosos o arcillosos cubiertos por aguas relativamente profundas que llegan a secarse durante una parte del año, se encuentran englobadas dentro de la asociación Scirpetum maritimi (Christiansen, 1934), que cede el lugar a Scirpetum compacto-littoralis Br. - Bl. 1931 em. cuando la salinidad aumenta ligeramente.



- Marisma salada

La marisma salada ofrece una conductividad eléctrica media de 2000  $\mu$ mos/cm, presentando las especies características de dicha zona un máximo en su frecuencia de aparición para valores comprendidos entre 2000 y 2500  $\mu$ mos/cm, lo cual sugiere que dichas especies toleran o se adaptan bien a la salinidad (González Bernáldez y col., 1977).

Las especies más frecuentes son Beta macrocarpa Guss., Franken-  
kenia pulverulenta L., Salicornia ramossisima J. Woods, Sarcocornia  
fruticosa (L.) A.J. Scott, y Arthrocnemum glaucum (Delile) Ung.-Stemb  
entre otras, que constituyen fundamentalmente las asociaciones Inulo  
crithmoidis - Arthrocnemum glauci (Fontes 1945) J.M. Géhu 1977 y Suaedo  
splendentis - Salicornietum ramosissimae as. nova (Rivas Martínez y col.,  
1980). Son especies claramente halófitas, en su mayor parte suculen-  
tas y con porte erguido. Suelen preferir los suelos limosos y arcillo-  
sos más salinos, como son los del Membrillo, Las Nuevas o la Marisma  
Gallega. No presentan una cobertura total del suelo, variando el mo-  
saico de especies en función de la microtopografía y de las oscilacio-  
nes que sufre la concentración de sales, sódicas fundamentalmente, en  
el sustrato.

C. DOMINIO CONTINENTAL: SISTEMA EOLICO

El dominio Continental, formado por arenas cuaternarias de origen eólico, puede ser dividido en tres grandes unidades geomorfológicas y vegetales en función de la estabilidad del sustrato y de la profundidad de la capa freática: arenas estabilizadas, arenas móviles y áreas de contacto entre los principales ecosistemas.

En general, las tres unidades tienen en común la pobreza del sustrato (constituído por arenas silíceas), así como su relativa homogeneidad.

- Arenas estabilizadas

Esta primera gran unidad ocupa la mayor parte del área de estudio. Está formada por un sistema antiguo de dunas, parcialmente arrasado, que presenta una orientación N-S. Los frentes mejor conservados están situados en la zona suroccidental del Parque, constituyendo unos sistemas denominados naves que corresponden a las zonas arboladas (sabinas) de la parte más seca de las arenas estabilizadas. Dichos frentes se encuentran interrumpidos por ligeras depresiones, correspondientes a los valles interdunares del antiguo sistema, donde la capa freática, más próxima a la superficie, favorece una vegetación semejante a la que predomina en el manto arrasado (Allier y col., 1974).

En las naves se presenta un ecosistema vegetal denominado "monte blanco xerofítico" (Allier y col., 1974), que está condicionado por la mayor profundidad del nivel freático ( $> 2,5$  m). Está compuesto por un bosque claro de Juniperus phoenicea L. subesp. lycia (L.) O. Bolòs, acompañado por un matorral ralo constituído por Halimium commutatum Pau, Cistus libanotis L., Lavandula stoechas L., Helychrisum picardii, Thymus mastichina L., Osyris quadripartita Salzm. et Decne., entre otras, con una gran densidad de Cladonia mediterranea Duv. et Des. Abb. que comparte el espacio protegido por dicho matorral con una comunidad de terófitos fugaces que constituyen las asociaciones Cladonietum mediterranea y Linario donyanae - Loefflingietum baeticae (Rivas Martínez y col., 1978).

La presencia de un bosque de Juniperus phoenicea ha tenido gran influencia sobre la comunidad vegetal, ya que especies como Hali-

Halimium halimifolium (L.) Willk in Willk & Lange o Rosmarinus officinalis L. han sido disminuidas en su cobertura o incluso suplantadas, mientras que otras, autóctonas de lugares más protegidos, como Cistus salvifolius L., crecen a su abrigo (Allier y col., 1974).

Desde un punto de vista fitosociológico, esta asociación, formada por especies psamófilas y xerófilas, ha sido denominada Rhamno oleoidi - Juniperetum lyciae por Rivas Martínez y col. (1980). Tiene probablemente un origen muy antiguo, constituyendo la etapa madura del ecosistema dunar litoral fuera de la influencia del viento marino cargado de sales (Rivas Martínez y col., 1977). En la cercanía de la playa, ocupando los frentes dunares fuertemente batidos por la maresía, se encuentra la asociación Rhamno oleoidi - Juniperetum macrocarpae, que sustituye al sabinar, alternando a su vez con asociaciones de matorrales abiertos asimismo adaptados a la influencia aerohalófila como la Artemisio - Armerietum pungentis. El sabinar que ocupa las naves y zonas altas de las Marismillas, constituye un sistema de evolución muy lenta ya que la oligotrofia y xericidad que presentan los suelos frenan el crecimiento de arbustos que constituyen la etapa madura de dicho ecosistema. Por ello, cualquier deterioro de la cubierta vegetal se hace difícilmente remediable (Rivas Martínez y col., 1980).

A medida que asciende el nivel freático, oscilando entre 1,5 - 2 m, las arenas estabilizadas son ocupadas por la asociación definida como "monte blanco" (Allier y col., 1974). En dicha comunidad desaparece el Juniperus phoenicea L. subsp. lycia (L.) O. Bolòs, aumentando la cobertura de Halimium halimifolium (L.) Willk in Willk & Lange, Cistus libanotis L. y Rosmarinus officinalis L., que aparecen junto con Halimium commutatum Pau, Lavandula stoechas L., Armeria pungens (Link) Hoffmanns & Link, Helychrisum angustifolium D.C., y Stauracanthus genistoides (Brot.) Samp, conformando la asociación Halimio halimifolii - Stauracanthetum genistoidis (Rivas Martínez y col.,

1980). Dicha asociación, conocida vulgarmente como jaguarzal, es una comunidad sabulícola altamente especializada, constituida por caméfitos y nanofanerófitos xerofíticos capaces de soportar una fluctuación del potencial hídrico superior a 50 atmósferas (Ramírez y col., 1977).

Halimium halimifolium (L.) Willk ("jaguarzo") es la especie más abundante en este matorral, por lo que, al ser claramente pirofítica, evidencia la incidencia del fuego en el área (García Novo, 1977). De este hecho se deduce que el "monte blanco" corresponde a facies de gradadas del bosque original a causa del manejo sufrido como consecuencia de la actividad antrópica, que contribuye a que dicho matorral no avance en su evolución (Martín Vicente, 1977).

Desde un punto de vista fitotopográfico, esta comunidad se sitúa sobre arenas libres de la influencia marina (en cuyo caso sería sustituida por la asociación Artemisio - Armerietum pungentis), con capa freática profunda (si ascendiera, cedería el sitio a la asociación Erico - Ulicetum australis), estando constituida la etapa madura por un sabinar (si la capa freática es profunda) o un alcornocal (con nivel freático superficial) (Rivas Martínez y col., 1980).

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, el "monte blanco" ocupa las laderas de las naves, así como laderas y cimas de dunas dentro del manto arrasado.

La zona norte del Parque está ocupada por un eucaliptar implantado en un suelo que presenta una discontinuidad litológica constituida por las arenas basales de edad Plio-Villafranquiense. El apelmazamiento de dichas arenas es la causa de la aparición de una capa colgada en las épocas húmedas, que circula a través de las arenas eólicas superficiales. El suelo funciona, por tanto, como un pseudogley con importantes fenómenos de hidromorfía. Este sedimento de arenas basales se encuentra menos profundo hacia el Norte del Parque, donde llega a aflorar.

La vegetación que aparece en esta zona se encuentra enormemente alterada. Todo el área ha sido repoblada por diversas especies de *Eucalyptus* salvo algunas zonas deprimidas, donde no ha sido posible su implantación. Dichas zonas, debido al fuerte fenómeno de hidromorfía que presentan, se asemejan a las lagunas temporales que aparecen dentro de la zona de manto arrasado.

Bajo la influencia de los eucaliptus aparecen algunas comunidades psamófilas y subnitrófilas, formadas por terófitos de floración primaveral, propias de suelos alterados por la acción antropozoógena, capaces de tolerar durante una época del año un ligero hidromorfismo.

Por otro lado, el matorral en el eucaliptar es escaso o prácticamente nulo, siendo similar al que aparece en el manto arrasado en iguales condiciones de humedad.

Toda esta zona forestal o de repoblación, está surcada por caños o arroyos que recogen las aguas del drenaje de las arenas, vertiéndolas hacia el N o NE en la marisma. A lo largo de dichos caños, especialmente cerca de su desembocadura, aparece una vegetación de bosque ribereño rara vez inundado, en la que suelen dominar los fresnos sobre los chopos, constituida en varios estratos vegetales. El primer estrato, ocupado por los árboles anteriormente mencionados, es bastante denso en condiciones naturales. El segundo, está constituido por arbus-tos y lianas, siendo el tercer estrato fundamentalmente herbáceo, salvo algunas especies escionitrófilas que crecen al abrigo del matorral. Estas asociaciones, denominada Ficario ranunculoidis - Fraxinetum angustifoliae Rivas Martínez y col., 1980; Lonicero hispanicae - Rubetum ulmifolii Rivas Martínez y col., 1980 y Geranio - Anthriscion caucalidis respectivamente, gustan de vivir sobre sustratos arenosos meso-oligotrofos gleizados, con aguas limpias. Si el suelo se alcaliniza, cambia su textura a arcillosa o las aguas se eutrofian, la fresneda cederá el paso a una olmeda (asociación Aro italicici - Ulmetum minoris) (Rivas Martínez y col., 1980).

Hacia las desembocaduras de los arroyos anteriormente mencionados, donde el encharcamiento es casi permanente, aparecen asociaciones formadas por juncos y carrizos acompañados por grandes helófitos que viven la mayor parte del año con la base del tallo sumergida en el agua dulce. Dichas asociaciones corresponden fundamentalmente a Scirpo lacustris - Phragmitetum mediterraneum R.Tx. & Preising 1942, y Cladietum marisci (Allorge 1922) Zobrist 1939, (Rivas Martínez y col., 1980) que son sustituidas por Scirpetum maritimi a medida que aumenta la salinidad en función de la proximidad de la marisma.

En las depresiones interdunares de las arenas estabilizadas, el acercamiento a la superficie del nivel freático, que en invierno se sitúa a menos de 50 cm, se vé reflejado en la aparición de especies tales como Erica scoparia L., Erica umbellata L., Calluna vulgaris (L.) Hull, Ulex australis Clemente, Phyllirea angustifolia L. entre otras, que conforman la asociación definida como "monte negro" o brezal por Allier y col. (1974), o Erico scopariae - Ulicetum australis por Rivas Martínez y col. (1980). Dicha asociación, está constituida por nanofanerófitos y caméfitos sobre suelos ácidos en superficie, con materia orgánica poco incorporada y con fenómenos de hidromorfía en profundidad, representando desde el punto de vista evolutivo una etapa degradada del alcornocal con acebuches (asociación Oleo-Quercetum suberis) (Rivas Martínez y col., 1980).

En zonas donde la capa freática llega a inundar la superficie en la época más húmeda se establece el "monte negro higrofítico" (Allier y col., 1974). Dicha comunidad se caracteriza por el desarrollo de un matorral muy cerrado compuesto por Erica ciliaris L., Erica scoparia L., Rubus ulmifolius Schott, Ulex minor Roth, y Erianthus ravennae (L.) Beauv., fundamentalmente, que constituyen la asociación Erico ciliaris - Ulicetum (minoris) lusitanici, descrita

por Rivas Martínez y col. (1980). Dicha asociación está constituida por nanofanerófitos, caméfitos y hemicriptófitos, en su mayoría este-nohídricos (Ramírez y col., 1977), que configuran un ecosistema cla-ramente hidrófilo, oligotrofo y psamófilo, correspondiendo la etapa madura a una fresneda (Rivas Martínez y col., 1980).

El "monte negro higrofitico" aparece especialmente en la or-la de influencia de las lagunas, ya sean temporales o permanentes, sirviendo en este último caso de enlace con las asociaciones higro-turbosas y pastizales situados cerca del agua.

Las lagunas temporales anteriormente mencionadas, se presen-tan como numerosos charcos diseminados por la zona N de las arenas estabilizadas, fundamentalmente en el manto arrasado. Son lagunas que contienen agua en las épocas más lluviosas debido a la proximi-dad del nivel freático y a un fondo impermeable limo-arcilloso. En general, se encuentran enlazadas entre sí por un sistema de drenaje hacia la zona perimarismeña, dirigiéndose dichos cursos a los caños de desagüe de las arenas estabilizadas en la marisma (Allier y col., 1974).

Estas lagunas, presentan un borde de "monte negro higrofi-tico" o de "monte negro" (dependiendo de la duración del encharca-miento), y una asociación de grandes terófitos cubiertos por aguas dulces profundas (Preslio - Eryngietum corniculati Rivas Goday (1956) 1970) en la época más húmeda, que deja paso en verano a un pastizal del tipo Trifolio resupinati - Caricetum chaetophyllae Rivas Martí-nez y col. (1980).

En ciertos lugares muy localizados (Encinillas Altas, Enci-nillas Bajas, El Camellero, etc.), situados siempre en zonas depri-midas con capa freática alta, se conservan aún retazos del bosque po-tencial que representa el ecosistema terminal del Parque Nacional de

Doñana. Dicho ecosistema está constituido por megafanerófitos higrófilos y nanofanerófitas y hemicriptófitas de apetencias esciéfílicas tales como Arbutus unedo L., Quercus suber L., Myrtus communis L., Phyllirea angustifolia L., Lonicera periclymenum L. subesp. hispanica (Boiss & Reuter) Rivas Goday, Rubus ulmifolius Schott o Pteridium aquilinum L., que a su vez forman las asociaciones climácicas Oleo-Quercetum suberis Rivas Goday y col., 1963, y Lonicero hispanica-Rubus ulmifolii descrita por Rivas Martínez y col. (1980).

#### - Arenas móviles

Las arenas móviles, segundo gran ecosistema diferenciado en el dominio Continental, pueden ser subdivididas, en función de su estabilidad, en dunas vivas y corrales.

Las dunas vivas se caracterizan por la movilidad del sustrato, en función de la cual pueden ser descritos diversos tipos de vegetación con una cobertura muy rala todos ellos.

Los primeros cordones y colas de dunas están poblados por Ammophila arenaria subesp. arenaria (L.) Link, Rumex tingitanus L., y Cyperus schoenoides Griseb., entre otras (Torres y col., 1977), constituyendo la asociación Otantho-Ammophiletum arundinaceae J.M. Géhu, Rivas Martínez & R.Tx. in J.M. Géhu 1975. Dichas especies, colonizan las crestas de las dunas móviles embrionarias, con lo que ayudan a fijarlas, ocupando, en general, una zona que vá desde los cordones litorales (donde es sustituida por Euphorbio-Agropyretum junceiformis) hasta las dunas fijas interiores, ya colonizadas por un matorral más o menos abierto (donde se instalan Artemisio-Armerietum pungentis y Rubio-Coremetum albi), o incluso hasta los enebrales costeros (ocupados por Daphno-Juniperetum macrocarpae). En este



sistema hay un claro dominio de Ammophila arenaria (L.) Link sobre las demás especies, por ser colonizadora de lugares muy inestables, pudiendo encontrarse poblaciones casi puras en las crestas de los trenes móviles internos (Rivas Martínez y col., 1980).

En las arenas menos móviles y primeras contradunas con la capa freática ligeramente más cerca, se establece una vegetación formada fundamentalmente por caméfitos provistos de hojas recias y a veces algo suculentas, como son Armeria pungens (Link) Hoffmanns & Link, Carex arenaria L., Artemisia campestris L. subesp. maritima (Lloyd) Arcangeli, Malcolmia littorea R. Br. y Scrophularia frutescens L., que definen la asociación Artemisio - Armerietum pungens Rivas Goday 1958 (Rivas Martínez y col., 1980). Estas especies, psamófilas y xerófilas ocupan tanto las laderas como las crestas dunares poco móviles ya que no soportan la humedad del fondo de los corrales.

En las arenas menos móviles se establece una asociación vegetal arbustiva de talla pequeña, formada básicamente por nanofanerófitos y algunas pequeñas lianas, cuyas especies integrantes son Corema album (L.) D. Don, Helychrisum picardii Boiss & Reuter, Daphne gnidium L., Rubia peregrina subesp. longifolia (Poiret) O. Bolòs, entre otras (asociación Rubio longifoliae - Coremetum albi Rivas Martínez y col., 1980).

Finalmente, cerca de las crestas dunares y de los frentes de avance, sólo se implanta el Cyperus shoenoides Griseb. de forma aislada y preferentemente en los pasillos de deflación, siendo la primera especie colonizadora.

Dentro del sistema de dunas vivas aparecen a menudo ejemplares dispersos de Juniperus macrocarpa Sibth. & Sm. a modo de recuerdo de la estructura del bosque anterior (García Novo, 1979).

Suelen aparecer coronando montículos o conos testigos que han sobrevivido al paso de un frente dunar gracias a su potente enraizamiento.

Entre los diferentes trenes dunares aparecen los Corrales, cuya principal característica es la estabilidad del sustrato, lo que permite el desarrollo de un suelo y el establecimiento de la vegetación. Igual que en las dunas móviles, pueden distinguirse varios tipos de comunidades vegetales en función de la profundidad del nivel freático.

En general, los corrales presentan una cobertura arbórea que puede estar constituida por Pinus pinea L. acompañado a veces por Juniperus phoenicea L. subesp. lycia (L.) O. Bolòs, o raramente por Juniperus macrocarpa Sibth. & Sm.

Los corrales más secos, en general, coinciden con los más antiguos y están situados delante de frentes prácticamente estabilizados. En estos, debido a la larga sequía estival, predominan las sabinas frente a los pinos, cuyas plántulas sucumben fácilmente (García Novo y col., 1975). Dicha vegetación está acompañada por un matorral xerofítico y psamófilo compuesto por Halimium halimifolium (L.) Willk., Halimium commutatum Pau y Stauracanthus genistoides (Brot.) Samp. (asociación Halimio - Stauracanthetum o "monte blanco xerofítico"), tendente a "monte blanco".

En corrales progresivamente más húmedos, correspondientes a frentes jóvenes y móviles, las sabinas van desapareciendo, ya que en pequeños intervalos de tiempo, dichos corrales son cubiertos por la arena, iniciándose de nuevo el ciclo de sucesión. A pesar del carácter pionero de la sabina, ésta ocupa difícilmente sustratos poco estabilizados, al no poder adaptarse a los rápidos ciclos de destrucción. En estos casos, el pino piñonero predomina sobre la sabina (Harant & Jarry, 1967), al ser capaz de colonizar muy rápidamente las zonas recién despejadas.

Los corrales más húmedos presentan la capa freática muy superficial, pudiendo permanecer encharcados parte del año. La vegetación presente está definida en este caso por la asociación "monte negro", compuesta fundamentalmente por Erica scoparia L., Calluna vulgaris (L.) Hull., Panicum repens L. y otras, que puede evolucionar a "monte negro higrofitico" en caso de mayor disponibilidad de agua, con un predominio de Ulex minor Roth, Hypericum perforatum L., Mentha pulegium L., entre otras.

Finalmente, en los casos de humedad más extrema, la vegetación tiende hacia las asociaciones Galio palustri - Juncetum maritimi y Holoschoeno - Juncetum acuti definidas por Rivas Martínez y col. (1980), y compuestas por Juncus acutus L., Scirpus holoschoenus L., Galium palustre L., Agrostis stolonifera L., y Mentha pulegium L. entre otras.

#### - Zonas de contacto

La tercera gran unidad del cominio Continental está constituida por las zonas de contacto entre los diferentes ecosistemas, de los que se independizan por presentar una morfología y dinámica diferentes. Dentro del área de estudio pueden distinguirse dos grandes zonas de contacto de las arenas estabilizadas, con las arenas móviles (lagunas permanentes), y con la marisma (vera).

La primera está constituida por un rosario de lagunas originadas por la descarga de los acuíferos de los frentes móviles (García Novo, 1975). Estas lagunas son de carácter permanente, lo que permite el establecimiento de una vegetación hidrófila en toda la orla de su influencia, que evoluciona desde el "monte negro" (asociación Eri-co - Ulicetum australis) al "monte negro higrofitico" (asociación Eri-co - Ulicetum lusitanica), desapareciendo en los bordes higroturbosos por no poder soportar largos períodos de inundación.

Los bordes muy cercanos al agua están cubiertos por un pastizal formado por Agrostis stolonifera L., Illecebrum verticillatum L. e Hidrocotile vulgaris L. entre otras (Martín Vicente, 1981), acompañadas por un denso juncal compuesto por Scirpus holoschoenus L., Juncus acutus L. y Galium palustre L. fundamentalmente, situado en las partes que sufren un mayor tiempo de encharcamiento.

Desde un punto de vista fitosociológico, se observa la siguiente distribución de asociaciones vegetales, en función del aumento en el gradiente de humedad: Erico scoparia - Ulicetum australis → Holoschoeno - Juncetum acuti → Trifolio - Caricetum chaetophyllae → Galio - Juncetum maritimi (Rivas Martínez y col., 1980).

La segunda zona de contacto, denominada vera, marca la transición de las arenas estabilizadas con la marisma. Este límite aparece muy complicado de discernir por su gran dinámica, estando formado por numerosas interdigitaciones tanto horizontales como verticales. En la Vera existe una transición de las arenas a las arcillas de la marisma, de forma gradual (Vera de Martinazo) o abrupta (Vera del Membrillo), por lo que puede hablarse de una Vera arenosa y otra arcillosa.

Dentro de la Vera arenosa, la parte más alejada de la marisma está ocupada por un helechal (Pteridium aquilinum L.) que crece bajo alcornoques por ser de apetencias esciófilas. Hacia la Vera arcillosa, este helechal deja paso a una comunidad de pastizal compuesta por Tuberaria guttata (L.) Fourr., Agrostis stolonifera L., Armeria gaditana Boiss., Asphodelus aestivus Brot. y otras, que constituyen la asociación Centaureo exaratae - Armerietum gaditanae Allier & Bresset 1977 corr., (Rivas Martínez y col., 1980).

El aumento de humedad, la alcalinización del sustrato y el cambio textural que se produce hacia la Vera arcillosa favorece la apari-

ción de especies terofíticas, que por su condición de efímeras y migradoras se adaptaran perfectamente a este ecosistema, que fluctúa cada año según el régimen de lluvias y crecidas. Así, el pastizal anterior cede su puesto a una comunidad compuesta básicamente por Illecebrum verticillatum L., Mentha pulegium L., Trifolium resupinatum L., Cynodon dactylon (L.) Pers., Agrostis stolonifera L., Chaetopogon fasciculatus (Link) Hayek, entr otras, que componen las asociaciones Loto subbiflori - Chaetopogonetum fasciculati Rivas Martínez y col. y Trifolio resupinati - Caricetum chaetophyllae (Rivas Martínez y col., 1980).

Por último, dentro de la Vera arcillosa se sitúa la asociación Scirpetum maritimi (Christiansen 1934) R. Ex. 1937, cubierta por aguas profundas, pero que pueden llegar a desecarse durante alguna parte del año. En dicha asociación predomina la especie Scirpus maritimus L. var. maritimus, acompañada por Eleocharis palustris (L.) Roemer & Schultes, Carex chaetophylla Stendel, Rumex halacsyi Rech., Phragmites australis (Cav.) Steudel y otras que, igual que las anteriores, no son halófilas, aunque pueden soportar cierta salinidad, no superior a los 800  $\mu$ mos/cm. Esta asociación vegetal puede considerarse de transición hacia las descritas anteriormente en la marisma dulce.

V. CLIMA

no corto y benigno, en el que rara vez se alcanzan temperaturas por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ , correspondiendo los meses más fríos a los de Diciembre y Enero, con temperaturas mínimas medias de  $4^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, y un verano con temperaturas más extremas, superándose los  $45^{\circ}\text{C}$  en algunos días de los meses de Julio y Agosto. Dentro de la regularidad térmica, la máxima media asciende desde los  $15,9^{\circ}\text{C}$  en Enero a  $33,5^{\circ}\text{C}$  en Agosto, mientras que la mínima media fluctúa entre  $4,1^{\circ}\text{C}$  en Diciembre y Enero y los  $16,3^{\circ}\text{C}$  del mes de Julio.

La irregularidad en la distribución de las precipitaciones no sólo se da a lo largo de los años, sino también dentro de cada uno de ellos. En efecto, en la Tabla 2 y figura 3 resaltan dos períodos totalmente opuestos. Uno, correspondiente a los meses de invierno (Noviembre, Diciembre y Enero), en el que se registra cerca del 50 % de la lluvia anual, y otro, que comprende los meses de verano (Junio, Julio y Agosto), con gran sequedad, en el que sólo se alcanza el 3,6 % de la precipitación anual. Esto hace que el balance hídrico, estimado por el método de Thorntwaite (1948), presente un exceso grande de agua en invierno y una falta aún mayor en verano, como se refleja en la figura 4.

El hecho de que la mayoría de las precipitaciones ocurran durante los meses más fríos y por tanto de menor evapotranspiración, tiene un gran significado en los procesos edafogénéticos, fundamentalmente en los de alteración y lavado.

Hénin y Aubert (1945) han determinado el agua gravitacional, responsable de los procesos de lavado, mediante la fórmula del "drenaje calculado", cuyas variables son la precipitación y la temperatura media anual. Posteriormente, Dupuis (1952) hace intervenir un coeficiente corrector en función de la roca madre. Teniendo en cuenta la fórmula anteriormente mencionada así como el coeficiente corrector (2 para suelos arenosos), el drenaje calculado sería de 154 mm para el

área de estudio. Este bajo valor (77 mm sin hacer intervenir el factor corrector) estaría a favor de una escasa participación del agua en los diversos procesos edáficos tales como lavado, alteración, hidromorfía, etc...

Sin embargo, la presencia de un nivel freático suficientemente próximo a la superficie en numerosos lugares, hace que el régimen de humedad del suelo pase a ser ácuico en dichos enclaves. El resultado es la formación de perfiles con una morfología que muestra características hísticas, lateríticas, podsólicas, etc..., correspondientes a climas más húmedos, ya que según la metodología utilizada, el clima del área de estudio se clasifica como mesotérmico seco-subhúmedo con exceso de agua en invierno representado por la fórmula  $C_1 B_3' sb_4'$ .

Finalmente, uno de los parámetros climáticos más importantes en la zona de estudio es el viento, debido a sus efectos bioclimáticos, hidrológicos y morfológicos.

Desde un punto de vista bioclimático, las brisas marinas contribuyen decisivamente a dulcificar el clima. Dichos vientos son de componente W-SW y predominan a lo largo del año, especialmente en la época de verano. Con menor frecuencia sopla el viento de levante pero, debido a su sequedad, tiene también una gran influencia en el clima de la zona, reflejándose su acción, fundamentalmente, en el aumento de la evapotranspiración y consiguiente desecación del suelo.

Los efectos sobre la hidrología se deben sobre todo a los vendedales que acompañan a las grandes lluvias, ya que repercuten sobre el nivel de las aguas de la Ría del Guadalquivir, ya sea aumentando la onda de marea y su traslación, o bien, disminuyendo el proceso normal de la crecida cuando actúan en contracorriente. En ambos casos, se perturba el vaciado del estuario, reduciéndose la pendiente longitudinal del plano de agua (Vannev, 1970).



Quizás sean los efectos morfológicos los más importantes. Los vientos provenientes del 3º y 4º cuadrante constituyen los principales vectores de un importante transporte sedimentario. Dichos vientos, los más frecuentes y eficaces por su constancia, son los responsables del avance de las dunas en dirección SW-NE, creando en ellas pequeñas superficies de deflación y una gran inestabilidad morfológica en el sistema, por lo que juegan un papel decisivo en la dinámica geomorfológica del área de estudio.

TABLA 1 - Temperaturas y precipitación (media anual). Estación Almonte - Cabezudos.

Año	T. máx. °C media	T. mín. °C media	T. media °C	Precipitación (mm)
1961	25,4	11,9	18,6	850,8
1962	24,2	11,9	18,05	940,0
1963	24,1	11,7	17,9	1130,5
1964	24,2	14,0	19,1	723,0
1965	26,5	14,3	20,4	708,5
1966	24,7	11,2	18,0	477,5
1967	24,3	11,6	18,0	575,5
1968	23,9	8,9	16,4	537,0
1969	24,1	9,2	16,7	796,0
1970	23,6	8,5	16,0	660,0
1971	22,8	8,6	15,7	413,8
1972	22,2	9,1	15,6	696,5
1973	23,7	8,5	16,1	275,0
1974	23,5	8,3	15,8	279,5
1975	23,7	7,8	15,8	434,5
1976	22,9	10,3	16,6	753,0
1977	23,1	9,7	16,4	686,5
1978	23,9	9,5	16,8	507,0
1979	24,2	9,1	16,7	464,5
1980	24,7	8,4	16,6	399,5
1981	24,3	8,5	16,5	280,0
1982	23,8	9,2	16,5	466,0
1983	23,8	9,4	16,6	702,0

TABLA 2 - Temperaturas medias mensuales y balance hídrico. Estación Almonte - Cabezudos.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
T. máx. °C	15,9	17,4	19,8	21,8	25,3	28,6	33,3	33,5	30,4	25,0	20,0	16,6	23,9
T. mín. °C	4,1	4,9	6,9	9,0	11,5	13,9	16,3	15,9	14,8	11,9	6,9	4,1	10,0
T. media °C	10,2	11,1	13,3	15,4	18,4	21,2	24,8	24,7	22,6	18,4	13,4	10,3	16,9
Precipitación (mm)	87,6	77,9	64,2	43,8	27,1	15,7	0,7	4,9	18,9	53,1	107,3	95,5	596,7
Evaporación (mm)	22,3	25,1	42,1	58,0	88,1	113,5	150,0	139,3	106,3	68,7	34,9	21,8	870,2
Exceso agua (mm)	65,3	52,7	22,1	-	-	-	-	-	-	-	-	46,1	186,2
Falta agua (mm)	-	-	-	-	-	73,0	149,3	134,4	87,4	15,6	-	-	459,7

$I_a = 52,8$

$I_h = 21,4$

$I_m = -10,3$

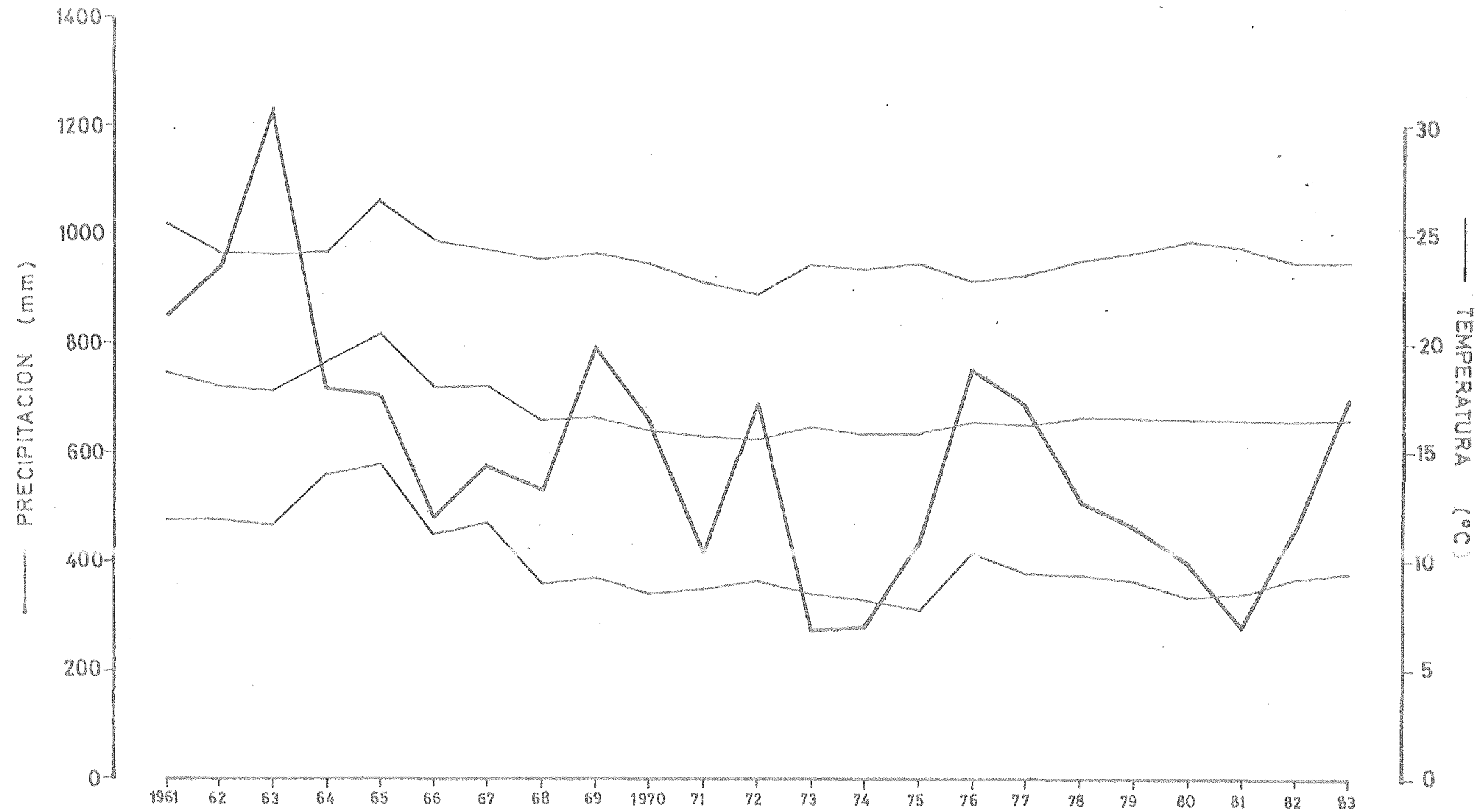


Fig. 1. Precipitación y temperaturas máxima mínima y media anuales.  
Estación Aimonte-Cabezudos

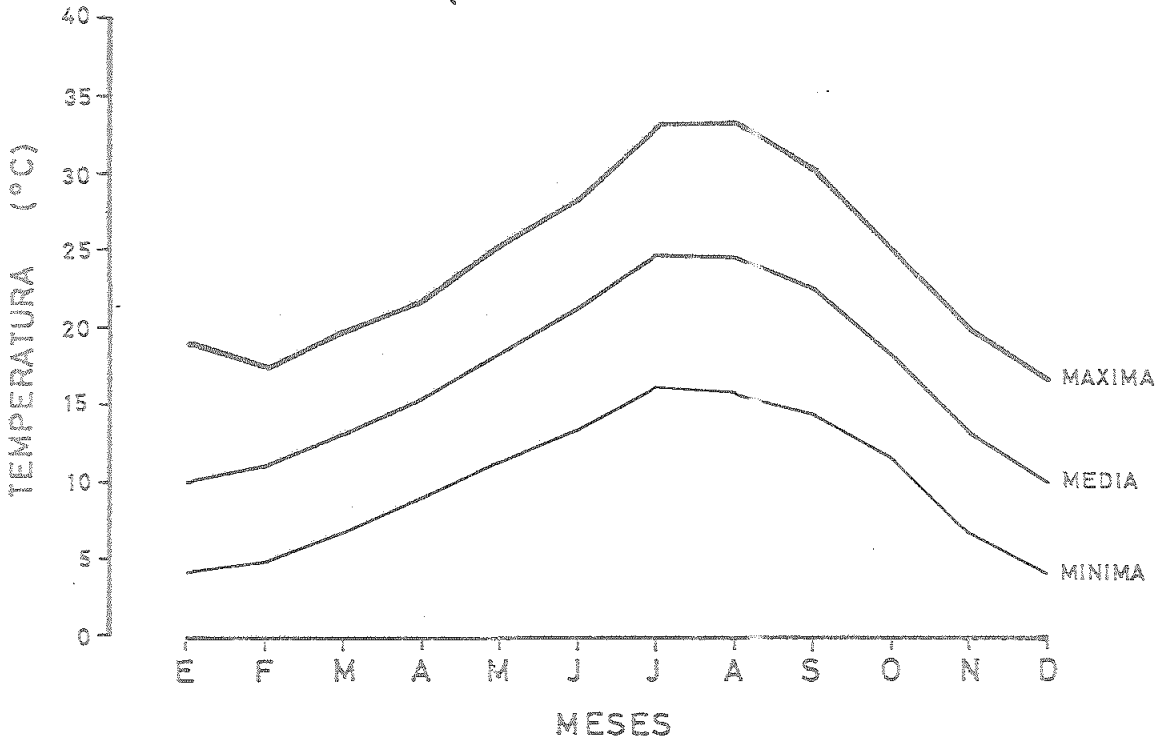


Fig. 2. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales en los años 1961-1982.

Estación Almonte-Cabezudos.

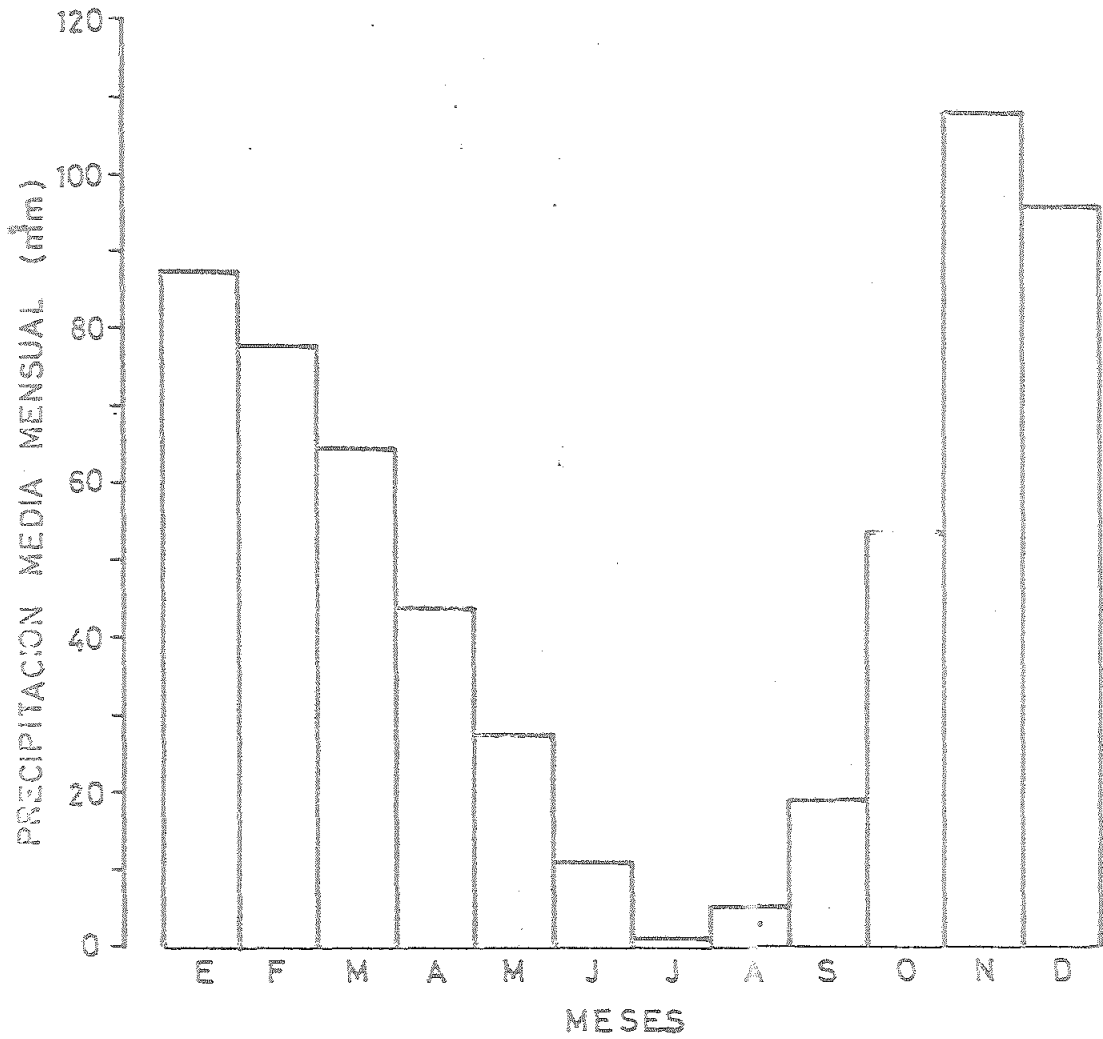


Fig. 3. Precipitación media mensual en los años 1931-1933

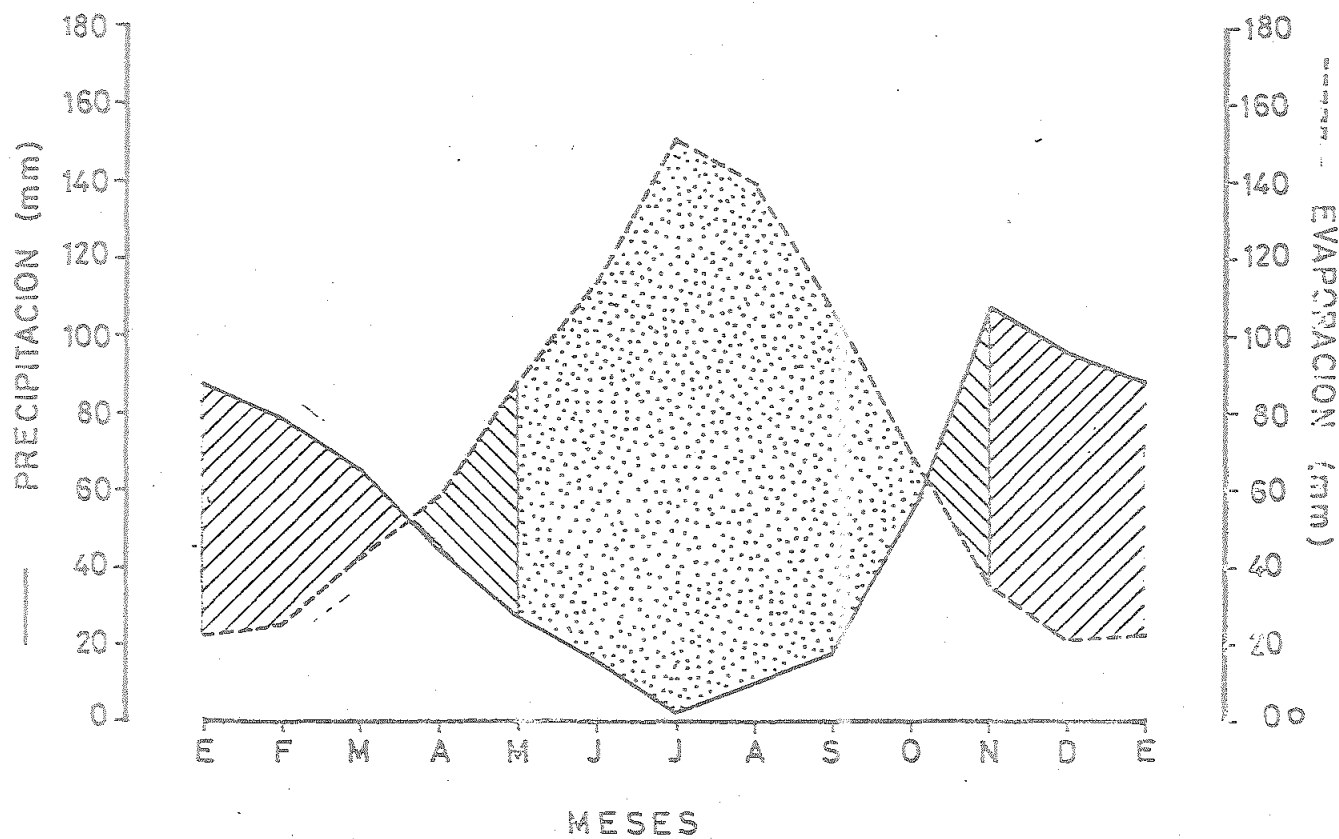


Fig. 4. Balance hídrico mensual a lo largo de los años 1961-1983.

Estación Almonte - Cabezudos

VI. METODOS EXPERIMENTALES Y  
DESCRIPCION DE LOS PERFILES



¿Cómo era, Dios mío, cómo era?

(J.R. Jiménez)

## VI.1 METODOS EXPERIMENTALES

### ELECCION DE LOS PERFILES

Previamente a la toma de perfiles, se hizo una interpretación del área de estudio a partir de fotografía aérea de escala 1/15.000 que permitió la identificación de las diferentes unidades y subunidades geomorfológicas. En base a una densa red de sondeos, estas fueron divididas en elementos morfoedáficos que observan una estrecha relación con los suelos que en ellos se desarrollan. De esta forma se muestraron 30 perfiles de suelos que componen el mosaico edafológico de las arenas del Parque Nacional de Doñana.

### DESCRIPCION MORFOLOGICA

Para la descripción y designación de los horizontes de los perfiles de suelos se siguen las normas recogidas en la guía de la FAO (1968). Dentro de cada horizonte se reconocen las siguientes pro

piedades morfológicas: profundidad del horizonte, color en húmedo y seco (Munsell, 1954), textura, estructura, consistencia en seco, húmedo y mojado, nódulos o concreciones (si existen), contenido y tamaño de las raíces, actividad biológica, reacción (si existe), y finalmente, naturaleza del límite con el horizonte subyacente.

#### MUESTREO: RECOLECCION Y PREPARACION

##### Recolección de las muestras

Todos los horizontes han sido muestreados en cada uno de los perfiles para proceder seguidamente a efectuar los análisis enumerados a continuación.

##### Preparación de las muestras para el análisis químico del suelo

Se utilizan muestras de suelo secadas al aire, molidas y pasadas por un tamiz de 2 mm de luz.

##### Preparación de las muestras para el análisis mecánico

El análisis mecánico se efectúa en muestras tamizadas por 2 mm, sin materia orgánica ni carbonatos.

##### Eliminación de materia orgánica

Se tratan ciento cincuenta o doscientos gramos de cada muestra con agua oxigenada al 6 % en vasos altos de un litro. El ataque se efectúa al baño maría, llevándose a cabo tantos tratamientos como sean necesarios hasta que el líquido sobreradante quede claro.

### Eliminación de carbonatos

Una vez eliminada la materia orgánica, se tratan las muestras con  $\text{ClH N/20}$  hasta que una nueva adición no produzca desprendimiento de anhídrido carbónico. A continuación se lavan con agua destilada para eliminar el  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  formado, controlando el final del lavado con nitrato de plata. Por último se secan las muestras.

## DETERMINACIONES GENERALES DEL SUELO

### Análisis mecánico

Se realiza en muestras de suelo tamizadas y sin materia orgánica ni carbonatos, empleando el método del hidrómetro de cadena (De Leenheer y col., 1955). Las partículas del suelo, que se suponen de forma esférica aparente, han sido clasificadas en cuanto a tamaño siguiendo la escala internacional:

Arena gruesa .....	2 a 0,2 mm
Arena fina .....	0,2 a 0,02 mm
Limo .....	0,02 a 0,002 mm
Arcilla .....	menor de 0,002 mm

### Determinación de materia orgánica y carbono orgánico

El amplio rango de variación en el contenido de materia orgánica imposibilita la utilización de un sólo método en su determinación. Para las muestras con bajo contenido ( $\ll 2\%$ ) se ha utilizado el método de oxidación de Walkley y Black (1934) que consiste en la adición de dicromato y sulfúrico, y valoración del exceso de dicromato con  $\text{SO}_4\text{Fe}$ .

La materia orgánica se obtiene multiplicando por un factor constante (1,724) el valor de carbono orgánico.

Para aquellas muestras que presentan un mayor contenido (>2 %), el método anteriormente expuesto puede inducir a grandes errores, por lo que se ha procedido a una calcinación a 750°C durante dos horas (muestras señaladas con un asterisco), obteniéndose directamente el valor de materia orgánica, expresado en tantos por ciento.

Por último, debido a errores que se introducen con los métodos anteriores en muestras con arcilla y/o carbonatos, se valora el carbono orgánico en un analizador de gas "Carmograph-12" provisto de agregado de combustión "Whostoff", a partir de 2 g de muestra previamente descarbonatada.

### Nitrógeno

Se sigue el método de Kjeldahl modificado (Jackson, 1962). La muestra se trata con  $\text{SO}_4\text{H}_2$  y con  $\text{SO}_4\text{K}_2$  y  $\text{SO}_4\text{Cu}$ , valorando el destilado con  $\text{SO}_4\text{H}_2$  N/14, usando como indicador verde de bromocresol.

### Acidez

Se determina con un pH-metro en pasta de suelo saturada en agua, repitiéndose con pasta saturada en ClK (Hernando y Sánchez Conde, 1954).

### Carbonatos

La determinación de carbonatos se realiza con un calcímetro Bernard (Hidalgo y Cardela, 1958).

### Capacidad de cambio y cationes cambiables

En columnas de percolación, se pasan 250 cc de acetato amónico a pH 7,1 a través de 10 g de suelo. Una vez saturado en  $\text{NH}_4^+$ , el suelo se lava dos veces con agua y tres con alcohol etílico para eliminar el exceso de acetato amónico.

En un gramo de suelo, se determina el  $\text{NH}_4^+$  adsorbido por destilación en microkjeldahl, expresándose el resultado en miliequivalentes por 100 gramos.

En los líquidos de percolado se determinan Na y K por fotometría de llama y Ca y Mg por absorción atómica (Pelloux y col., 1971).

### Conductividad eléctrica

Se determina en el extracto de pasta saturada mediante un conductímetro digital Crisom. Los resultados se expresan en mmhos/cm.

### Determinación de sales solubles

Fue realizada en extractos de suelo-agua 1/5 como se indica a continuación:

### Sodio y Potasio

Se determina por fotometría de llama previa precipitación del Ca por oxalato amónico.

### Calcio y Magnesio

A 10 cc del extracto se añade 1 cc de solución de óxido de lantano al 3 % en medio clorhídrico a fin de evitar interferencias producidas por Si, P, Al y Fe, determinándose por absorción atómica. Los resultados se expresan en meq/100 g.

### Cloruros

Su determinación se efectúa valorando una determinada alícuota con solución de nitrato de plata 0,1 o 0,01 N, según sea la concentración de sales del extracto acuoso, en presencia de cromato potásico al 5 % (Reitemeier, 1943; U.S. Salinity Laboratory, 1954).

### Carbonatos y Bicarbonatos

Su determinación se efectúa valorando la alícuota problema con una solución de ácido sulfúrico 0,01 N. En el caso de los carbonatos se utiliza fenolftaleína como indicador y naranja de metilo para los bicarbonatos (Reitemeier, 1943; U.S. Salinity Laboratory, 1954).

### Hierro y Manganeso totales

0,5 g de suelo se mezclan con carbonato sódico en un crisol de platino, efectuándose una fusión a 1000°C durante dos horas. El residuo de la fusión se disuelve en clorhídrico diluido, determinándose el hierro y el manganeso por absorción atómica. Los resultados se expresan en tantos por ciento.

### Hierro y Manganeso libres

Se sigue el método de Endredy (1963). Consiste en tratar 0,5 g de suelo con 100 cc de solución Tamm (solución tampón a pH 3,25 de oxalato amónico-ácido oxálico). La suspensión se expone durante dos horas a la radiación ultravioleta de una lámpara de vapor de mercurio de 250 w. Una vez obtenida la solución, el hierro y el manganeso se determinan por absorción atómica, expresándose los resultados en tantos por ciento.

### Elementos asimilables

#### Potasio

La extracción se realiza tratando 5 g de suelo con 50 cc de solución Morgan (acetato sódico-ácido acético). El potasio se determina por fotometría de llama, expresándose en mg de  $K_2O/100$  g de suelo.

#### Calcio y Magnesio

El calcio y el magnesio se extraen tratando 50 g de suelo con 150 cc de acetato amónico a pH 7,1. La determinación se realiza por absorción atómica, expresándose los resultados en mg/100 g de suelo (Jackson, 1962; Pinta, 1971).

#### Fósforo

Se tratan 2,5 g de suelo con 250 cc de solución extractora (solución  $CO_3Ca/CO_3Mg/CH_3COOH$ ) a pH 3,2. La suspensión se agita durante cinco minutos y se filtra. En el filtrado se determina el fósforo según el método de Murphy y Riley (1962).



## Análisis granulométrico de arenas

Para el estudio sedimentológico de las arenas se ha usado la técnica de la granulometría (Ollier, 1975; Briggs, 1977; Pomerol y Blondeau, 1968 y otros). Consiste en el estudio de la frecuencia de tamaño de granos de un sedimento detrítico. El resultado del análisis se da en peso de las fracciones de sedimento de la muestra estudiada que queda retenida en cada uno de los tamices con las siguientes luces (mm): 2,00, 1,25, 1,00, 0,50, 0,40, 0,30, 0,25, 0,20, 0,16, 0,125, 0,08, 0,063 y partículas menores de 63 micras.

Los pesos son expresados en porcentajes sobre el peso total de muestra.

## ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LAS ARENAS

### Preparación de la muestra y separación de las fracciones

20 g de muestra se someten a un proceso de decantación a fin de eliminar los elementos finos (limo y arcilla). La arena se trata con  $H_2O_2$  al 10 %, se seca a  $105^{\circ}C$ , se pesa y se tamiza por 0,2 mm para separar la fracción arena fina (escala internacional). Dicha fracción se trata con ClH al 10 % en frío durante treinta minutos para eliminar carbonatos y óxidos de hierro que cubren los granos. Se lava y se seca a  $105^{\circ}C$ , volviéndose a pesar la muestra. Finalmente se trata con ditionito sódico al 5 % durante treinta minutos en caliente para eliminar los óxidos e hidróxidos de hierro restantes así como los sulfuros metálicos.

Una vez lavada, secada y pesada, la muestra se pone en bromoformo (peso específico 2,88 a  $18^{\circ}C$ ) para separar las fracciones pesada y ligera con ayuda de un embudo de separación. Ambas fracciones se lavan con alcohol, calculándose los porcentajes respectivos.

### Montaje y estudio de las preparaciones

Las dos fracciones separadas se montan entre un "porta" y un "cubre", utilizando bálsamo de Canadá como medio de inclusión para los minerales pesados y una mezcla de nitrobenzol y clorobenzol (10,5 cc/4 cc) para los ligeros.

El estudio de las preparaciones se realiza en un microscopio petrográfico Zeiss con luz transmitida e incidente. Una vez montada y colocada la preparación sobre la platina del microscopio, se procede a la identificación de los minerales. La observación de cada grano se hace con luz paralela, nícoles cruzados y luz convergente. Con la primera se observa la forma, color, pleocroismo, exfoliación, relieve en función del índice de refracción, fractura y brillo. Los nícoles cruzados permiten la observación de la isotropía y anisotropía, birrefringencia, extinción, medida de ángulos de extinción y signo de elongación. Finalmente, con luz convergente se determina la uniaxicidad o biaxicidad de los minerales por las figuras de interferencia, el signo óptico, dispersión y medida del ángulo  $2V$  o de los ejes ópticos.

El conocimiento de estos datos aplicados, llevará a la identificación de las especies minerales. Para obtener datos cuantitativos, se procede a un contaje ayudándose por un retículo situado bajo la muestra; posteriormente, se expresa el resultado en tantos por ciento.

VI.2 DESCRIPCION DE LOS PERFILES

## PERFIL I "Duna fija"

Fecha .....	Febrero 1980
Clasificación .....	Typic Xeropsamment
Ubicación .....	A 1,5 Km del Control
Pendiente .....	Suavemente inclinado (2-6 %)
Drenaje externo .....	Algo excesivamente drenado
Drenaje interno .....	Excesivamente drenado
Prof. capa freática .....	Más de 3 m
Elemento morfoedáfico .....	Alto de Nave
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación Rhamno-Juniperetum lyciae.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-20	A	10YR 4/4 (h), pardo amarillento oscuro; arenosa; de grano suelto a migajosa muy fina; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas y medianas; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
20-50	AC	10YR 5/6 (h), pardo amarillento; arenosa; grano suelto; muy suelto (s), muy friable a suelto (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces <u>fi</u> nas y medianas; actividad biológica no apreciable; límite gradual y plano.
50-200	C	10YR 6/8 (h), amarillo parduzco; arenosa; grano suelto; escasas raíces al comienzo del horizonte; iguales características que el anterior.

## PERFIL II "Nave moteada"

Fecha .....	8 Diciembre 1982
Clasificación .....	Aquic-Dystric Xeropsamment
Ubicación .....	3 Km al sur de la casa de Control
Pendiente .....	Suavemente inclinado (2-6 %)
Drenaje externo .....	Algo excesivamente drenado
Drenaje interno .....	Algo excesivamente drenado
Prof. capa freática .....	240 cm (diciembre 82); +2 m (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Ladera de naves
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación <i>Halimio halimifolii</i> - <i>Staurocanthetum genistoides</i>

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-20	A	10YR 3/3 (h), pardo oscuro; arenosa; estructura migajosa muy fina tendente a grano suelta; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica media; límite neto y plano.
20-75	AC	10YR 5/4 (h), pardo amarillento con escasas manchas asociadas a raíces; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas y muy finas; actividad biológica baja; límite gradual y ondulado.
75-110	Cg <sub>1</sub>	10YR 6/6 (h), amarillo parduzco con frecuentes manchas 10YR 6/8 (h) amarillo-pardas asociadas a raíces; arenosa; de grano suelto; suelto (s), muy friable

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
		(h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y ondulado.
110-220	C	2,5 Y 7/4 (h), amarillo pálido con algunas manchas asociadas a raíces; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
220-260	Cg <sub>2</sub>	2,5 Y 7/3 (h), gris pálido con algunas manchas de hidromorfía, difusas, 10 YR 6/8 (h) amarillo-parduzcos, aumentando su frecuencia en profundidad hasta dominar a partir de 2,60 m.



C.1.1.1. Alto de nave  
perfil I "Control"  
Typic Xeropsamment

C.1.1.2. Ladera de nave  
perfil II "Nave Moteada"  
Aquic Dystric Xeropsamment



## PERFIL III "Montenegro"

Fecha .....	Febrero 1930
Clasificación .....	Humaqueptic Psammaquent
Ubicación .....	Km 4 del camino Control-Palacio
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Bien drenado
Prof. capa freática .....	1,8 m (febrero 8- y febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Bajo de Nave
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación <i>Erico scopariae</i> - <i>Ulicetum australis</i>

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-15	A	5 YR 2,5/1 (h), negro; arenosa; migajosa fina y mediana; blando a suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas y medianas; buenas actividad biológica; límite gradual y plano.
15-23	AC	5 YR 3/1 (h), gris muy oscuro, manchas pardo rojizas a lo largo de las raíces; arenosa; grano suelto; blandó a suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces finas y medianas; moderada actividad biológica; límite gradual y plano.
23-55	C	10YR 4/2 (h), pardo grisáceo; arenosa; características similares al anterior; escasas raíces finas; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
55-	Cg	10YR 7/2 (h), gris claro, con algunas manchas pardo rojizas que desaparecen a partir de 1,50 m; arenosa; grano suelto; iguales características al anterior.



C.1.1.3. Bajo de nave  
Perfil III "Montenegro"  
Humaqueptic Psammaquent



## PERFIL IV "Raposo alto"

Fecha .....	Octubre 1979
Clasificación .....	Dystric Xeropsamment
Ubicación .....	500 m al N del pinar del Raposo
Pendiente .....	Suavemente inclinado (2-6 %)
Drenaje externo .....	Bueno
Drenaje interno .....	Excesivo
Prof. capa freática .....	Más de 3 m
Elemento morfoedáfico .....	Alto de duna
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación Halimio - Stauracanthetum genistoides.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-25	A	10 YR 5/6 (h), pardo amarillento; 10 YR 6/6 (s), amarillo parduzco; arenosa; grano suelto a migajosa muy fina; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas y medianas; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
25-	C	10 YR 7/6 (s), amarillo; arenosa; grano suelto; muy suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces finas y medianas; poca actividad biológica.

## PERFIL V "Erica - Raposo medio"

Fecha ..... 15 Abril 1983

Clasificación ..... Aquic-Dystric Xeropsamment

Ubicación ..... 200 m al NE del pinar del Raposo

Pendiente ..... Suavemente inclinado (2 - 6 %)

Drenaje externo ..... Algo excesivamente drenado

Drenaje interno ..... Bien drenado

Prof. capa freática ..... 180 cm (abril 83); 230 cm (octubre 83); 85 cm (febrero 85)

Elemento morfoedáfico ..... Ladera de duna

Material original ..... Arenas eólicas

Vegetación ..... Asociación *Erica scopariae* - *Ulicetum australis*.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-20	A	7,5YR 4/2 (h), pardo; arenosa; estructura grumosa mal desarrollada tendente a grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica alta; límite gradual y plano.
20-50	AC	7,5YR 6/2 (h), gris rosado; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces medianas y finas; actividad biológica baja; límite difuso y plano.
50-70	C <sub>1</sub>	10YR 7/2 (h), gris claro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite gradual y ondulado.

....///....

.....///.....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
70-145	C <sub>1</sub> g	10YR 7/2 (h), gris claro con frecuentes manchas grandes y nítidas 5YR 5/8 (h) rojo amarillentas y 10YR 6/8 (h) amarillo parduzcas; arenosa; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
145-175	C <sub>2</sub>	10YR 7/1 (h), gris claro; arenosa; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
175-230	C <sub>2</sub> g	10YR 7/3 (h), pardo muy pálido con algunas manchas 10YR 6/8 (h) amarillo parduzcas que aumentan su frecuencia con la profundidad, hasta dominar a partir de los 210 cm; arenosa; iguales características al horizonte anterior.

## PERFIL VI "Raposo bajo"

Fecha .....	Octubre 1979
Clasificación .....	Typic Humaquept
Ubicación .....	Pinar del Raposo
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Imperfectamente drenado
Prof. capa freática .....	90 cm (octubre 79), 30 cm (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Bajo de duna
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación <i>Erico scopariae-Ulicetum australis</i> .

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Horiz.</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-35	Au <sub>1</sub>	5YR 2,5/1 (h), negro; arenosa franca; migajosa fina; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); raíces finas y medias, muy frecuentes; buena actividad biológica; límite gradual y plano.
35-45	Au <sub>2</sub>	5YR 3/1 (h), gris muy oscuro; arenosa; migajosa muy fina; suelta (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces muy finas; escasa actividad biológica; límite neto y plano.
45-65	AC	7,5 YR 4,5/2 (h), pardo; arenosa; grano suelto; suelta (s), suelta (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces finas y escasas medianas; límite gradual y plano.
65-	C	10YR 6/2 (m), gris parduzco claro, algunas manchas pardas difusas asociadas a restos vegetales; iguales características que el anterior.



C.1.2.2. Ladera de duna  
 perfil V "Erica-Raposo medio"  
Aquic Dystric Xerosamment :

C.1.2..3 Bajo de duna  
 Perfil VI "Raposo bajo"  
Typic Humaquept



## PERFIL VII "Rabá"

Fecha .....	15 Febrero 1983
Clasificación .....	Typic Haplaquoll
Ubicación .....	1 Km al E de la laguna de Santa Olalla
Pendiente .....	Casi llano (0 - 2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Moderadamente bien drenado
Prof. capa freática .....	80 cm (febrero 83); 140 cm (octubre 83); 10 cm (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Bajo de dura
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación <i>Erico scopariae</i> - <i>Ulicetum australis</i> .

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-20	Au <sub>1</sub>	10YR 3/1 (s), gris muy oscuro, 10YR 2,5/1 (h), negro; arenosa franca; estructura migajosa; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy abundantes raíces gruesas, medianas y finas; actividad biológica alta; límite gradual y ondulado.
20-50	Au <sub>2</sub>	10YR 4/1 (s), gris oscuro, 10YR 3/1 (h) gris muy oscuro; arenosa; estructura migajosa tendente a grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces medianas, finas y muy finas; actividad biológica alta; límite gradual y ondulado.

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Horiz. zonte	Descripción
50-70	AC	7,5 YR 6/2 (s), gris rosáceo, 7,5 YR 4/2 (h) pardo; arenosa; grano suelto; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
70-110	C <sub>1</sub>	10 YR 6/2 (h), gris pardo pálido; iguales características al horizonte anterior; no se aprecian ni raíces ni actividad biológica; límite gradual y ondulado.
110-140	C <sub>1g</sub>	2,5 Y 6/4 (m), pardo amarillento claro con moteado 10 YR 7/8 (m) amarilla y 5 YR 5/8 (m) rojo amarillentas; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
140-	C <sub>2</sub>	2,5 Y 6/2 (m), gris parduzco claro; arenosa; iguales características a los anteriores horizontes.

## PERFIL VIII "Alcornoque Mahón"

Fecha .....	15 Febrero 1983
Clasificación .....	Cumulic Pachic Xerumbrept
Ubicación .....	1 Km al S de Encinillas Altas
Pendiente .....	Casi llano (0 - 2 %)
Drenaje externo .....	Moderadamente bien drenado
Drenaje interno .....	Bien drenado
Prof. capa freática .....	140 cm (febrero 83); 370 cm (octubre 83); 45 cm (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Bajo de duna
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación <i>Erico scopariae</i> - <i>Ulicetum australis</i>

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-10	Ah	7,5 YR 3/2 (h), pardo oscuro; arenosa; estructura migajosa tendente a grano suelta; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy abundantes raíces gruesas, medias y finas; actividad biológica alta; límite gradual y plano.
10-30	Au <sub>1</sub>	7,5 YR 5/2 (s), pardo, 7,5 YR 4/2 (h) pardo oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces medianas y finas; actividad biológica media; límite gradual y plano.
30-55	Au <sub>2</sub>	7,5 YR 4/2 (s), pardo oscuro, 7,5 YR 3/2 (h) pardo más oscuro; areno-limosa; grano suelto; ligeramente duro (s), friable (h), ligeramente plástico y

....///....



....///....

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
		adherente (m); escasas raíces finas y muy finas que madas; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y plano.
55-100	2Au <sub>1</sub>	10YR 2,5/1 (h), negro; areno-limosa; grano suelto; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y plano.
100-130	2Au <sub>2</sub>	10YR 3/1 (h), gris muy oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite gradual y ondulado.
130-150	2AC	10YR 4/2 (h), pardo grisáceo oscuro; arenosa; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
150-170	2C	10YR 7/3 (h), pardo muy pálido; iguales caracteres al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
170-240	2Cg	10YR 7/3 (h), pardo muy pálido con frecuentes manchas 10 YR 7/8 (h) amarillas que aumentan en profundidad hasta hacerse uniformes a 190 cm, disminuir nuevamente a los 240 cm, y casi desaparecer a los 400 cm; arenosa-franca; grano suelto; ligeramente duro (s), ligeramente firme, ligeramente plástico y adherente.



C.1.2.3. Bajo de duna  
 perfil VII "Rabá"  
Typic Haplaquoll



C.1.2.3. Bajo de duna  
 perfil VIII "Alcornoque  
 Mahón"  
Cumelic Pachic Xerumbrept

## PERFIL IX "Encinillas altas"

Fecha .....	Noviembre 1979
Clasificación .....	Hístico Humaquept
Ubicación .....	En Encinillas Altas
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Escasamente drenado
Prof. capa freática .....	1,10 m (noviembre 79); 10 cm (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Bosque conservado
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociaciones Myrto-Quercetum suberis pteridietosum y Lonicero-Rubetum ulmifoli.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-8	0	2,5 YR 2,5/2 (h), rojo muy oscuro; limosa; migajosa mediana; blando (s), muy friable (h), ligeramente plástico y adherente (m); abundantes raíces finas y muy finas, entramadas entre sí, y restos de hojas y tallos; buena actividad biológica; límite brusco y plano.
8-25	Au <sub>1</sub>	5 YR 2,5/1 (h), negro; franco-arenosa; migajosa fina; blando (s), friable (h), ligeramente plástico y adherente (m); abundantes raíces finas y muy finas, algunas medianas; moderada actividad biológica; límite gradual y plano.

.....///.....

.....///.....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
25-40	Au <sub>2</sub>	10 YR 2,5/1 (h), negro; arenosa-franca; migajosa fina; suelto (s), muy friable a suelto (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces; límite gradual y plano.
40-60	Au <sub>3</sub>	10 YR 3,5/1 (h), gris muy oscuro a gris oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable a suelto (h), no plástico y no adherente (m); muy escasas raíces; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y plano.
60-100	AC	10 YR 4,5/1 (h), gris oscuro a gris; arenosa; grano suelto; muy suelto (s), suelto (h), no plástico y no adherente (m); límite gradual y plano.
100-	C	10 YR 7/4 (h), pardo muy pálido; arenosa; grano suelto; iguales características que el anterior.



C.1.2.4. Bosque conservado  
perfil IX "Encinillas Altas"

Histic Humaquept

## PERFIL X "Laguna del Caballo"

Fecha .....	15 Febrero 1983
Clasificación .....	Thapto Psammentic Ochraqualf
Ubicación .....	Laguna del Caballo
Pendiente .....	Llano (0 - 2 %)
Drenaje externo .....	Escasamente drenado
Drenaje interno .....	Escasamente drenado
Prof. capa freática .....	90 cm (febrero 83); 220 cm (octubre 83); superficial (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Laguna temporal
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación Junco emmanuelis - Eleocharis ridetum multicaulis.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-7	Ah	5 YR 3/1 (h), gris muy oscuro; franco-arenosa; estructura migajosa mediana tendente a grano suelto; ligeramente duro (s), firme (h), no plástico y ligeramente adherente (m); frecuentes raíces finas y muy finas; actividad biológica media; límite gradual y plano.
7-25	A	5 YR 2,5/2 (h), pardo rojizo oscuro, algunas manchas asociadas a raíces; franco-arenosa; estructura migajosa tendente a poliédrica subangular fina; duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); escasas raíces finas; actividad biológica baja; límite neto y plano.

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
25-40	AC	10 YR 3/2 (h), pardo grisáceo muy oscuro con manchas 7,5 YR 4/4 (h) pardo oscuro; algunas concreciones ferruginosas; franco-arenosa; estructura poliédrica subangular mediana; duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite neto y plano.
40-80	Btg	Abigarrado: matriz 10 YR 4/2 (h), pardo grisáceo oscuro, manchas 2,5 Y 5/6 (h) pardo oliva pálido y 5YR 5/8 (h) rojo amarillento; franco-arcillo-arenosa; estructura prismática; muy duro (s), muy firme (h), muy plástico y muy adherente (m); algunas concreciones ferruginosas; límite neto y plano.
80-135	2C	10 YR 7/1 (h), gris claro con muy escasas manchas 10 YR 5/3 (h) pardas; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian prácticamente raíces ni actividad biológica; límite gradual y ondulado.
135-180	2Cg <sub>1</sub>	5 Y 6/2 (h), gris oliva claro, con grandes manchas 5 YR 5/8 (h) rojo amarillentas; arenosa; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
180-250	2Cg <sub>2</sub>	10 YR 6/4 (m), pardo amarillento claro; arenosa; iguales características al horizonte anterior.





C.1.2.5. Lagunas temporales. Laguna del  
Caballo inundada (perfil X)

C.1.2.5. Lagunas temporales  
perfil X "Laguna del Caballo"  
Thapto Psammentic Ochraqelf





## PERFIL XI "Navazo del Toro"

Fecha .....	15 Febrero 1983
Clasificación .....	Typic Natraqualf
Ubicación .....	Laguna del Navazo del Toro
Pendiente .....	Llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Escasamente drenado
Drenaje interno .....	Escasamente drenado
Prof. capa freática .....	125 cm (febrero 83); 160 cm (octubre 83); superficial (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Laguna temporal
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociaciones <i>Scirpo fleritantis</i> - <i>Juncetum heterophylli</i> y <i>Preslio</i> - <i>Eryngietum corniculati</i> .

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-5	Ah	7,5 YR 4/2 (s), pardo, 7,5 YR 3/2 (h) pardo oscuro; franco-arcillo-arenosa; estructura granular mediana tendente a migajosa mediana; ligeramente duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); escasas raíces finas y muy finas; actividad biológica baja; límite neto y plano.
5-17	A	10 YR 5/1 (h), gris, 10 YR 3/2 (h) pardo grisáceo muy oscuro; franco-arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), firme (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite neto y plano.

....///....

....///....

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
17-30	C	7,5 YR 7/2 (s), gris rosado, 7,5 YR 6/2 (h) gris rosado; arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite neto y plano.
30-40	2AB	7,5 YR 5/2 (s), pardo, 7,5 YR 3/2 (h) pardo oscuro; arenosa; estructura poliédrica subangular mediana; duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); límite gradual y ondulado.
40-70	2Bzg	7,5 YR 4/2 (h), pardo oscuro con manchas 10 YR 5/6 (h) pardo amarillentas y 2,5 Y 5/6 (h) pardo oliva claro; franco-arenosa; estructura columnar gruesa; muy duro (s), muy firme (h), muy plástico y muy adherente (m); aparecen concreciones ferruginosas hasta los 60 cm y nódulos salinos de los 60-70 cm; límite gradual y ondulado.
70-90	2B 3C <sub>1</sub>	10 YR 7/2 (h), gris claro; arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), ligeramente firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); límite gradual y ondulado.
95-110	3C <sub>1</sub>	10 YR 4/2 (h), pardo grisáceo oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico ni adherente (m); aparecen restos de raíces medianas y finas; límite gradual y plano.
110-190	3C <sub>2</sub>	5 Y 5/2 (m), gris oliva que tiende hacia gris oscuro 2,5 Y 4/0 (m) en profundidad; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico ni adherente (m).

## PERFIL XII "Farallón carretera"

Fecha .....	3 Noviembre 1982
Clasificación .....	Dystric - Aquic - Xeropsamment
Ubicación .....	Límite NNW del Parque Nacional Doñana
Pendiente .....	Casi llano (0 - 2 %)
Drenaje externo .....	Bien drenado
Drenaje interno .....	Algo excesivamente drenado
Prof. capa freática .....	Más de 2,5 m
Elemento morfoedáfico .....	Eucaliptar
Material original .....	Arenas basales
Vegetación .....	Asociación <i>Halimio halimifolii</i> - <i>Staura canthetum genistoidis</i> .

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-10	A	10 YR 5/4 (s), pardo amarillento; arenosa; estructura migajosa fina tendiendo a grano suelto; blando (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces medianas y finas; actividad biológica media; límite neto y plano.
10-130	Cg	Abigarrado: 10 YR 6/8 (s), amarillo parduzco con abundantes manchas 5 YR 8/8 (s) rojo amarillentas con un núcleo 5 YR 4/6 (s) rojo amarillento, y matriz 10 YR 6/3 (s) pardo pálido; arenosa-franca; grano suelto; ligeramente duro (s), firme (h), no plástico y ligeramente adherente (m); escasas raíces finas; no se aprecia actividad biológica.



C.1.2.5. Lagunas temporales  
perfil XI "Navazo del Toro"

Typic Natraquealf

C.1.2.6. Eucaliptar  
perfil XII "Farallón  
carretera"  
Dystric Aquic Xeropsamment



## PERFIL XIII "Farallón enterrado"

Fecha ..... 20 Noviembre 1982

Clasificación ..... Thapto - Alfic - Xeropsamment

Ubicación ..... Norte del Manto arrasado

Pendiente ..... Casi llano (0 - 2 %)

Drenaje externo ..... Bien drenado

Drenaje interno ..... Algo excesivamente drenado

Prof. capa freática ..... Más de 2 m (noviembre 82 y febrero 85)

Elemento morfoedáfico ..... Eucaliptar

Material original ..... Arenas eólicas

Vegetación ..... Eucaliptus sp.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-15	Ap	10 YR 6/3 (s), pardo pálido; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica baja; límite gradual y plano.
15-30	AC	10 YR 6/2 (s), gris parduzco pálido; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces finas y muy finas; actividad biológica baja; límite gradual y plano.
30-45	C	10 YR 7/2 (s), gris claro con algunas manchas difusas de hidromorfia, siguiendo las raíces; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy escasas raíces; no se aprecia actividad biológica; límite ondulado y gradual.

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
45-75	Cg <sub>1</sub>	10 YR 7/3 (h), pardo muy claro con frecuentes manchas 10 YR 6/8 (h) amarillo pardo; arenosa; grano suel- to; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y ondulado.
75-115	Cg <sub>2</sub>	10 YR 7/4 (h), pardo muy claro con abundantes manchas 7,5 YR 6/8 (h) amarillo rojizas; arenosa; iguales características al horizonte anterior; límite gra- dual y ondulado.
115-150	2Btg	Abigarrado: 7,5 YR 5/8 (h), pardo fuerte, 10 YR 7/6 (h) amarillo, 2,5 Y 7/2 (h) gris oscuro; arenosa- -franca; estructura granular fina débilmente desa- rrollada; ligeramente duro (s), ligeramente firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); no se aprecian señales de raíces ni de actividad biológi- ca.

## PERFIL XIV "Flecha amarilla"

Fecha ..... 22 Marzo 1985

Clasificación ..... Typic Xeropsamment

Ubicación ..... NE de los cordones de la Marismilla

Pendiente ..... Suavemente inclinado (2-6 %)

Drenaje externo ..... Excesivamente drenado

Drenaje interno ..... Excesivamente drenado

Prof. capa freática ..... Más de 3 m

Elemento morfoedáfico ..... Alto de cordón

Material original ..... Arenas eólicas

Vegetación ..... Asociación Rhamno oleoidi - Juniperetum  
lyciae.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-10	A	10 YR 6/4 (s), pardo amarillento claro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces; escasa actividad biológica; límite gradual y ondulado.
10-65	C <sub>1</sub>	10 YR 6/6 (h) amarillo parduzco; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite difuso y plano.
65-	C <sub>2</sub>	10 YR 7/6 (h), amarillo; iguales características al horizonte anterior.

## PERFIL XV "Flecha negra"

Fecha .....	22 Marzo 1985
Clasificación .....	Aeric Calcicquoll
Ubicación .....	NW de los Cordones de la Marismilla
Pendiente .....	Llano (0-2%)
Drenaje externo .....	Escasamente drenado
Drenaje interno .....	Imperfectamente drenado
Prof. capa freática .....	65 cm
Elemento morfoedáfico .....	Bajo de Cordón
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociaciones Polygono equisetiformis- Limoniastretum monopetali.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-25	Ak	10 YR 3/1 (h), gris muy oscuro; franco-arenosa; estructura migajosa; duro (s), firme (h), ligeramente plástico y muy adherente (m); fuerte reacción caliza y sulfídica; muy abundantes raíces finas y muy finas; actividad biológica alta; límite neto y plano.
25-35	AC	10 YR 4/4 (h), pardo amarillento oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); reacción caliza; frecuentes raíces finas; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
35-	Cg	10 YR 7/4 (m), pardo muy pálido; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); reacción caliza; escasas raíces; no se aprecia actividad biológica; aparecen numerosos restos de conchas.



## PERFIL XVI "Fecha gris"

Fecha .....	22 Marzo 1985
Clasificación .....	Typic Haplaquoll
Ubicación .....	Zona W de los Cordones de la Marismilla
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Bien drenado.
Drenaje interno .....	Bien drenado.
Prof. capa freática .....	100 cm
Elemento morfoedáfico .....	Zona baja de los Cordones de la Maris- milla
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Pinus pinea L. y asociación Halimium halimifolia - Stauracanthetum genistoi- des.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-25	Ak	10 YR 3/2 (h), pardo grisáceo muy oscuro; arenosa- -franca; estructura migajosa; ligeramente duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); fuer- te reacción caliza; muy abundantes raíces medias y fi- nas; actividad biológica alta; límite gradual y on- dulado.
25-40	AC	10 YR 4/3 (h), pardo oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); reacción caliza; frecuentes raíces finas; es- casa actividad biológica; límite gradual y ondulado.

....///....

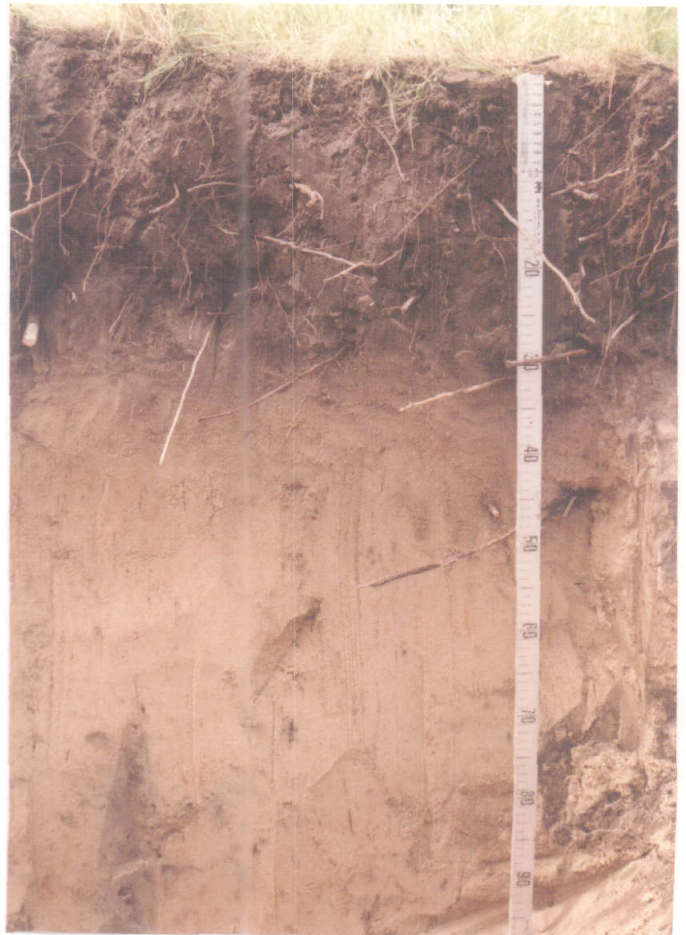
....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
40-70	Cg <sub>1</sub>	10 YR 6/6 (h), amarillo parduzco; escasas manchas asociadas a raíces; arenosa; grano suelto; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y plano.
70-100	Cg <sub>2</sub>	10 YR 6/6 (m), amarillo parduzco; abundantes manchas 5 YR 4/6 (m) rojo amarillentas y 10 YR 5/2 (m) pardo grisáceas asociadas a raíces; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); reacción caliza; escasas raíces finas; nula actividad biológica.



C.1.3.2. Bajo de Cordón  
de las Marismillas  
perfil XV "Flecha negra"  
Aeric Calciaquoll

C.1.3.2. Bajo de Cordón  
de las Marismillas  
perfil XVI "Flecha gris"  
Typic Haplaquoll



## PERFIL XVII "Corral largo"

Fecha .....	Junio 1980
Clasificación .....	Typic Psammaquent
Ubicación .....	En Corral largo
Pendiente .....	Llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Escasamente drenado
Drenaje interno .....	Moderadamente bien drenado
Prof. capa freática .....	45 cm
Elemento morfoedáfico .....	Corral húmedo
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación Holoschoeno - Juncetum acu ti.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-2	Au <sub>1</sub>	5 YR 2,5/2 (h), pardo rojizo oscuro, manchas difusas de óxido hacia la base del horizonte; arenosa; migajosa fina; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas y muy finas; buena actividad biológica; límite brusco y plano.
2-7	Au <sub>2g</sub>	Abigarrado difuso, matriz 10 YR 4/4 (h), pardo amarillento oscuro, con moteados 7,5 YR 4/4 (h) pardos, y 7,5 YR 5/6 (h) pardo fuerte; pequeñas manchas muy oscuras de materia húmica, similares a las del horizonte anterior, 10 YR 7/3 pardo muy pálido (s); arenosa; migajosa muy fina a grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces finas y algunas medianas, con restos de raíces, tallos y hojas; buena actividad biológica; límite neto y plano.

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
7-20	Cg <sub>1</sub>	Color abigarrado más difuso que el anterior, de matriz 10 YR 6/3 (h) pardo pálido, con moteado más fino y menos denso 5 YR 4/6 (h) rojo amarillento, localizado preferentemente en las zonas radicales; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no arenoso (m); frecuentes raíces finas y medianas; escasa actividad biológica; límite neto y plano.
20-55	Cg <sub>2</sub>	10 YR 6/3 (h) pardo pálido, con veteado 10 YR 5/1 (h) gris, y 2,5 YR 3/0 (h), gris muy oscuro; arenosa; grano suelto; muy suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces, principalmente restos; muy escasa actividad biológica; ligero olor sáprico.



C.2.2.1. Corral húmedo  
perfil XVII "Corral Largo"  
Typic Psammaquent

## PERFIL XVIII "Corral Carbonero"

Fecha .....	15 Abril 1983
Clasificación .....	Typic Xeropsamment
Ubicación .....	Corral próximo a Torre Carbonero
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Moderadamente bien drenado
Drenaje interno .....	Excesivamente drenado
Prof. capa freática .....	Más de 2,5 m
Elemento morfoedáfico .....	Corral seco
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación Artemisio - Armerietum pun- gentis.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Distribución
0-3	O	7,5 YR 3/2 (h), pardo oscuro; arenosa; estructura migajosa tendente a grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy abundantes raíces gruesas, medianas y finas; actividad biológica alta; límite neto y plano.
3-	C	10 YR 7/2 (h), gris claro con algunas manchas difusas 10 YR 5/8 (h) pardo amarillentas, asociadas a raíces; arenosa; grano suelto; abundantes raíces medianas y finas, que disminuyen en profundidad; actividad biológica media, disminuyendo en profundidad.

## PERFIL XIX "Gusano Alto"

Fecha ..... 20 Abril 1982

Clasificación ..... Aquic Xeropsamment

Ubicación ..... SW de la laguna de Santa Olalla

Pendiente ..... Casi llano (0-2 %)

Drenaje externo ..... Bien drenado

Drenaje interno ..... Algo excesivamente drenado

Prof. capa freática ..... 70 cm (abril 82); 180 cm (septiembre 83)

Elemento morfoedáfico ..... Gusano alto

Material original ..... Arenas eólicas

Vegetación ..... Asociación Halimio halimifolii - Stau  
racantheum genistoidis.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-15	A	10 YR 5/4 (s), pardo amarillento; escasas manchas pequeñas 5 YR 3/3 (s) pardo rojizas oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); frecuentes raíces finas y medias; escasa actividad biológica; límite difuso y plano.
15-30	AC	10 YR 6/4 (h), pardo amarillento claro, algunas manchas pequeñas 10 YR 6/8 (h) amarillo parduzcas, aparecen distribuidas al azar vetas negras compuestas por acumulaciones de minerales pesados, ilmenita principalmente; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces finas; muy escasa actividad biológica; límite gradual y plano.

....///....



....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
30-70	C <sub>1</sub>	10 YR 5/4 (m), pardo amarillento; arenosa; grano suelto; suelto (s); muy friable (h), no plástico y no adherente (m); muy escasas raíces; muy baja actividad biológica; límite gradual y plano.
70-160	C <sub>1g</sub>	10 YR 5/2 (m), pardo grisáceo con frecuentes manchas medianas y pequeñas 10 YR 5/6 (m) pardo amarillentas; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); muy escasas raíces; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y plano.
160-	C <sub>2</sub>	10 YR 5/3 (m), pardo; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); no aparecen raíces; no se aprecia actividad biológica.

## PERFIL XX "Gusano Bajo"

Fecha ..... 20 Noviembre 1982

Clasificación ..... Mollic Psammaquent

Ubicación ..... SW de la laguna de Santa Olalla

Pendiente ..... Llano (0-2 %)

Drenaje externo ..... Imperfectamente drenado

Drenaje interno ..... Moderadamente bien drenado

Prof. capa freática ..... 60 cm (noviembre 82); 70 cm (julio 83)

Elemento morfoedáfico ..... Gusano Bajo

Material original ..... Arenas eólicas

Vegetación ..... Asociación Centaureo exavatae - Armerie  
tum gaditanae y Loto subbiflori - Chae  
topogonetum fasciculati.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-15	A	2,5 YR 3/2 (h), rojo oscuro; arenosa-franca; estructura migajosa tendente a grano suelta; blando (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy abundantes raíces medianas finas y muy finas; actividad biológica alta; límite neto y ondulado.
15-30	ACg	10 YR 5/4 (h), pardo amarillento; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces, finas y muy finas; actividad biológica alta; límite neto y ondulado.

.....///.....

....//....

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
30-60	Cg <sub>1</sub>	10 YR 4/4 (h), pardo amarillento oscuro con manchas 5 YR 5/8 (h) rojo amarillentas; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces y actividad biológica; límite gradual y plano.
60-70	Cg <sub>2</sub>	10 YR 4/1 (h), gris oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy escasas raíces; actividad biológica muy baja; límite gradual y plano.
70-100	Cg <sub>3</sub>	2,5 Y 4/2 (m), pardo grisáceo oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica.

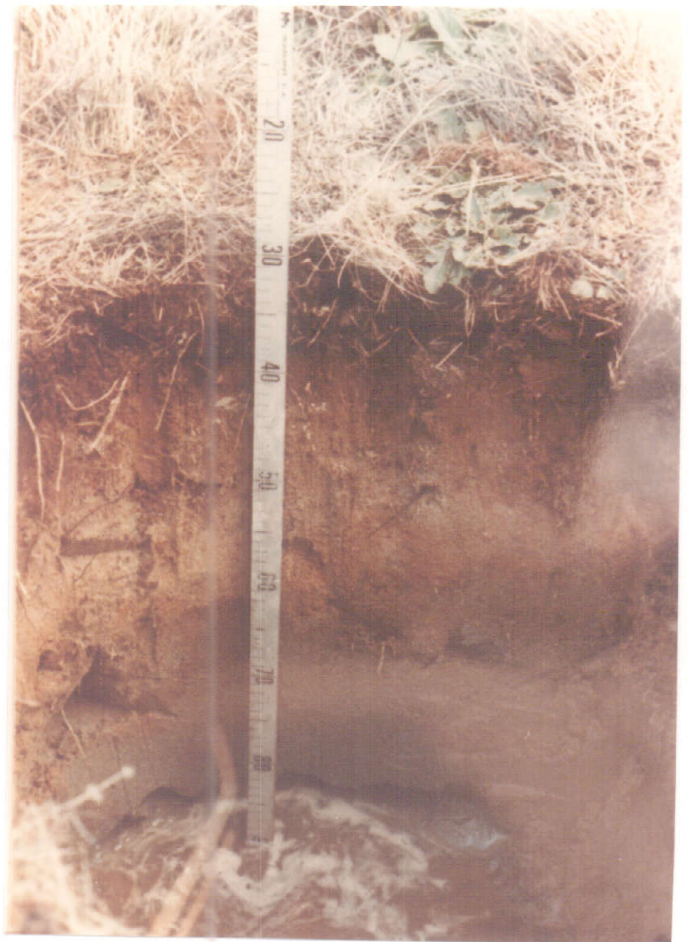


C.2.3.1. Gusano alto  
perfil XIX "Gusano alto"

Aquic Xeropsamment

C.2.3.2. Gusano bajo  
perfil XX "Gusano Bajo"

Mollic Psammaquent



## PERFIL XXI "Marisma Rocina"

Fecha ..... 3 Noviembre 1982

Clasificación ..... Typic Pelloxerert

Ubicación ..... Desembocadura de la Rocina

Pendiente ..... Llano (0 - 2 %)

Drenaje externo ..... Escasamente drenado

Drenaje interno ..... Muy escasamente drenado

Prof. capa freática ..... 205 cm

Elemento morfoedáfico ..... Vera arcillosa

Material original ..... Sedimentos finos aluviales

Vegetación ..... Ausente.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-25	Au <sub>1</sub>	10 YR 3/1 (s), gris muy oscuro; arcillosa; estructura prismática tendiendo a columnar mediana, bien de sarrollada; duro (s), firme (h), plástico y adherente (m); escasas raíces finas y muy finas; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
25-55	Au <sub>2</sub>	7,5 YR 3/0 (s), gris muy oscuro; arcillosa; iguales características al horizonte anterior; apreciable agrietamiento.
55-85	ACg	10 YR 3/1 (h), gris muy oscuro con abundantes manchas 10 YR 4/2 (h) pardo grisáceo oscuro; arcillosa; estructura aglomerada; muy duro (s), muy firme (h), muy plástico y muy adherente (m); baja reacción caliza; no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite gradual y plano.

.....///.....

.....///.....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
85-150	Cg <sub>1</sub>	Abigarrado: matriz 10 YR 4/3 (h), pardo con abundantes manchas 7,5 YR 4/4 (h) pardo oscuro y 2,5 Y 5/0 (h) grises; arcillosa; estructura aglomerada; iguales características al horizonte anterior; límite gradual y plano.
150-170	Cg <sub>2</sub>	10 YR 4/2 (h), pardo grisáceo oscuro con escasas manchas igual a las del horizonte anterior; iguales características al horizonte anterior.
170-210	2C	10 YR 4/1 (m), gris oscuro; franco-arcillo-arenosa; grano suelto; duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); no se aprecia reacción caliza.

## PERFIL XXII "Vera Juncal"

Fecha .....	15 Abril 1983
Clasificación .....	Thapto-Psammentic Pelloxerert
Ubicación .....	A la altura del Palacio
Pendiente .....	Llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Escasamente drenado
Drenaje interno .....	Muy escasamente drenado
Prof. capa freática .....	100 cm (abril 83); 135 cm (octubre 83); superficial (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Vera arcillosa
Material original .....	Sedimentos finos aluviales
Vegetación .....	Asociaciones Scirpetum maritimi y Jun- cetum rugoso-effusi.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-15	A	5 YR 3/1 (h), gris muy oscuro; arcillosa; estructura prismática tendiendo a columnar mediana; duro (s), muy firme (h), plástico y adherente (m); débil reacción caliza; abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica alta; límite difuso y plano.
15-60	C	10 YR 3/1 (h), gris muy oscuro; arcillosa; estructura prismática gruesa; duro (s), firme (h), plástico y adherente (m); débil reacción caliza; frecuentes raíces medianas y finas; actividad biológica media; límite gradual y ondulado.

....///....

...///...

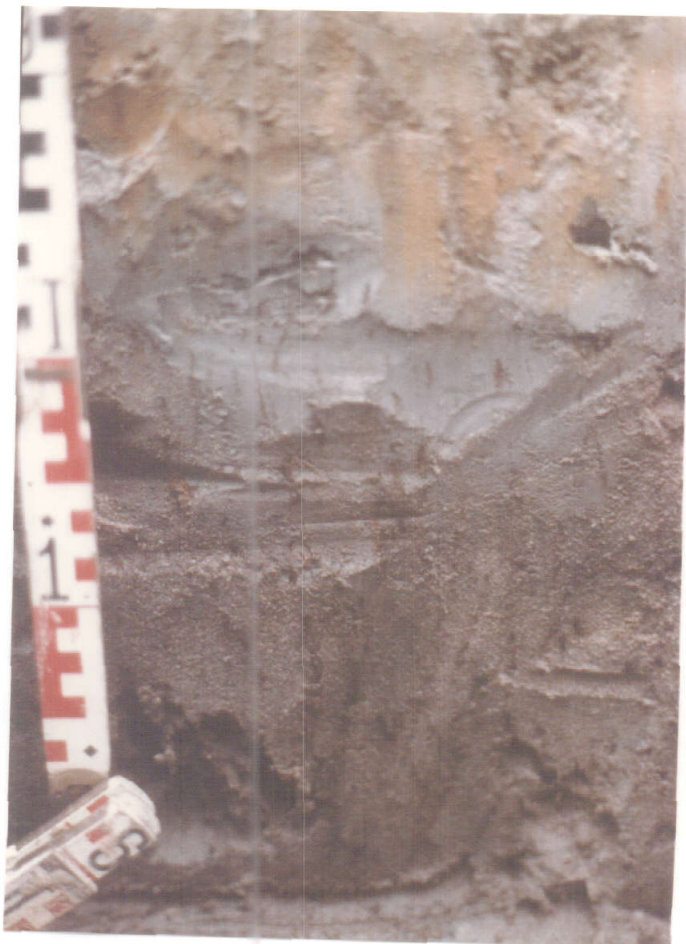
Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
60-100	Cg	Abigarrado: 2,5 Y 4/2 (h), pardo grisáceo oscuro con manchas 10 YR 5/8 (h) pardo amarillentas y vetas 2,5 Y 6/0 (h) grises; arcillo-arenosa; estructura aglomerada; muy duro (s), muy firme (h), muy plástico y adherente (m); débil reacción caliza; escasas raíces finas; no se aprecia actividad biológica; límite gradual e irregular.
100-115	Cg 2AC	10 YR 5/1 (m), gris con escasas manchas 5 YR 5/8 (m) rojo amarillentas; franco-arcillo-arenosa; estructura aglomerada; duro (s), firme (h), plástico y adherente (m); débil reacción caliza; no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite gradual y plano.
115-165	2C <sub>1</sub>	10 YR 4/2 (m), pardo grisáceo oscuro; arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no aparece reacción caliza; muy abundantes restos de raíces medianas y finas; límite gradual y plano.
165-	2C <sub>2</sub>	10 YR 3/1 (m), gris muy oscuro; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); desaparecen los restos de raíces.





C.3.1.1. Vera arcillosa  
 perfil XXII "Vera juncal"  
Thapto Psammentic Pelloxerert

perfil XXII "Vera Juncal"  
 Detalle de la discontinuidad textural.



## PERFIL XXIII "Farallón Aluvial"

Fecha .....	3 Noviembre 1982
Clasificación .....	Mollic Psammaquent
Ubicación .....	Límite N del Parque Nacional Doñana
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Imperfectamente drenado
Prof. capa freática .....	55 cm (noviembre 82); superficial (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Vera arenosa
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociación Trifolio - Cynodontian.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-10	A	7,5 YR 3/2 (h), pardo oscuro; arenosa-franca; estructura migajosa fina; ligeramente duro (s), firme (h), no plástico y ligeramente adherente (m); muy abundantes raíces medianas, finas y muy finas; actividad biológica alta; límite neto y plano.
10-20	ACg	10 YR 5/3 (h), pardo con frecuentes manchas asociadas a raíces 5 YR 5/8 (h) rojo amarillentas; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica alta; límite neto y plano.
20-55	Cg	2,5 Y 6/4 (h), pardo amarillento claro con frecuentes manchas 2,5 Y 3/0 (h) gris muy oscuro asociadas a restos de raíces podridas y también algunas 5Y 6/2

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
		(h) verde oliva claras y 10 YR 5/8 (h) pardo amari- llentas, igualmente asociadas a raíces; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces medianas y fi- nas; no se aprecia actividad biológica; límite gra- dual y ondulado.
55-100	2Btg	10 YR 6/6 (m), amarillo parduzco con algunas manchas difusas 10 YR 5/8 (m) pardo amarillentas; arenosa; granular fina; ligeramente duro (s), firme (h), li- geramente plástico y adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica.

## PERFIL XXIV "Asfodelus Martinazo"

Fecha ..... 15 Abril 1983

Clasificación ..... Mollic-Plúntic Psammaquent

Ubicación ..... A la altura de la casa de Martinazo

Pendiente ..... Casi llano (0-2 %)

Drenaje externo ..... Moderadamente bien drenado

Drenaje interno ..... Bien drenado

Prof. capa freática ..... 70 cm (abril 83); 50 cm (noviembre 83)

Elemento morfoedáfico ..... Vera arenosa

Material original ..... Arenas eólicas

Vegetación ..... Asociación Centaureo exaratae - Armerie  
tum gaditanae.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-10	A	7,5 YR 3/2 (h), pardo oscuro; arenosa; estructura grumosa fina tendente a grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y ligeramente adherente (m); muy abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica alta; límite gradual y plano.
10-20	AC	10 YR 5/3 (h), pardo; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico ni adherente (m); abundantes raíces medianas y finas; actividad biológica alta; límite gradual y plano.
20-40	Cg	10 YR 6/3 (h), pardo pálido con abundantes manchas 10 YR 5/6 (h) pardo amarillentas; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico ni ad

....///....

.....///.....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
		herente (m); escasas raíces finas; actividad biológica baja; límite neto y plano.
40-60	Cs <sub>1</sub>	Color abigarrado; concreciones ferruginosas 2,5 YR 3/4 pardo rojizas oscura y 2,5 YR 3/6 rojas oscuras; arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica; límite plano y gradual.
60-70	Cs <sub>2</sub>	Color abigarrado; desaparecen las concreciones tomando el horizonte un tono más amarillento; iguales características al horizonte anterior; límite plano y neto.
70-	Cr	10 YR 5/2 (m) pardo grisáceo, que tiende hacia 10 YR 4/1 (m) gris oscuro a la altura de la capa freática; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m).



C.3.1.2. Vera arenosa  
 perfil XXIII "Farallón  
 aluvial"  
Mollic Psammaquent

C.3.1.2. Vera arenosa  
 perfil XXIV "Asfodelus  
 Martinazo"  
Mollic Plinthic Psammaquent



## PERFIL XXV "Cerrado alcornoques"

Fecha .....	Junio 1980
Clasificación .....	Lithoplintic Xeropsamment
Ubicación .....	En la zona E de la Vera, debajo de "la parajera"
Pendiente .....	Casi llano (0 - 2 %)
Drenaje externo .....	Moderadamente bien drenado
Drenaje interno .....	Algo excesivamente drenado
Prof. capa freática .....	1,60 m
Elemento morfoedáfico .....	Vera arenosa
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Pteridium aquilinum L.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-10	Au <sub>1</sub>	10 YR 4/3 (h), pardo a pardo oscuro, 10 YR 5/3 (s), pardo; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable a suelto (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas, en los primeros centímetros, algunas raíces medianas y gruesas hacia la base del horizonte, frecuentes restos de tallos y raíces secos; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
10-25	Au <sub>2</sub>	7,5 YR 4/4 (h), pardo a pardo oscuro, 7,5 YR 5/4 (s), pardo; arenosa; grano suelto; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); sin raíces ni actividad biológica apreciable; límite difuso y plano.

.....///.....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
25-60	ACg	Igual color con manchas ferruginosas aisladas muy <u>di</u> fusas; igual textura que el horizonte anterior, igual estructura; algunas raíces finas; límite <u>gra</u> dual y <u>pl</u> ano.
60-90	Cg	Igual color con manchas de óxido-reducción, más fre-cuentes, nítidas y gruesas con la profundidad; igual textura que el horizonte anterior; grano suelto que tiende a formar pequeños agregados migajosos; suel-to (s), suelto a muy friable (h), no plástico y no <u>ad</u> herente (m); límite brusco y discontinuo.
90-120	Cms	Costra o coraza ferruginosa, litoplíntica, muy dura en general y frágil en algunos puntos, de superficie rugosa alveolar, con oquedades rellenas de arena y raíces, con fuerte y desigual liberación de óxidos férricos de color pardo rojizo oscuro 2,5 YR 2,5/4, siendo más oscuro hacia la periferia de los cortes más duros; límite brusco y discontinuo.
120-160	C <sub>1</sub>	10 YR 6/6 (h); amarillo parduzco; arenosa; grano suelto, con tendencia a formar ligeros agregados <u>mi</u> gajosos; límite neto y plano.
160-	C <sub>2</sub>	Color más uniforme, 10 YR 5/8 (h), pardo amarillen-to; arenosa; migajosa fina; restantes caracterís-ticas semejantes al horizonte anterior.





C.3.1.2. Vera arenosa  
perfil XXV "Cerrado Al-  
cornoques"

Lithoplinthic Xeropsamment

Perfil XXV "Cerrado Alcor-  
noques"

Detalle de la costra ferru-  
ginosa.



## PERFIL XXVI "Nocle"

Fecha ..... 15 Abril 1983  
 Clasificación ..... Aerico Calchaquoll  
 Ubicación ..... 2 Km al S de la laguna del Sopetón  
 Pendiente ..... Llano (0-2 %)  
 Drenaje externo ..... Escasamente drenado  
 Drenaje interno ..... Imperfectamente drenado  
 Prof. capa freática ..... 50 cm (abril 83); 80 cm (Julio 83);  
 40 cm (noviembre 83)  
 Elemento morfoedáfico ..... Vera arenosa; Nocle  
 Material original ..... Arenas eólicas  
 Vegetación ..... Asociación Trifolio-Caricetum chaeto-  
 phyllae.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-15	Akz	5 YR 3/3 (h), pardo rojizo oscuro con manchas 2,5 Y 4/2 (h), pardo grisáceo oscuras y 2,5 Y 3/2 (h), pardo grisáceas muy oscuras; franco-arenosa; estructura migajosa gruesa; blando (s), firme (h), no plástico y ligeramente adherente (m); fuerte reacción caliza; muy abundantes raíces medianas, finas y muy finas; actividad biológica muy alta; límite gradual e irregular.
15-25	Ak	2,5 Y 3/2 (h), pardo grisáceo muy oscuro con manchas 5 YR 3/3 (h), pardo rojizo oscuras y 7,5 YR 2,5/0 (h), negras; arenosa-franca; estructura migajosa gruesa; blando (s), firme (h), no plástico y ligeramente adherente (m); fuerte reacción cali

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
		za y sulfídrica; muy abundantes raíces medianas, <u>fi</u> nas y muy finas; actividad biológica alta; límite neto y plano.
25-45	ACr	10 YR 5/3 (h), pardo y algunas manchas 10 YR 3/3 (h) pardo oscuro en forma de raíces; arenosa; grano suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); débil reacción caliza; ligero olor sáprico; abundantes restos de raíces medianas y finas; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y ondulado.
45-120	Cr <sub>1</sub>	10 YR 6/3 (h), pardo pálido; arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy débil reacción caliza; escasos restos de raíces finas; límite gradual y ondulado.
120-	Cr <sub>2</sub>	2,5 Y 4/2 (m), pardo grisáceo oscuro; arenosa; gra no suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); muy débil reacción caliza; desa- parecen los restos de raíces.

## PERFIL XXVII. "Soto Grande"

Fecha ..... 21 Octubre 1982

Clasificación ..... Hydric Hemic Medifibrist

Ubicación ..... Margen derecha de la desembocadura del  
Arroyo de Soto Grande

Pendiente ..... Llano (0-2 %)

Drenaje externo ..... Escasamente drenado

Drenaje interno ..... Escasamente drenado

Prof. capa freática ..... 55 cm (octubre 82); superficial (fe-  
brero 85)

Elemento morfoedáfico ..... Arroyo

Material original ..... Sedimentos finos aluviales

Vegetación ..... Asociación *Scirpo lacustris* - *Phragmite*  
*tum mediterraneum* y *Cladium mariscus*.

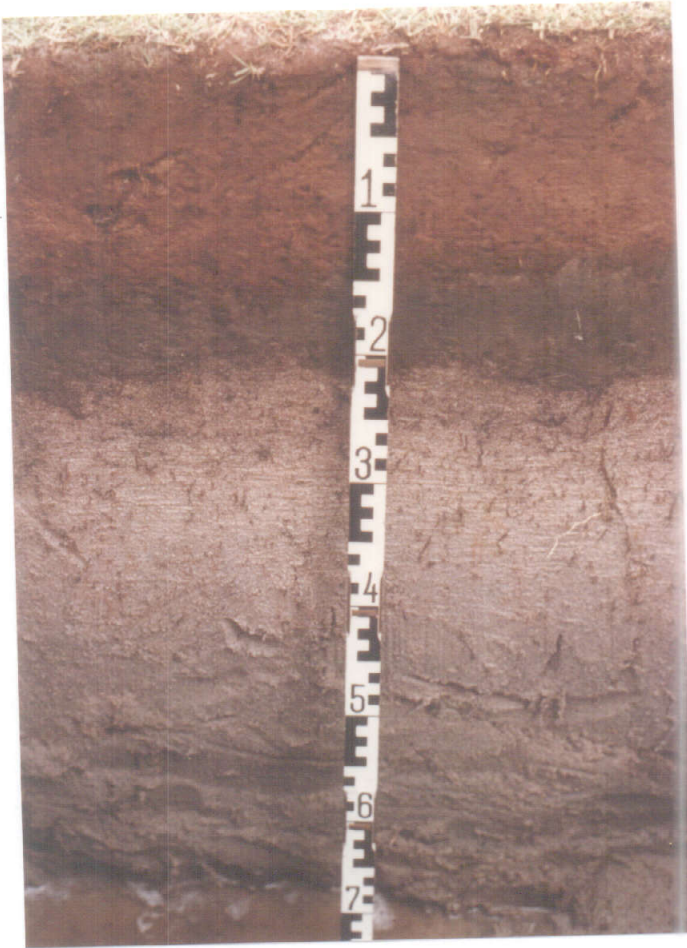
Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-20	Hi	5 YR 2,5/2 (h), pardo rojizo oscuro; franca (apreciación de campo); estructura fibrosa; suelto (s); ligeramente firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); muy abundantes raíces gruesas y medianas; muy alta actividad biológica; límite neto y ondulado. Se aprecian en todo el horizonte muchos restos vegetales no humificados.
20-50	He	7,5 YR 2,5/0 (h), negro; limosa; estructura migajosa gruesa; blando (s), friable (h), ligeramente plástico y adherente (m); abundantes raíces medias y finas; alta actividad biológica; límite neto y plano.

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
50-70	2Hi	5 YR 2,5/2 (m), pardo rojizo oscuro; franca (apreciación de campo); fibrosa; suelto (s), ligeramente firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); muy abundantes raíces medianas, finas y gruesas, así como restos vegetales no humificados; actividad biológica media; límite neto y ondulado.
70-90	2AC	2,5 Y 5/0 (s); gris, 7,5 YR 4/0 (m), gris oscuro; arcillosa; estructura aglomerada; duro (s), muy firme (h), muy plástico y adherente (m); escasa reacción caliza; escasas raíces finas y muy finas; no se aprecia actividad biológica; límite gradual y plano.
90-	2 C	Abigarrado difuso. Matriz 5 Y 5/2 (m), gris aceituado con un moteado pardo amarillento 10 YR 5/6 (m); arcillosa; aglomerada; muy duro (s), muy firme (h), muy plástico y adherente (m); muy escasas raíces muy finas.





C.3.1.3. Nocle  
 perfil XXVI "Nocle"  
Aeric Calciaquoll



C.3.1.4. Arroyos. Perfil XXVIII "Soto Grande"  
Hydric Hemic Medifibrist

## PERFIL XXVIII "Laguna de Santa Olalla"

Fecha .....	Octubre 1979
Clasificación .....	Typic Humaquept
Ubicación .....	Borde NW de la laguna de Santa Olalla
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Bien drenado
Prof. capa freática .....	85 cm (octubre 79); 50 cm (febrero 85)
Elemento morfoedáfico .....	Borde de laguna
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociaciones Trifolio - Caricetum chae tophyllae y Junco - Eleocharetum multi caulis.

<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
0-10	Ah	5 YR 2,5/2 (h), pardo rojizo oscuro; arenosa-fran- ca; migajosa muy fina; suelto (s), muy friable (h), no plástico y no adherente (m); fuertemente enraizado con raíces finas y medianas, y frecuentes raicillas muy finas; buena actividad biológica; lí- mite neto y plano.
10-20	Au <sub>1</sub>	5 YR 2,5/1 (h), negro; arenosa; migajosa fina; al- go duro (s), friable (h), no plástico y no adheren- te (m); frecuentes raíces finas y muy finas; bue- na actividad biológica; límite neto y plano.

....///....

....///....

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
20-30	Au <sub>2</sub>	7,5 YR 3/2 (h), pardo oscuro; arenosa; migajosa fina a particular; suelto (s), friable a muy friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces finas y medianas; moderada actividad biológica; límite gradual y plano.
30-50	AC	10 YR 3/2 (h), pardo grisáceo muy oscuro; arenosa; migajosa fina a particular; suelto (s), muy friable a suelto (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces finas; escasa actividad biológica; límite gradual y plano.
50-60	CA	10 YR 4/3 (h), pardo oscuro; arenosa; grano suelto a migajosa fina; suelto (s), muy friable a suelto (h), no plástico y no adherente (m); muy escasas raíces finas; límite gradual y plano.
60-90	C <sub>1</sub>	10 YR 6/3 (mh), pardo pálido; arenosa; grano suelto; muy suelto (s), suelto (h), no plástico y no adherente (m); sin raíces, ni actividad biológica; límite gradual y plano.
90-120	C <sub>2</sub>	10 YR 7/3 (m), pardo muy pálido; iguales características que el anterior.



## PERFIL XXIX "Borde Taraje"

Fecha .....	20 Noviembre 1982
Clasificación .....	Mollic Psammaquent
Ubicación .....	Borde NE de la laguna del Taraje
Pendiente .....	Casi llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Imperfectamente drenado
Drenaje interno .....	Moderadamente bien drenado
Prof. capa freática .....	50 cm
Elemento morfoedáfico .....	Borde de laguna
Material original .....	Arenas eólicas
Vegetación .....	Asociaciones Trifolium resupinatum - Ca- ricetum chaetophyllae as. nova y Ho- loschoeno - Juncetum acuti.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-7	Ah	10 YR 3/2 (h), pardo grisáceo muy oscuro; franco-arenosa; estructura migajosa mediana; ligeramente duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); muy abundantes raíces medianas, finas y muy finas; actividad biológica muy alta; límite neto y plano.
7-15	A	10 YR 4/1 (h), gris oscuro; franco-arenosa; grano suelto; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); abundantes raíces finas y muy finas; actividad biológica media; límite neto y plano.

....///....

....///....

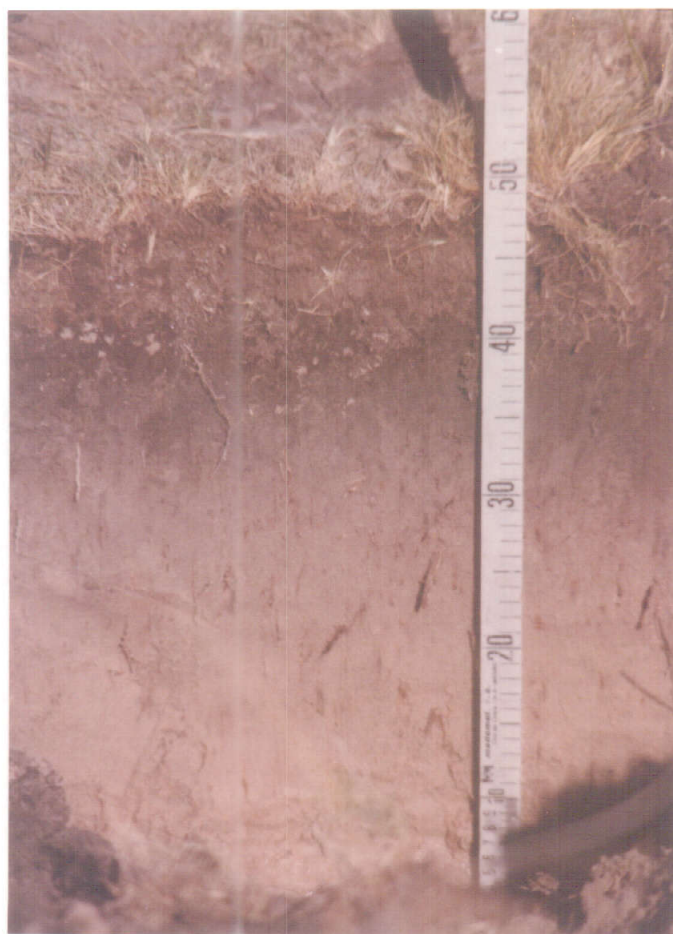
<u>Prof.</u> <u>(cm.)</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Descripción</u>
15-30	AC	10 YR 5/2 (h), pardo grisáceo; arenosa; sin estructura; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); escasas raíces finas; no se aprecia actividad biológica; límite neto y plano.
30-	Cg	10 YR 7/3 (m), pardo muy claro; arenosa; sin estructura; suelto (s), friable (h), no plástico y no adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad biológica.



C.3.2.1. Borde higrofítico  
perfil XXVIII "Laguna Sta.  
Olalla"

Typic Humaquept

C.3.2.1. Borde hi-  
grofítico  
perfil XXIX "Borde  
Taraje"  
Mollic Psammaquent



## PERFIL XXX "Fondo Taraje"

Fecha .....	30 Mayo 1980
Clasificación .....	Typic Sulfaquent
Ubicación .....	Laguna del Taraje
Pendiente .....	Llano (0-2 %)
Drenaje externo .....	Muy escasamente drenado
Drenaje interno .....	Escasamente drenado
Prof. capa freática .....	30 cm
Elemento morfoedáfico .....	Fondo de laguna
Material original .....	Arenas eólicas y sedimentos lacustres
Vegetación .....	Ausente.

Prof. (cm.)	Hori- zonte	Descripción
0-5	Az	7,5 YR 2,5/0 (h), negro; arenosa; grano suelto; <u>li</u> geramente duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); no se aprecian raíces ni actividad bio <u>lógica</u> ; olor sáprico; límite neto y plano.
5-15	AC	7,5 YR 3,5/2 (m), pardo grisáceo muy oscuro; arenosa; grano suelto; ligeramente duro (s), ligeramen <u>te</u> firme (h), ligeramente plástico y adherente (m); límite neto y plano.
15-	Cg	7,5 YR 5/2 (m), pardo con manchas 5 YR 4/4 (m), par <u>do</u> rojizas, que comienzan a partir de los 30 cm; are <u>na</u> sa; grano suelto; ligeramente duro (s), firme (h), ligeramente plástico y adherente (m).



C.3.2.2. Fondo de laguna  
perfil XXX "Fondo de Taraje"  
Typic Sulfaquent

VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES  
Y COMENTARIOS

La verdad sufre cuando es sometida a  
un análisis excesivo.

(F. Herbert)

Como se ha expuesto en el capítulo de Introducción, en el Parque Nacional de Doñana pueden distinguirse tres grandes dominios morfogenéticos (marino, marino-continental y continental) a los que corresponden, respectivamente, tres sistemas morfogenéticos en función del conjunto de acciones que actúan sobre ellos y provocan una configuración determinada (litoral, estuarina y eólica).

Desde un punto de vista textural, existen dos grandes zonas perfectamente diferenciables. La primera está constituida por los sedimentos arcillosos y limosos depositados por el río Guadalquivir a lo largo del Holoceno (sistema estuarino) y la segunda, por arenas depositadas por la acción del mar (sistema litoral) y posteriormente removidas por el viento (sistema eólico).

El estudio comprende el área de arenas (sistemas litoral y eólico), habiéndose diferenciado dentro de cada sistema una serie de unidades geomorfológicas que han sido identificadas mediante interpretación de fotografía aérea 1/15.000 y trabajo de reconocimiento de campo con ayuda de una densa red de sondeos. La precariedad y



juventud del sistema litoral no permiten la evolución de sus formas ni el desarrollo de suelos y por tanto, a la escala de trabajo, no se diferencian subdivisiones de las unidades geomorfológicas reconocidas.

Por el contrario, el sistema eólico presenta todo un gradiente de evolución debido a la existencia de distintos cordones dunares de edades asimismo diferentes (Pou, 1977). Esta circunstancia hace que cada unidad reconocida (arenas estabilizadas, arenas móviles y zonas de contacto) pueda ser dividida en subunidades geomorfológicas y éstas, a su vez, en elementos morfoedáficos íntimamente relacionados con los suelos que en ellos se desarrollan.

El estudio edafológico está referido, por tanto, al sistema morfogenético eólico. Este ha sido subdividido hasta el nivel de elementos morfoedáficos, cada uno de los cuales está representado al menos por un perfil de suelo, pudiéndose apreciar, a grandes rasgos, que a iguales elementos morfoedáficos corresponden suelos similares. Esta íntima relación suelo/geomorfología permite establecer el cuadro 1, donde los suelos quedan agrupados en función de las diferentes unidades y subunidades geomorfológicas reconocidas. Los comentarios de las características morfológicas y propiedades físicas y químicas de los distintos horizontes de suelos así agrupados facilitarán el establecimiento de catenas de evolución que serán discutidas más adelante.

Unidad Geomorfológica	Subunidad Geomorfológica	Elemento Morfoedáfico	Número y Nombre del Perfil
C.1 Arenas Estabilizadas	C.1.1 Naves	C.1.1.1 Alto de nave	I Control
		C.1.1.2 Ladera de nave	II Nave Moteada
		C.1.1.3 Bajo de nave	III Montenegro
	C.1.2 Manto arrasado	C.1.2.1 Alto de duna	IV Raposo Alto
		C.1.2.2 Ladera de duna	V Erica - R 1/2
		C.1.2.3 Bajo de duna	VI Raposo Bajo
			VII Rabá
			VIII Alcornoque Mahón
		C.1.2.4 Bosque conservado	IX Encinillas Altas
		C.1.2.5 Lagunas temporales	X Laguna del Caballo
			XI Navazo del Toro
		C.1.2.6 Eucaliptar	XII Farallón Carretera
	XIII Farallón Enterrado		
	C.1.3 Cordones de la Marismilla	C.1.3.1 Zona alta	XIV Flecha Amarilla
		C.1.3.2 Zona baja	XV Flecha Negra
		XVI Flecha Gris	
C.2 Arenas Móviles	C.2.1 Frentes Móviles	C.2.1.1 Dunas Móviles	

...//...

Unidad Geomorfológica	Subunidad Geomorfológica	Elemento Morfoedáfico	Número y Nombre del Perfil
	C.2.2 Corrales	C.2.2.1 Corrales húmedos	XVII Corral Largo
		C.2.2.2 Corrales secos	XVIII Corral Carbonero
	C.2.3 Gusanos	C.2.3.1 Gusano alto	XIX Gusano Alto
		C.2.3.2 Gusano bajo	XX Gusano Bajo
C.3 Zonas de Contacto	C.3.1 Vera	C.3.1.1 Vera arcillosa	XXI Marisma Rocina
			XXII Vera Juncal
		C.3.1.2 Vera arenosa	XXIII Farallón Aluvial
			XXIV Asfodelus Martinazo
			XXV Cerrado Alcornoques
		C.3.1.3 Nucle	XXVI Nucle
		C.3.1.4 Arroyos	XXVII Soto Grande
	C.3.2 Lagunas Perma- nentes	C.3.2.1 Borde higrofitico	XXVIII Santa Olalla
			XXIX Borde Taraje
		C.3.2.2 Fondo de laguna	XXX Fondo Taraje

## C.1 ARENAS ESTABILIZADAS

Las arenas estabilizadas constituyen la unidad geomorfológica con mayor representación en el Parque Nacional de Doñana. Se trata de un sistema antiguo de dunas de potencia variable y extensión que supera los mismos límites del Parque.

Los cordones dunares se encuentran bien conservados en unas partes (Naves) y en otras parcial o totalmente arrasados (Manto arrasado), pero siempre con una ondulación que permite reconocer una orientación aproximada N-S. Finalmente, hacia el SE (área de la Marismilla) aparece otro sistema de dunas que por su configuración y características especiales parecen indicar una dinámica de formación diferente.

Por lo anteriormente expuesto, pueden reconocerse tres subunidades dentro de la unidad geomorfológica de arenas estabilizadas: Naves, Manto arrasado y Cordones de la Marismilla.

### C.1.1 NAVES: Alto, Ladera y Bajo de Nave

Las naves se corresponden con antiguos frentes dunares estabilizados de morfología bien conservada. Se encuentran situados hacia el SW del área de estudio, ocupando las zonas de cotas topográficas más elevadas y desniveles muy profundos. En función de la topografía dunar, se diferencian tres elementos morfoedáficos: alto, ladera y bajo de naves, que se corresponden con los perfiles I, II y III respectivamente.

En la tabla A.1 se recogen los datos de los análisis químicos generales. En ella puede apreciarse que los valores de materia orgánica poseen un rango de variación que oscila entre 1,2 % en el

horizonte A del perfil I y 7,5 % en el horizonte A del perfil III. Los valores más altos corresponden a los suelos desarrollados en situaciones geomorfológicas de depresión donde la mayor altura de la capa freática favorece una densa vegetación. Por el contrario, los valores más bajos pertenecen a los suelos de las zonas más elevadas, cuya mayor sequedad condiciona la vegetación y acelera la mineralización del humus. A esta última situación corresponden los perfiles I y II en los que no se alcanza el 1,5 % de materia orgánica. El perfil III, situado en una depresión, supera el 7 % en el horizonte A debido, por un lado, al aumento en el aporte de restos vegetales y, por otro, a un proceso más lento de mineralización gracias al ambiente hidromorfo y a la mayor acidez que éste favorece.

Los valores de C orgánico están lógicamente relacionados con los de materia orgánica, por lo que su contenido y distribución en los perfiles siguen una misma pauta según se observa en la tabla A.1. Los valores de N oscilan, asimismo, de acuerdo con los de materia orgánica aunque dentro de un rango de variación menor como refleja la razón C/N. Dicha razón muestra valores relativamente bajos en los perfiles I y II (10 a 11,5 en los horizontes superficiales), cuya capa freática se encuentra a gran profundidad, descendiendo hacia la base del perfil como consecuencia de la disminución más rápida del carbono respecto del nitrógeno. De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el perfil III presenta una razón más elevada (24,2) en el horizonte superficial, descendiendo igualmente en profundidad.

La acidez del material original (arenas cuarcíticas) hace que los suelos presenten un pH por debajo de la neutralidad. Los valores de pH son menores en superficie debido probablemente a la acción de los compuestos resultantes de la alteración de la materia orgánica. Así, el horizonte A del perfil III muestra un valor de 5,0 frente a 5,9 y 6,3 en los horizontes equivalentes de los perfili-

les I y II, coincidiendo con su mayor cobertura vegetal. En profundidad, dichos valores aumentan, respectivamente, hasta 6,2, 6,8 y 6,6.

Los suelos presentan contenidos muy bajos en elementos asimilables ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg). En efecto, el  $P_2O_5$  tiene un valor máximo de 6 mg/100 g en el horizonte superficial del perfil II, mientras que los más altos correspondientes a  $K_2O$ , Ca y Mg son, respectivamente 11 mg/100 g, 72 mg/100 g y 22 mg/100 g (horizonte superficial del perfil III). Dichos valores disminuyen en profundidad, alcanzando mínimos de 2 mg/100 g de  $P_2O_5$ , 3 mg/100 g de  $K_2O$ , 22 mg/100 g de Ca y 3 mg/100 g de Mg en la base de los perfiles I, II y III, respectivamente. A la vista de estos valores puede decirse que los suelos son de baja fertilidad potencial, de acuerdo con la naturaleza cuarcítica del material original.

La tabla B.1 recoge los resultados del análisis granulométrico y el nombre textural de cada horizonte de acuerdo a los tamaños de partículas establecidos internacionalmente y al triángulo de textura FAO.

Los perfiles I, II y III presentan más de un 50 % de fracción arena (gruesa y fina) en su composición granulométrica, siendo muy pequeña la proporción de fracción fina. En los dos primeros perfiles ésta se mantiene constante de acuerdo con su escasa diferenciación. Sin embargo, en el perfil III existe un contenido en materiales finos algo superior en el horizonte A (3,1 % de limo y 6,0 % de arcilla) que desciende a valores similares a los de los perfiles I y II en profundidad. Este porcentaje más elevado debe estar relacionado con su mayor contenido en materia orgánica.

De cualquier forma, la composición granulométrica supera el 90 % de arenas en todos los horizontes, por lo que los tres perfiles

pueden clasificarse desde un punto de vista textural, como suelos arenosos.

La tabla C.1 recoge los resultados de las determinaciones de capacidad de cambio, cationes cambiables y grado de saturación en bases de los suelos. Como se sabe, los valores de capacidad de cambio varían con el contenido y naturaleza de la fracción fina y materia orgánica del suelo. Por tanto, los datos correspondientes a los perfiles I, II y III, constituidos por arenas eólicas, estarán directamente relacionados con los contenidos de materia orgánica. En efecto, puede observarse que los valores más altos corresponden a los perfiles con horizontes orgánicos más desarrollados, apreciándose un descenso de dichos valores con el incremento de la profundidad, de forma paralela al de los porcentajes de materia orgánica. En este sentido, son normales los valores bajos de capacidad de cambio de los diferentes horizontes de los perfiles I y II. Sólo cabe destacar los más altos correspondientes a los horizontes superficiales de dichos perfiles (3,8 meq/100 g y 3,0 meq/100 g, respectivamente). El grado de saturación del complejo de cambio es relativamente bajo, no alcanzándose el 67 % en ninguno de sus horizontes de acuerdo con la acidez del medio.

El perfil III, debido a una mayor proporción de materia orgánica, presenta en el horizonte A una capacidad de cambio superior a la de los perfiles anteriores (12,1 meq/100 g), siendo equiparables los valores de los horizontes profundos. La mayor acidez, derivada del proceso de hidromorfia, se vé reflejada en una baja saturación del complejo, con valores inferiores al 50 % que aumentan ligeramente en profundidad de igual forma que lo hace el pH.

En resumen, los valores de capacidad de cambio están directamente relacionados con el contenido de materia orgánica, lo que se

refleja en su disminución paralela al descender en el perfil. Finalmente, los cationes de cambio son fundamentalmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  con una pequeña proporción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , sin llegar en ningún momento a saturar el complejo de cambio.

El hierro y el manganeso, por su posibilidad de óxido-reducción, presentan una dinámica de extraordinario interés para el conocimiento de la evolución edáfica. Quizás el hierro sea el elemento que mejor traduce los diferentes procesos que ocurren en el suelo ya que el manganeso se encuentra en muy escasa proporción debido a su más fácil reducción y, por tanto, más fácil movilización y evacuación del perfil.

En la tabla D.1 se recogen los contenidos de hierro y manganeso en sus formas total y libre así como sus razones libre/total.

El perfil I (alto de naves) muestra un ligero aumento de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre y total al pasar del primer horizonte al segundo. Esto podría indicar un cierto lavado de dicho elemento en el perfil sin que existan pérdidas fuera del mismo, debido probablemente a la profundidad de la capa freática, al escaso contenido en materia orgánica y al alto pH que impediría su movilización. La pequeña redistribución que se aprecia dentro del perfil podría relacionarse con un ligero aumento de la acidez en el contacto del sistema radicular con el material parental, teniendo en cuenta la relativa antigüedad de las dunas fijas. Por otro lado, el mayor contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de los horizontes superficiales parece indicar un aporte de hierro por parte de la vegetación.

El perfil II (ladera de nave) constituye con los perfiles I y III una catena de suelos desarrollados sobre un mismo material y situados a diferentes cotas en el complejo de dunas estabilizadas



bien conservadas. Dicho perfil ocupa la posición intermedia en la catena, con la capa freática suficientemente superficial para que exista un mayor lavado de hierro tanto total como libre. Los contenidos disminuyen hasta el horizonte Cg<sub>2</sub> a medida que aumenta la influencia del nivel freático. En dicho horizonte se observa un aumento de ambas formas de hierro y sobre todo de la razón libre/total (72,2), debido a la presencia de la capa freática en el momento de la apertura del perfil.

El perfil III es representativo de las zonas deprimidas del área de naves, pudiéndose observar un menor contenido en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> respecto a los suelos desarrollados en las partes altas. Este menor contenido en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> podría estar relacionado con una mayor proporción de materia orgánica, cuyos productos ácidos favorecerían su reducción, solubilización y evacuación del perfil.

A pesar de ello, la profundidad suficiente de la capa freática dificulta el lavado del hierro en los horizontes superficiales, existiendo por tanto, una disminución progresiva hacia la base del perfil de los valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total y libre, que pasan de 1,22 % y 0,52 % en el horizonte A a 0,15 % y 0,02 % en el horizonte Cg, respectivamente. La razón libre/total disminuye, asimismo, con la profundidad, al contrario de lo que ocurre en los perfiles I y II, donde dicha razón muestra cierta oscilación que podría ser debida a la mayor profundidad del nivel freático, dificultando con ello la evacuación del hierro.

En resumen, se observa que los valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total, libre y razón libre/total están relacionados al mismo tiempo con los de materia orgánica y, sobre todo, con la profundidad y fluctuación de la capa freática.

Los valores de  $MnO_2$ , tanto libre como total, así como la relación libre/total, siguen el mismo comportamiento que los datos de hierro. Como se ha mencionado anteriormente, los contenidos son muy bajos (máximos de 0,06 % en su forma total en el horizonte AC del perfil I y sólo trazas en su forma libre en todos los horizontes), por lo que sus valores, así como la razón libre/total tienen poca significación desde el punto de vista edafogenético.

TABLA A.1 - Análisis químicos generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
I	A	1,20	0,69	0,06	11,5	—	5,9	5,2	4	7	48	7
	AC	0,70	0,40	0,04	10,0	—	6,3	5,6	3	7	41	6
	C	0,50	0,29	0,03	9,7	—	6,8	5,7	2	6	26	6
II	A	1,30	0,75	0,07	10,7	—	6,3	5,2	6	4	58	6
	AC	0,70	0,40	0,04	10,0	—	6,5	5,2	2	4	47	5
	Cg <sub>1</sub>	0,30	0,17	0,02	8,5	—	5,8	4,5	6	4	31	4
	C	0,30	0,17	0,02	8,5	—	6,4	5,0	2	3	35	4
	Cg <sub>2</sub>	0,20	0,12	0,02	6,0	—	6,6	5,2	2	3	35	6
III	A	7,50	4,35	0,18	24,2	—	5,0	4,2	1	11	72	22
	AC	1,0	0,58	0,06	9,7	—	5,2	4,4	1	7	36	7
	C	0,60	0,35	0,04	8,8	—	6,2	5,2	2	5	26	10
	Cg	0,30	0,17	0,02	8,5	—	6,2	5,0	3	6	22	3

TABLA B.1 - Análisis mecánicos.

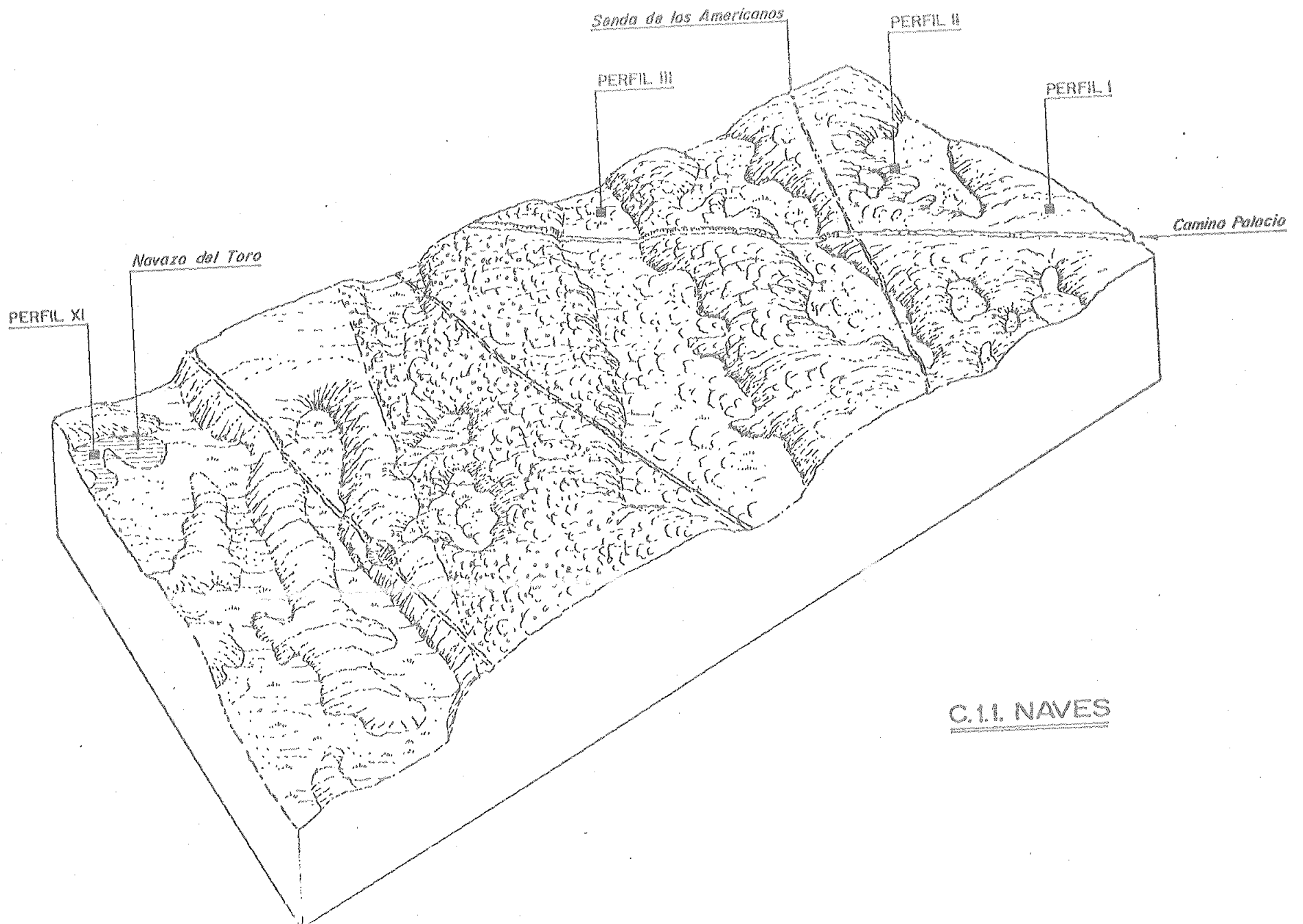
Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
I	A	70,2	26,5	0,8	2,5	Arenosa
	AC	69,3	26,3	1,5	2,9	Arenosa
	C	70,2	26,0	1,3	2,5	Arenosa
II	A	60,0	35,5	2,0	2,5	Arenosa
	AC	58,5	36,5	2,5	2,5	Arenosa
	Cg <sub>1</sub>	60,0	36,0	1,0	3,0	Arenosa
	C	62,3	34,7	1,0	2,0	Arenosa
	Cg <sub>2</sub>	45,0	51,0	2,0	2,0	Arenosa
III	A	54,6	36,3	3,1	6,0	Arenosa
	AC	61,5	31,3	2,2	5,0	Arenosa
	C	70,9	27,2	0,9	1,0	Arenosa
	Cg	65,5	33,3	0,4	0,8	Arenosa

TABLA C.1 - Capacidad de cambio y grado de saturación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					%	
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V
I	A	3,8	t	t	1,8	0,2	2,0	52,6
	AC	1,8	0,2	t	0,8	t	1,0	55,6
	C	0,9	0,2	t	0,4	t	0,6	66,7
II	A	3,0	t	t	1,5	0,3	1,8	60,0
	AC	2,0	t	t	0,6	0,2	0,8	40,0
	Cg <sub>1</sub>	2,0	t	t	0,5	0,2	0,7	35,0
	C	2,0	t	t	0,4	0,2	0,6	30,0
	Cg <sub>2</sub>	1,5	t	t	0,4	0,2	0,6	40,0
III	A	12,1	0,4	t	4,5	0,9	5,9	48,8
	AC	1,8	0,2	t	0,6	t	0,8	44,4
	C	1,4	0,1	t	0,5	t	0,6	42,9
	Cg	1,8	0,2	t	0,7	t	0,9	50,0

TABLA D.1 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
I	A	1,31	0,33	25,2	0,05	t	-
	AC	1,62	0,52	32,1	0,06	t	-
	C	1,20	0,30	25,0	0,04	t	-
II	A	0,79	0,30	38,0	0,02	t	-
	AC	0,35	0,14	40,0	t	t	-
	Cg <sub>1</sub>	0,29	0,13	44,8	t	t	-
	C	0,19	0,08	42,1	t	t	-
	Cg <sub>2</sub>	0,21	0,15	71,4	t	t	-
III	A	1,22	0,52	42,6	0,03	t	-
	AC	0,44	0,12	27,3	0,02	t	-
	C	0,20	0,05	25,0	0,01	t	-
	Cg	0,15	0,02	13,3	0,01	t	-



C.1.2 MANTO ARRASADO: Alto, Ladera y Bajo de Duna y Bosque Conservado.

El manto arrasado es la mayor subunidad geomorfológica diferenciada en el Parque Nacional de Doñana. Debido a su gran superficie, los perfiles de suelos que la representan constituyen un grupo muy numeroso.

Para una más fácil comprensión y correlación de las características y propiedades de los suelos, éstos han sido separados en tres grupos de acuerdo con la relación existente entre los diferentes elementos morfoedáficos. El primer grupo comprende los suelos desarrollados en los elementos morfoedáficos alto, ladera y bajo de dunas y los pertenecientes al bosque conservado de zonas deprimidas, estando todos ellos relacionados por la variación del factor topográfico. El segundo grupo recoge los suelos correspondientes a áreas de lagunas que sólo funcionan como tales durante las estaciones húmedas. Finalmente, el tercer grupo está constituido por aquellos perfiles que tienen a distintas profundidades una discontinuidad morfológica representada por arenas plio-villafranquienses de reducida permeabilidad que dificultan el drenaje y provocan fenómenos de hidromorfía (Eucaliptar).

Al primer grupo de suelos pertenecen los perfiles "Raposo alto" (IV), "Erica - R1/2" (V), "Raposo bajo" (VI), "Rabá" (VII), "Alcornoque Mahón" (VIII) y "Encinillas Altas" (IX).

La tabla A.2, que recoge los análisis químicos generales, muestra un amplio rango de variación en los valores de materia orgánica de los horizontes superficiales, que oscila entre 0,8 % en el horizonte A del perfil IV y 46,3 % en el horizonte O del perfil IX. Esta gran variedad de contenidos no permite la utilización de un sólo



método de determinación de materia orgánica en todas las muestras. Para aquellas con alto contenido, el método de oxidación con dicromato presenta grandes errores, habiéndose procedido a una combustión a 750°C (muestras señaladas con un asterisco). Este método presentaría, asimismo, errores en aquellas muestras que contienen arcilla y/o carbonatos. En estos casos, la determinación se ha realizado valorando el CO<sub>2</sub> desprendido en la combustión (muestras señaladas con dos asteriscos).

En general, se observa que los valores más bajos corresponden a los perfiles desarrollados en las zonas más elevadas, aumentando hacia los suelos más deprimidos, donde la proximidad de la capa freática favorece una mayor densidad de la cobertura vegetal.

El perfil IV, correspondiente a una situación de "alto de duna", presenta una morfología escasamente diferenciada y semejante a la del perfil I comentado anteriormente. Igual que en éste, el valor de materia orgánica del horizonte A es muy bajo, no alcanzándose el 1 %. Este escaso contenido estaría relacionado con la profundidad de la capa freática (más de 2 m) que limita el desarrollo vegetal y favorece al mismo tiempo el proceso de mineralización.

El perfil V presenta un mayor porcentaje de materia orgánica en el horizonte A (1,5 %) ya que, desde un punto de vista topográfico, pertenece a una zona de transición denominada "ladera de duna". La menor profundidad del nivel freático permite un mayor desarrollo vegetal y provoca fenómenos de hidromorfía que se reflejan en manchas producidas por la redistribución de los óxidos de hierro. De todas formas, a pesar de este ambiente más húmedo, los valores de materia orgánica son aún bajos, destacando un pequeño aumento en la base del perfil (0,7 %), probablemente relacionado con los compuestos orgánicos que aporta el nivel freático.

Los perfiles VI y VII se encuentran en una situación típica de depresión con la capa freática próxima a la superficie en la época más húmeda. Esta circunstancia favorece un gran desarrollo de la vegetación (de tipo matorral) con el consiguiente aporte de materia orgánica al suelo, así como un microclima especial que ralentiza su mineralización. En consecuencia, los contenidos de materia orgánica serán más elevados que en los perfiles anteriores. En efecto, los horizontes  $Au_1$  de los perfiles VI y VII presentan valores de 9,0 % y 8,8 %, respectivamente, que pueden considerarse altos para suelos desarrollados bajo las condiciones climáticas que caracterizan el área de estudio.

El perfil VIII pertenece al mismo elemento morfoedáfico que los dos anteriores (bajo de duna). Respecto a éstos, presenta un menor contenido en materia orgánica (inferior a 6 %); sin embargo hay que destacar la gran potencia del horizonte orgánico que permite diferenciar varios subhorizontes hasta una profundidad de 130 cm. El valor más alto (5,9 %) se dá en el horizonte  $A_h$ , disminuyendo a continuación hasta los 55 cm (2,1 %). A esta profundidad aparece un horizonte ( $2Au_1$ ) donde se produce un aumento (3,4 %), a partir del cual descienden de nuevo los valores hasta la base del perfil. Esta secuencia de variación de la materia orgánica indicaría la presencia de un horizonte orgánico enterrado a 55 cm de profundidad, probablemente consecuencia de la quema de la vegetación existente, como parecen poner de manifiesto los restos carbonizados de raíces del horizonte  $Au_2$  (50 cm).

Finalmente, el perfil IX, representativo del elemento morfoedáfico "bosque conservado", corresponde a un suelo desarrollado en una zona deprimida del área de arenas estabilizadas bajo una frondosa vegetación arbórea y de matorral que constituye el bosque potencial. Dicha vegetación aporta al suelo una cantidad muy importante

de restos orgánicos que se acumulan debido a un microclima muy ácido (pH 3,6) y húmedo (capa freática en superficie en la época más húmeda) que frena su humificación. El resultado es la formación de un horizonte O de alto contenido en materia orgánica (46,3 %) poco humificada.

Los valores de carbono y nitrógeno orgánicos están directamente relacionados con los de materia orgánica, por lo que los contenidos y distribución en los diferentes perfiles siguen una misma pauta. De todas formas, el rango de variación del C es superior a del N, sobre todo dentro de un mismo perfil, poniéndose de manifiesto en los valores de la razón C/N. Dicha razón desciende en profundidad de acuerdo con la mineralización que sufren los compuestos orgánicos a lo largo del perfil.

Existe una clara relación entre los valores de la razón C/N de los horizontes orgánicos y la situación geomorfológica de los correspondientes perfiles. En efecto, dicha razón aumenta desde los suelos desarrollados en el elemento morfoedáfico alto de duna (perfil IV, 9,2) hasta los evolucionados en zonas más deprimidas y con vegetación potencial (perfil IX, 37,8). Entre ambos valores aparecen los de ladera de duna (14,5) y bajo de duna (de 23 a 33). Hacia la profundidad, la razón decrece rápidamente hasta alcanzar valores similares en la base de los distintos perfiles.

Finalmente, hay que destacar la variación que experimenta la razón C/N en el perfil VIII donde existe un aumento al pasar del horizonte Au<sub>2</sub> (24,4) al 2Au<sub>1</sub> (32,8), confirmando, al parecer, el carácter enterrado de este último horizonte.

Los suelos del manto arrasado tienen reacción ácida como corresponde a formaciones edáficas desarrolladas a partir de arenas,

fundamentalmente cuarcíticas. En general, los valores de pH aumentan con la profundidad a medida que disminuye la influencia de los compuestos resultantes de la alteración de la materia orgánica.

El perfil IV, desarrollado en situación de alto de duna, presenta el pH más elevado en superficie (5,8), contrastando con los perfiles ubicados en zonas deprimidas con capa freática cercana o incluso superficial en ciertas épocas del año. La hidromorfía que se deriva de esta circunstancia, así como el mayor contenido en materia orgánica, parecen ser los responsables de la mayor acidez de estos suelos, cuyos pH superficiales oscilan alrededor de 5, salvo en el perfil IX donde se observa una acidez extrema (3,6 en 0). Como se ha indicado, los perfiles muestran un claro incremento de pH en profundidad, siendo el caso más espectacular el perfil VII que pasa de 5,5 en el horizonte  $Au_1$  a 8,1 en el  $C_2$ ; este aumento podría deberse a cierta salinidad de la capa freática en las proximidades de la laguna de Sta. Olalla.

En resumen, se observa un incremento de la materia orgánica desde zonas arenosas altas con capa freática profunda y vegetación escasa hasta las más deprimidas con el nivel freático en superficie durante las estaciones húmedas y mayor densidad de vegetación. Paralelamente, los valores de pH disminuyen, ralentizando los procesos de mineralización y aumentando, por tanto, el valor de la razón C/N.

Finalmente, la tabla A.2 recoge los datos de elementos asimilables. En ella puede apreciarse que los valores de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg son bajos. En efecto, el  $P_2O_5$  no supera los 12 mg/100 g en ningún horizonte, el  $K_2O$  tiene como valor máximo 10 mg/100 g, y el Ca y el Mg 99 mg/100 g y 25 mg/100 g, respectivamente. Puede observarse que la fertilidad potencial de estos suelos ha aumentado ligeramente

respecto a los pertenecientes a la subunidad geomorfológica "Naves". De todas formas no es demasiado elevada debido al bajo pH de la mayoría de los horizontes que dificulta la mineralización del humus y el consiguiente enriquecimiento en nutrientes.

La tabla B.2 muestra los resultados del análisis granulométrico que ha permitido establecer la textura de cada perfil. Atendiendo al horizonte superficial, los suelos que constituyen esta subunidad geomorfológica pueden clasificarse como sigue:

perfiles IV, V, VIII .....	textura arenosa
perfiles VI, VII .....	textura arenosa-franca
perfil IX .....	textura franco-arenosa

Los perfiles IV y V, representativos de los suelos desarrollados en zonas altas y laderas de dunas estabilizadas, presentan un alto porcentaje de fracción arena (97 %) en su composición granulométrica, siendo muy baja la proporción de fracción fina. Esta se mantiene constante a lo largo del perfil de acuerdo con la escasa diferenciación de horizontes.

Los perfiles VI, VII, VIII y IX muestran un aumento de fracción fina en superficie que al mismo tiempo se refleja en un descenso de igual valor de la fracción gruesa (arena fina y gruesa). Este aumento, que alcanza su valor máximo en el perfil IX con un 12,9% de arcilla y 8,4 % de limo en el horizonte Au<sub>1</sub>, debe estar relacionado, en parte, con el mayor contenido de materia orgánica y, sobre todo, con su situación en zona deprimida, cuya mayor humedad fijará material fino de origen eólico. Si se exceptúan los horizontes orgánicos, puede observarse que todos los suelos pertenecientes al grupo que se comenta presentan una similar composición granulométrica con

un contenido en fracción gruesa superior al 95 %, de acuerdo con la dinámica de formación de la gran unidad geomorfológica de las arenas estabilizadas que será discutida más adelante.

La composición granulométrica de la fracción gruesa presenta variaciones similares en todos los perfiles. En efecto, en los horizontes superficiales predomina la arena fina sobre la gruesa, exceptuando el perfil VIII donde predomina en los horizontes A enterrados ( $2Au_1$  y  $2Au_2$ ) y no en los A superficiales. Esta excepción del perfil VIII podría deberse a la quema de la vegetación preexistente, como se ha apuntado en el comentario de la materia orgánica. En efecto, después de la desaparición de la cobertura vegetal es lógico pensar en una acción eólica más fuerte que eliminaría las fracciones finas de las arenas, provocando un aumento relativo de la proporción de arenas gruesas. Por debajo de los horizontes orgánicos, el contenido en arena gruesa aumenta hasta hacerse fuertemente predominante en profundidad (81,5 % frente a 17,3 % en el horizonte  $C_1$  del perfil VII).

Hay que resaltar un nuevo predominio de la arena fina en el último horizonte de los perfiles V, VII y VIII. Esta circunstancia, unida al aumento de la fracción arcilla (13 % en una muestra tomada a más de tres metros de profundidad en el perfil VIII), podría indicar el contacto de las arenas eólicas con las arenas basales sobre las que se desarrolla el complejo dunar de Doñana.

En resumen, salvo las excepciones comentadas, se observa un predominio absoluto de la fracción gruesa, en la que las arenas finas superan a las gruesas en superficie, cambiando esta proporción en profundidad. Sólo los horizontes superficiales de los perfiles desarrollados en zonas deprimidas presentan cierta proporción de arcilla y limo, posiblemente captado durante los cortos períodos de humedad superficial.

La tabla C.2 recoge los resultados de las determinaciones de capacidad de cambio, cationes cambiables y grado de saturación de los suelos.

Como se ha comentado anteriormente, los valores de capacidad de cambio catiónica varían de acuerdo con el contenido y naturaleza de la fracción fina y materia orgánica del suelo. En efecto, puede observarse que los valores más altos corresponden a los perfiles con horizontes orgánicos más desarrollados, apreciándose un descenso de dichos valores hacia la profundidad de forma paralela al de los porcentajes de materia orgánica.

En este sentido, son normales los valores bajos de capacidad de cambio de los perfiles IV y V. Sólo cabe señalar los ligeramente más altos de sus horizontes superficiales (2,5 meq/100 g y 1,7 meq/100 g, respectivamente). El grado de saturación del complejo de cambio en el perfil IV es relativamente bajo, no superándose el 60 % en ninguno de sus horizontes. Por otro lado, la hidromorfía del perfil V se refleja en su grado de saturación, que presenta valores inferiores al 50 % en todos los horizontes, salvo en el más profundo ( $C_{2g}$ ) donde aumenta paralelamente al pH. De todas formas, la baja capacidad de cambio de la mayoría de los horizontes (1 meq/100 g) hace poco significativos los valores de saturación.

Los perfiles VI, VII y VIII, debido a una mayor proporción de materia orgánica, presentan en los horizontes superficiales una capacidad de cambio superior a la de los perfiles anteriores (11,9, 13,6 y 9,0 meq/100 g, respectivamente), siendo equiparables los valores de los horizontes profundos. Los pH, similares a los del perfil V, están de acuerdo con los valores asimismo semejantes de saturación del complejo de alteración. Sin embargo, la mayor capacidad de cambio de estos suelos implica un más alto contenido en cationes cambiables (5,8, 6,7 y 4,0 meq/100 g, respectivamente). Se obser-

va, por tanto, que el perfil V, con una capacidad de cambio catiónica semejante a la del perfil IV y grado de saturación similar a 1 de los perfiles VI, VII y VIII, constituye un estadio intermedio dentro del grupo de perfiles que se comentan.

En general, el grado de saturación aumenta con la profundidad, alcanzándose los valores más altos en las proximidades del nivel freático. Esta variación es similar a la que experimenta el pH, como se ha comentado anteriormente. Así, los valores más altos de ambos parámetros (pH 8,1 y saturación del 100 %) se dan en un mismo horizonte ( $C_2$  del perfil VII).

El perfil VIII muestra, una vez más, cierta singularidad en la variación de las distintas determinaciones en comparación con los demás perfiles. En efecto, la capacidad de cambio disminuye desde 9 meq/100 g en el horizonte  $A_h$  hasta 3,5 meq/100 g en el  $Au_2$ , experimentando un aumento en el siguiente horizonte ( $2Au_1$ ). A partir de éste, el descenso hacia la profundidad es similar al del resto de los perfiles.

Los ácidos orgánicos procedentes de la fermentación del horizonte 0 del perfil IX (46,3 % de materia orgánica) son los responsables de la mayor acidez superficial de dicho perfil (pH 3,6), que provoca un fuerte descenso del grado de saturación del complejo de cambio, no alcanzándose el 10 % en el horizonte  $Au_1$  y el 15 % en los demás, salvo el más profundo (C). La capacidad de cambio catiónica es alta en los horizontes  $Au_1$  (16 meq/100 g) y  $Au_2$  (9,2 meq/100 g) de acuerdo, una vez más, al contenido de materia orgánica.

En resumen, los valores de la capacidad de cambio catiónica están directamente relacionados con el contenido en materia orgánica, reflejándose este hecho en su disminución al descender en el perfil.



Los cationes de cambio son fundamentalmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , con una pequeña proporción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Dichos cationes no saturan el complejo debido a la acidez del medio, aumentando la saturación con la profundidad de forma paralela al pH.

La tabla D.2 recoge los valores de hierro y manganeso tanto libre como total, así como las razones libre/total.

El perfil IV (alto de duna) muestra un ligero aumento de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre y total al pasar del primer al segundo horizonte, indicando posiblemente cierto lavado dentro del perfil. El escaso contenido en materia orgánica y el pH suficientemente elevado dificulta la movilización del hierro, por lo que a pesar de la antigüedad del manto arrasado dicho aumento es pequeño (0,13 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y 0,10 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre). Tanto la variación de ambas formas de hierro, como la de su razón, son muy semejantes a las del perfil I, de acuerdo a la similar situación geomorfológica en que se encuentran.

La hidromorfía del perfil V explicaría el menor contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y libre de sus horizontes respecto a los del perfil anterior. La movilización y redistribución del hierro parece ponerse en evidencia al aumentar su contenido en profundidad y, más concretamente, en los horizontes donde se manifiestan los fenómenos de hidromorfía ( $\text{C}_{1g}$ , 0,37 % y  $\text{C}_{2g}$ , 0,43 %). En ambos horizontes la razón libre/total adquiere sus valores más altos ( $\text{C}_{1g}$ , 37,8;  $\text{C}_{2g}$ , 39,5), lo que indica una mayor proporción de hierro libre respecto al total ( $\text{C}_{1g}$ , 0,14 % y  $\text{C}_{2g}$ , 0,17 %).

Los perfiles VI y VII ocupan posiciones de depresión (bajos de dunas) en el área del manto arrasado. La mayor altura de la capa freática, que llega a inundar el suelo en la época más húmeda, hace que los contenidos en hierro sean similares en superficie a los de

los perfiles anteriores (IV y V) pero desciendan más acusadamente en profundidad, donde la influencia de la capa freática puede considerarse prácticamente permanente. En efecto, el empobrecimiento en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de los últimos horizontes es muy grande (0,12 % y 0,15 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y 0,04 % y 0,03 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre en los horizontes C del perfil VI y  $\text{C}_2$  del perfil VII, respectivamente), hasta el punto de que la fuerte hidromorfía existente no se refleja apenas en la morfología del perfil. Las razones libre/total disminuyen a causa del lavado del perfil, alcanzándose valores muy bajos (9,1 en el horizonte  $\text{C}_1$  del perfil VII), que aumentan de nuevo en los horizontes con ciertas señales de hidromorfía (33,3 y 30,8 en la base de los respectivos perfiles).

El perfil VIII muestra, en general, bajos contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tanto total como libre, con valores que oscilan alrededor del 0,35 % y 0,10 %, respectivamente, en los horizontes orgánicos (130 cm). Al pasar a los horizontes minerales, los valores de hierro disminuyen como consecuencia, probablemente, de la mayor influencia del nivel freático. Este descenso, que se produce de forma acusada entre los horizontes 2Au<sub>2</sub> (0,33 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y 0,03 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre) y 2AC (0,16 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y 0,01 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre), se recupera hacia la profundidad del perfil, produciéndose un aumento considerable en las muestras tomadas a 280 cm y a más de 300 cm (1,80 % y 2,52 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y 1,14 % y 1,67 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, respectivamente). Esta fuerte variación está de acuerdo con los comentarios de otros parámetros que apuntaban hacia la presencia de las arenas plio-villa franquenses en la base del perfil.

La extrema acidez del perfil IX (pH 3,6 en Au<sub>1</sub>) y la importante acumulación de materia orgánica en el horizonte 0 (46,3 %) serían las causas de los bajos contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que presenta dicho perfil. El valor más alto de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total corresponde al horizonte

superficial. (0,40 %), descendiendo con la profundidad hasta el horizonte C, donde existe un aumento (0,34 %) probablemente debido a la proximidad del nivel más bajo de la capa freática en la época seca. El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre se encuentra en muy pequeña proporción, existiendo sólo trazas en la mayoría de los horizontes, con un valor más alto de 0,08 % en el horizonte C.

Estos bajos valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre y total, unido al alto contenido en materia orgánica, a la acidez del medio y a la escasa profundidad de la capa freática, sobre todo en la época húmeda, indica una intensa alteración del material original, una fuerte reducción y complejación del hierro y, finalmente, una evacuación del perfil hacia las zonas más bajas limítrofes del área arenosa con la marisma.

En resumen, los suelos arenosos son pobres en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total, como corresponde a un material original con una gran proporción de cuarzo. El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre es igualmente bajo, no sólo de forma absoluta, sino también en relación al  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total, como se deduce de las bajas razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total. En general, se produce un intenso lavado de los horizontes arenosos con evacuación de hierro del perfil, siguiendo el drenaje natural de la zona.

El manganeso es otro elemento importante indicador de la dinámica edafológica por su posibilidad de óxido-reducción. Su presencia en el suelo es mucho menor que la del hierro, no sólo por estar en menor cantidad que éste en el material original sino también por su mayor facilidad de reducción y disolución. En efecto, en la tabla D.2 puede observarse que el porcentaje de  $\text{MnO}_2$  en la composición química del suelo es muy pequeña en cuanto a su forma total y prácticamente a nivel de trazas en su forma libre.

El comportamiento del manganeso en la evolución del suelo es similar a la del hierro y su distribución en los distintos perfiles mantiene un comportamiento paralelo. De todas formas, los bajos contenidos que se aprecian hacen que sus valores, así como los de la razón libre/total, sean poco significativos.

TABLA A.2 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
IV	A	0,8	0,46	0,05	9,2	—	5,8	4,6	3	3	16	3
	C	0,2	0,12	0,02	6,0	—	5,5	4,4	4	2	9	3
V	A	1,5 <sup>#</sup>	0,87	0,06	14,5	—	4,8	3,9	3	6	40	5
	AC	0,9	0,52	0,05	10,4	—	5,3	4,3	8	6	45	5
	C <sub>1</sub>	0,6	0,35	0,04	8,8	—	5,6	4,4	6	3	45	5
	C <sub>1g</sub>	0,5	0,29	0,03	9,7	—	5,1	4,3	3	4	45	5
	C <sub>2</sub>	0,3	0,17	0,02	8,5	—	6,1	5,2	7	3	45	6
	C <sub>2g</sub>	0,7 <sup>#</sup>	0,41	0,04	10,3	—	6,2	5,3	3	4	45	8
VI	Au <sub>1</sub>	9,0 <sup>#</sup>	5,22	0,17	30,7	—	5,2	4,0	1	5	48	14
	Au <sub>2</sub>	1,9 <sup>#</sup>	1,10	0,04	27,5	—	5,1	4,5	1	3	28	16
	AC	0,4	0,23	0,02	11,5	—	5,4	4,4	1	2	13	2
	C	0,2	0,12	0,02	6,0	—	6,4	5,9	3	2	14	1
VII	Au <sub>1</sub>	8,8 <sup>#</sup>	5,10	0,16	31,9	—	5,5	5,0	3	7	99	25
	Au <sub>2</sub>	2,6 <sup>#</sup>	1,51	0,05	30,2	—	5,6	5,1	3	4	61	14
	AC	0,6	0,35	0,03	11,7	—	6,1	5,6	2	3	37	5
	C <sub>1</sub>	0,4	0,23	0,02	11,5	—	7,1	6,5	4	3	35	4
	C <sub>1g</sub>	0,3	0,17	0,02	8,5	—	7,9	7,6	2	1	50	5
	C <sub>2</sub>	0,3 <sup>#</sup>	0,17	0,02	8,5	—	8,1	7,2	2	1	45	5

...//...

TABLA A.2 (Cont.)

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
VIII	A <sub>h</sub>	5,9 <sup>#</sup>	3,42	0,11	31,3	—	5,1	4,3	12	10	97	11
	Au <sub>1</sub>	2,0 <sup>#</sup>	1,16	0,05	23,2	—	5,4	4,4	3	6	55	7
	Au <sub>2</sub>	2,1 <sup>#</sup>	1,22	0,05	24,4	—	4,6	3,8	9	4	36	5
	2Au <sub>1</sub>	3,4 <sup>#</sup>	1,97	0,06	32,8	—	4,6	4,1	3	1	27	3
	2Au <sub>2</sub>	1,7 <sup>#</sup>	0,98	0,04	24,5	—	5,2	4,4	3	3	35	4
	2AC	0,9 <sup>#</sup>	0,52	0,03	17,3	—	6,1	4,9	3	1	40	3
	2C	0,7 <sup>#</sup>	0,40	0,03	13,3	—	6,0	4,8	3	1	42	4
	2Cg	0,3 <sup>#</sup>	0,17	0,02	8,5	—	7,5	6,9	3	1	45	3
	a 280 cm	0,2	0,12	0,02	6,0	t	6,1	5,1	t	9	80	25
a 300 cm	0,2	0,12	0,02	6,0	—	5,9	4,7	t	9	80	25	
IX	O	46,3 <sup>#</sup>	26,84	0,71	37,8	—	—	—	—	—	—	—
	Au <sub>1</sub>	8,7 <sup>#</sup>	5,05	0,19	26,6	—	3,6	3,1	2	6	16	1
	Au <sub>2</sub>	3,8 <sup>#</sup>	2,20	0,09	24,4	—	4,1	3,4	t	3	10	2
	Au <sub>3</sub>	1,4	0,81	0,04	20,3	—	4,5	3,9	t	2	12	1
	AC	0,5	0,29	0,02	14,5	—	5,3	4,4	t	2	12	1
	C	0,2	0,14	0,02	7,0	—	6,2	5,2	t	2	14	1

TABLA B.2 - Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
IV	A	44,0	33,2	1,0	1,8	Arenosa
	C	50,1	48,8	0,3	0,8	Arenosa
V	A	47,0	50,0	1,0	2,0	Arenosa
	AC	47,5	49,5	1,0	2,0	Arenosa
	C <sub>1</sub>	58,5	39,5	t	2,0	Arenosa
	C <sub>1g</sub>	51,5	46,5	t	2,0	Arenosa
	C <sub>2</sub>	57,5	40,5	t	2,0	Arenosa
	C <sub>2g</sub>	42,5	54,5	t	3,0	Arenosa
VI	Au <sub>1</sub>	38,2	49,2	3,5	9,1	Arenosa-franca
	Au <sub>2</sub>	40,5	53,0	2,0	4,5	Arenosa
	AC	58,6	38,1	1,1	2,2	Arenosa
	C	63,9	34,5	0,8	0,8	Arenosa
VII	Au <sub>1</sub>	33,0	53,5	5,0	8,5	Arenosa-franca
	Au <sub>2</sub>	32,9	58,3	4,1	4,7	Arenosa
	AC	70,2	27,5	0,3	2,0	Arenosa
	C <sub>1</sub>	81,5	17,3	0,2	1,0	Arenosa
	C <sub>1g</sub>	62,3	35,2	0,5	2,0	Arenosa
	C <sub>2</sub>	39,8	58,5	0,2	1,5	Arenosa
VIII	A <sub>h</sub>	67,4	24,8	1,9	5,9	Arenosa
	Au <sub>1</sub>	61,5	35,5	1,0	2,0	Arenosa
	Au <sub>2</sub>	58,5	34,5	3,0	4,0	Arenosa
	2Au <sub>1</sub>	42,3	48,0	3,9	5,8	Arenosa
	2Au <sub>2</sub>	44,5	49,0	2,5	4,0	Arenosa
	2AC	70,5	28,0	0,5	1,0	Arenosa
	2C	63,0	34,5	0,5	2,0	Arenosa
	2C <sub>g</sub>	57,0	40,5	0,5	2,0	Arenosa
	-a 280 cm	40,0	46,0	3,5	10,5	Arenosa-franca
	-a 300 cm	43,0	42,0	2,0	13,0	Arenosa-franca
IX	0	-	-	-	-	--
	Au <sub>1</sub>	23,5	55,2	8,4	12,9	Franco-arenosa
	Au <sub>2</sub>	28,4	54,9	5,0	11,7	Arenosa-franca
	Au <sub>3</sub>	54,8	39,6	1,7	3,9	Arenosa
	AC	72,5	26,4	0,2	0,9	Arenosa
	C	73,0	26,2	0,2	0,6	Arenosa

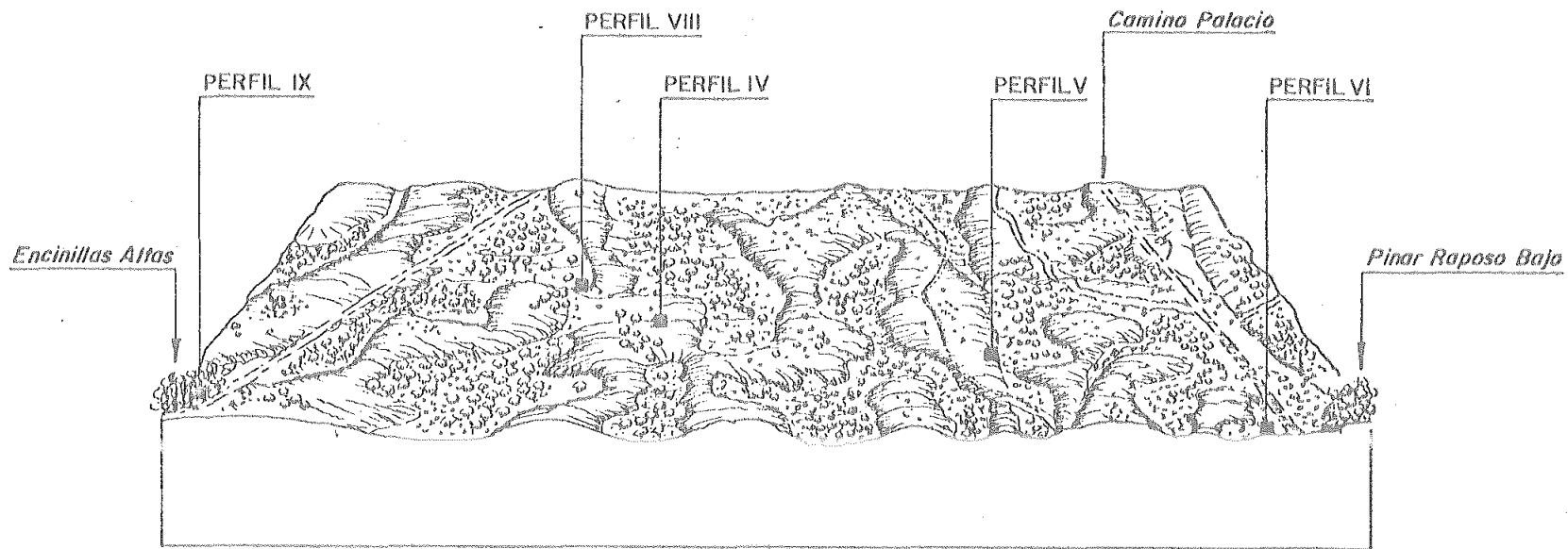
TABLA C.2 - Capacidad de cambio, cationes cambiabiles y grado de saturación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g						%
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V
IV	A	2,5	t	t	1,0	0,5	1,5	60,0
	C	1,5	t	t	0,5	0,3	0,9	53,3
V	A	1,7	t	t	0,3	0,1	0,4	23,5
	AC	1,0	t	t	0,4	0,1	0,5	50,0
	C <sub>1</sub>	1,0	t	t	0,2	0,1	0,3	30,0
	C <sub>1g</sub>	1,0	t	t	0,2	0,1	0,3	30,0
	C <sub>2</sub>	1,0	t	t	0,3	0,1	0,4	40,0
	C <sub>2g</sub>	1,0	t	t	0,5	0,2	0,7	70,0
VI	Au <sub>1</sub>	11,9	0,6	0,1	3,6	1,5	5,8	48,7
	Au <sub>2</sub>	5,0	t	t	1,3	1,0	2,3	46,0
	AC	1,0	t	t	t	t	t	-
	C	1,0	t	t	t	t	t	-
VII	Au <sub>1</sub>	13,6	0,7	t	4,0	2,0	6,7	49,3
	Au <sub>2</sub>	5,2	0,5	t	1,6	1,0	3,1	59,6
	AC	1,5	0,2	t	0,5	0,2	0,9	60,0
	C <sub>1</sub>	1,0	0,1	t	0,4	0,1	0,6	60,0
	C <sub>1g</sub>	1,0	t	t	0,9	0,1	1,0	100
	C <sub>2</sub>	1,0	t	t	0,9	0,1	1,0	100
VIII	A <sub>h</sub>	9,0	0,2	t	3,0	0,8	4,0	44,4
	Au <sub>1</sub>	3,5	0,2	t	0,8	0,3	1,3	37,1
	Au <sub>2</sub>	3,5	0,2	t	0,6	0,2	1,0	28,6
	2Au <sub>1</sub>	4,0	0,2	t	0,4	0,1	0,7	17,5
	2Au <sub>2</sub>	3,5	t	t	0,4	0,1	0,5	14,3
	2AC	1,5	t	t	0,2	0,1	0,3	20,0
	2C	2,0	0,2	t	0,4	0,1	0,7	35,0
	2Cg	1,5	0,2	t	1,2	0,1	1,5	100
	a 280 cm	-	-	-	-	-	-	-
	a 300 cm	-	-	-	-	-	-	-
IX	O	-	-	-	-	-	-	-
	Au <sub>1</sub>	16,5	t	0,1	0,6	0,4	1,1	6,7
	Au <sub>2</sub>	9,2	t	t	0,9	0,2	1,1	12,0
	Au <sub>3</sub>	6,2	t	t	0,5	0,2	0,7	11,3
	AC	3,0	t	t	0,3	0,1	0,4	13,3
	C	1,0	t	t	0,2	0,1	0,3	30,0



TABLA D.2 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
IV	A	0,79	0,26	32,9	0,04	t	-
	C	0,92	0,36	39,1	0,03	t	-
V	A	0,55	0,08	14,5	0,04	t	-
	AC	0,31	0,04	12,9	0,04	t	-
	C <sub>1</sub>	0,29	0,03	10,3	0,03	t	-
	C <sub>1g</sub>	0,37	0,14	37,8	0,03	t	-
	C <sub>2</sub>	0,22	0,03	13,6	t	t	-
	C <sub>2g</sub>	0,43	0,17	39,5	t	t	-
VI	Au <sub>1</sub>	0,64	0,18	28,1	0,03	t	-
	Au <sub>2</sub>	0,49	0,09	18,4	0,02	t	-
	AC	0,13	0,04	30,8	0,01	t	-
	C	0,12	0,04	33,3	0,01	t	-
VII	Au <sub>1</sub>	0,74	0,16	21,6	0,02	t	-
	Au <sub>2</sub>	0,59	0,05	8,5	0,02	t	-
	AC	0,13	0,01	7,7	t	t	-
	C <sub>1</sub>	0,11	0,01	9,1	t	t	-
	C <sub>1g</sub>	0,26	0,08	30,8	0,03	t	-
	C <sub>2</sub>	0,15	0,03	20,0	0,01	t	-
VIII	A <sub>n</sub>	0,31	0,06	19,3	t	t	-
	Au <sub>1</sub>	0,41	0,16	39,0	t	t	-
	Au <sub>2</sub>	0,33	0,11	33,3	t	t	-
	2Au <sub>1</sub>	0,36	0,03	8,3	t	t	-
	2Au <sub>2</sub>	0,33	0,03	9,1	t	t	-
	2AC	0,16	0,01	6,3	t	t	-
	2C	0,21	0,02	9,5	t	t	-
	2Cg	0,26	0,06	23,1	t	t	-
	a 280 cm	1,80	1,14	63,3	0,03	t	-
a 300 cm	2,52	1,87	74,2	0,04	t	-	
IX	O	-	-	-	-	-	-
	Au <sub>1</sub>	0,40	0,05	12,5	0,02	t	-
	Au <sub>2</sub>	0,35	t	-	0,01	t	-
	Au <sub>3</sub>	0,25	t	-	0,01	t	-
	AC	0,11	t	-	t	t	-
	C	0,34	0,08	23,5	0,01	t	-



C.1.2 MANTO ARRASADO

### C.1.2 MANTO ARRASADO: Lagunas temporales

Dentro del área de arenas estabilizadas aparecen una serie de depresiones que funcionan como lagunas durante las estaciones lluviosas. La dinámica de estas lagunas temporales, estrechamente li-gada a la capa freática y a la pluviometría, confiere a los perfiles de suelos una serie de características muy especiales, tanto morfoló-gicas como químicas y físicas.

Los perfiles X y XI, correspondientes a la laguna del Caba-llo y Navazo del Toro, respectivamente, se han escogido como represen-tativos del elemento morfoedáfico "lagunas temporales".

La Tabla A.3 recoge los datos de los análisis químicos generales. En ella puede observarse la gran semejanza que presentan sus horizontes superficiales en cuanto al contenido en materia orgánica (9,4 % y 9,6 %, respectivamente). Este alto porcentaje se debe a la vegetación herbácea que cubre el suelo en la época seca y que por su carácter anual aporta gran cantidad de materia orgánica. Por otra parte, la humedad de estas depresiones crea un microclima que difi-culta el normal proceso de mineralización que favorece las caracte-rísticas climáticas de la zona.

La mayor acidez del perfil X (pH 5,7) ralentiza la activi-dad biológica del suelo, favoreciendo una incorporación más profun-da de la materia orgánica. En efecto, ésta conserva aún un valor re-lativamente alto (1,7 %) a los 80 cm en el perfil X, mientras que a esa misma profundidad, el perfil XI presenta un contenido de sólo 0,4 %, manteniéndose este valor en la base de ambos perfiles.

Los datos de C y N, así como la relación C/N, siguen un comportamiento paralelo al de la materia orgánica. Así se observa un máximo de C en los horizontes superficiales (5,45 % en el perfil X,

y 5,58 % en el perfil XI) que disminuyen en profundidad, hasta equipararse en los últimos horizontes (0,23 % en ambos perfiles).

Si bien los contenidos en materia orgánica y carbono son similares en los horizontes superficiales de ambos perfiles, las razones C/N muestran diferencias apreciables. En efecto, en el perfil XI no se alcanza el valor de 20, superándose claramente en los dos primeros horizontes del perfil X (26,0 y 26,4, respectivamente). Al mismo tiempo, la mayor profundidad alcanzada por la materia orgánica en este último se refleja en un descenso gradual de la razón C/N, mientras que en el perfil XI lo hace bruscamente a sólo 17 cm de la superficie (18,3 en A y 8,8 en C). En profundidad, dicha razón alcanza un valor de 7,7 en ambos perfiles.

El perfil XI presenta valores de pH superiores a la neutralidad en todos sus horizontes, alcanzando un máximo en el horizonte C (8,9), a partir del cual desciende ligeramente hacia la zona de influencia del nivel freático. Por el contrario, el perfil X es relativamente ácido en superficie (5,7 en el horizonte Ah y 6,2 en el A) y ligeramente alcalino en profundidad, sin alcanzar nunca los valores de pH del perfil anterior. Dichos valores pueden estar relacionados con la presencia de sales, más acusada en el perfil XI que en el X, como se comentará más adelante.

Esta presencia de sales se refleja asimismo en el contenido de elementos asimilables. Así, en la Tabla A.3 se observa que los valores de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg asimilables son más altos que en los perfiles anteriormente comentados. El  $P_2O_5$  alcanza un valor de 20 mg/100 g en el horizonte 2B3C<sub>1</sub> del perfil XI, el  $K_2O$  y el Ca, 50 mg/100 g y 249 mg/100 g, respectivamente, en el horizonte Au<sub>1</sub> del mismo perfil y el Mg supera los 100 mg/100 g en el horizonte 2Btg del perfil X. De forma general, puede apreciarse que la variación del  $K_2O$ , Ca y Mg asimilable está relacionada con la textura de los horizontes,

mientras que el  $P_{25}O_5$  muestra una variación más aleatoria.

La Tabla B.3 muestra los resultados del análisis mecánico de los perfiles X y XI, así como la clasificación textural de cada uno de sus horizontes.

El perfil X presenta una textura franco-arenosa en superficie (horizontes Ah, A y AC) que pasa a franco-arcillo-arenosa (horizonte Btg) como consecuencia de un aumento de la fracción arcilla que alcanza en este último horizonte el valor de 29,5 %. En esta primera parte del perfil, se observa que existe un predominio de arena fina sobre la gruesa con unos valores que oscilan entre 42,5 % y 49,3 %, y 23,0 % y 27,5 %, respectivamente. A partir del siguiente horizonte (2C) se produce un brusco cambio textural. Las fracciones finas descienden de manera notable hasta valores comprendidos entre 0,5 % y 1,0 % para el limo y entre 1,5 % y 6 % para la arcilla. Por otro lado, el predominio arena fina/arena gruesa se invierte pasando a ser esta última la fracción dominante con un 62,5 % frente a 31,5 % de arena fina en el horizonte 2Cg<sub>2</sub>. Estos cambios texturales podrían estar de acuerdo con una discontinuidad litológica, acentuada probablemente por el funcionamiento de las lagunas temporales.

El perfil XI presenta, en general, una distribución granulométrica semejante al anterior. En efecto, a 40 cm aparece igualmente un horizonte 2Bzg con un claro aumento de arcilla (14,5 %) respecto a los dos que le preceden. Asimismo, existe en la mitad superior del perfil un predominio de arena fina sobre la gruesa que se invierte en la mitad más profunda, alcanzando la arena gruesa un valor de 69,5 % frente a 26,5 % de arena fina en el horizonte 3C<sub>2</sub>. Quizás la variación más significativa sea una mayor acumulación de material fino en superficie (12,9 % de limo y 20,5 % de arcilla), probablemente como consecuencia de estar ubicado en una laguna más abierta y extensa (Navazo del Toro).

En resumen, el análisis granulométrico parece poner de manifiesto dos sedimentos arenosos distintos separados por un horizonte (Btg) de acumulación de arcilla que podría tener su origen en un proceso de lavado (más probable en el perfil X) o bien corresponder a un antiguo fondo de laguna enterrado (más probable en el perfil XI).

La Tabla C.3 recoge los valores de capacidad de cambio, cationes cambiabiles y grado de saturación en bases. Dichos valores han sido calculados teniendo en cuenta la salinidad que presentan los perfiles X y XI.

El perfil X presenta una capacidad de cambio ligeramente baja en superficie (7,5 meq/100 g), si se tienen en cuenta los contenidos de materia orgánica (9,4 %) y fracción fina (15,3 % de arcilla). El valor de dicha capacidad de cambio se mantiene aproximadamente constante en los siguientes horizontes, aumentando en el Btg (16,5 meq/100 g) donde existe cierta acumulación de arcilla (29,5 %). Este horizonte será, por tanto, el que presente los más altos contenidos en los cuatro cationes cambiabiles aún cuando no se alcance el 100 % de saturación (1,8, 0,6, 3,7 y 8,1 meq/100 g de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , respectivamente). Todos estos valores descienden bruscamente en el siguiente horizonte (capacidad de cambio catiónica de 1,5 meq/100 g) de acuerdo con su textura arenosa.

El grado de saturación presenta unos valores que varían en el perfil de forma similar a cómo lo hace el pH. Así, el valor más bajo (66,7 %) corresponde al horizonte Ah de acuerdo con su mayor acidez (pH 5,7). Con la profundidad ambos valores crecen paralelamente, hasta alcanzarse el 100 % de saturación en el horizonte AC donde el medio es neutro (pH 7).

El perfil XI presenta mayor capacidad de cambio que el perfil X en el horizonte superficial (12,0 meq/100 g), de acuerdo con

un ligero aumento de materia orgánica (9,6 %) y de arcilla (20,5 %). De igual forma que lo hace en el perfil anterior, este valor disminuye en profundidad para aumentar en el horizonte 2Bzg donde se vuelve a alcanzar los 12 meq/100 g. A partir de este horizonte el descenso es brusco, paralelamente al de la fracción fina del suelo.

Los cationes cambiables presentan valores más altos en relación a la capacidad de cambio, debido a la salinidad que se refleja en los pH del suelo (valores superiores a 8 en casi todos los horizontes). En este sentido hay que destacar la presencia relativamente importante de  $\text{Na}^+$ , que alcanza un valor de 4 meq/100 g en el horizonte 2Bzg (33 % de la capacidad de cambio). Por este motivo, el complejo de cambio se encuentra saturado al 100 %, incluso en los horizontes superficiales.

Los valores altos de pH y de  $\text{Na}^+$  de cambio, sobre todo en el perfil XI, aconsejan un estudio de la salinidad en estos perfiles representativos de las lagunas temporales.

La Tabla E.3 recoge los valores de sales y la conductividad eléctrica en pasta saturada de los diferentes horizontes, así como la conductividad eléctrica del nivel freático de ambos perfiles.

El perfil X presenta una ligera salinidad en los horizontes superficiales con unos valores de conductividad eléctrica que varían entre 0,33 y 0,57 mmhos/cm. Dicha conductividad aumenta sensiblemente en el horizonte Btg (1,40 mmhos/cm) para descender en profundidad a valores muy bajos (0,11 mmhos/cm en el 2Cg<sub>2</sub>) pero acordes con la conductividad del nivel freático (0,15 mmhos/cm).

El perfil XI muestra una distribución diferente de la salinidad con la profundidad. El horizonte superficial tiene un valor de conductividad más alto que el correspondiente horizonte del perfil

anterior (0,97 mmhos/cm) y baja bruscamente hasta un valor de 0,15 mmhos/cm antes de sufrir un aumento en el horizonte 2Bzg (1,25 mmhos/cm). Este valor no disminuye hacia la profundidad, como en el caso anterior, sino que incluso aumenta, alcanzando un valor de 1,76 mmhos/cm en el último horizonte 3C<sub>2</sub>. Estos datos son superiores a los que presentan los horizontes profundos del perfil X pero están de acuerdo con los del nivel freático (2,77 mmhos/cm).

Los contenidos en las diferentes sales estarán relacionados con los valores de conductividad eléctrica. En efecto, los horizontes superficiales y los que muestran cierta acumulación de arcilla presentan las concentraciones más altas de cloruros (entre 1,0 y 1,4 meq/100 g), sodio (entre 0,8 y 1,7 meq/100 g) y potasio (entre 0,06 y 0,11 meq/100 g). Por el contrario, las sales cálcicas, menos solubles, parece que se encuentran en mayor proporción en los horizontes más profundos, debido probablemente a que les afecta menos la ascensión en el perfil que provoca la fuerte evapotranspiración del verano. Esta se pone de manifiesto en una ligera acumulación superficial, en ambos perfiles, de bicarbonatos (0,54 y 0,90 meq/100 g) y cloruros (1,40 y 0,80 meq/100 g).

Finalmente hay que resaltar los desiguales contenidos en sales y valores de la conductividad eléctrica de los horizontes profundos de ambos perfiles. Dichos valores, acordes con los correspondientes a los respectivos niveles freáticos, parecen indicar diferencias en el funcionamiento de éstos que, por otro lado, muestran distintas intensidades de fluctuación.

La Tabla D.3 recoge los datos de hierro y manganeso total y libre, así como las respectivas razones libre/total. En general, puede observarse que la variación en la distribución del hierro total sigue una secuencia similar a la de la arcilla anteriormente co



mentada. En efecto, en el perfil X se observa que el hierro aumenta regularmente desde la superficie hasta el horizonte 2Btg donde alcanza el más alto valor (3,22 %). Hacia la profundidad disminuye, coincidiendo con el cambio a texturas arenosas. Esta distribución estaría a favor de un proceso de lavado que conduce a la formación de un horizonte B textural.

Por el contrario, en el perfil XI se parte de un contenido en el horizonte Ah de 1,64 % que disminuye hasta 0,59 % en el horizonte C, contenido similar al de las arenas que circundan el área representada por este perfil. El aumento en los siguientes horizontes, hasta alcanzar un máximo de 2,61 % en el 2Bzg estaría a favor de un aporte arenoso que entierra este último horizonte. A partir de aquí, el hierro disminuye significativamente a valores inferiores a 1% de forma similar a como ocurre en el perfil X.

La forma libre del hierro presenta, en general, una distribución paralela a la del hierro total, en el sentido que los mayores contenidos corresponden a los horizontes más ricos en hierro total y viceversa. Las razones libre/total son bajas, como corresponden a suelos desarrollados a partir de un material muy alterado cuando fue depositado (arenas eólicas). Los valores más altos corresponden normalmente a los horizontes donde la hidromorfía es más intensa (superficiales por encharcamiento temporal) o a los afectados por la fluctuación de la capa freática. En la Tabla se observa que estos máximos valores se dan en el horizonte Ah del perfil X (64,6) y en el horizonte 2Bzg del perfil XI (70,1), donde incluso aparecen concreciones ferruginosas.

Finalmente, la distribución del manganeso no es significativa debido al escaso contenido que presentan los horizontes, no alcanzándose en ninguno el 0,1 % de manganeso total y el 0,05 % de la forma libre.

TABLA A.3 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
X	A <sub>h</sub>	9,4 <sup>***</sup>	5,45	0,21	26,0	t	5,7	4,8	3	30	150	23
	A	3,2 <sup>*</sup>	1,85	0,07	26,4	-	6,2	5,2	11	16	93	22
	AC	2,0	1,16	0,06	19,3	-	7,0	5,7	18	9	88	43
	Btg	1,7 <sup>***</sup>	0,98	0,05	19,6	-	6,5	5,1	6	9	150	114
	2C	0,5 <sup>*</sup>	0,29	0,03	9,7	-	7,4	6,6	5	3	40	11
	2Cg <sub>1</sub>	0,4 <sup>*</sup>	0,23	0,03	7,7	-	6,6	5,4	3	4	45	11
	2Cg <sub>2</sub>	0,4 <sup>*</sup>	0,23	0,03	7,7	-	7,3	6,9	3	3	45	8
XI	A <sub>h</sub>	9,6 <sup>***</sup>	5,58	0,28	19,9	-	7,8	6,6	6	50	249	37
	A	2,2 <sup>*</sup>	1,28	0,07	18,3	-	8,3	7,0	12	14	69	13
	C	0,6 <sup>*</sup>	0,35	0,04	8,8	-	8,9	7,2	21	9	48	8
	2AB	0,7	0,40	0,04	10,0	-	8,4	6,9	4	23	71	25
	2Bzg	0,6	0,35	0,04	8,8	-	8,1	6,8	5	38	145	52
	2B3C <sub>1</sub>	0,4	0,23	0,03	7,7	-	8,0	6,9	20	14	69	26
	3C <sub>1</sub>	0,4 <sup>*</sup>	0,23	0,03	7,7	-	8,1	7,1	3	10	71	13
	3C <sub>2</sub>	0,4 <sup>*</sup>	0,23	0,03	7,7	-	7,2	6,5	3	7	50	11

TABLA B.3 - Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
X	Ah	27,4	49,3	8,0	15,3	Franco-arenosa
	A	27,5	46,5	8,0	18,0	Franco-arenosa
	AC	27,1	45,5	9,0	18,4	Franco-arenosa
	Btg	23,0	42,5	5,0	29,5	Franco-arcillo-arenosa
	2C	47,0	51,0	0,5	1,5	Arenosa
	2Cg <sub>1</sub>	58,0	35,0	1,0	6,0	Arenosa
	2Cg <sub>2</sub>	62,5	31,5	1,0	5,0	Arenosa
XI	Ah	25,0	41,6	12,9	20,5	Franco-arcillo-arenosa
	A	34,5	47,5	5,0	13,0	Franco-arenosa
	C	42,0	53,0	2,0	3,0	Arenosa
	2AB	40,5	50,3	2,4	6,8	Arenosa
	2Bzg	45,0	35,2	5,3	14,5	Franco-arenosa
	2B3C <sub>1</sub>	49,0	43,2	3,4	4,4	Arenosa
	3C <sub>1</sub>	55,0	40,0	2,0	3,0	Arenosa
	3C <sub>2</sub>	69,5	26,5	1,0	3,0	Arenosa

TABLA C.3 - Capacidad de cambio, cationes cambiab<sup>l</sup>es y grado de sa  
turación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					S	%
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
X	Ah	7,5	0,4	0,5	2,8	1,3	5,0	66,7
	A	6,5	0,4	t	3,2	1,3	4,9	75,4
	AC	7,0	1,0	t	3,0	3,0	7,0	100
	Btg	16,5	1,8	0,6	3,7	8,1	14,2	86,1
	2C	1,5	0,4	t	0,5	0,5	1,4	93,3
	2Cg <sub>1</sub>	2,0	t	t	1,2	0,7	1,9	95,0
	2Cg <sub>2</sub>	2,0	0,2	t	1,2	0,5	1,9	95,0
XI	Ah	12,0	2,0	0,4	8,1	1,5	12,0	100
	A	4,0	1,1	t	2,1	0,8	4,0	100
	C	1,5	0,5	t	0,6	0,4	1,5	100
	2AB	5,0	1,7	t	1,7	1,6	5,0	100
	2Bzg	12,0	4,0	0,4	3,9	3,7	12,0	100
	2B 3C <sub>1</sub>	4,0	1,1	t	1,5	1,4	4,0	100
	3C <sub>1</sub>	2,0	0,4	t	1,2	0,4	2,0	100
	3C <sub>2</sub>	2,0	0,4	t	1,0	0,6	2,0	100

TABLA D.3 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
X	Ah	0,79	0,51	64,5	0,02	0,02	100
	A	0,75	0,24	32,0	0,02	0,01	50,0
	AC	1,32	0,42	31,8	0,06	0,03	50,0
	Btg	3,22	1,20	37,2	0,05	0,01	20,0
	2C	0,46	0,03	6,5	0,03	t	-
	2Cg <sub>1</sub>	0,55	0,11	20,0	0,03	t	-
	2Cg <sub>2</sub>	0,60	0,13	21,7	0,03	t	-
XI	Ah	1,64	0,63	38,4	0,05	0,01	20,0
	A	0,70	0,18	25,7	0,03	0,01	33,3
	C	0,59	0,06	10,2	0,03	t	-
	2AB	1,54	0,81	52,5	0,04	0,01	25,0
	2Bzg	2,61	1,83	70,1	0,03	t	-
	2B 3C <sub>1</sub>	0,95	0,27	28,4	0,02	0,01	50,0
	3C <sub>1</sub>	0,44	0,12	27,0	0,03	0,01	33,3
	3C <sub>2</sub>	0,57	0,12	21,1	0,02	0,01	50,0

TABLA E.3 - Determinaciones de sales y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g						mmhos/cm		
		CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.ē. (suelo)	C.ē. (agua, Oct. 83)	C.ē. (agua, Marzo 84)
X	A <sub>h</sub>	0,54	1,40	0,10	t	0,82	0,11	0,43	-	-
	A	0,36	0,40	0,10	t	0,36	0,05	0,33	-	-
	AC	0,36	0,40	t	0,10	0,43	0,03	0,57	-	-
	Btg	0,54	1,00	0,31	0,49	0,97	0,04	1,40	-	-
	2C	0,18	0,40	0,25	0,25	0,42	0,03	0,89	-	-
	2Cg <sub>1</sub>	0,18	0,20	0,55	0,25	0,16	0,03	0,09	-	-
	2Cg <sub>2</sub>	0,18	0,20	0,32	0,14	0,06	0,03	0,11	0,15	-
XI	A <sub>h</sub>	0,90	0,80	0,37	0,16	1,70	0,07	0,97	-	-
	A	0,36	0,40	0,12	0,10	0,67	0,04	0,27	-	-
	C	0,36	0,20	0,29	0,06	0,23	0,03	0,15	-	-
	2AB	0,36	0,20	0,15	0,25	0,42	0,04	0,45	-	-
	2Bzg	0,54	0,80	0,21	0,35	1,14	0,06	1,25	-	-
	2B3C <sub>1</sub>	0,36	1,40	0,30	0,29	1,98	0,06	1,56	-	-
	3C <sub>1</sub>	0,54	1,00	0,56	0,33	1,08	0,06	0,61	-	-
	3C <sub>2</sub>	0,18	0,60	2,25	1,44	0,73	0,04	1,76	2,77	0,18

### C.1.2 MANTO ARRASADO: Eucaliptar

El elemento morfoedáfico "Eucaliptar" se encuentra representado por los perfiles XII ("Farallón carretera") y XIII ("Farallón enterrado"). Dicho elemento ocupa la parte norte del manto arrasado y ha sido diferenciada en función de una discontinuidad litológica que aparece a mayor o menor profundidad en todo el área. Esta discontinuidad, formada por las arenas basales semipermeables, provoca fenómenos de hidromorfía que pueden desviar la normal evolución del suelo desarrollado sobre ellas.

Ambos perfiles han sido seleccionados en función de la profundidad a que se encuentran las arenas basales de edad plio-villanfranquiense. El primero (perfil XII), situado en el N del Parque Nacional de Doñana, pertenece a un área donde la citada discontinuidad litológica se encuentra muy superficial o incluso aflora, mientras que el segundo (perfil XIII) se sitúa al SE del anterior, dentro de una llanura arenosa eólica de formas arrasadas donde el sedimento correspondiente a las arenas basales se sitúan alrededor de los 100-150 cm de profundidad.

La Tabla A.4 muestra los resultados de los análisis químicos generales de ambos perfiles. En ella se observan bajos contenidos de materia orgánica en los respectivos horizontes superficiales (2,5 % y 3,4 %). Este bajo porcentaje se debe a la escasa vegetación que cubre el suelo, como consecuencia de la profundidad de la capa freática (más de 2 m en la estación húmeda). Dichos valores disminuyen hacia la base del perfil, alcanzando un mínimo en el horizonte 2Btg del perfil XIII (0,2 %).

Los porcentajes de C y N, así como la razón C/N muestran un comportamiento paralelo al de la materia orgánica. En efecto, se ob

serva un máximo de C en los horizontes superficiales (1,45 % y 1,97 %, respectivamente) que se refleja, asimismo, en una razón C/N más elevada (16,1 y 24,6). Dichas razones disminuyen rápidamente en profundidad, alcanzándose un valor mínimo de 6 en la base del perfil XIII.

La reacción del suelo es similar en ambos perfiles. Los respectivos horizontes superficiales presentan un pH de 5,9 y 6,1 que concuerdan con la acidez que muestran las arenas cuarcíticas con contenidos semejantes de materia orgánica. En los horizontes en los cuales se aprecian signos de hidromorfía, el pH disminuye ligeramente (4,9 en Cg del perfil XII) para aumentar en profundidad de igual forma que ocurre en otros perfiles desarrollados en situaciones geomorfológicas similares (6,3 en 2Btg del perfil XIII).

Los valores de elementos asimilables ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg) son muy bajos, con un máximo en los horizontes superficiales de 2 mg/100 g de  $P_2O_5$ , 16 y 17 mg/100 g de  $K_2O$ , 118 y 103 mg/100 g de Ca y 20 y 9 mg/100 g de Mg, respectivamente. Dichos valores disminuyen en profundidad, hasta alcanzar 1 mg/100 g de  $P_2O_5$ , 1 mg/100 g de  $K_2O$ , 40 mg/100 g de Ca y 5 mg/100 g de Mg en el horizonte Cg<sub>2</sub> del perfil XIII. A partir de dicho horizonte, los valores aumentan ligeramente (4 mg/100 g de  $K_2O$ , 69 mg/100 g de Ca y 30 mg/100 g de Mg) coincidiendo con la aparición a esta profundidad (115 cm) de la discontinuidad litológica (arenas plio-villafranquienses) de textura más fina que el suelo suprayacente.

En resumen, los suelos muestran un contenido muy bajo en elementos asimilables, de acuerdo con el escaso contenido en materia orgánica y con la naturaleza cuarcítica del material original, y, por tanto, muy baja fertilidad potencial.



Los resultados del análisis granulométrico de los dos perfiles se recogen en la Tabla B.4. El horizonte superficial del perfil XII presenta una textura arenosa que pasa a arenosa-franca a los 10 cm de profundidad. En el perfil XIII la textura arenosa se conserva en los cinco primeros horizontes hasta una profundidad de 115 cm, donde aparece la discontinuidad anteriormente comentada, representada por el horizonte 2Btg de textura arenosa-franca. Puede observarse que la textura de ambos perfiles es similar, diferenciándose sólo en la profundidad a la que se produce el cambio.

En efecto, el perfil XII presenta desde la superficie un porcentaje de arcilla (7,7 %) superior a la de suelos desarrollados sobre arenas con un contenido en materia orgánica similar (2,5 %). Esta mayor proporción de arcilla proviene probablemente de la inmediata presencia de las arenas plio-villafranquienses que afloran en las proximidades. De todas formas, el contenido en arcilla es menor al que corresponde a dicha discontinuidad, debido al lavado que sufre en superficie y al aporte de las arenas eólicas que lo cubren. El espesor de estas arenas aumenta hacia el sur del elemento morfoedáfico, siendo de 115 cm en el perfil XIII. La textura de este perfil será, por tanto, arenosa (menos de 2,5 % de arcilla) hasta dicha profundidad, pasando a ser arenosa-franca en el horizonte 2Btg que, con un 13 % de arcilla, se corresponde morfológicamente con el sedimento plio-villafranquiense anteriormente comentado.

Finalmente hay que destacar en ambos perfiles el predominio de las arenas gruesas sobre las finas, aún más manifiesto en los horizontes profundos donde se alcanzan porcentajes superiores al 70 % de las primeras e inferiores al 20 % de las segundas.

La Tabla C.4 recoge los datos de los análisis de capacidad de cambio de bases, cationes cambiabiles y grado de saturación de los

suelos. La capacidad de cambio catiónica es muy pequeña de acuerdo con el bajo contenido en elementos finos y materia orgánica, situándose los valores máximos en los horizontes superficiales de los respectivos perfiles (6,0 y 5,0 meq/100 g). Dichos valores disminuyen en profundidad hasta alcanzar un mínimo en el horizonte  $Cg_2$  (2,0 meq/100 g) del perfil XIII, aumentando bruscamente (6,0 meq/100 g) en el horizonte 2Btg. Este aumento se corresponde con una mayor proporción de arcilla y probablemente se debe a la aparición de la discontinuidad litológica ya comentada. Los cationes cambiabiles presentan valores muy bajos como corresponde a suelos con baja fertilidad potencial y escasa capacidad de cambio. Los valores máximos se alcanzan en superficie (0,5 meq/100 g de  $Na^+$  en ambos perfiles, 2,5 y 1,6 meq/100 g de  $Ca^{++}$  y 1,0 y 0,6 meq/100 g de  $Mg^{++}$ , respectivamente) y disminuyen en profundidad, para aumentar de nuevo, e incluso superar los valores superficiales, en el horizonte 2Btg del perfil XIII (1,5 meq/100 g de  $Ca^{++}$  y 1,9 meq/100 g de  $Mg^{++}$ ). En general puede afirmarse que todos los cationes cambiabiles se presentan en cantidades muy pequeñas e incluso a veces a niveles de trazas como en el caso del  $K^+$ .

El grado de saturación es bajo de acuerdo con la acidez de las arenas cuarcíticas que constituyen el material original. El perfil XII presenta un máximo de saturación en el horizonte A (66,7 %) y disminuye apreciablemente en profundidad (40 % en el horizonte Cg), de igual forma que lo hace el pH (de 5,9 a 4,9). La saturación del complejo de cambio del perfil XIII es igualmente baja, con un máximo en superficie del 54 %. Este valor disminuye en profundidad hasta las proximidades del horizonte 2Btg donde se alcanza el valor más alto (66,7 %) de acuerdo con una elevación del pH.

La Tabla D.4 recoge los valores de  $Fe_2O_3$  y  $MnO_2$  total y libre así como las relaciones libre/total. El perfil XII muestra un contenido relativamente alto de  $Fe_2O_3$  total en superficie (1,93%) en

comparación con el perfil XIII, cuyos horizontes superficiales no alcanzan el 0,65 %. Esta diferencia apreciable se debe al mayor contenido en hierro de las arenas plio-villafranquienses que se sitúan a muy escasa profundidad en el primer perfil. De acuerdo con esta circunstancia, el perfil XIII muestra un descenso de los contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con la profundidad hasta alcanzar un valor mínimo de 0,11 % en el horizonte  $\text{Cg}_2$ . A partir de este horizonte comienza la discontinuidad litológica y, por tanto, un aumento brusco del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total que alcanza un valor similar (2,97 %) al del horizonte Cg del perfil XII (2,59 %) situado a sólo 10 cm de profundidad. Por tanto, el perfil XIII muestra hasta el horizonte 2Btg contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  semejantes a los de suelos arenosos del manto arrasado próximo, lo que hace pensar en una superposición de las arenas eólicas sobre las plio-villafranquienses.

El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre sigue una secuencia de distribución similar a la del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total, coincidiendo los máximos valores con los de éste. Sin embargo, las razones libre/total muestran diferencias apreciables sobre todo en los horizontes afectados por procesos de hidromorfía. Así se observa en la Tabla D.4 que la razón libre/total es baja en todos los horizontes, no superándose el valor de 45 salvo en el horizonte  $\text{Cg}_2$  del perfil XIII (72,7) que muestra marcadas señales de hidromorfía debido probablemente a la circulación del nivel freático en la época más húmeda sobre las arenas semipermeables plio-villafranquienses subyacentes. Dicho sedimento presenta unas razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total muy bajas (33,6 en el perfil XII y 30,3 en el perfil XIII) ya que constituye un pseudogley relictos en el que el hierro se encontraría muy bien cristalizado y unido a los granos de arena.

Finalmente, los valores de  $\text{MnO}_2$  son muy bajos (trazas en el perfil XIII), por lo que tienen muy poca significación edafogénica.

TABLA A.4 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XII	A	2,5	1,45	0,09	16,1	-	5,9	5,2	2	16	118	20
	Cg	1,3 <sup>#</sup>	0,77	0,07	11,0	-	4,9	3,8	3	6	43	7
XIII	Ap	3,4	1,97	0,08	24,6	-	6,1	5,1	2	7	103	9
	AC	2,0	1,16	0,06	19,3	-	5,1	4,2	1	4	47	5
	C	0,5 <sup>#</sup>	0,29	0,03	9,7	-	5,5	4,3	1	1	40	5
	Cg <sub>1</sub>	0,6 <sup>†</sup>	0,35	0,04	8,8	-	5,5	4,4	1	3	43	5
	Cg <sub>2</sub>	0,5 <sup>#</sup>	0,29	0,03	9,7	-	5,6	4,4	1	1	40	5
	2Btg	0,2 <sup>#†</sup>	0,12	0,02	6,0	-	6,3	4,5	1	4	69	30

TABLA B.4 - Análisis mecánico.

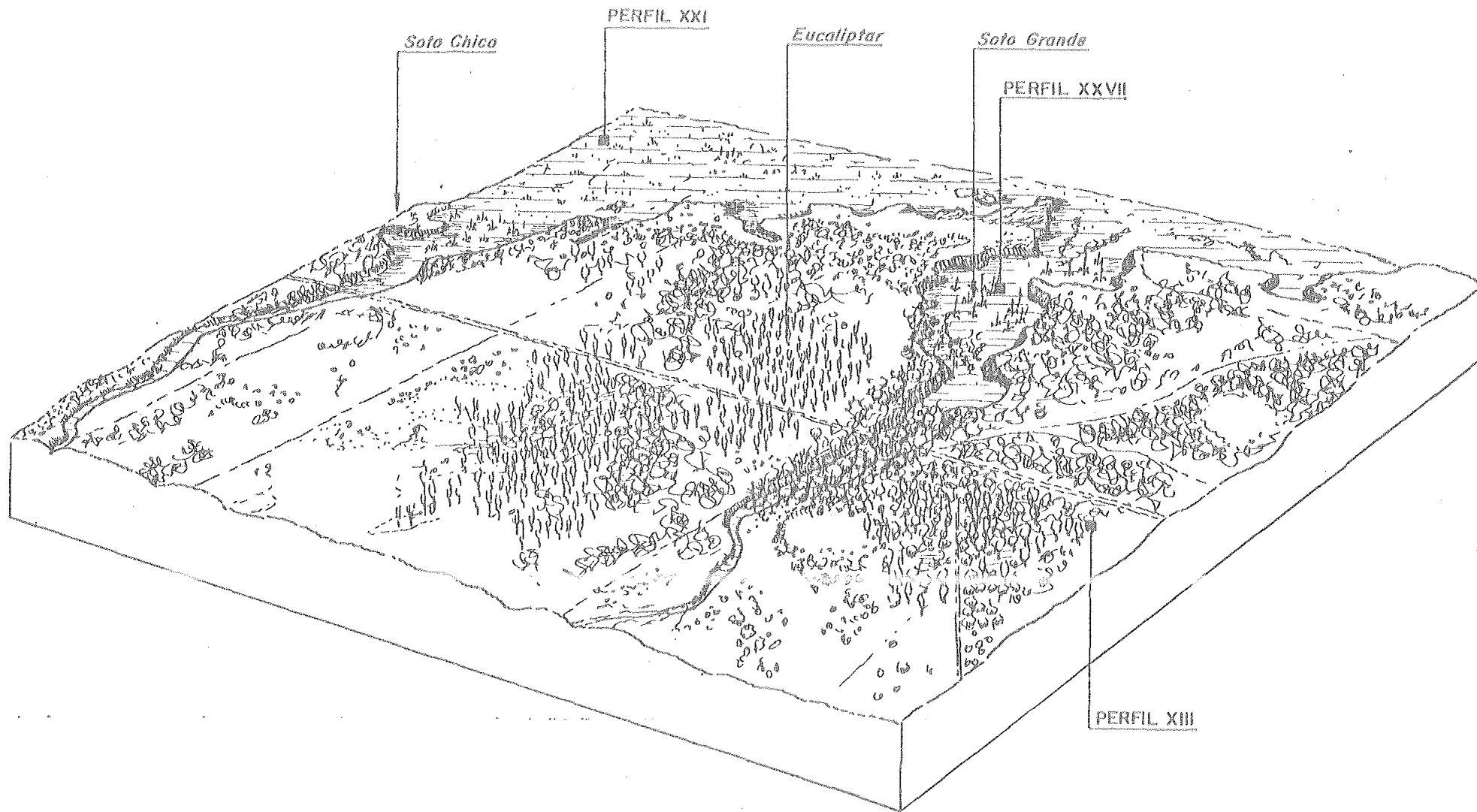
Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XII	A	63,5	27,8	1,0	7,7	Arenosa
	Cg	64,3	23,8	2,0	9,9	Arenosa-franca
XIII	Ap	66,5	28,5	3,0	2,0	Arenosa
	AC	69,5	27,5	1,0	2,0	Arenosa
	C	62,5	33,0	2,0	2,5	Arenosa
	Cg <sub>1</sub>	71,0	26,0	1,0	2,0	Arenosa
	Cg <sub>2</sub>	79,0	18,5	0,5	2,0	Arenosa
	2Btg	71,5	15,0	0,5	13,0	Arenosa-franca

TABLA C.4 - Capacidad de cambio, cationes cambiabiles y grado de saturación del suelo.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g						%
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V
XII	A	6,0	0,5	t	2,5	1,0	4,0	66,7
	Cg	2,5	0,3	t	0,5	0,2	1,0	40,0
XIII	Ap	5,0	0,5	t	1,6	0,6	2,7	54,0
	AC	3,0	0,5	t	0,5	0,2	1,2	40,0
	C	3,0	0,3	t	0,4	0,1	0,8	26,7
	Cg <sub>1</sub>	2,0	0,4	t	0,3	0,1	0,8	40,0
	Cg <sub>2</sub>	2,0	0,5	t	0,6	0,1	1,2	60,0
	2Btg	6,0	0,5	t	1,6	1,9	4,0	66,7

TABLA D.4 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XII	A	1,93	0,59	30,6	0,04	0,01	25,0
	Cg	2,59	0,87	33,6	0,03	t	-
XIII	Ap	0,63	0,13	20,6	0,03	t	-
	AC	0,41	0,12	29,3	0,04	t	-
	C	0,26	0,07	26,9	0,02	t	-
	Cg <sub>1</sub>	0,16	0,07	43,7	t	t	-
	Cg <sub>2</sub>	0,11	0,08	72,7	t	t	-
	2Btg	2,97	0,90	30,3	t	t	-



C.1.2.6 EUCALIPTAR Y C.3.1.3 ARROYOS.



### C.1.3 CORDONES DE LA MARISMILLA

La subunidad geomorfológica denominada Cordones de la Marismilla ocupa el área SE de las arenas estabilizadas y está constituida por cordones arenosos que presentan una dinámica de formación peculiar que será discutida más adelante. Dicha subunidad ha sido diferenciada por una serie de características singulares que se reflejan en las propiedades de los suelos que en ella se desarrollan. Los sondeos realizados permiten diferenciar dos elementos morfoedáficos en función a la topografía y por tanto a la profundidad del nivel freático: alto de cordones y bajo de cordones. El perfil XIV representa al primero y los perfiles XV y XVI, al segundo. Entre ellos existen diferencias apreciables como puede observarse en las diferentes Tablas de datos analíticos.

La Tabla A.5 recoge los análisis químicos generales. En ella, se observa que el perfil XIV, perteneciente a la parte alta de los cordones dunares, muestra un escaso porcentaje de materia orgánica (0,4 % en el horizonte A) en relación a los horizontes superficiales de los perfiles XV y XVI (4,6 % y 5,7 %, respectivamente). En éstos, la altura del nivel freático favorece una gran humedad durante la mayor parte del año que permite el establecimiento de una densa vegetación herbácea que aporta, por su carácter anual, gran cantidad de materia orgánica. Por debajo del horizonte superficial los contenidos descienden bruscamente hasta valores inferiores al 1 % que se igualan en los horizontes profundos de los tres perfiles (0,1 %, 0,3 % y 0,2 % en los perfiles XIV, XV y XVI, respectivamente).

Los valores de C y N muestran una secuencia de variación paralela a las de la materia orgánica, correspondiendo los porcentajes más altos a los horizontes superiores de los suelos más húmedos (2,66 % y 3,29 % de C y 0,25 % y 0,27 % de N en el horizonte Ah de los per

files XV y XVI), mientras que en el perfil XIV sólo se alcanza 0,25 % de C y 0,02 % de N.

Las razones C/N son relativamente bajas (12,5, 10,6 y 12,2 en los horizontes A de los perfiles XIV, XV y XVI, respectivamente), lo que indica una apreciable mineralización que en el perfil XIV se deberá a la profundidad del nivel freático y en los perfiles XV y XVI, a la basicidad del medio. En profundidad la razón disminuye hasta alcanzar valores comprendidos entre 5 y 7.

Los tres perfiles muestran contenidos diferentes de carbonatos. En efecto, mientras que el perfil XIV se encuentra descarbonatado, probablemente debido a la antigüedad de la duna así como a su gran permeabilidad, los perfiles XV y XVI muestran contenidos diversos. El primero es el que presenta más alto porcentaje, alcanzando en el horizonte superficial 23,4 %. Con la profundidad disminuye bruscamente por debajo de 4 %. El perfil XVI es menos carbonatado, siendo también el horizonte Ah el que presenta el mayor contenido con un 9,8 %. Como en el caso anterior, al descender en el perfil, los valores disminuyen hasta niveles de trazas en el último horizonte.

Al parecer existe una relación de los contenidos y distribución de carbonatos en el perfil con la profundidad de la capa freática y la presencia de restos de conchas en el material original, pudiéndose admitir la disolución de dichos restos y su ascensión en el perfil como consecuencia de la fluctuación del nivel freático.

La presencia o no de estos carbonatos influyen en los valores de pH de los diferentes horizontes. Así, el perfil XIV muestra una ligera acidez en superficie (6,4) y en profundidad (6,7), mientras que los pH de los perfiles XV y XVI no bajan de 8, aumentando

en profundidad hasta valores de 9, lo que podría indicar cierto índice de salinidad.

Los análisis comentados anteriormente, se reflejan asimismo en los valores que presentan los elementos asimilables. El perfil XIV, muestra contenidos muy bajos, como correspondería a cualquier suelo desarrollado sobre arenas cuarcíticas. En efecto, el  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg presentan sus máximos valores en el horizonte superficial (4, 6, 54 y 8 mg/100 g, respectivamente), disminuyendo en profundidad, por lo que dicho suelo muestra una baja fertilidad potencial.

Los perfiles XV y XVI presentan semejanza entre sí y diferencia con el primero. En efecto, aunque los valores de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  se mantienen relativamente constantes (5 y 4 mg/100 g de  $P_2O_5$  y 4 mg/100 g de  $K_2O$  en los respectivos horizontes superficiales como valores máximos), el Ca y el Mg experimentan un fuerte incremento a causa de los carbonatos presentes en ambos suelos (758 y 647 mg/100g de Ca y 72 y 63 mg/100 g de Mg en los respectivos horizontes superficiales), por lo que puede decirse que, en general, tienen una fertilidad potencial relativamente elevada.

La Tabla B.5 recoge los datos del análisis granulométrico de los perfiles XIV, XV y XVI. Las muestras con más de un tres por ciento de carbonatos han sido determinadas también previa eliminación de dichos carbonatos (datos marcados con un asterisco).

El perfil XIV aparece con un predominio claro de la fracción gruesa, representando las arenas (finas y gruesas) más del 95% de la composición granulométrica. Dentro de dicha fracción, la arena gruesa es mucho más abundante en los tres horizontes, con un máximo de 88,5 % frente a 10,5 % de arena fina en el horizonte  $C_1$ . Hay

que resaltar la semejanza granulométrica que existe con la unidad geomorfológica de las arenas móviles, como se comentará más adelante.

El análisis granulométrico del perfil XV se ha realizado en muestras con y sin carbonatos. En las primeras, se observa un porcentaje de fracción fina en el horizonte Ak relativamente importante (10 % de limo y 19,5 % de arcilla) que hace que el contenido de arena gruesa de dicho horizonte sea inferior a los del perfil anterior. Con la profundidad, desciende el contenido de fracción fina al mismo tiempo que lo hacen los carbonatos. Una vez eliminados éstos, los resultados del análisis mecánico son comparables con los del perfil XIV, salvo el contenido de arcilla (7,5 %) del horizonte Ah, probablemente debido al mayor porcentaje de materia orgánica. Si se comparan los resultados de los análisis realizados con y sin carbonatos, se observa que éstos se encuentran formando parte de la fracción fina, lo que parece indicar una acumulación en superficie por ascenso capilar a partir del nivel freático.

El perfil XVI sólo presenta un porcentaje apreciable en el horizonte Ak. Por este motivo, el análisis granulométrico de este horizonte ha sido llevado a cabo, como en el perfil anterior, con y sin dichas sales. De la comparación de ambos análisis, se deduce que los carbonatos se encuentran fundamentalmente en la fracción limo y arcilla, por lo que su origen debe ser similar al del perfil anterior. De todas formas hay que poner de manifiesto alguna presencia en la arena gruesa (restos de conchas) ya que ésta se mantiene prácticamente igual (42 % y 43 %) a pesar del descenso del limo (6,5 % a 4 %) y de la arcilla (12,5 % a 7 %).

Finalmente, hay que resaltar un mayor contenido de arena fina respecto a los perfiles XIV y XV, aún cuando el predominio siga correspondiendo a la arena gruesa.

La Tabla C.5 muestra los datos de capacidad de cambio catiónica, cationes cambiables y grado de saturación de los suelos. Se observa, una vez más, una estrecha relación entre los valores de capacidad de cambio y los porcentajes de materia orgánica y fracción fina. En este sentido, el valor más alto se registra en el horizonte Ak del perfil XVI (10,0 meq/100 g), coincidiendo con el mayor porcentaje de materia orgánica (5,7 %) y de fracción fina del suelo, una vez eliminados los carbonatos (11,0 %), mientras que los valores más bajos corresponden al perfil XIV, de acuerdo con su pobre contenido en elementos finos y orgánicos (valor más alto 2 meq/100 g).

En el conjunto de los cationes de cambio,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se encuentran a nivel de trazas salvo en los perfiles XV y XVI en los que alcanzan un valor de 0,1 meq/100 g.  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  presentan valores altos en los horizontes superficiales de dichos perfiles en relación a sus capacidades de cambio (3,8 y 2,0 meq/100 g en el perfil XV y 6,9 y 2,9 meq/100 g en el perfil XVI, respectivamente). Estos valores altos de  $\text{Ca}^{++}$  se explican por la presencia de carbonatos que saturan el complejo al 100 %. Por el contrario, el perfil XIV presenta sólo una saturación máxima del 70 %, como corresponde a un suelo formado por arenas cuarcíticas, aún cuando los pH estén próximos a la neutralidad.

Los datos de capacidad de cambio y cationes cambiables están relacionados con los valores de conductividad eléctrica en pasta saturada y sales medidas en extracto 1/5 de los perfiles XV y XVI. En general, la conductividad eléctrica presenta un máximo en los respectivos horizontes superficiales, coincidiendo con un mayor porcentaje en carbonatos (0,49 y 0,33 mmhos/cm, respectivamente). Dicha conductividad desciende ligeramente en profundidad (0,14 y 0,12 mmhos/cm en la base de los respectivos perfiles) al mismo tiempo que lo hacen los carbonatos.

Los bicarbonatos presentan sus máximos valores en el perfil XV (1,52 meq/100 g y 1,33 meq/100 g en los horizontes Ak y Cg, respectivamente), descendiendo ligeramente en el perfil XVI (sólo se supera 1 meq/100 g en el horizonte Ak). Por otro lado, los cationes presentan una distribución mucho más irregular. El  $\text{Ca}^{++}$ , en el perfil XV, aumenta ligeramente en profundidad (de 0,84 meq/100 g en Ak pasa a 0,96 meq/100 g en Cg), mientras que en el XVI, el valor más alto se encuentra en el primer horizonte (de 0,74 meq/100 g en Ak) y disminuye en la base del perfil (0,26 meq/100 g en Cg<sub>2</sub>). El  $\text{Mg}^{++}$  presenta un comportamiento similar al de los aniones, con un valor máximo en superficie que desciende regularmente en profundidad (0,58 meq/100 g y 0,35 meq/100 g, que pasan a 0,17 meq/100 g en los respectivos perfiles).

La Tabla D.5 muestra los análisis de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}_2$  en sus formas libre y total, así como la relación libre/total.

En general, los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total son muy bajos en los tres perfiles, apareciendo un máximo en el horizonte superficial del perfil XVI (1,42 %) muy relacionado con el porcentaje de fracción fina. El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre muestra un comportamiento paralelo al del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total, los valores más altos se dan en superficie, descendiendo hacia la base del perfil. Sólo el perfil situado en la zona alta no muestra una clara variación del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , tanto total como libre, debido probablemente a su escasa diferenciación y evolución.

Los datos comentados anteriormente se reflejan en la relación  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total. En el perfil XIV, ésta disminuye con la profundidad (60,6 en A y 51,2 en C<sub>2</sub>), como corresponde a un suelo poco evolucionado y con ninguna señal de hidromorfía. El perfil XV, por el contrario, muestra un aumento en dicha relación, que pasa de 36,3 en superficie a 52,9 en profundidad. Cabe pensar que este aumento

es debido al proceso de hidromorfía del suelo, que en invierno llega a funcionar como laguna. Dicho proceso provoca un descenso de los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre y total que al ser más acusado en el segundo se refleja en el aumento de la razón libre/total, anteriormente comentada. El perfil XVI, por otro lado, muestra una razón libre/total relativamente alta en superficie (54,2), que aumenta en el horizonte AC (76,3) de la misma forma que en el perfil anterior. El tercer horizonte,  $\text{Cg}_1$ , presenta un brusco descenso de dicha razón (25,0), recuperándose ligeramente en profundidad (45,5 en  $\text{Cg}_2$ ). Estas oscilaciones concuerdan con las del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total, que sólo pueden explicarse a través de un cambio en la mineralogía de las arenas, ya que si presentan elevado contenido en minerales pesados, afectaría directamente a la razón libre/total, que descendería bruscamente sin motivo aparente.

El  $\text{MnO}_2$  total y libre, así como la relación libre/total, siguen un comportamiento semejante al del hierro. En efecto, dicho elemento alcanza los máximos valores en los horizontes superficiales (0,04 % y 0,02 % de  $\text{MnO}_2$  total y libre) de los perfiles XV y XVI, descendiendo en profundidad. Así, en la base de los tres perfiles de suelos, el  $\text{MnO}_2$  presenta unos valores de 0,01 % y trazas, en sus formas total y libre, respectivamente, por lo que la relación libre/total no es significativa.

TABLA A.5 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XIV	A	0,4 <sup>†</sup>	0,25	0,02	12,5	-	6,2	5,1	4	6	54	8
	C <sub>1</sub>	0,1 <sup>†</sup>	0,06	0,01	6,0	-	7,1	6,4	3	5	46	6
	C <sub>2</sub>	0,1	0,06	0,01	6,0	-	6,7	5,5	2	3	40	6
XV	Ak	4,6	2,66	0,25	10,6	23,4	8,1	7,8	5	4	758	72
	AC	0,5	0,30	0,03	10,0	3,5	8,5	8,1	5	2	305	21
	Cg	0,3	0,15	0,02	7,5	3,8	9,0	8,7	3	2	312	23
XVI	Ak	5,7	3,29	0,27	12,2	9,8	8,2	7,6	4	4	647	63
	AC	0,7	0,40	0,04	10,0	1,6	8,7	8,1	4	3	257	17
	Cg <sub>1</sub>	0,2	0,13	0,02	6,5	1,6	8,8	8,5	3	2	262	15
	Cg <sub>2</sub>	0,2	0,11	0,02	5,5	t	9,3	8,9	2	2	96	10



TABLA B.5 - Análisis mecánico con y sin (\*) carbonatos.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla		Ar. G.*	Ar. F.*	Limo*	Arcilla*	
XIV	A	80,5	16,5	1,5	1,5	Arenosa	-	-	-	-	-
	C <sub>1</sub>	88,5	10,5	0,5	0,5	Arenosa	-	-	-	-	-
	C <sub>2</sub>	83,0	16,5	0,5	t	Arenosa	-	-	-	-	-
XV	Ak	55,0	15,5	10,0	19,5	Franca-arenosa	75,0	16,5	1,0	7,5	Arenosa
	AC	87,5	8,5	1,0	3,0	Arenosa	78,5	19,5	0,5	1,5	Arenosa
	Cg	93,5	3,0	0,5	3,0	Arenosa	92,0	6,0	0,5	1,5	Arenosa
XVI	Ak	42,0	39,0	6,5	12,5	Arenosa-franca	43,0	46,0	4,0	7,0	Arenosa-franca
	AC	53,0	43,0	1,0	3,0	Arenosa	-	-	-	-	-
	Cg <sub>1</sub>	74,5	22,5	1,0	2,0	Arenosa	-	-	-	-	-
	Cg <sub>2</sub>	66,5	32,0	0,5	1,0	Arenosa	-	-	-	-	-

TABLA C.5 - Capacidad de cambio, cationes cambiabiles y grado de saturación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					%	
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V
XIV	A	2,0	t	t	0,7	0,1	0,8	40,0
	C <sub>1</sub>	1,0	t	t	0,6	0,1	0,7	70,0
	C <sub>2</sub>	1,0	t	t	0,6	0,1	0,7	70,0
XV	Ak	6,0	0,1	0,1	3,8	2,0	6,0	100
	AC	2,0	0,1	t	1,4	0,5	2,0	100
	Cg	1,5	t	t	1,2	0,3	1,5	100
XVI	Ak	10,0	0,1	0,1	6,9	2,9	10,0	100
	AC	2,0	t	t	1,2	0,8	2,0	100
	Cg <sub>1</sub>	2,0	t	t	1,2	0,8	2,0	100
	Cg <sub>2</sub>	1,5	t	t	0,8	0,7	1,5	100

TABLA D.5 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XIV	A	0,33	0,20	60,6	0,01	t	-
	C <sub>1</sub>	0,33	0,19	57,6	0,01	t	-
	C <sub>2</sub>	0,41	0,21	51,2	0,01	t	-
XV	Ak	0,66	0,24	36,2	0,04	0,01	25,0
	AC	0,50	0,21	42,0	0,01	t	-
	Cg	0,34	0,18	52,9	0,01	t	-
XVI	Ak	1,42	0,77	54,2	0,04	0,02	50,0
	AC	0,38	0,29	76,3	0,01	t	-
	Cg <sub>1</sub>	0,88	0,22	25,0	0,03	t	-
	Cg <sub>2</sub>	0,33	0,15	45,5	0,01	t	-

TABLA E.5 - Determinaciones de sales y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					Pasta saturada	
		CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.e. (mmhos/cm)
XV	Ak	1,52	0,44	0,84	0,58	0,13	0,23	0,49
	AC	1,33	0,30	0,93	0,20	0,09	0,05	0,13
	Cg	1,33	0,20	0,96	0,17	0,05	0,05	0,09
XVI	Ak	1,23	0,20	0,74	0,35	0,05	0,10	0,33
	AC	0,57	0,20	0,27	0,22	0,03	0,05	0,11
	Cg <sub>1</sub>	0,76	0,22	0,43	0,16	0,07	0,04	0,19
	Cg <sub>2</sub>	0,68	0,20	0,26	0,17	0,03	0,05	0,20

## C.2 ARENAS MOVILES

El sistema de dunas móviles aparece al SE de Torre La Higuera, y se extiende hasta la desembocadura del Guadalquivir (unos 30 Km) formando una banda paralela a la costa con un sentido de avance SW-NE. Dicho sistema constituye la segunda gran unidad geomorfológica diferenciada en el Parque Nacional de Doñana, distinguiéndose de la primera (arenas estabilizadas) por la movilidad del sustrato. El carácter móvil de las arenas así como la profundidad y fluctuación del nivel freático permiten dividir esta unidad en tres subunidades geomorfológicas: frentes móviles (C.2.1), Corrales (C.2.2) y Gusanos (C.2.3).

### C.2.1 FRENTES MOVILES

Con dirección paralela a la playa aparecen una serie de cordones dunares, que en una primera aproximación pueden diferenciarse en un tren litoral y otro más interno, en función fundamentalmente a su altura.

El tren litoral se caracteriza por su menor tamaño y mayor movilidad. Comienza a formarse en la zona de "Playa Alta" como pequeños montículos de arena que se van asociando hasta formar un cordón discontinuo y de forma irregular, que avanza en dirección SW-NE. Al alejarse de la playa, el tren litoral disminuye su velocidad, se hace más regular y gana en altura, como se ha comentado anteriormente en el capítulo de Geomorfología.

La movilidad de las arenas impide el desarrollo edáfico, por lo que los suelos a considerar no presentan más que un horizonte C

constituído en su mayor parte por granos redondeados de color claro. Por esta razón, no se ha tomado ningún perfil en los frentes móviles, realizándose en cambio un estudio granulométrico y mineralógico de un transecto con dirección perpendicular a los frentes, que comienza en la playa y acaba en la laguna de Santa Olalla, tomándose una última muestra más al SE, cercana a la marisma.

Las muestras han sido agrupadas, en función de su dinámica y su morfología, en tres grupos distintos: línea de playa, tren litoral y tren interno. Este último incluye muestras correspondientes a los corrales y área de gusanos, con objeto de hacer un estudio comparativo.

En primer lugar se ha realizado un fraccionamiento de la arena, según la Escala Internacional, en fina (0,02 a 0,2 mm) y gruesa (0,2 a 2 mm). En la Tabla 6 se observa que existe un fuerte predominio de las arenas gruesas (más de un 80 %) sobre las finas (menos de un 20 %) en todos los puntos del transecto, lo que motiva una gran uniformidad granulométrica. Sólo pueden resaltarse los contenidos ligeramente más altos de arena fina de las muestras correspondientes a zonas deprimidas, donde el mayor desarrollo de la vegetación favorecería su acumulación.

Debido a esta homogeneidad granulométrica, se ha realizado una separación de arenas en 14 tamaños distintos comprendidos entre 0,063 mm y 2 mm, comprobándose que no existen arenas mayores de 1 mm ni menores de 0,1 mm. Una vez llevado a cabo este fraccionamiento y vista la buena selección existente, se han clasificado los diferentes tamaños en las tres fracciones de arenas de la escala U.S.D.A.: gruesas (mayores de 0,5 mm), medias (entre 0,5 y 0,25 mm) y finas (menores de 0,25 mm). Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Puede observarse que los valores de arena gruesa son muy pequeños, correspondiendo el más alto a la línea de playa con un 5,1 %, que disminuye hacia el interior con valores que oscilan entre 1 y 2%, aproximadamente. La fracción más importante es la comprendida entre 0,25 y 0,50 mm que presenta un valor medio de 70,7 %. Respecto a este valor medio, en esta fracción existe una mayor variación entre las distintas muestras que en la de arenas gruesas de la Escala Internacional. En efecto, se destacan de forma más clara los valores más pequeños correspondientes a situaciones de mayor depresión (nº 4, 11, 12 y 14) y a la punta de avance del tercer cordón dunar (nº 7) cuya dinámica será discutida más adelante. Simultáneamente, los porcentajes de arena fina (menor de 0,25 mm) más elevados se darán en estas últimas situaciones topográficas, destacando el 44 % de las muestras 7 y 11.

De todas formas, aun cuando se observa una mayor variación entre las muestras, puede decirse que existe bastante homogeneidad en cuanto al tamaño de grano, hasta el punto de que la distribución granulométrica parece estar más en función de la topografía que de la distancia en el transecto. Por este motivo, se han separado en la fracción arena fina (Escala Internacional) los minerales ligeros de los pesados. En la Tabla 6 se recogen los resultados de estas determinaciones así como las razones pesados/arena fina y ligeros/pesados, agrupadas las muestras en función de las situaciones geomorfológicas diferenciables en las arenas móviles: tren de dunas litoral, tren de dunas interno, corrales y área de contradunas próxima a la laguna de Santa Olalla ("Gusanos").

El origen de todas las arenas parece estar en la erosión marina del farallón costero. Por ello, se estudia la muestra nº 1 (línea de playa) independientemente de las demás, como material formador de los diferentes cordones dunares.

Como se ha indicado, no existen grandes diferencias en los contenidos en arenas gruesas y finas (Escala Internacional) entre esta muestra nº 1 y las demás. Sin embargo, sí se distinguen claramente en cuanto a los porcentajes de minerales ligeros y pesados. Así, las razones pesados/arena fina y ligeros/pesados son marcadamente más baja y más alta respectivamente. Esto es, el contenido en minerales pesados en la línea de playa es muy bajo, creciendo hacia el interior.

En efecto, los primeros cordones litorales muestran aumentos de minerales pesados, pasando de 2,5 % en la playa a valores comprendidos entre 9 y 13 %. Paralelamente, la razón pesados/arenas finas crece desde 0,3 a 1-1,3 al mismo tiempo que el coeficiente ligeros/pesados disminuye desde 39,0 a 10,2 en el cordón más cercano a la línea de costa y a 6,4 en el segundo cordón.

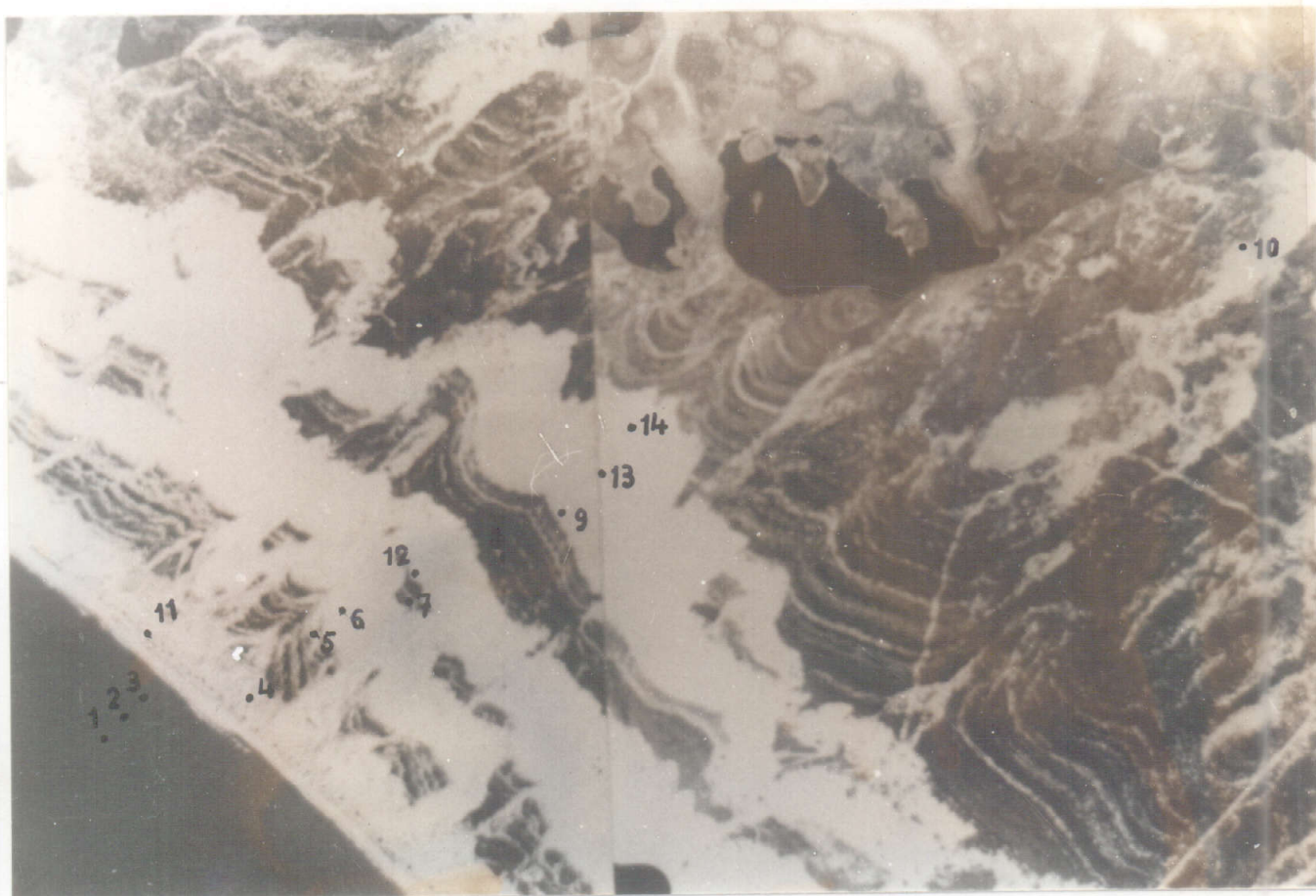
En el tren dunar interno, se acentúa el aumento de la razón pesados/arena fina (valores superiores a 4) y el descenso de la razón ligeros/pesados que llega a ser inferior a 2, salvo en la muestra nº 4 (3,1), que se encuentra situada en una posición intermedia respecto al tren de dunas litorales. Estas cifras están de acuerdo con un enriquecimiento relativo en minerales pesados en la dirección de avance de los frentes dunares, que podría estar relacionado con la movilidad diferencial de las arenas en función de sus densidades. En este sentido, cabría esperar, en un transecto más largo, un predominio de minerales ligeros en los puntos más lejanos, como parece poner de manifiesto el descenso de la primera razón (1,8) y el aumento de la segunda (2,5) en la muestra 10, la más alejada de la línea de playa en el transecto que se estudia. Dentro de este grupo de muestras correspondientes al tren dunar interno, hay que resaltar de nuevo los datos de la muestra nº 7, cuyos singulares valores de minerales pesados y ligeros, así como de las razones pesados/arena fina y ligeros/pesados se discutirán más adelante.



Más hacia el interior, las contradunas próximas a la laguna de Santa Olalla ("Gusanos") presentan valores semejantes a los anteriores, como corresponde a una estructura geomorfológica de similar origen. En ellos, la zona más elevada (muestra nº 13) presenta menos arena fina y dentro de ésta, menos minerales ligeros, que la zona más deprimida (13,9% frente a 17,8% para la primera y 48% frente a 61,7% para los segundos, respectivamente). Por el mismo motivo, la razón pesados/arena fina es más alta en la muestra 13 que en la 14 (3,7 frente a 2,1) y al contrario, en la razón ligeros/pesados (0,9 frente a 1,6). Probablemente, esta secuencia de variación se debe a la mayor humedad de las zonas bajas, cuyo nivel freático llega a la superficie en las épocas húmedas, que son capaces de retener más fuertemente los minerales ligeros.

Finalmente, los corrales presentan valores similares entre ellos y claramente diferenciables de las contradunas y trenes internos anteriormente comentados. Hay que destacar los valores altos de minerales ligeros (80,2% en la muestra 11 y 79,2% en la muestra 12) que naturalmente condicionan las bajas razones pesados/arena fina (0,5-1) y las altas ligeros/pesados (8-9). Hay que destacar la poca influencia que parece tener la diferente humedad de los corrales estudiados en los valores comentados, al contrario que ocurría en la zona de contradunas. Esta circunstancia podría deberse a la proximidad de la punta de avance de los frentes dunares, cuyos datos granulométricos y mineralógicos son semejantes, y sobre todo a la frondosa vegetación que cubre los corrales, capaz de retener los minerales ligeros al servirles de protección contra los vientos dominantes.

En resumen, de lo comentado anteriormente, parece que exista una mayor relación de la granulometría con la topografía que con la distancia del transecto. Por otro lado, los valores de los parámetros estudiados presentan una gran uniformidad dentro de cada grupo de muestras y al mismo tiempo marcan diferencias sensibles entre unos grupos y otros.



Unidad geomorfológica de arenas móviles: situación de las muestras a lo largo del transecto playa-laguna de Santa Olla.

TABLA 6 - Determinaciones granulométricas.

Muestra Nº	Situación geomorfológica	(cm) prof.	Escala Internacional						U.S.D.A.		
			Ar. G. (%)	Ar. F. (%)	Minerales ligeros (%)	Minerales pesados (%)	Pesados Arena fina	Ligeros Pesados	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)
1	Línea de playa	0-20	91,7	8,3	97,5	2,5	0,3	39,0	5,1	73,9	21,0
2	Tren litoral	0-20	91,2	8,8	91,1	8,9	1,0	10,2	1,1	76,4	22,5
3	"	0-20	89,6	10,3	86,4	13,6	1,3	6,4	2,4	71,4	26,2
4	"	0-20	86,8	13,2	86,9	13,1	1,0	6,6	1,6	65,7	32,7
5	Tren interno	0-20	94,8	5,2	75,4	24,6	4,7	3,1	1,9	80,3	17,8
6	"	0-20	90,7	9,3	63,0	37,0	4,0	1,7	1,2	74,7	24,1
7	"	0-20	84,8	15,2	93,4	6,6	0,4	14,1	0,1	55,7	44,2
8	"	0-20	90,3	9,7	56,7	43,3	4,4	1,3	1,3	76,5	22,2
9	"	0-20	90,2	9,8	63,2	36,8	3,7	1,7	1,9	76,0	22,1
10	"	0-20	84,7	15,3	71,8	28,2	1,8	2,5	0,9	71,9	27,2
11	Corrales	0-20	79,7	20,3	90,2	9,8	0,5	9,2	1,0	54,9	44,1
12	"	7-20	89,4	10,6	89,2	10,8	1,0	8,2	1,3	67,4	31,3
13	Area de contradunas	0-50	86,1	13,9	48,0	52,0	3,7	0,9	1,3	76,8	21,9
14	"	0-30	82,2	17,8	61,7	38,3	2,1	1,6	1,7	65,3	33,0

### C.2.2 CORRALES

La segunda subunidad geomorfológica diferenciable en las arenas móviles está constituida por los corrales. Estos son valles interdunares de fondo horizontal y humedad variable que corresponde a la capa freática del conjunto.

En general, se observa una fluctuación del nivel freático relacionada con la distancia del corral al mar, correspondiendo la mayor profundidad a los corrales más cercanos a la línea de costa. La diferente altura de la capa freática permite establecer dos elementos morfoedáficos caracterizados por la distinta evolución del suelo: corrales húmedos (C.2.2.1) y corrales secos (C.2.2.2). El "Corral Largo" (perfil XVII) representa al primero mientras que el "Corral Carbonero" (perfil XVIII) es característico del segundo.

El Corral Largo se extiende entre dos frentes dunares que muestran una gran velocidad de avance (5 a 6 m/año). La capa freática se encuentra cerca de la superficie, favoreciendo la inundación del área en años húmedos. Existe, por tanto, una humedad suficiente que permite el desarrollo de una vegetación de tipo herbáceo que, por su carácter anual y gran desarrollo radicular, aporta una cantidad apreciable de materia orgánica bien humificada.

Por el contrario, el Corral Carbonero presenta el nivel freático siempre por debajo de los dos metros de profundidad. La colonización vegetal corresponde a un pinar que aporta gran cantidad de restos vegetales que no se unen al material mineral del suelo, sino que sólo se superpone al horizonte C arenoso.

Esta diferente evolución de la materia orgánica se pone de manifiesto en los análisis químicos que se recogen en la Tabla A.7. En efecto, el perfil XVII ("Corral Largo") presenta un contenido en

materia orgánica relativamente importante (6,1 %) con una razón C/N de 11,4, indicativa de una buena humificación. Por el contrario, el perfil XVIII ("Corral Carbonero") muestra un contenido mayor (16,1%) pero sólo en los primeros tres centímetros, pasando bruscamente a 0,4 % en el horizonte C. Por otro lado, la razón C/N es muy alta (34,6) como corresponde a una materia orgánica poco incorporada al suelo.

La reacción de ambos suelos es similar, si bien algo más ácida en el perfil XVII (pH inferior a 6) debido al proceso de hidromorfía que se deriva de la humedad del medio. El perfil XVIII presenta un pH superior a 6 desde la superficie; consecuencia, probablemente, de una contaminación de las arenas por restos de conchas aportados por el viento, ya que se encuentra situado próximo a la línea de costa. Estos restos de conchas parecen confirmarse por el ligero porcentaje de carbonatos existente en el perfil (algo superior a 1%).

Según puede observarse en la Tabla A.7, los suelos muestran bajos contenidos en elementos asimilables. En efecto, el  $P_2O_5$  no supera el valor de 3 mg/100 g en ningún horizonte de ambos perfiles, el  $K_2O$  tiene como valor más alto 13 mg/100 g y el Mg 24 mg/100 g. Sólo el Ca presenta un valor medio en el horizonte 0 del perfil XVIII (175 mg/100 g) que se deberá a la contaminación por restos de conchas comentada anteriormente. Dichos valores disminuyen en profundidad, permaneciendo los del perfil XVIII siempre ligeramente más altos que los del perfil XVII, debido probablemente al mayor aporte de materia orgánica.

La Tabla B.7 muestra los resultados del análisis granulométrico. En primer lugar hay que destacar el absoluto predominio, en ambos perfiles, de la fracción arena gruesa sobre la fina, con unos porcentajes aproximados de 90 % y 10 %, respectivamente. Estos porcentajes coinciden con los correspondientes a los frentes móviles (Tabla 6), de cuya gran unidad geomorfológica forman parte.

En el perfil XVII se observan variaciones más acusadas que en el perfil XVIII. Así, en el primero existe un ligero porcentaje de fracción fina (limo y arcilla), del orden del 6 %, en el horizonte superficial que no aparece en el correspondiente del perfil XVIII. Este hecho se debería a la diferente humedad del medio, ya que los enclaves susceptibles de inundación en alguna época serían capaces de captar material fino de origen eólico. En profundidad, los dos perfiles presentan una granulometría absolutamente similar, de acuerdo con el mismo origen del material original.

La Tabla C.7 recoge los resultados de las determinaciones de la capacidad de cambio de bases, cationes cambiables y grado de saturación de los perfiles XVII y XVIII.

Puede observarse que los valores de capacidad de cambio catiónica varían de acuerdo con el contenido de materia orgánica en el suelo. El valor más alto (19 meq/100 g) corresponde al horizonte O del perfil XVIII, que presenta al mismo tiempo el mayor porcentaje de materia orgánica (16,1 %). De la misma forma que lo hace ésta, el valor de la capacidad de cambio baja bruscamente en el siguiente horizonte (1 meq/100 g). El perfil XVII muestra una menor capacidad de cambio catiónica en superficie (7,3 meq/100 g) y disminuye de forma menos acentuada a través del horizonte Au<sub>2</sub>g (3,2 meq/100 g). En profundidad, se alcanzan valores equiparables a los del perfil XVIII (1 meq/100 g).

Los valores de cationes cambiables son en general muy bajos y en su mayor parte aparecen sólo en forma de trazas, destacándose los de Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> en los horizontes superficiales (4,5 meq/100 g y 1,0 meq/100 g en el perfil XVII y 12 meq/100 g y 2,5 meq/100 g en el perfil XVIII, respectivamente.

La saturación en bases es relativamente alta, de acuerdo con los valores de pH anteriormente comentados. En efecto, dicha saturación no baja del 70 % en ninguno de los horizontes de ambos perfiles, alcanzando un valor máximo en el horizonte  $Au_1$  del perfil XVII (79,4%).

La Tabla D.7 recoge los análisis de  $Fe_2O_3$  y  $MnO_2$ , tanto libre como total, así como sus relaciones. Los perfiles XVII y XVIII muestran una alta razón  $Fe_2O_3$  libre/total en superficie (44,3 y 73,1, respectivamente). Esta gran liberación de hierro estaría relacionada con una mayor alteración del material original producida por la acción de los compuestos de degradación de los restos vegetales aportados por el pinar circundante, ricos en ácidos orgánicos libres. Las diferencias que existen entre las razones de ambos horizontes superficiales y los respectivos porcentajes de materia orgánica (6,2 % y 16,1 %) parecen confirmar este hecho. La proximidad a la superficie de la capa freática en el perfil XVII no permite un gran empobrecimiento del perfil en  $Fe_2O_3$  total, manteniéndose unos valores relativamente altos en los horizontes donde se manifiesta el proceso de hidromorfía (1,28 % en  $Cg_2$ ). Probablemente, la acción complejante de los ácidos orgánicos libres es la causante de que la razón libre/total disminuya fuertemente en profundidad, alcanzando un valor de sólo 9,4 en el horizonte  $Cg_2$ .

El perfil XVIII muestra, asimismo, un descenso en la razón  $Fe_2O_3$  libre/total en profundidad (43,7 en el horizonte C), sin alcanzar valores equiparables a los del perfil XVII. Esto podría deberse a la profundidad de la capa freática que no permitiría movilizar el  $Fe_2O_3$  que recubre los granos de arena, liberándose exclusivamente en las proximidades de los sistemas radiculares de la vegetación que coloniza dicho suelo.

Los valores de  $MnO_2$  son muy bajos en ambos perfiles pero comparativamente más altos en el perfil XVII (0,05 % en  $Cg_2$ ), lo que podría indicar su relación con el nivel freático. A favor de esta hipótesis se podría aducir la única proporción de  $MnO_2$  libre determinable (0,01 %) que se presenta en el horizonte  $Cg_2$  por donde circula dicho nivel en la época seca. De todas formas, los pequeños porcentajes hacen que el  $MnO_2$  sea poco significativo en la evolución de los suelos.

TABLA A.7 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XVII	Au <sub>1</sub>	6,1 <sup>†</sup>	3,54	0,31	11,4	-	5,8	5,1	1	10	84	15
	Au <sub>2g</sub>	1,6	0,93	0,09	10,3	-	5,9	5,2	1	5	31	6
	Cg <sub>1</sub>	0,4	0,23	0,03	7,7	-	5,9	4,9	1	4	22	6
	Cg <sub>2</sub>	0,2	0,12	0,02	6,0	-	5,7	4,5	1	3	14	3
XVIII	O	16,1 <sup>††</sup>	9,34	0,27	34,6	1,4	6,2	5,5	3	13	175	24
	C	0,4	0,23	0,03	7,7	t	6,4	5,4	2	4	60	8



TABLA B.7 - Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XVII	Au <sub>1</sub>	89,5	4,2	3,8	2,5	Arenosa
	Au <sub>2g</sub>	90,3	7,2	1,5	1,0	Arenosa
	Cg <sub>1</sub>	89,4	10,2	0,2	0,2	Arenosa
	Cg <sub>2</sub>	94,8	4,5	0,2	0,5	Arenosa
XVIII	O	86,0	11,5	1,0	1,5	Arenosa
	C	88,0	10,5	0,5	1,0	Arenosa

TABLA C.7 - Capacidad de cambio, cationes cambiab<sup>les</sup> y grado de sa  
turación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					S	%
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
XVII	Au <sub>1</sub>	7,3	0,3	t	4,5	1,0	5,8	79,4
	Au <sub>2g</sub>	3,2	t	t	1,9	0,6	2,5	78,1
	Cg <sub>1</sub>	1,0	t	t	t	t	t	-
	Cg <sub>2</sub>	0,9	t	t	t	t	t	-
XVIII	O	19,0	0,5	t	12,0	2,5	15,0	78,9
	C	1,0	0,2	t	0,4	0,1	0,7	70,0

TABLA D.7 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XVII	Au <sub>1</sub>	1,58	0,70	44,3	0,04	t	-
	Au <sub>2g</sub>	1,19	0,32	26,9	0,03	t	-
	Cg <sub>1</sub>	0,97	0,13	13,4	0,03	t	-
	Cg <sub>2</sub>	1,28	0,12	9,4	0,05	0,01	20,0
XVIII	O	0,67	0,49	73,1	0,02	t	-
	C	0,16	0,07	43,7	t	t	-

### C.2.3 GUSANOS

Los "Gusanos" constituyen la tercera subunidad geomorfológica de las arenas móviles y corresponden a pequeñas elevaciones arenosas de 0,5 a 1 metro de altura, paralelas entre sí y a la cola de la duna precedente, que aparecen en el fondo de los corrales. Su formación, como se ha indicado en el capítulo de Geomorfología, está estrechamente ligada al nivel freático, que permite su colonización por la vegetación. Morfológicamente se configuran como bandas semicirculares y concéntricas, particularmente visibles en el borde SW de las lagunas de Santa Olalla y del Sopotón. Desde un punto de vista topográfico se dividen en dos elementos morfoedáficos: Gusano alto y Gusano bajo, representados por los perfiles XIX y XX, respectivamente.

La Tabla A.8 recoge los datos de los análisis químicos generales. En ella puede observarse que los valores de materia orgánica ofrecen un amplio rango de variación que oscila entre 0,6 % y 11,4 % en los respectivos horizontes A de los perfiles XIX y XX. Dichos valores descienden gradualmente en el primer perfil (de 0,6 % en A pasa a 0,4 % en AC) y de forma brusca en el segundo (de 11,4 % en A pasa a 0,5 % en ACg), equiparándose en profundidad (0,2 % a partir de los 70 cm).

Los valores de C y N siguen un comportamiento paralelo al de la materia orgánica. Por tanto, los más altos en cada perfil se darán en los horizontes superficiales, destacando el correspondiente al perfil XX con 6,61 % de C y 0,32 % de N. En el resto de los horizontes no se alcanza el 0,30 % de C y no se supera el 0,03 % de N.

Estas marcadas diferencias en los contenidos de C y N entre los perfiles XIX y XX se reflejan en las razones C/N de sus horizontes superficiales. El primer perfil presenta un valor de 8,8 que está de

acuerdo con una fuerte mineralización de la materia orgánica debida a las condiciones climáticas del área y a la profundidad del nivel freático. El horizonte superficial del perfil XX muestra un valor de 20,7 que traduce un ambiente más húmedo, consecuencia de la mayor altura de la capa freática. Hacia la profundidad, la razón C/N desciende hasta alcanzar un mismo valor de 6 en ambos perfiles.

En resumen, se observa una gran diferencia en los valores de materia orgánica, C y N entre los perfiles XIX y XX. El mayor contenido de este último se debe a una densa vegetación herbácea que incorpora continuamente restos al horizonte orgánico a través de su sistema radicular. El desarrollo vegetal se favorece por la altura del nivel freático, que encharca el suelo en las épocas húmedas, provocando fenómenos de hidromorfía a todo lo largo del perfil. Este hecho se refleja, asimismo, en las diferencias de pH entre ambos suelos. El perfil representativo del Gusano alto (XIX) presenta una cierta acidez superficial (pH 6,5 en el horizonte A) que se corresponde con la de los perfiles situados en zonas de altos de dunas y naves con escasa cobertura vegetal y profunda capa freática. Dicha acidez se atenúa en profundidad hasta alcanzar valores ligeramente superiores a la neutralidad (7,8 en C) en aquellos horizontes por los que circula el nivel freático. El perfil XX presenta una mayor acidez superficial (5,7) debido al alto porcentaje de materia orgánica y a la intensa hidromorfía que frena el proceso de mineralización. De la misma forma que en el Gusano alto, se observa un aumento del pH conforme se incrementa la profundidad, alcanzándose valores ligeramente más altos en el último horizonte (pH 8,1). Relacionado con este pH más alto, se aprecia una pequeña cantidad (trazas) de carbonatos que afecta a todo el suelo debido a la proximidad a la superficie del nivel freático.

Los valores de elementos asimilables pueden considerarse bajos en el perfil XIX y medios en el XX. En efecto, el perfil XIX pre

senta unos valores máximos de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg de 2, 3, 40 y 50 mg/100 g respectivamente, señalándose que los más altos de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  se sitúan en los horizontes superficiales, y los de Ca y Mg en el último horizonte ( $C_2$ ). En el perfil XX ocurre algo semejante aunque no de forma tan marcada, presentando el horizonte orgánico los máximos valores de elementos asimilables (3, 7, 118 y 22 mg/100 g de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg, respectivamente). Dichos valores comienzan a disminuir en profundidad para aumentar de nuevo en el horizonte por el que discurre la capa freática, lo que estaría de acuerdo con la contaminación del suelo comentada anteriormente, debida al nivel freático en las cercanías de la laguna de Santa Olalla.

En general, puede afirmarse que son suelos pobres en elementos asimilables y, por tanto, con una fertilidad potencial baja en el perfil XIX, y de baja a media, en el perfil XX.

El análisis mecánico recogido en la Tabla B.8 define la textura arenosa de los perfiles XIX y XX. La fracción arena supone más del 97 % de la composición granulométrica en todos los horizontes salvo el superficial del perfil XX (83,4 %). Dentro de esta fracción, el predominio corresponde a la arena gruesa que presenta un máximo en el horizonte  $C_{1g}$  del perfil XIX (91,5 % de arena gruesa frente a 7,0 % de fina) y un mínimo en el horizonte A del perfil XX (60,7 % frente a 22,7 %, respectivamente). Este predominio de arena gruesa es similar al que presentan los frentes dunares móviles y los corrales, anteriormente comentados. Los valores de la fracción fina (limo y arcilla) son muy bajos ya que no superan el 2,5 % en ninguno de los horizontes de ambos perfiles, exceptuando el horizonte superficial del perfil XX. En dicho horizonte los valores más altos de limo (7,3 %) y de arcilla (9,3 %) se deben al mayor contenido en materia orgánica y a la captación de elementos finos por el fondo húmedo del elemento morfoedáfico "Gusano bajo".

En la Tabla C.8 se recogen los resultados de las determinaciones de la capacidad de cambio catiónica y cationes cambiables de los suelos, así como el grado de saturación en bases de los mismos.

Como ya se ha comentado anteriormente, la capacidad de cambio está relacionada con el complejo de adsorción del suelo, compuesto fundamentalmente por: la materia orgánica y la fracción arcilla. Los suelos estudiados no presentan contenidos significativos en arcillas, por lo que los valores de la capacidad de cambio estarán relacionados con los contenidos de materia orgánica, correspondiendo, por tanto, los más altos a los horizontes superficiales. En efecto, el horizonte A del perfil XX presenta la capacidad de cambio más alta (10,0 meq/100 g), disminuyendo bruscamente en los horizontes más profundos (1,0 meq/100 g en ambos perfiles) como corresponde a su textura arenosa y bajo contenido en materia orgánica (menos de 0,5 %).

Los cationes de cambio se presentan en muy baja proporción.  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  no alcanzan el valor de 1 meq/100 g ni siquiera en los horizontes con mayor valor de capacidad de cambio.  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  se encuentran en mayor proporción, siendo apreciable el primero en el horizonte superficial del perfil XX, donde alcanza el valor de 4,6 meq/100 g.

De cualquier forma, la suma de cationes cambiables es siempre inferior a la capacidad total, por lo que los suelos no alcanzan la saturación, exceptuando los últimos horizontes de los dos perfiles. En efecto, se observa de forma general, que el grado de saturación aumenta con la profundidad en la misma medida en que disminuye la acidez. Así, los últimos horizontes, con un pH neutro o incluso ligeramente alcalino, se encuentran saturados probablemente debido a la ligera salinidad que presenta la capa freática.

La Tabla D.8 recoge los resultados de los análisis de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}_2$  libre y total, así como su relación. En general, hay que resaltar los valores altos y oscilantes de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total en los dos perfiles.

En efecto, el perfil XIX muestra un contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total de 1,79 % en el horizonte superficial, que aumenta notablemente en el siguiente (4,65 % en AC). En el tercer horizonte ( $C_1$ ) baja bruscamente (0,89 %), para ascender de nuevo en el  $C_{1g}$  (2,40 %). Finalmente, el horizonte más profundo ( $C_2$ ) sólo presenta un 1,27 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total. El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, por otro lado, muestra en superficie un valor de 0,14 % que, después de aumentar ligeramente en el segundo horizonte (0,27 %) disminuye gradualmente en profundidad con ligeras oscilaciones que no alcanzan en magnitud a las del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total, finalizando con valores muy bajos en la base del perfil (0,08 % en el horizonte  $C_2$ ). Las grandes variaciones que sufre el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total deben estar relacionadas con diferentes concentraciones en los horizontes de minerales pesados ricos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , tales como ilmenita y magnetita que se aprecian en grandes cantidades en las arenas móviles ya comentadas. Dichas concentraciones se observan asimismo en la morfología del perfil, que presenta vetas o capas delgadas negras que desaparecen aleatoriamente a diferentes profundidades.

Tratándose de arenas compuestas por minerales poco alterables, la razón libre/total estará fuertemente condicionada por los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total ya que los porcentajes de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre son muy bajos. En efecto, las razones son bajas e inferiores a 10 en todos los horizontes, exceptuando la correspondiente al horizonte C (15,7) que, por otra parte, es el que presenta menor contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total (0,89 %).

El perfil XX presenta también grandes oscilaciones en el contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total a lo largo del perfil. Hay que destacar en pri-



mer lugar, el alto valor alcanzado por el horizonte A (13,04 %). Este enriquecimiento en óxidos de hierro podría tener su origen en un proceso de lavado de suelos situados topográficamente más elevados como parece apoyar el alto valor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre (11,7 %). De cualquier forma no hay que descontar la influencia de una mayor alteración, consecuencia de procesos alternativos de humectación y desecación, al ser el único horizonte que llega a secarse totalmente en alguna época del año. El siguiente horizonte (ACg) experimenta un fuerte descenso de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y libre (2,92 % y 0,44 %, respectivamente), alcanzando valores, con oscilaciones hacia la profundidad, similares a las del perfil XIX. Igualmente semejantes son las razones libre/total si se exceptúa la del horizonte superficial (89,7), cuyo alto valor está de acuerdo con lo comentado anteriormente.

En resumen, exceptuando el horizonte A del perfil XX, tanto éste como el perfil XIX presentan unos contenidos y distribución del hierro que parecen estar íntimamente ligados a la presencia de minerales pesados en la arena de los diferentes horizontes. Los contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, así como las razones libre/total son bajas de acuerdo con la escasa alterabilidad de los minerales que constituyen la fracción gruesa.

Los contenidos en  $\text{MnO}_2$  total y libre del perfil XIX son bajos. Sin embargo, los que presenta el perfil XX pueden considerarse altos (0,78 % en  $\text{Cg}_1$ ) si se comparan con los de otros suelos arenosos comentados anteriormente. Los valores más altos coinciden con los del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , exceptuando el horizonte superficial. Esto haría pensar que su presencia está ligada al contenido en minerales pesados de la arena, sobre todo teniendo en cuenta los bajos porcentajes de  $\text{MnO}_2$  libre (0,01 %) y las bajas razones libre /total (inferiores a 10).

TABLA A.8 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XIX	A	0,6 <sup>#</sup>	0,35	0,04	8,8	-	6,5	5,7	2	3	37	4
	AC	0,4	0,23	0,03	7,7	-	6,7	6,0	2	3	32	3
	C <sub>1</sub>	0,2 <sup>#</sup>	0,12	0,02	6,0	-	6,8	6,3	2	3	38	4
	C <sub>1g</sub>	0,2 <sup>#</sup>	0,12	0,02	6,0	-	7,3	6,0	1	3	34	4
	C <sub>2</sub>	0,2 <sup>#</sup>	0,12	0,02	6,0	-	7,8	7,2	1	1	40	5
XX	A	11,4 <sup>#</sup>	6,61	0,32	20,7	t	5,7	4,7	3	7	118	22
	ACg	0,5 <sup>#</sup>	0,29	0,03	9,7	t	6,7	5,6	2	3	38	6
	Cg <sub>1</sub>	0,3 <sup>#</sup>	0,17	0,02	8,5	t	6,6	5,7	2	3	33	4
	Cg <sub>2</sub>	0,2 <sup>#</sup>	0,12	0,02	6,0	t	7,0	5,8	2	1	31	4
	Cg <sub>3</sub>	0,2 <sup>#</sup>	0,12	0,02	6,0	t	8,1	7,3	3	1	45	5

TABLA B.8 - Análisis mecánico.

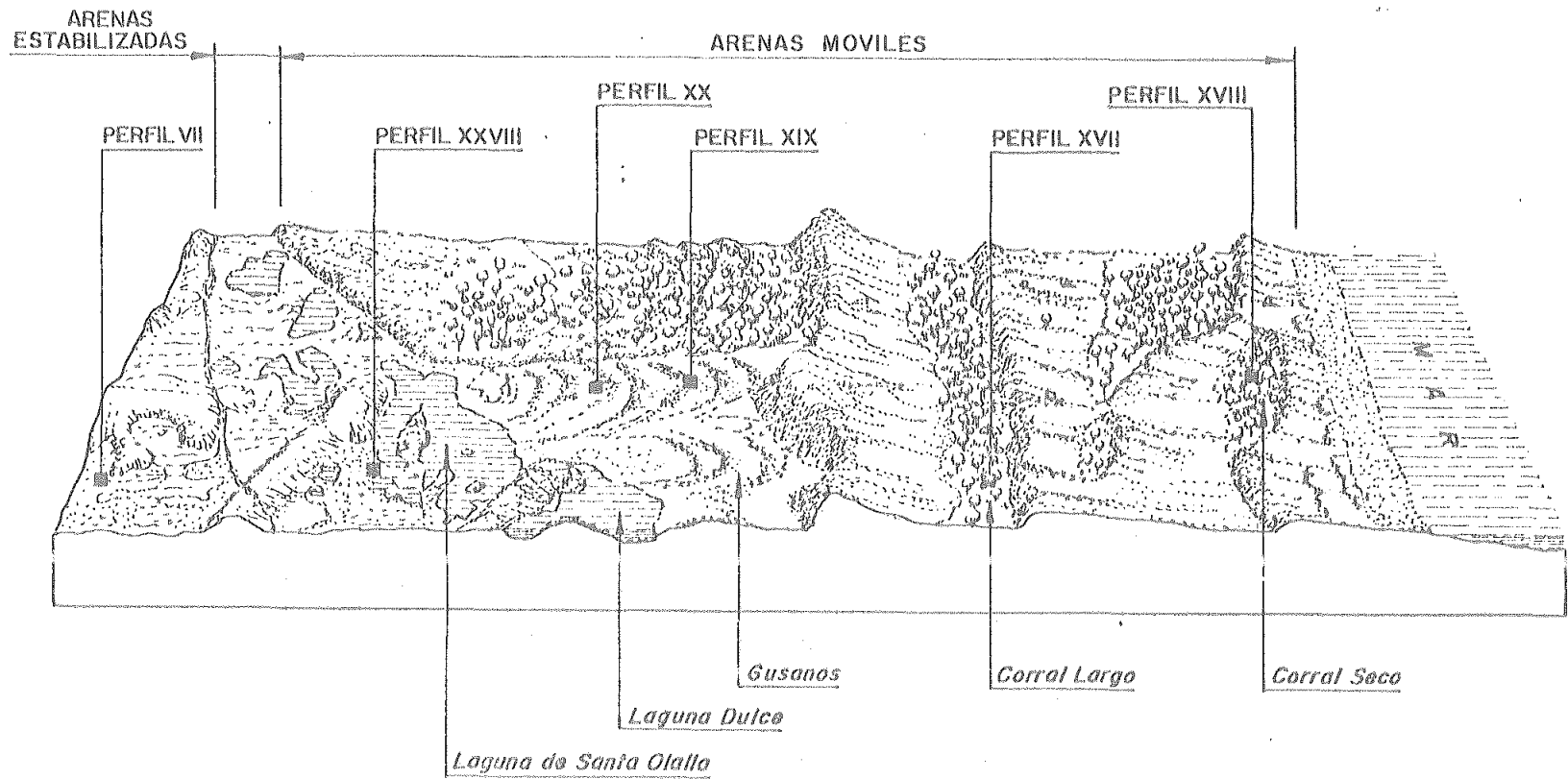
Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XIX	A	90,0	8,0	t	2,0	Arenosa
	AC	90,7	7,8	t	1,5	Arenosa
	C <sub>1</sub>	91,5	7,0	t	1,5	Arenosa
	C <sub>1g</sub>	92,2	6,8	t	1,0	Arenosa
	C <sub>2</sub>	83,0	16,0	t	1,0	Arenosa
XX	A	60,7	22,7	7,3	9,3	Arenosa-franca
	ACg	90,3	7,5	0,2	2,0	Arenosa
	Cg <sub>1</sub>	91,7	6,1	0,2	2,0	Arenosa
	Cg <sub>2</sub>	79,9	18,0	0,1	2,0	Arenosa
	Cg <sub>3</sub>	89,4	9,5	0,1	1,0	Arenosa

TABLA C.8 - Determinaciones de capacidad de cambio, cationes cambiables y grado de saturación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					S	%
		CCC	Na	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
XIX	A	1,5	0,3	t	0,6	0,1	1,0	66,7
	AC	1,0	0,3	t	0,4	0,1	0,8	80,0
	C <sub>1</sub>	1,0	0,3	t	0,4	0,1	0,8	80,0
	C <sub>1g</sub>	1,0	0,3	t	0,5	0,1	0,9	90,0
	C <sub>2</sub>	0,8	0,2	t	0,5	0,1	0,8	100
XX	A	10,0	0,7	t	4,6	1,5	6,8	68,0
	ACg	1,5	0,5	t	0,5	0,2	1,2	80,0
	Cg <sub>1</sub>	1,5	0,5	t	0,6	0,1	1,2	80,0
	Cg <sub>2</sub>	1,0	0,4	t	0,4	0,1	0,9	90,0
	Cg <sub>3</sub>	1,0	t	t	0,9	0,1	1,0	100

TABLA D.8 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XIX	A	1,79	0,14	7,8	0,08	0,01	12,5
	AC	4,65	0,27	5,8	t	t	-
	C <sub>1</sub>	0,89	0,14	15,7	0,03	t	-
	C <sub>1g</sub>	2,40	0,17	7,1	0,10	t	-
	C <sub>2</sub>	1,27	0,08	6,3	0,05	t	-
XX	A	13,04	11,70	89,7	0,10	0,30	30,0
	ACg	2,92	0,44	15,1	0,09	0,01	11,1
	Cg <sub>1</sub>	5,51	0,30	5,4	0,78	0,01	1,3
	Cg <sub>2</sub>	5,50	0,20	3,6	0,30	0,01	3,3
	Cg <sub>3</sub>	4,03	0,18	4,5	0,12	0,01	8,3



C.2 ARENAS MOVILES Y C.3.2 LAGUNAS PERMANENTES

### C.3 ZONAS DE CONTACTO

Como se ha indicado, la unidad geomorfológica de arenas estabilizadas es la más extensa dentro del área de arenas del Parque Nacional de Doñana. Dicha unidad linda al E con la marisma y al SW con las arenas móviles. Ambos límites presentan una morfología peculiar que permiten agruparlos dentro de una tercera unidad geomorfológica denominada "Zonas de Contacto", que puede ser dividida en dos subunidades.

La primera (límite arenas estabilizadas/marisma) comprende una estrecha franja que se extiende de norte a sur siguiendo el contacto de las arenas eólicas con los depósitos finos aluviales (Vera).

La segunda (límite arenas estabilizadas/arenas móviles) está definida por un rosario de lagunas que en épocas de mayor pluviosidad se conectan entre sí y desagúan en la marisma (lagunas permanentes).

#### C.3.1 VERA

El gran relleno que sufrió el estuario del Guadalquivir durante el Holoceno reciente alcanzó el área de arenas estabilizadas que constituye el llano de Huelva. Actualmente puede considerarse que los depósitos aluviales finos han llegado a un equilibrio estable, diferenciándose una zona de contacto con morfología particular denominada Vera.

La deposición de dichos depósitos finos sobre las arenas estabilizadas permite definir dos elementos morfoedáficos principales.

El primero comprende las zonas donde el sedimento arenoso aparece bajo los limos aluviales a menos de dos metros de profundidad (Vera arcillosa) y el segundo, las arenas que delimitan la orilla de la marisma (Vera arenosa). A estos dos elementos morfoedáficos hay que añadir un tercero, constituido por las desembocaduras de los arroyos que cortan perpendicularmente la Vera (Arroyos).

### C.3.1 VERA: Vera arcillosa

Como se ha definido, la vera arcillosa es una zona constituida por depósitos finos aluviales que cubren las arenas estabilizadas con un espesor menor de dos metros. Los suelos arcillosos que la caracterizan presentan, por tanto, una discontinuidad litológica dentro del perfil morfológico.

Los perfiles XXI ("Marisma Rocina") y XXII ("Vera Juncal") representan dos situaciones características de este elemento morfoedáfico. El primero está situado en la parte norte del Parque, con la discontinuidad arenosa a 170 cm. El segundo, ubicado en las proximidades del Palacio de Doñana, presenta el cambio textural a 1 metro de profundidad.

La Tabla A.9 recoge los valores de los análisis químicos generales. En ella puede observarse un alto contenido en materia orgánica en los horizontes superficiales de ambos perfiles (7,5 % y 14,9 %, respectivamente) debido a la cantidad de vegetación pleustófito que coloniza ambos suelos en la época húmeda, unido a una gran densidad de juncáceas que cubre el segundo a lo largo de todo el año. La materia orgánica disminuye en profundidad, aunque mantiene valores relativamente altos, que oscilan alrededor del 1 % en la base de los perfiles.



Hay que destacar que, mientras en el perfil XXI la materia orgánica desciende de forma gradual debido a la homogeneidad del sustrato hasta 170 cm, en el perfil XXII, sufre un ligero aumento en el horizonte arenoso (0,6 % en Cg frente a 1,4 % en Cg<sub>2</sub> AC), para descender de nuevo en profundidad, alcanzando valores equiparables a los del perfil anterior.

El C y el N siguen la misma secuencia de variación que la materia orgánica, correspondiendo los máximos valores a los horizontes superficiales de ambos perfiles (4,35 % de C y 0,33 % de N en el perfil XXI y 8,64 % de C y 0,52 % de N en el perfil XXII). La razón C/N es bastante uniforme en todo el perfil, correspondiendo los valores más altos a los primeros horizontes (13,2 y 16,6 respectivamente). De todas formas, disminuyen hacia la profundidad para aumentar en el horizonte que representa la discontinuidad litológica. Dicho aumento es ligero en el perfil XXI (de 10,1 en Cg<sub>2</sub> a 10,7 en 2C) y más pronunciado en el perfil XXII (de 8,8 en Cg a 13,5 en Cg2AC). En este último perfil, son asimismo importantes los incrementos de C y N, de acuerdo con el correspondiente de materia orgánica comentado anteriormente. Así, frente a unos valores de C y N en Cg de 0,35 % y 0,04 %, respectivamente, se pasa a otros de 0,81 % y 0,06 % en Cg2AC.

Estas variaciones de los valores de materia orgánica, C, N y razón C/N, unidas a la presencia de manchas en el horizonte Cg2AC en forma de raíces (como se recoge en la descripción morfológica), parecen indicar el enterramiento por parte de la marisma de un borde arenoso que sostenía una gran densidad vegetal.

Los sedimentos finos aluviales que constituyen el material original de estos suelos presentan una ligera proporción de CO<sub>3</sub>Ca, más importante en el perfil XXI que en el XXII, de acuerdo con la mineralogía de los sedimentos de la marisma del Guadalquivir. De todas

formas, los contenidos son pequeños, no alcanzándose el 2 % en el perfil XXII y en la parte superficial del perfil XXI. En este último se aprecia un aumento relativamente importante en profundidad hasta un valor de 9,8 % en el horizonte  $Cg_2$ . Ambos perfiles muestran un descenso en los horizontes correspondientes a la discontinuidad litológica (3,6 % en el perfil XXI y trazas en el XXII), como consecuencia de su textura arenosa y, por tanto, mayor permeabilidad. La presencia de carbonatos está de acuerdo con unos valores de pH superiores a la neutralidad.

El perfil XXI presenta un pH de 7,4 en el horizonte  $Au_1$  que aumenta por encima de 8 en profundidad. El valor más bajo corresponde al horizonte superficial del perfil XXII (6,2) como consecuencia del alto contenido de materia orgánica. De todas formas, en el siguiente horizonte se sobrepasa el valor de 7, que se mantiene en profundidad a excepción del horizonte arenoso  $2C$ , donde se registra un aumento de materia orgánica. De acuerdo con esta apreciación, el pH vuelve a superar la neutralidad en el siguiente horizonte (7,4 en  $2C_2$ ).

Debido al poder de adsorción de las arcillas, los perfiles XXI y XXII presentan unos contenidos altos en elementos asimilables en comparación con los demás suelos estudiados. Esta relación con la textura se pone de manifiesto comparando ambos perfiles. En efecto, el perfil XXI es más rico en elementos asimilables, al mismo tiempo que presenta una textura más arcillosa, como se comentará más adelante. El  $P_2O_5$  llega a alcanzar un valor de 37 mg/100 g en el horizonte  $ACg$  frente a un valor máximo de 8 mg/100 g en el horizonte  $C$  del perfil XXII. El contenido en potasio y magnesio asimilable es más semejante en ambos perfiles, sobre todo si se compara el perfil XXI con la parte superficial del perfil XXII, ya que en éste aparece menos profunda la discontinuidad litológica. Los valores oscilan en

tre 70 y 90 mg/100 g para el  $K_2O$  y entre 100 y 180 mg/100 g para el Mg. El Ca es el elemento que mayor diferencia presenta entre ambos perfiles, de acuerdo con el mayor porcentaje de carbonatos que existe en el perfil XXI. En éste, los valores de Ca asimilable están al rededor de los 900 mg/100 g frente a 365 mg/100 g de los dos horizontes superficiales del perfil XXII.

Finalmente, los elementos asimilables sufren un brusco descenso en los horizontes correspondientes a la discontinuidad litológica ya comentada, alcanzando los valores mínimos en el horizonte 2C<sub>2</sub> del perfil XXII (1 mg/100 g de  $P_2O_5$ ; 3 mg/100 g de  $K_2O$ ; 70 mg/100 g de Ca y 10 mg/100 g de Mg).

La Tabla B.9 muestra los resultados del análisis granulométrico de los perfiles XXI y XXII y la clase textural de sus diferentes horizontes.

Hasta alcanzar la discontinuidad litológica, ambos perfiles presentan textura arcillosa como corresponde a suelos desarrollados a partir de los depósitos finos que rellenan el antiguo estuario del Guadalquivir. En esta parte superior de los perfiles hay que destacar una gran uniformidad textural entre los distintos horizontes, con unos contenidos en limo y arcilla de alrededor de 30 % y 70 %, respectivamente, en el perfil XXI y de 25 % y 60 % en el perfil XXII. En este último puede apreciarse cierta cantidad de arena fina (10,3 %) y gruesa (13,5 %), cuya presencia se deberá a su proximidad a las arenas estabilizadas. En ambos perfiles se observa un ligero aumento en el contenido de arcilla al pasar del horizonte A al inmediatamente inferior sin que esta diferencia sea suficiente para definir un horizonte de acumulación (argílico).

El perfil XXI presenta unos contenidos muy bajos y uniformes en fracción gruesa (entre 2 % y 3 %) hasta el horizonte 2C donde exis

te un brusco aumento (66 %). Como se ha comentado anteriormente, el perfil XXII muestra un contenido algo más alto de fracción gruesa en los horizontes superficiales. De todas formas, en el horizonte correspondiente a la discontinuidad litológica se observa igualmente un fuerte aumento, alcanzando un valor de 96,5 % con predominio de la arena gruesa. Al presentarse dicha discontinuidad más superficial, se ha profundizado en el sedimento arenoso, observándose que en el horizonte  $2C_2$  el predominio corresponde a la arena fina (53,5%) sobre la gruesa (41,5%), como ocurre en la base de la mayoría de los perfiles desarrollados en la unidad geomorfológica de arenas estabilizadas.

La Tabla C.9 recoge los resultados de las determinaciones de capacidad de cambio, cationes cambiables y grado de saturación de los suelos.

Como se ha indicado anteriormente, la capacidad de cambio está íntimamente relacionada con el contenido y naturaleza de la fracción fina y materia orgánica del suelo. Por ello, los valores de los perfiles XXI y XXII, de textura arcillosa, son altos y similares en superficie (42,9 meq/100 g y 44,4 meq/100 g, respectivamente), descendiendo en profundidad conforme la textura se hace más arenosa, hasta alcanzar valores de 11,0 meq/100 g y 3 meq/100 g en la base de los respectivos perfiles.

Los cationes de cambio son fundamentalmente  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , con valores más altos aproximados de 28 meq/100 g y 11 meq/100 g, respectivamente, en el horizonte superficial de cada uno de los perfiles. En dicho horizonte hay que destacar una presencia relativamente importante de  $Na^+$  cambiabile, sobre todo en el perfil XXII, donde alcanza un valor de 4 meq/100 g (alrededor del 10 % de la capacidad total de cambio catiónica). El  $K^+$  es el catión menos importante con 1 meq/100 g en su superficie y trazas en profundidad.

La presencia de algunas sales en los perfiles hace que el complejo de cambio se encuentre saturado al 100 % salvo en el horizonte  $2C_1$  del perfil XXII, donde existe un pH ligeramente ácido (5,9).

Para una más exacta determinación de los cationes de cambio y grado de saturación, se ha realizado un estudio de salinidad en los suelos, cuyos resultados se recogen en la Tabla E.9 (apéndice). En el perfil XXI se observa el máximo valor de conductividad eléctrica (pasta saturada) en superficie (2,22 mmhos/cm), disminuyendo gradualmente en profundidad hasta el horizonte 2C, donde aumenta ligeramente respecto al horizonte anterior (1,21 mmhos/cm en 2C frente a 1,08 mmhos/cm en  $Cg_2$ ), debido probablemente a la capa freática presente a esa profundidad en la época seca. Por otro lado, el perfil XXII presenta una mayor conductividad en superficie (4,43 mmhos/cm) que desciende igualmente en profundidad, para aumentar de nuevo en el horizonte correspondiente a la discontinuidad litológica (0,84 mmhos/cm en Cg y 1,26 mmhos/cm en  $Cg2AC$ ). A partir de esta profundidad disminuye de nuevo, achacable probablemente al lavado de sales por aguas dulces que presentan escasa conductividad (0,99 mmhos/cm) y que provienen del drenaje de las arenas cuarcíticas que conforman el Parque.

Los valores de  $Cl^-$ ,  $CO_3H^-$ ,  $Na^+$  y  $K^+$  determinados en el suelo siguen un comportamiento paralelo al de la conductividad eléctrica. En efecto, todos muestran sus valores más altos en el horizonte superficial, destacando los de  $Cl^-$  y  $Na^+$  del perfil XXII (8,20 meq/100 g y 6,66 meq/100 g, respectivamente). Todos estos valores disminuyen de manera general en profundidad, manteniéndose algunos de ellos constantes a lo largo del perfil.

El  $Ca^{++}$  y el  $Mg^{++}$  muestran contenidos muy bajos en superficie (0,62 meq/100 g y 0,78 meq/100 g en el horizonte A del perfil XXII) que oscilan en profundidad, hasta alcanzar valores de 1,31 meq/100 g el primero, en el horizonte  $2C_1$ , y 1,40 meq/100 g, el segundo, en el horizonte Cg, ambos del perfil XXII.

En resumen, se observa una relación de la conductividad eléctrica con las sales presentes en cada horizonte, así como con las di-

ferentes profundidades a que circula el nivel freático. Dicha salinidad influye tanto en los valores de pH como en los de cationes cambiables que sobresaturan el complejo de cambio.

La Tabla D.9 recoge los datos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}_2$  total y libre, así como la razón libre/total. Una vez más, se observa una estrecha relación entre los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y los contenidos de arcilla de cada horizonte. Así, el perfil XXI muestra valores altos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total (superiores al 6 %) en todos los horizontes por encima de la discontinuidad litológica, coincidiendo con elevados porcentajes de arcilla (más de 60 %) en su composición granulométrica. De acuerdo con esto, el último horizonte (2C), de textura franco-arcillo-arenosa, presenta un descenso de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total (2,68 %) al mismo tiempo que una disminución en el contenido de arcilla (25,5 %).

Por otro lado, el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre aumenta ligeramente en profundidad, variando desde 1,48% en superficie hasta 2,10% en el horizonte  $\text{Cg}_1$  y 1,90 % en  $\text{Cg}_2$ . Este aumento podría deberse a la movilización de óxidos causada por la influencia del nivel freático que circula en el horizonte inmediatamente inferior (2C) y que presenta el contenido más bajo (0,56%). Estas variaciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre se reflejan en la razón libre/total, que pasa de 24,1 en superficie a 32,2 en  $\text{Cg}_1$  y 30,2 en  $\text{Cg}_2$ .

Los contenidos de  $\text{MnO}_2$  son elevados en comparación con los observados en los suelos arenosos. En efecto, el horizonte  $\text{Au}_1$  presenta un valor de 0,20 % de  $\text{MnO}_2$ , tanto total como libre, que disminuye en profundidad (0,02 % en 2C). La razón  $\text{MnO}_2$  libre/total es alta, alcanzándose en los dos primeros horizontes el valor de 100. Esto parece indicar que dicho elemento se encuentra fundamentalmente en su forma libre, probablemente adsorbido a la fracción arcilla a causa de los altos valores de pH comentados anteriormente.

El perfil XXII presenta una distribución de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total similar a la del perfil anterior, si bien sus contenidos son, en general,

inferiores, de acuerdo con una menor proporción de arcilla en su composición granulométrica. Sin embargo, hay que destacar el alto valor del horizonte C (7,36 %) debido probablemente a una acumulación de hierro perteneciente al horizonte superior de donde ha sido movilizado por influencia del alto contenido en materia orgánica (14,9 %). Este hecho parece confirmarse por el valor más bajo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total de dicho horizonte (4,03 %) en comparación con el equivalente del perfil XXI (6,13 %).

Por este mismo motivo, los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre son ligeramente más altos (2,80 % en el horizonte C), reflejándose claramente en las razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total que alcanzan en el horizonte situado por encima de la discontinuidad litológica el valor de 44,7. Finalmente, los horizontes arenosos de la base del perfil ( $2\text{C}_1$  y  $2\text{C}_2$ ) presentan contenidos muy bajos, tanto de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total (alrededor del 0,5 %) como de libre (alrededor del 0,04 %) debido, probablemente, al lavado producido por la circulación de la capa freática.

El  $\text{MnO}_2$  se encuentra en menor proporción que en el perfil anterior, correspondiendo los valores más altos a los horizontes más arcillosos y de pH más elevados (0,13 % de  $\text{MnO}_2$  total y 0,11 % de  $\text{MnO}_2$  libre en C). Dichos valores disminuyen marcadamente en los horizontes más profundos afectados por el nivel freático y con pH inferior (0,02% de  $\text{MnO}_2$  total y trazas de  $\text{MnO}_2$  libre).

En resumen, los suelos representativos del elemento morfoedáfico "Vera arcillosa" presentan un desarrollo de perfil en el que se pone de manifiesto una discontinuidad litológica que se reconoce tanto desde el punto de vista morfológico como analítico.

TABLA A.9 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XXI	Au <sub>1</sub>	7,5 <sup>##</sup>	4,35	0,33	13,2	1,5	7,4	6,5	16	78	932	106
	Au <sub>2</sub>	2,7 <sup>##</sup>	1,57	0,14	11,2	1,7	8,2	6,9	21	96	952	122
	ACg	1,7	0,99	0,09	11,0	6,4	8,3	6,8	37	80	927	128
	Cg <sub>1</sub>	1,4	0,81	0,08	10,1	8,8	8,3	7,1	32	75	901	105
	Cg <sub>2</sub>	1,4	0,81	0,08	10,1	9,8	8,3	7,0	28	72	879	96
	2C	1,1 <sup>##</sup>	0,64	0,06	10,7	3,6	7,9	7,1	12	34	669	47
XXII	A	14,9 <sup>##</sup>	8,64	0,52	16,6	1,5	6,2	5,5	5	75	365	165
	C	1,8	1,04	0,08	13,0	1,3	7,1	6,1	8	82	365	180
	Cg	0,6	0,35	0,04	8,8	1,4	7,4	5,9	2	30	230	120
	Cg2AC	1,4	0,81	0,06	13,5	1,6	7,2	5,9	2	23	160	78
	2C <sub>1</sub>	1,0 <sup>##</sup>	0,58	0,05	11,6	1,2	5,9	5,1	2	3	93	12
	2C <sub>2</sub>	0,7 <sup>##</sup>	0,40	0,04	10,0	t	7,4	7,0	1	3	70	10



TABLA B.9 - Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XXI	Au <sub>1</sub>	1,6	3,3	33,0	62,1	Arcillosa
	Au <sub>2</sub>	1,1	2,2	28,2	63,5	Arcillosa
	ACg	0,5	1,1	28,4	70,0	Arcillosa
	Cg <sub>1</sub>	0,5	1,5	30,0	63,3	Arcillosa
	Cg <sub>2</sub>	0,5	1,1	30,0	63,4	Arcillosa
	2C	51,1	14,9	8,5	25,5	Franco-arcillo-arenosa
XXII	A	13,5	10,3	25,0	51,2	Arcillosa
	C	7,6	6,4	25,5	60,5	Arcillosa
	Cg	35,2	8,8	10,0	46,0	Arcillo-arenosa
	Cg2AC	46,7	12,3	10,5	30,5	Franco-arcillo-arenosa
	2C <sub>1</sub>	82,0	14,5	1,5	2,0	Arenosa
	2C <sub>2</sub>	41,5	53,5	2,0	3,0	Arenosa

TABLA C.9 - Capacidad de cambio, cationes cambiabes y grado de saturación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					S	%
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
XXI	Au <sub>1</sub>	42,9	2,0	0,8	28,2	11,9	42,9	100
	Au <sub>2</sub>	35,9	2,0	1,3	19,8	12,8	35,9	100
	ACg	27,9	1,7	1,3	12,0	12,9	27,9	100
	Cg <sub>1</sub>	27,0	1,0	0,5	15,1	11,3	27,9	100
	Cg <sub>2</sub>	25,0	1,2	0,8	10,3	12,7	25,0	100
	2C	11,0	1,0	t	5,3	4,7	11,0	100
XXII	A	44,4	4,0	1,0	28,4	11,0	44,4	100
	C	39,0	4,5	0,8	21,2	12,5	39,0	100
	Cg	20,0	2,0	t	9,5	8,5	20,0	100
	Cg2AC	15,2	1,9	t	6,2	7,1	15,2	100
	2C <sub>1</sub>	1,5	0,3	t	0,6	0,4	1,3	86,7
	2C <sub>2</sub>	3,0	0,5	t	2,1	0,4	3,0	100

TABLA D.7 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XXI	Au <sub>1</sub>	6,13	1,48	24,1	0,20	0,20	100
	Au <sub>2</sub>	6,07	1,39	22,9	0,16	0,16	100
	ACg	7,15	1,94	27,1	0,18	0,12	66,6
	Cg <sub>1</sub>	6,51	2,10	32,2	0,06	0,05	83,3
	Cg <sub>2</sub>	6,29	1,90	30,2	0,05	0,02	40,0
	2C	2,68	0,56	20,9	0,02	0,02	100
XXII	A	4,03	1,06	26,3	0,05	0,03	60,0
	C	7,36	2,80	38,0	0,13	0,11	84,6
	Cg	4,79	2,14	44,7	0,08	0,01	12,5
	Cg2AC	1,12	0,44	39,3	0,04	0,01	25,0
	2C <sub>1</sub>	0,43	0,05	11,6	0,02	t	-
	2C <sub>2</sub>	0,55	0,03	5,5	0,03	t	-

TABLA E.9 - Determinaciones de sales y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g						mmhos/cm	
		CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.e. (suelo)	C.e. (agua, Oct. 83)
XXI	Au <sub>1</sub>	0,91	0,60	-	-	1,36	0,21	2,22	-
	Au <sub>2</sub>	0,73	0,60	-	-	1,20	0,16	1,70	-
	ACg	0,91	0,40	-	-	0,78	0,10	1,51	-
	Cg <sub>1</sub>	0,73	0,20	-	-	0,32	0,11	1,20	-
	Cg <sub>2</sub>	0,36	0,60	-	-	0,32	0,16	1,08	-
	2C	0,36	0,60	-	-	0,32	0,17	1,21	-
XXII	A	0,54	9,20	0,62	0,79	9,66	0,22	4,43	-
	C	0,63	2,20	0,57	0,60	2,92	0,06	2,43	-
	Cg	0,54	0,80	1,01	1,40	0,82	0,62	0,84	-
	Cg2AC	0,18	0,40	0,84	1,00	0,79	0,06	1,26	-
	2C <sub>1</sub>	0,09	0,20	1,31	0,91	0,16	0,03	1,00	-
	2C <sub>2</sub>	0,27	0,40	0,55	0,29	0,14	0,03	0,31	0,99

### C.3.1 VERA: Vera arenosa

Se denomina "Vera arenosa" al área de la zona de contacto entre la marisma y las arenas estabilizadas que se encuentran fuera de la influencia y deposición de los sedimentos finos aluviales. Los suelos que en ella se desarrollan serán, por tanto, de textura arenosa.

Los perfiles XXIII ("Farallón aluvial"), XXIV ("Asfodelus Martinazo") y XXV ("Cerrado Alcornoques") son representativos de este elemento morfoedáfico y constituyen una catena de evolución marcada por la menor o mayor oxidación y precipitación de óxidos de hierro a lo largo del perfil, en función a su proximidad a la marisma. En este mismo elemento morfoedáfico se sitúa el perfil XXVI ("Nocle") que por sus características especiales se comentará más adelante, por separado.

La Tabla A.10 recoge los datos de los análisis químicos generales. En ella se observa un amplio rango de variación en los valores de materia orgánica entre los horizontes superficiales de los perfiles, que oscila entre 8,8 % en el perfil XXIII y 3,7 % en el perfil XXV. El valor más alto corresponde a un suelo desarrollado en una zona deprimida y próxima a la marisma. En efecto, el perfil XXIII se encuentra ubicado en el límite N de las arenas estabilizadas con la marisma, muy cerca de la desembocadura del arroyo de la Rocina. Dicha situación implica la presencia relativamente alta del nivel freático en la época más seca (55 cm). Esta gran humedad permite el desarrollo de un pastizal que incorpora gran cantidad de materia orgánica por su carácter anual y densidad radicular. El resultado es la formación de un potente horizonte orgánico sobre un sedimento arenoso que presente importantes señales de hidromorfía. Los perfiles XXIV y XXV, situados en el límite E de las arenas estabilizadas, presentan el nivel freático a mayor profundidad (70 y 160 cm, respectivamente), lo

que condiciona un menor desarrollo de la vegetación y del horizonte orgánico.

En los tres suelos se observa un descenso brusco en el contenido de materia orgánica al pasar al horizonte subsuperficial (alrededor de un 1 %), descenso que continúa gradualmente en profundidad a excepción del horizonte Cms del perfil XXV. En efecto, dentro de dicho perfil se observa un aumento importante al pasar del horizonte Cg (0,4 %) al Cms (3,4 %), donde aparece una costra ferruginosa cuya formación podría estar relacionada con el mayor porcentaje de materia orgánica. Por debajo de ella, los valores descienden claramente en los horizontes C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>, no superándose el 0,5 % en la base de ninguno de los tres perfiles. Los valores de C, al estar directamente relacionados con los de materia orgánica, varían de forma paralela a éstos como puede observarse en la Tabla A.10. Los valores de N oscilan, asimismo, de acuerdo con los de materia orgánica, pero dentro de un rango de variación menor, según refleja la razón C/N. Dicha razón desciende con la profundidad, lo que indica una disminución más rápida del C respecto del N de acuerdo con la mineralización que sufren los compuestos orgánicos a lo largo del perfil. Excepción en este descenso de la razón C/N es el valor del horizonte Cms, donde se produce un aumento, coincidente con el de materia orgánica anteriormente comentado.

Las razones C/N del horizonte húmico de los tres perfiles presentan valores muy distintos. Al perfil XXV pertenece el valor más bajo (13,4), lo que estaría de acuerdo con una mayor humificación de la materia orgánica. El perfil XXIV muestra un valor de 21,9, como corresponde a la mayor hidromorfía provocada por el nivel freático. Finalmente, en el perfil XXIII se observa la razón C/N más alta (31,9), probablemente debido a la presencia de materia orgánica sin transfor-

mar, así como a la intensificación del proceso de hidromorfia en un suelo inundable en la época más húmeda.

Los valores de pH son ligeramente más altos en el perfil XXIII que en los perfiles XXIV y XXV. En efecto, el horizonte superficial presenta un pH cercano a la neutralidad (6,3), probablemente por deposición de partículas finas de la marisma, ya sea por acción eólica en la época seca o por inundación en la época húmeda. Dicho valor de pH se mantiene en el perfil, aumentando por encima de 7 en el último horizonte (7,1 en 2Btg) que constituye una discontinuidad morfológica. Dicha discontinuidad viene determinada por la presencia del sedimento formado por las "arenas basales" de edad plio-villafranquiense, sobre las que circula la capa freática, y que aparecen igualmente en la base de los perfiles XII y XIII, anteriormente comentados.

Los perfiles XXIV y XXV presentan la acidez característica de las arenas. En el primer caso, el pH aumenta con la profundidad, pasando de 5,1 en superficie a 6,7 en el horizonte Cs<sub>1</sub>, para descender de nuevo en los últimos horizontes donde aparecen fuertes fenómenos de reducción (5,0 en Cr). En el perfil XXV el pH, semejante al perfil anterior en superficie (5,1 en Au<sub>1</sub>), disminuye en el horizonte Cg (4,6), aumentando gradualmente en profundidad (6,8 en C<sub>2</sub>). El descenso en Cg puede ser debido a intensos fenómenos de hidromorfia que comienzan a manifestarse a la profundidad de dicho horizonte, coincidente con el límite superior de oscilación de la capa freática.

A pesar de encontrarse cerca de la marisma, los suelos no presentan carbonatos, apreciándose sólo en forma de trazas en los horizontes superficiales de aquellos situados más próximos a ella (perfiles XXIII y XXIV). Este pequeño contenido de carbonatos se aprecia particularmente a través de los valores de elementos asimilables, especialmente el Ca.

El  $P_{25}O_5$  es muy escaso en los tres suelos, ya que no supera el valor de 10 mg/100 g en ninguno de los horizontes. El  $K_2O$  es asimismo muy bajo en el perfil XXV (9 mg/100 g en el horizonte  $Au_1$ ), presentando valores altos y medios en los perfiles XXIII y XXIV (64 mg/100 g en los respectivos horizontes A). El Ca presenta un gran margen de variación que va desde valores muy bajos en el perfil XXV (17 mg/100 g en el horizonte  $Au_2$ ), hasta otros altos o medios en los perfiles XXIII y XXIV (217 mg/100 g y 115 mg/100 g en los respectivos horizontes superficiales). Finalmente, el Mg sigue una pauta semejante al Ca aunque dentro de un rango de variación menor. Los máximos valores se presentan en los horizontes superficiales de los perfiles XXIII y XXIV (30 mg/100 g y 22 mg/100 g, respectivamente), no superando el perfil XXV los 10 mg/100 g en ningún horizonte.

En general, se observa un contenido apreciable de elementos asimilables en los perfiles XXIII y XXIV que desciende con la profundidad hasta valores semejantes a los que se dan en el perfil XXV.

En resumen, parece haber cierta relación entre el contenido en elementos asimilables, la textura del suelo y la profundidad y variaciones del nivel freático, presentando la mayor fertilidad potencial los suelos más próximos a la marisma.

La Tabla B.10 recoge los resultados del análisis mecánico. En ella puede observarse que los perfiles XXIII, XXIV y XXV presentan un contenido en fracción gruesa (arena fina y arena gruesa) superior al 90 %, exceptuando el horizonte superficial del perfil XXIII (83,8 %). Al mismo tiempo, se observa una mayor proporción de fracción fina (limo y arcilla) en los horizontes superficiales que presentan un contenido más alto de materia orgánica (16,2 % en el perfil XXIII y 10 % en el XXIV). Finalmente, hay que destacar el ligero aumento en arcilla que presenta el último horizonte del perfil XXIII



(de 2,8 % en Cg se pasa a 5,2 % en 2Btg) como consecuencia de la discontinuidad litológica (arenas basales) que aparecen en su base. Por otro lado, el perfil XXV también muestra un aumento en el contenido de arcilla en el horizonte Cms (de 0,8 % en Cg a 2,6 % en Cms), posiblemente relacionado con los óxidos de hierro y manganeso precipitados que forman la costra ferruginosa existente en dicho horizonte.

En general, se observa en los tres perfiles un predominio de la arena gruesa sobre la fina, predominio que se acentúa en la profundidad de los perfiles XXIV y XXV. El primero presenta unos valores de 54,9 % y 35,1 % de arenas gruesa y fina, respectivamente, en superficie, que pasan a 84,5 % y 13,0 % en la base del perfil, mientras que el segundo oscila desde 76,3 % y 21,8 % en el horizonte Au<sub>1</sub>, a 81,3 % y 18,4 %, respectivamente, en el C<sub>2</sub>.

El perfil XXIII, por el contrario, presenta una disminución de arena gruesa y aumento de la fina en la base del perfil respecto del horizonte superficial (66,0 % y 17,8 % en superficie frente a 57,2 % y 37,1 % en profundidad de arenas gruesa y fina, respectivamente), alcanzando valores similares a los que presentan las arenas basales que constituyen el perfil XII anteriormente comentado.

La Tabla C.10 muestra los resultados de las determinaciones de las capacidades de cambio de bases, cationes cambiabiles y grado de saturación de los suelos. La textura fuertemente arenosa de los perfiles XXIII, XXIV y XXV hace que la capacidad de cambio esté directamente relacionada con los contenidos en materia orgánica. En efecto, el valor más alto de capacidad de cambio catiónica aparece en el horizonte superficial del perfil XXIII (9,0 meq/100 g), coincidiendo con el máximo de materia orgánica (8,8 %). Por el mismo motivo, los perfiles XXIV y XXV presentan en superficie unos valores más bajos (7,0 meq/100 g y 2,7 meq/100 g, respectivamente) de acuerdo con un menor contenido en materia orgánica (6,8 % el primero y 3,7 % el segundo).

En general, la capacidad de cambio desciende con la profundidad, salvo en el perfil XXIII, que presenta un ligero aumento en la discontinuidad morfológica (de 1 meq/100 g en Cg pasa a 1,9 meq/100 g en 2Btg), y en el horizonte Cms del perfil XXV donde se alcanza un valor igual al superficial (2,7 meq/100 g). Este aumento coincide con otro similar de materia orgánica que, como se ha comentado anteriormente, estaría relacionado con la costra ferruginosa.

El horizonte Ah del perfil XXIII es el único que presenta unas concentraciones de cationes de cambio relativamente altas. Los cationes son fundamentalmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  (5,7 meq/100 g y 1,4 meq/100 g, respectivamente) con una pequeña proporción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  (0,7 meq/100 g y 0,9 meq/100 g, respectivamente). Dichos valores parecen indicar cierta contaminación de sales provenientes de la marisma. Con la profundidad descienden de forma clara, recuperándose en la discontinuidad morfológica, sobre todo el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$  (0,5 meq/100 g en Cg frente a 1,2 meq/100 g en 2Btg, y 0,1 meq/100 g en Cg frente a 0,2 meq/100 g en 2Btg, respectivamente), como se ha apreciado ya con anterioridad en la base de los perfiles XII y XIII situados geográficamente cercanos a éste.

Los perfiles XXIV y XXV presentan valores muy bajos de cationes de cambio, siendo sólo trazas en la mayor parte de los horizontes.

Dichos cationes no saturan el complejo de cambio debido a la acidez del medio. Con la profundidad, el grado de saturación varía de acuerdo con los valores de pH. El perfil XXIII, con pH próximo a la neutralidad, presenta saturaciones superiores al 85 % en todos sus horizontes, llegando incluso a la saturación total en profundidad (2Btg, 100 %).

Estos valores más altos de pH, cationes cambiables y saturación en bases están directamente relacionados con cierta salinidad en

superficie que se refleja en un valor de la conductividad eléctrica superior a 2 mmhos/cm.

La Tabla D.10 recoge las determinaciones de hierro y manganeso en sus formas libre y total, así como su razón.

El perfil XXIII presenta una distribución del  $Fe_2O_3$  similar a la de aquellos suelos situados en la subunidad geomorfológica "Manto Arrasado" (perfiles V, XIII, XII, XIII) que presentan una textura arenosa, más o menos uniforme a lo largo del perfil. En este sentido, el valor máximo de  $Fe_2O_3$  total y libre se da en el horizonte superficial (3,14 % y 0,62 %, respectivamente), disminuye en profundidad y aumenta en la base del perfil (1,53 % y 0,19 %, respectivamente, en 2Btg), donde se presume la existencia de un sedimento más antiguo sobre el que discurre la capa freática. Estas variaciones de  $Fe_2O_3$  se ven reflejadas en la razón libre/total, que disminuye en profundidad desde 19,7 en el horizonte Ah hasta 12,4 en 2Btg. Hay que resaltar un ligero aumento en el horizonte ACg (21,1) que coincide con la aparición de grandes manchas de hidromorfía.

Los perfiles XXIV y XXV presentan, como en el caso de los suelos desarrollados sobre arenas estabilizadas, bajos contenidos en  $Fe_2O_3$  tanto total como libre (inferiores al 1 % y 0,3 %, respectivamente). Sin embargo, en ambos perfiles aparecen valores altos en horizontes de acumulación (Cs<sub>2</sub> en el perfil XXIV y Cms en el XXV) donde se alcanza 1,39 % de  $Fe_2O_3$  total y libre en el primer caso, y 4,43 % y 3,23 %, respectivamente, en el segundo.

Estos altos valores de  $Fe_2O_3$  en determinados horizontes están relacionados con una costra ferruginosa que aparece totalmente endurecida en el perfil XXV, y en fase de formación en el perfil XXIV. La acumulación de hierro coincide con el nivel más alto de la capa freática y, por tanto, las razones  $Fe_2O_3$  libre/total de los horizontes co

respondientes a esa profundidad son mucho más elevadas que las del resto de los horizontes. En efecto, el perfil XXIV presenta unas razones inferiores a 35 que aumentan a 83,3 en el Cs<sub>1</sub> e incluso alcanzan 100 en el Cs<sub>2</sub>. De igual modo, las razones libre/total correspondientes al perfil XXV no superan el valor de 30, salvo en el horizonte donde se desarrolla la costra (Cms 72,9). Dicha costra está constituida por arenas cementadas por óxidos de hierro cuya alta proporción (16,2 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total y 11,64 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> libre) parece indicar un aporte de todo el área circundante.

Por debajo de estos horizontes enriquecidos, los contenidos en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> descienden bruscamente, alcanzando valores similares e incluso inferiores a los correspondientes a horizontes superiores.

En general, el manganeso sigue el mismo comportamiento que el hierro, si bien se encuentra siempre en mucha menor cantidad. El único valor destacable es el que presenta la costra del horizonte Cms en el perfil XXV donde alcanza un valor de 0,54 % total y 0,16 % libre.

En resumen, puede afirmarse que dentro de la "Vera arenosa", los perfiles XXIII, XXIV y XXV parecen conformar una catena de suelos en función a la diferente hidromorfía que condiciona el nivel freático. La profundidad y fluctuación de dicho nivel en los perfiles influye de forma decisiva en la dinámica del hierro, pudiéndose establecer diferentes estadios de formación de una costra ferruginosa que alcanza su máximo desarrollo en el perfil XXV.

TABLA A.10 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%		mg/100 g				
		M.O.	C	N		CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
XXIII	Ah	8,8 <sup>‡</sup>	5,10	0,16	31,9	t	6,3	6,1	2	64	217	30
	ACg	1,0	0,58	0,04	14,5	-	6,6	5,6	2	26	67	8
	Cg	0,3	0,17	0,02	7,5	-	6,1	4,6	3	3	58	5
	2Btg	0,2	0,12	0,02	6,0	-	7,1	6,7	2	1	63	5
XXIV	A	6,8 <sup>‡</sup>	3,94	0,18	21,9	t	5,1	4,6	5	13	115	22
	AC	1,2	0,69	0,05	13,8	-	6,0	5,4	3	6	40	6
	Cg	0,6	0,35	0,04	8,8	-	6,6	5,8	3	4	28	4
	Cs <sub>1</sub>	0,4	0,23	0,03	7,7	-	6,7	5,7	3	4	39	5
	Cs <sub>2</sub>	0,4	0,23	0,03	7,7	-	6,5	5,5	10	3	31	4
	Cr	0,5 <sup>‡</sup>	0,29	0,03	9,7	-	5,0	4,5	3	3	35	5
XXV	Au <sub>1</sub>	3,7 <sup>‡</sup>	2,15	0,16	13,4	-	5,1	4,3	1	0	24	7
	Au <sub>2</sub>	0,7	0,41	0,04	10,3	-	5,1	3,9	1	4	17	3
	ACg	0,5	0,29	0,03	9,7	-	5,1	3,9	1	4	22	1
	Cg	0,4	0,23	0,03	7,7	-	4,6	3,7	1	4	22	6
	Cms	3,4 <sup>‡</sup>	1,97	0,18	10,9	-	5,2	4,2	1	4	29	4
	C <sub>1</sub>	0,2	0,12	0,02	6,0	-	6,4	4,6	1	4	24	4
	C <sub>2</sub>	0,3 <sup>‡</sup>	0,17	0,02	8,5	-	6,8	5,8	1	3	36	10

TABLA B.10 - Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XXIII	Ah	66,0	17,8	2,5	13,7	Arenosa-franca
	ACg	74,2	18,6	1,0	6,2	Arenosa
	Cg	72,5	24,2	0,5	2,8	Arenosa
	2Btg	57,2	37,1	0,5	5,2	Arenosa
XXIV	A	54,9	35,1	4,5	5,5	Arenosa
	AC	72,5	25,0	0,5	2,0	Arenosa
	Cg	81,0	17,5	0,5	1,0	Arenosa
	Cs <sub>1</sub>	88,5	10,0	0,5	1,0	Arenosa
	Cs <sub>2</sub>	85,0	12,5	0,5	2,0	Arenosa
	Cr	84,5	13,0	0,5	2,0	Arenosa
XXV	Au <sub>1</sub>	76,3	21,8	0,7	1,2	Arenosa
	Au <sub>2</sub>	72,6	25,7	0,7	1,0	Arenosa
	ACg	78,1	21,2	0,3	0,4	Arenosa
	Cg	79,9	18,9	0,4	0,8	Arenosa
	Cms	69,4	27,2	0,8	2,6	Arenosa
	C <sub>1</sub>	82,9	16,8	0,1	0,2	Arenosa
	C <sub>2</sub>	81,3	18,4	0,1	0,2	Arenosa

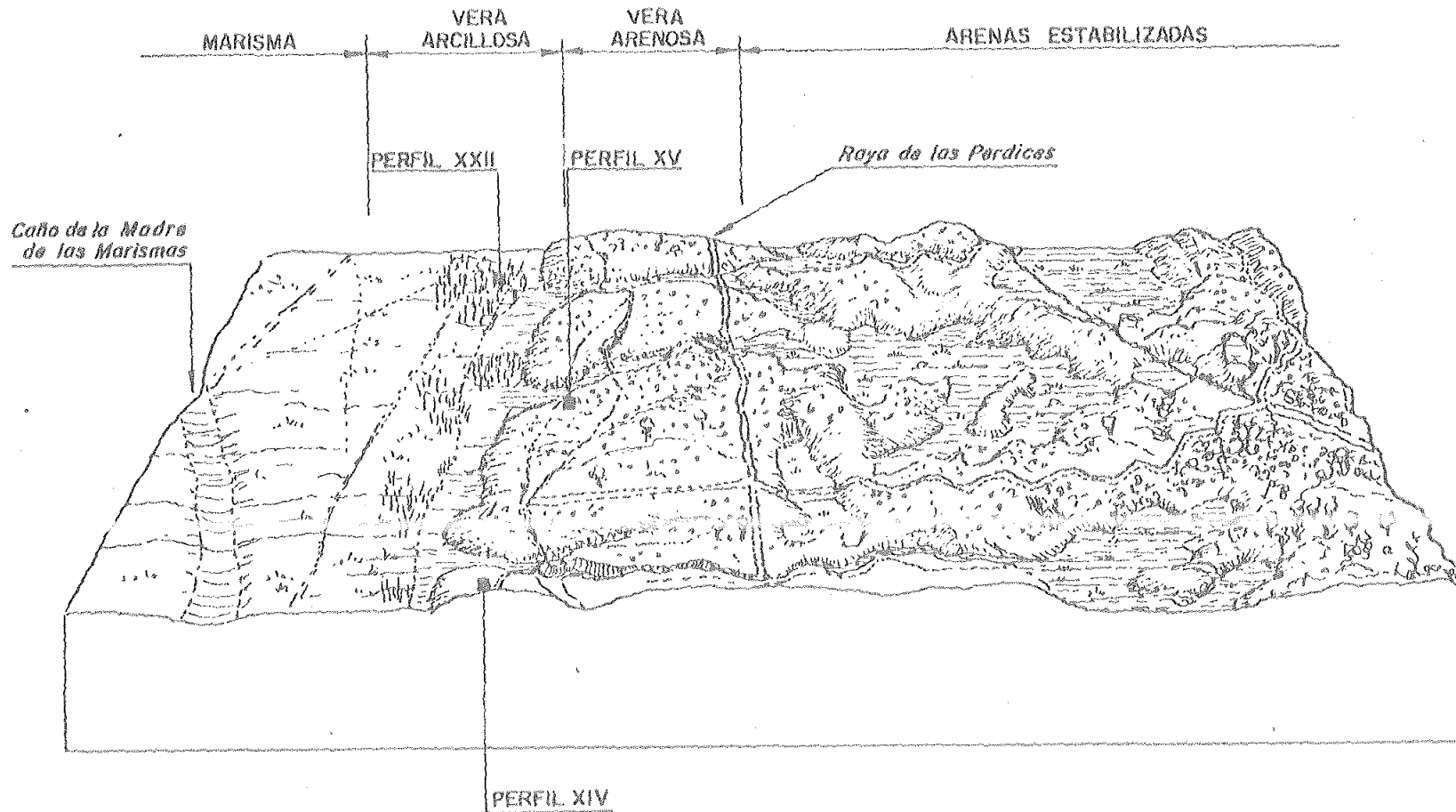
TABLA C.10 - Capacidad de cambio, cationes cambiables, grado de saturación y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					S	%	mmhos/cm
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		V	C.E.
XXIII	Ah	9,0	0,7	0,9	5,7	1,4	8,7	96,7	2,15
	ACg	2,5	0,6	t	1,2	0,4	2,2	88,0	0,26
	Cg	1,0	0,3	t	0,5	0,1	0,9	90,0	0,48
	2Btg	1,9	0,5	t	1,2	0,2	1,9	100	0,17
XXIV	A	7,0	0,7	t	2,7	1,1	4,5	64,3	-
	AC	1,5	t	t	0,8	0,3	1,1	73,3	-
	Cg	1,0	t	t	0,6	0,2	0,8	80,0	-
	Cs <sub>1</sub>	1,0	t	t	0,5	0,2	0,7	70,0	-
	Cs <sub>2</sub>	1,0	t	t	0,5	0,1	0,6	60,0	-
	Cr	1,0	t	t	0,3	0,1	0,4	40,0	-
XXV	Au <sub>1</sub>	2,7	t	t	0,5	t	0,5	18,5	-
	Au <sub>2</sub>	0,9	t	t	t	t	t	-	-
	ACg	0,9	t	t	t	t	t	-	-
	Cg	1,8	t	t	t	t	t	-	-
	Cms	2,7	t	t	t	t	t	-	-
	C <sub>1</sub>	0,9	t	t	t	t	t	-	-
	C <sub>2</sub>	0,9	t	t	t	t	t	-	-

TABLA D.10 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XXIII	Ah	3,14	0,62	19,7	0,05	0,02	40,0
	ACg	1,14	0,24	21,1	0,03	t	-
	Cg	0,78	0,10	12,8	0,03	t	-
	2Btg	1,53	0,19	12,4	0,05	t	-
XXIV	A	0,64	0,22	34,3	0,05	0,01	20,0
	AC	0,29	0,06	20,7	t	t	-
	Cg	0,39	0,10	25,6	0,03	t	-
	Cs <sub>1</sub>	0,72	0,60	83,3	0,05	0,01	20,0
	Cs <sub>2</sub>	1,39	1,39	100,0	0,04	t	-
	Cr	0,30	0,03	10,0	0,03	t	-
XXV	Au <sub>1</sub>	0,72	0,19	26,4	0,02	t	-
	Au <sub>2</sub>	0,89	0,26	29,2	0,02	t	-
	ACg	0,85	0,25	29,4	0,02	t	-
	Cg	0,77	0,23	29,9	0,02	t	-
	Cms	4,43	3,23	72,9	0,03	t	-
	Costra	16,20	11,64	71,9	0,54	0,16	29,6
	C <sub>1</sub>	0,94	0,23	24,5	0,03	t	-
	C <sub>2</sub>	0,93	0,23	24,7	t	t	-





C. 3.1 VERA

### C.3.1 VERA: Nucle

Con el nombre de Nucle se denominan pequeños enclaves por donde descarga el acuífero de las arenas móviles. El perfil XXVI es representativo de dichos enclaves y se encuentra situado en la Vera arenosa al sur de la laguna del Sopotón. Sus características peculiares lo diferencian de los suelos de este elemento morfoedáfico, pudiéndose comentar separadamente.

Dentro de la Vera arenosa, el perfil XXVI es el que muestra mayor contenido en materia orgánica, diferenciándose el horizonte orgánico en dos subhorizontes con valores de 11,9 % y 8,5 %, respectivamente. Estos porcentajes resultan del denso pastizal que se desarrolla favorecido por un nivel freático que no desciende nunca por debajo de 80 cm de profundidad. Hacia la base del perfil disminuye la materia orgánica hasta valores equiparables a otros suelos situados en zonas arenosas (0,3 % en Cr<sub>2</sub>).

Los valores de C y N están íntimamente relacionados con los porcentajes de materia orgánica, por lo que presentan un comportamiento paralelo a ésta. Así, se observa un máximo en el horizonte superficial (6,90 % y 0,54 %, respectivamente en Akz) que disminuye ligeramente en el siguiente horizonte (4,93 % y 0,43 %, respectivamente en Ak) y bruscamente a partir de él (0,70 % y 0,07 % en ACr) hasta alcanzar mínimos en el último horizonte Cr<sub>2</sub> (0,17 % y 0,02 %, respectivamente). Esta variación se refleja asimismo en la razón C/N, que oscila entre 12,8 en superficie y 7,7 en la base del perfil. Son valores bajos que indican una buena humificación de la materia orgánica, de acuerdo con los contenidos singulares de carbonatos que presenta el suelo, así como con sus altos pH.

Una de las características que diferencia a este suelo es el contenido en carbonatos a lo largo del perfil. El horizonte Akz presenta un valor máximo de 2,4 % que desciende ligeramente en el Ak (18,4 %) y bruscamente en el siguiente horizonte (1,4 % en ACr), a partir del cual se mantiene relativamente constante. La presencia de los carbonatos podría estar relacionada con una situación de sumidero de aguas provenientes de las arenas móviles. Dichas arenas presentan pequeños restos de conchas en superficie que son seguramente más abundantes en niveles profundos, a través de los cuales circula la capa freática. Los altos contenidos en carbonatos de los horizontes superficiales influyen decisivamente en la reacción del suelo, cuyos valores de pH son de 8,2 en Akz y 7,9 en Ak. Estos valores disminuyen ligeramente en profundidad para aumentar en el último horizonte ( $Cr_2$ ), donde se alcanza un pH de 8, debido probablemente al contenido en sales del nivel freático que circula por dicho horizonte.

Los elementos asimilables muestran valores bajos de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  (máximo de 4 mg/100 g para el primero en el horizonte ACr y 18 mg/100 g para el segundo en el Akz), y altos de Ca y Mg (630 mg/100 g y 46 mg/100 g, respectivamente en Akz). Dichos valores disminuyen con la profundidad, manteniendo siempre el contenido de Ca una relación directa con los carbonatos. El suelo presenta, por tanto, una fertilidad potencial media.

La textura es fundamentalmente arenosa, predominando la arena gruesa sobre la fina. Este predominio aumenta gradualmente en profundidad, hasta alcanzar el 94,0 % en el horizonte  $Cr_2$ , lo que parece indicar una gran influencia de las próximas arenas móviles, cuya granulometría es semejante.

La fracción fina (limo y arcilla) presenta el máximo valor en el horizonte superficial (31,0 % en Akz), coincidiendo con el más alto

contenido en materia orgánica (11,9 %), lo que indica una vez más la influencia decisiva de ésta en dicha fracción, además de la normal captación de partículas finas por el agua que inunda el perfil durante parte del año. La fracción fina desciende bruscamente hacia la base del perfil, alcanzando valores equiparables a las arenas móviles y corrales que rodean el perfil "Nocle" (trazas de limo y 1,0 % de arcilla en Cr<sub>2</sub>).

La Tabla C.11 recoge los valores de capacidad de cambio catiónico, cationes cambiables y grado de saturación del suelo. Se observa, una vez más, una estrecha relación entre los valores de capacidad de cambio catiónica, materia orgánica y fracción fina. En efecto, el máximo valor de la capacidad de cambio se da en el horizonte Akz (15,5 meq/100 g) que, tras disminuir, de acuerdo con los valores anteriormente comentados de materia orgánica y fracción fina, en el horizonte Ak (9,0 meq/100 g), desciende fuertemente en profundidad (1,0 meq/100 g en ACr, Cr<sub>1</sub> y Cr<sub>2</sub>) hasta equipararse con valores de otras zonas igualmente arenosas.

Los cationes de cambio presentan los valores más altos en el horizonte Akz de acuerdo con su mayor capacidad de cambio. De entre ellos hay que destacar los 5 meq/100 g de Na<sup>+</sup> que supone más de un 30% de la capacidad total. Asimismo, hay que destacar los valores de Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> (7,1 meq/100 g y 3,4 meq/100 g, respectivamente), que están de acuerdo con el contenido en carbonatos. Estas concentraciones de cationes cambiables descienden en profundidad, gradualmente primero y bruscamente a partir del horizonte ACr (0,1 meq/100 g de Na<sup>+</sup>, 0,9 meq/100 g de Ca<sup>++</sup> y trazas de K<sup>+</sup> y Mg<sup>++</sup>).

Los horizontes presentan una saturación del 100 %, lo cual está de acuerdo con el pH del medio. Esta total saturación se encuentra favorecida por la presencia de sales en el suelo que se refleja en la

conductividad eléctrica en pasta saturada (4,41 mmhos/cm en Akz). Las sales son fundamentalmente cloruros (7,4 meq/100 g) de  $\text{Na}^+$  (4,3 meq/100 g), sulfuros y bicarbonatos (0,76 meq/100 g) de  $\text{Ca}^{++}$  (2,40 meq/100 g). La conductividad eléctrica desciende marcadamente en profundidad (0,13 mmhos/cm en el horizonte  $\text{Cr}_2$ ), indicando, por tanto, una acumulación de sales en superficie probablemente debida a un efecto de surgencia del nivel freático, alimentado por la descarga del acuífero de las arenas móviles circundantes. De acuerdo con ésto, el nivel freático presenta una mayor conductividad en la estación húmeda (1,36 mmhos/cm en marzo) que en la seca (0,83 mmhos/cm en octubre).

En la Tabla D.11 se observan valores muy elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y libre en los horizontes Akz y Ak (7,58 % y 8,79 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y 3,06 % y 3,15 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, respectivamente). Estos valores descienden bruscamente en el horizonte ACr (0,57 % y 0,09 %, respectivamente), probablemente debido a un cambio en la mineralogía de las arenas, como parece confirmar el aumento que experimenta el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total en el siguiente horizonte  $\text{Cr}_1$  (3,10 %) sin que exista un aumento paralelo del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre (0,11 %). Por otro lado, igual que en el caso de los suelos correspondientes al elemento morfoedáfico "Gusanos", el perfil "Nocle" presenta en su morfología vetas de arena rica en minerales pesados (ilmenita, magnetita, etc.) que serían responsables del citado aumento de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total sin que esté acompañado por otro equivalente de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre, ya que dichos minerales no se alteran fácilmente al pH existente en el medio (mayor de 7,5). De todas formas, no hay que descartar la incidencia de un proceso de acumulación, semejante al de las sales solubles, en los valores altos que presentan los horizontes superficiales.

Este hecho se refleja, asimismo, en las razones libre/total que descienden en profundidad desde un valor de 40,4 en Akz hasta 5,2 en  $\text{Cr}_2$  a pesar de la fuerte hidromorfía que sufre este suelo.

El  $\text{MnO}_2$  presenta valores altos en comparación con los de otros suelos arenosos. En los horizontes Akz y Ak se alcanza 0,20 % y 0,24 % de  $\text{MnO}_2$  total, respectivamente. Estos contenidos siguen una secuencia de variación paralela a la del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total como puede apreciarse en la Tabla D.11. En efecto, tras una disminución en el horizonte ACr (0,05 %), se produce un aumento en la base del perfil (0,12 % en Cr<sub>1</sub> y Cr<sub>2</sub>).

Finalmente, las razones  $\text{MnO}_2$  libre/total son muy altas en superficie (90) y no significativas en profundidad debido a que el  $\text{MnO}_2$  libre se encuentra sólo a nivel de trazas.

TABLA A.11 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XXVI	Akz	11,9 <sup>±±±</sup>	6,90	0,54	12,8	22,4	8,2	7,5	2	18	630	46
	Ak	8,5 <sup>±±±</sup>	4,93	0,43	11,5	18,4	7,9	7,1	3	3	595	18
	ACr	1,2	0,70	0,07	10,0	1,4	7,7	6,9	4	1	60	6
	Cr <sub>1</sub>	0,4 <sup>±±</sup>	0,23	0,03	7,7	1,6	7,6	6,8	3	1	45	5
	Cr <sub>2</sub>	0,3 <sup>±±</sup>	0,17	0,02	8,5	2,0	8,0	7,4	3	1	70	5

TABLA B.11 - Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XXVI	Akz	52,5	16,5	13,0	18,0	Franco-arenosa
	Ak	72,0	12,0	5,8	10,2	Arenosa-franca
	ACr	91,0	7,5	t	1,5	Arenosa
	Cr <sub>1</sub>	91,5	7,5	t	1,0	Arenosa
	Cr <sub>2</sub>	94,0	5,0	t	1,0	Arenosa



TABLA C.11 - Capacidad de cambio, cationes cambiabiles y grado de saturación.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					%	
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V
XXVI	Akz	15,5	5,0	t	7,1	3,4	15,5	100
	Ak	9,0	1,0	t	6,9	1,1	9	100
	Acr	1,0	0,1	t	0,9	t	1	100
	Cr <sub>1</sub>	1,0	0,1	t	0,9	t	1	100
	Cr <sub>2</sub>	1,0	t	t	1,0	t	1	100

TABLA D.11 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XXVI	Akz	7,58	3,06	40,4	0,20	0,18	90,0
	Ak	8,79	3,15	35,8	0,24	0,22	91,7
	ACr	0,57	0,09	15,8	0,05	t	-
	Cr <sub>1</sub>	3,10	0,11	3,5	0,12	t	-
	Cr <sub>2</sub>	3,30	0,17	5,2	0,12	t	-

TABLA E.11 - Determinaciones de sales y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g						mmhos/cm		
		CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.ē (suelo)	C.ē (agua, Oct. 83)	C.ē (agua, Marzo 84)
XXVI	Akz	0,76	7,40	2,40	0,76	4,30	0,13	4,41	-	-
	Ak	0,76	1,00	2,37	0,27	0,70	0,03	0,66	-	-
	ACr	0,18	0,20	0,51	0,21	0,16	0,02	0,21	-	-
	Cr <sub>1</sub>	0,18	0,20	0,25	0,06	0,09	0,02	0,13	-	-
	Cr <sub>2</sub>	0,36	0,20	0,62	0,08	0,11	0,02	0,13	0,83	1,36

### C.3.1 VERA: Arroyos

El perfil XXVII ("Soto Grande") es representativo del elemento morfoedáfico "Arroyos". Dicho elemento, como ya ha sido comentado anteriormente, engloba las desembocaduras de los arroyos que, encajados en las arenas estabilizadas, desagúan en la marisma.

Estos arroyos tienen vegetación típica de bosque galería en los tramos encajados, que evoluciona hacia otra vivaz muy densa de tipo helófito e hidrófito propia del medio distrófico en que se encuentra. Dicha vegetación, favorecida por un nivel freático que la mayor parte del año se encuentra en superficie, origina un suelo turboso con un potente horizonte orgánico, que se refleja en los análisis químicos generales de la Tabla A.12. En efecto, el horizonte  $H_i$  muestra un 72,4 % de materia orgánica, lo que traduce un ambiente extremadamente hidromorfo y ácido que frena su mineralización. El horizonte  $H_e$  presenta un aspecto más humificado y estructura grumosa, con un contenido menor de materia orgánica (56,3 %). Por debajo de este horizonte aparece otro con estructura de nuevo fibrosa y contenido similar al primero (75,0 %), que parece corresponder a un horizonte orgánico enterrado ( $2H_i$ ).

Estos tres horizontes ( $H_i$ ,  $H_e$  y  $2H_i$ ) descansan sobre un sedimento arcilloso, por el que circula la capa freática en la época seca (a unos 70 cm de profundidad). Dichos horizontes presentan bajos contenidos en materia orgánica, que disminuyen en profundidad (5,0 % y 1,5 % en  $2AC$ , respectivamente).

Los valores de  $C$  siguen un comportamiento paralelo a los de materia orgánica anteriormente comentados. En efecto, en la Tabla A.12 se observan los más altos en los horizontes  $H_i$  y  $2H_i$  (42,00 % y 43,50%, respectivamente), siendo algo más bajo el valor correspondiente al ho-

rizonte He (32,66 %). Por último, los dos horizontes arcillosos subyacentes muestran valores que disminuyen en profundidad (2,90 % y 0,87 % en 2AC y 2C, respectivamente). El nitrógeno se distribuye de forma similar al C pero con un rango de variación menor, presentando valores altos en los tres horizontes orgánicos del perfil (1,08 % y 1,02 %, y 1,12 %, respectivamente) que disminuyen en profundidad (0,26 % y 0,08 % en 2AC y 2C, respectivamente).

Estas variaciones se reflejan en la razón C/N que muestra sus valores máximos (cerca de 39) en los horizontes Hi y 2Hi, pudiendo afirmarse que las razones C/N de los primeros 70 cm de suelo (horizontes Hi, He y 2Hi) son muy altas debido al medio en que se ha desarrollado el perfil. En efecto, el encharcamiento prolongado y la continua incorporación de restos vegetales al suelo provocan la aparición de un microclima muy ácido e hidromorfo que frena la mineralización de los compuestos orgánicos. Los horizontes arcillosos presentan una relación C/N significativamente más baja (17,1 y 12,4 en 2AC y 2C, respectivamente) ya que los compuestos orgánicos que alcanzan esa profundidad (70 y 90 cm, respectivamente) llegan con un alto grado de humificación.

Hay que resaltar la inexistencia de carbonatos en los horizontes arcillosos de la base del perfil, ya que, a profundidades similares, suelos de la Vera arcillosa presentan pequeñas cantidades (aproximadamente un 9 % y 1,5 % en los perfiles XXI y XXIII, respectivamente). Esta circunstancia puede deberse al bajo pH de ambos horizontes (ligeramente superior a 5), que provoca la disolución de dichas sales.

El pH, como se ha indicado, presenta valores muy ácidos, especialmente en los horizontes orgánicos (4,5, 4,4 y 4,7 en Hi, He y 2Hi, respectivamente), debido a la gran acumulación de restos vege

tales. Esta acidez se mantiene, aunque más atenuada, en los horizontes arcillosos (pH 5,2 en 2AC y 5,4 en 2C) como consecuencia de la iluvación de los compuestos orgánicos liberados en los horizontes superficiales. Al mismo tiempo, la capa freática, que circula por su superficie impermeable, provoca fuertes fenómenos de reducción que intensifican la acidez del suelo.

Los elementos asimilables presentan valores altos de acuerdo con el elevado porcentaje de materia orgánica de los tres primeros horizontes y del contenido en arcilla de la base del perfil. El fósforo, expresado como  $P_2O_5$ , muestra un máximo en el horizonte Hi (11,0 meq/100 g), disminuyendo posteriormente en profundidad. El  $K_2O$  presenta sus valores más altos en el horizonte Hi (69 mg/100 g), así como en la base del perfil (75 mg/100 g en 2C). Los contenidos de Ca asimilable más elevados corresponden a los horizontes orgánicos, donde se superan los 400 mg/100 g. En los horizontes arcillosos, dichos valores disminuyen hasta 329 mg/100 g en 2C. El Mg presenta una distribución diferente a los otros elementos. En el horizonte superficial muestra un valor alto (80 mg/100 g) que disminuye al pasar al siguiente, para aumentar de forma gradual en profundidad, alcanzando el máximo valor en la base del perfil (2C, 141 mg/100 g) de textura arcillosa.

La Tabla B.12 recoge las determinaciones del análisis mecánico de los horizontes 2AC y 2C, ya que el alto contenido en materia orgánica de los tres horizontes anteriores hacen poco significativos sus valores granulométricos. Los horizontes 2AC y 2C presentan una textura muy arcillosa como corresponde a un suelo de marisma. El porcentaje de arcilla aumenta en profundidad (de 63,5 % en 2AC a 72,0 % en 2C), mientras que el pequeño contenido en arenas (fina y gruesa) del horizonte 2AC (9 %) desaparece prácticamente en el 2C (1 %). Esta desaparición de arena en profundidad parece indicar que la pequeña proporción existente en 2AC, así como en los horizontes orgánicos, sea de aporte eólico.

En resumen, el perfil XXVII está constituido por una acumulación de materia orgánica con un pequeño aporte de arena eólica sobre un sustrato arcilloso, cuya granulometría es semejante a la que presenta la parte superior de los perfiles de la vera arcillosa, anteriormente comentados.

La Tabla C.12 muestra los valores de capacidad de cambio del suelo, cationes cambiabiles y grado de saturación. En ella se observan valores muy altos de la capacidad de cambio, de acuerdo con el alto contenido en materia orgánica de la parte superior del perfil y con la textura arcillosa de la inferior. El horizonte Hi presenta el máximo valor (112,0 meq/100 g), descendiendo en He (89,9 meq/100 g) para de nuevo aumentar en el siguiente horizonte 2Hi (96,0 meq/100 g). Por debajo de los horizontes orgánicos, la capacidad de cambio disminuye, manteniendo no obstante valores elevados (34,9 y 27,2 meq/100 g en 2AC y 2C, respectivamente) como corresponde a horizontes arcillosos.

La presencia de cationes de cambio no se corresponde con la alta capacidad de cambio de los horizontes. Los mayores contenidos en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  (4,5, 1,0 y 37,0 meq/100 g, respectivamente) se registran en el horizonte Hi y se mantienen o disminuyen ligeramente en los horizontes He y 2Hi. El brusco cambio textural a partir de este último horizonte, se refleja en un descenso brusco de dichos cationes (0,9, 0,6 y 12,0 meq/100 g, respectivamente) en el horizonte 2AC, que se acentúa en profundidad (0,8, 0,5 y 8,1 meq/100 g, respectivamente, en 2C). El  $\text{Mg}^{++}$ , por el contrario, presenta un valor de 8,2 meq/100 g en el horizonte superficial y aumenta a medida que se acerca al sustrato arcilloso donde alcanza el máximo valor (10,6 meq/100 g en el horizonte 2AC).

Por su proximidad a la marisma, se ha determinado la conductividad eléctrica de los diferentes horizontes a fin de conocer la salinidad del suelo, permitiendo así corregir el grado de saturación del mismo. Los valores de conductividad son relativamente bajos, con un

máximo en la parte superior orgánica del perfil de 1,49 mmhos/cm (horizonte Hi). Dicha conductividad disminuye en los siguientes horizontes He y 2Hi para aumentar en el primero arcilloso (2AC) donde alcanza el valor de 2,56 mmhos/cm. Este aumento coincide con la profundidad de la capa freática en el momento de la toma de muestras.

Puede decirse, por tanto, que la salinidad del suelo es baja, por lo que el grado de saturación será igualmente bajo de acuerdo con los valores de pH que se registran en los diferentes horizontes. En efecto, los horizontes orgánicos, con pH que oscila entre 4,4 y 4,7, presentan un grado de saturación que varía entre 45 % y 55 %. En profundidad, donde disminuye la acidez al aparecer el sustrato arcilloso, aumenta el grado de saturación hasta 69,1 % en el horizonte 2AC.

En resumen, se trata de un suelo con altos valores de capacidad de cambio catiónica, ya sea por la acumulación de materia orgánica en los tres primeros horizontes o por la textura pesada en la base del perfil. El alto porcentaje de materia orgánica así como la fuerte hidromorfía del suelo favorecen una gran acidez que condiciona un bajo grado de saturación (en ningún horizonte se alcanza el 70 %).

La Tabla D.12 recoge los valores de las determinaciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}_2$  total y libre, así como la relación libre/total. En ella se observan bajos contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y libre en los tres primeros horizontes, con un máximo de 1,32 % y 0,83 %, respectivamente, en el He, de acuerdo con la mayor alteración y humificación del material vegetal así como con el aporte que recibe del horizonte suprayacente. El tercer horizonte orgánico (2Hi), con características de horizonte superficial enterrado, presenta valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tanto total como libre similares al primero (0,62 % y 0,43 % en 2Hi frente a 0,72 % y 0,43 % en Hi, respectivamente), de acuerdo con la semejanza que existe entre ellos. En los horizontes arcillosos se produce un brusco aumento del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en su forma total, principalmente, y libre. En efec



to, el horizonte 2AC presenta un contenido de 5,00 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total que aumenta en profundidad (5,56 % en 2C). El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre muestra, asimismo, valores más altos que en los horizontes suprayacentes (0,80 % y 1,25 % en 2AC y 2C, respectivamente), aunque su aumento no sea tan espectacular como el experimentado por el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total. Estas variaciones en los valores del hierro se reflejan en la razón  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total. Los horizontes orgánicos (Hi, He y 2Hi) presentan razones altas (59,7, 62,8 y 69,3, respectivamente) que disminuyen bruscamente a partir del cambio textural (16,0 y 22,5 en 2AC y 2C, respectivamente). Puede suponerse, por tanto, que los altos valores de materia orgánica influyen decisivamente en la alteración y liberación de los óxidos de hierro en los primeros 70 cm, mientras que los bajos valores de la razón libre/total de los horizontes arcillosos podrían explicarse por la formación de complejos muy estables arcilla-humus unidos por puentes de Fe, así como por una fuerte adsorción del hierro a la fracción arcillosa, como se discutirá más adelante.

Por último, el manganeso presenta una distribución en el perfil similar a la del hierro pero con unos contenidos mucho más bajos. En efecto, los valores máximos de los horizontes orgánicos son 0,03% de  $\text{MnO}_2$  total y 0,01 % de  $\text{MnO}_2$  libre. En los horizontes arcillosos, ambos valores aumentan hasta 0,09 % y 0,03 %, respectivamente, en 2C. De todas formas, los contenidos son muy bajos de acuerdo con la pobreza del material original en este elemento, así como con su mayor movilidad a los pH que se registran en los diferentes horizontes.

TABLA A.12 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			$\text{CO}_3^{=}$	$\text{H}_2\text{O}$	ClK	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	Ca
XXVII	Hi	72,4 <sup>±</sup>	42,00	1,08	38,9	-	4,5	4,0	11	69	503	80
	He	56,3 <sup>±</sup>	32,66	1,02	32,0	-	4,4	3,7	4	13	438	71
	2Hi	75,0 <sup>±</sup>	43,50	1,12	38,8	-	4,7	3,9	3	22	545	92
	2AC	5,0	2,90	0,17	17,1	-	5,2	4,4	3	69	381	140
	2C	1,5	0,87	0,07	12,4	-	5,4	4,4	3	75	329	141

TABLA B.12 - Análisis mecánico.

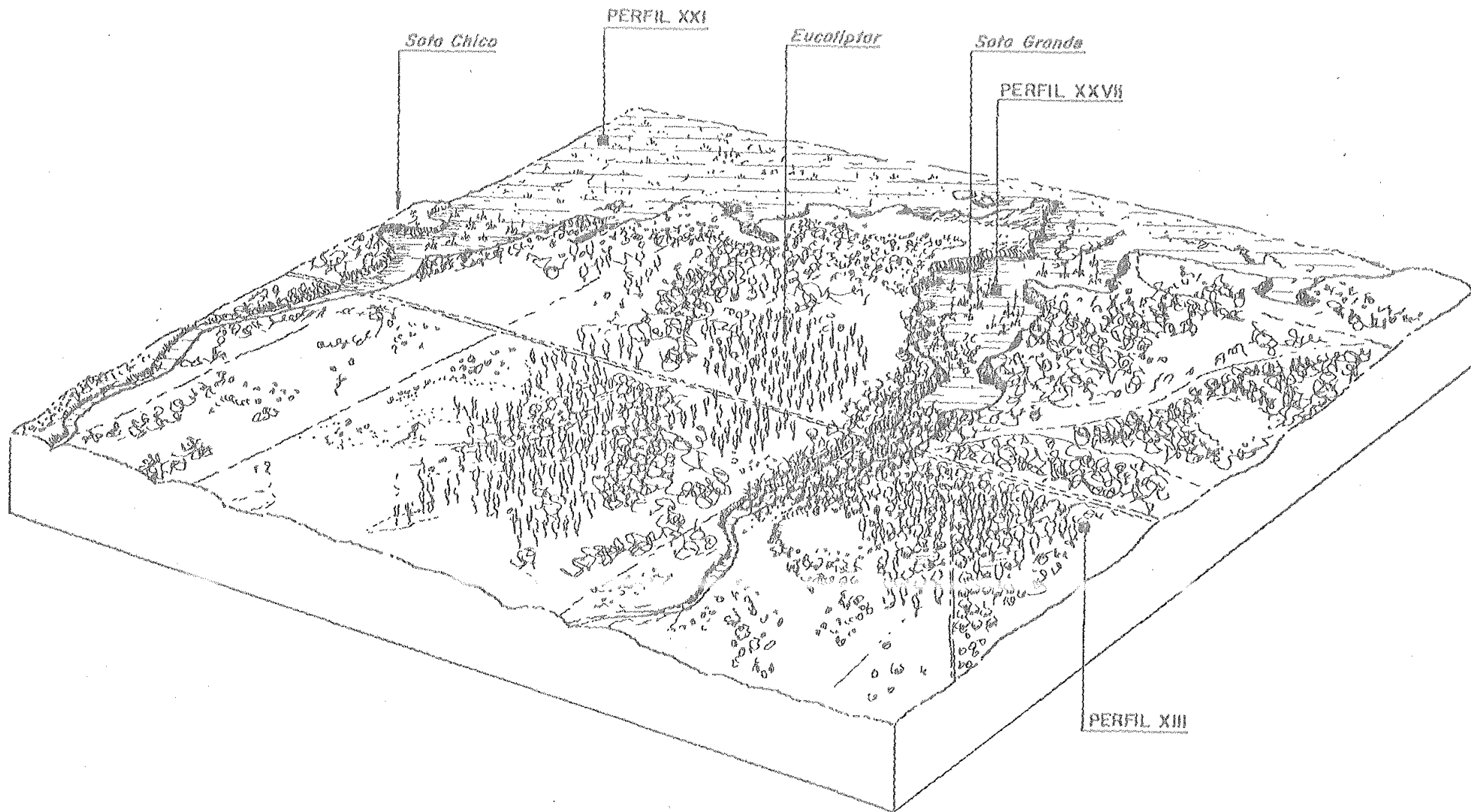
Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XXVII	li	-	-	-	-	-
	He	-	-	-	-	-
	2H1	-	-	-	-	-
	2AC	5,8	3,2	27,5	63,5	Arcillosa
	2C	0,5	0,5	27,0	72,0	Arcillosa

TABLA C.12 - Capacidad de cambio, cationes cambiabiles, grado de saturación y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					S	%	mmhos/cm
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>			
XXVII	Hi	112,0	4,5	1,0	37,0	8,2	50,7	45,3	1,49
	He	89,9	3,7	0,5	34,0	7,0	45,2	50,3	0,56
	2Hi	96,0	3,0	0,4	37,0	10,5	50,0	53,0	0,80
	2AC	34,9	0,9	0,6	12,0	10,6	24,1	69,1	2,56
	2C	27,2	0,8	0,5	8,1	6,9	16,3	59,9	0,96

TABLA D.12 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XXVII	Hi	0,72	0,43	59,7	0,02	t	-
	He	1,32	0,83	62,9	0,02	t	-
	2Hi	0,62	0,43	69,4	0,03	0,01	33,3
	2AC	5,00	0,80	16,0	0,04	0,01	25,0
	2C	5,56	1,25	22,5	0,09	0,03	33,3



C.1.2.6 EUCALIPTAR Y C.3.1.3 ARROYOS.

### C.3.2 LAGUNAS PERMANENTES

La zona de contacto entre las arenas móviles y las estabilizadas está ocupada por un rosario de lagunas que conservan el agua durante todo el año. Alrededor de dichas lagunas se establece un ecosistema particular que permite su diferenciación de las dos unidades geomorfológicas que éste delimita.

En función del período de encharcamiento, pueden distinguirse dos elementos morfoedáficos: borde y fondo de laguna. El primero está representado por los perfiles XXVIII ("Santa Olalla") y XXIX ("Borde Taraje"), y el segundo, por el perfil XXX ("Fondo Taraje"). Los tres perfiles se comentan conjuntamente debido a la estrecha relación que existe entre ellos.

La Tabla A.13 recoge los análisis químicos generales. En ella se observa un alto contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales de los suelos situados en el borde higrofitico de las lagunas. En efecto, estos suelos, caracterizados por una humedad permanente que puede transformarse en encharcamiento durante la estación más lluviosa del año, están colonizados por un denso pastizal que se renueva constantemente, aportando gran cantidad de materia orgánica. A este hecho habría que añadir el aporte de restos animales ya que el elemento morfoedáfico de borde de laguna se vé muy frecuentado por todo tipo de consumidores, especialmente grandes herbívoros. El resultado es una acumulación de materia orgánica que en el perfil XXVIII alcanza 15,9 % y en el XXIX 19,8 %. Estos altos valores se ven favorecidos por el bajo pH de los horizontes superficiales (5,1 y 5,0, respectivamente), que frena la mineralización de los compuestos orgánicos. En profundidad existe un descenso acentuado de materia orgánica en ambos perfiles hasta alcanzar valores de 0,1 % en el perfil XXVIII y 0,5 % en el XXIX. Por el contrario, el perfil XXX, tomado en el fon

do de la laguna del Taraje después de una prolongada sequía, muestra un bajo contenido en materia orgánica (2,1 % en Az) que disminuye poco en profundidad (1,0 % en Cg) debido a que la altura de la capa freática condiciona un perfil de escaso espesor.

Los altos valores de C y N están íntimamente relacionados con el contenido de materia orgánica, al mismo tiempo que con el grado de humificación de la misma. En este sentido, los porcentajes más altos corresponderán a los horizontes superficiales de los perfiles XXVIII y XXIX, descendiendo con la profundidad de forma gradual en el primero y más brusca en el segundo. El perfil XXX presenta contenidos bajos de C y N que no descienden en la medida que lo hace en los perfiles anteriores debido a la escasa profundidad del suelo.

Las razones C/N indican el grado de humificación de la materia orgánica. El valor más alto se da en el horizonte Ah de los perfiles XXVIII y XXIX (29,7 y 27,0, respectivamente) debido probablemente al aporte continuo de materia orgánica de la vegetación herbácea. El perfil XXX presenta una razón más baja (20,3) de acuerdo con la mayor humificación favorecida por el pH del suelo, superior a la neutralidad, a pesar del freno que supone la fuerte hidromorfía del medio.

Los suelos correspondientes al borde higrofitico de las lagunas presentan acidez en superficie, derivada del potente horizonte orgánico que se desarrolla en ellos. Así, el perfil XXVIII tiene un pH de 5,1 en el horizonte Ah que, tras disminuir ligeramente en el Au<sub>1</sub> (4,3), aumenta gradualmente en profundidad hasta alcanzar un valor de 5,9 en el horizonte C<sub>2</sub>, a través del cual discurre la capa freática en la estación más seca. El perfil XXIX presenta un comportamiento paralelo ya que de un pH 5,0 en el horizonte superficial (Ah) aumenta hasta 6,6 en el último horizonte (Cg), en el que igualmente se encuentra la capa freática. Esta estrecha relación del nivel freática con el aumento de los valores de pH parece indicar una cierta influencia



del agua salobre de la laguna en las propiedades de los suelos que la rodean. Esta salinidad se refleja de manera más clara en los pH del perfil XXX, situado en el fondo de la laguna del Taraje. En efecto, en este caso los valores varían desde 7,7 en superficie hasta 7,9 en profundidad, donde aparece un pequeño porcentaje (trazas) de carbonatos.

Como se observa en la Tabla A.13, el perfil XXVIII presenta contenidos en asimilables relativamente bajos, con valores máximos en el horizonte superficial (10, 60 y 7 mg/100 g de  $K_2O$ , Ca y Mg, respectivamente) que disminuyen gradualmente en profundidad hasta alcanzar otros muy pequeños (2, 8 y 1 mg/100 g, respectivamente). El  $P_2O_5$  presenta un comportamiento independiente, variando desde trazas en superficie, hasta 4 mg/100 g en el último horizonte. En cualquier caso, pueden considerarse valores bajos que reflejan una escasa fertilidad potencial.

Los perfiles XXIX y XXX muestran valores de elementos asimilables similares, debido probablemente a que pertenecen a la misma laguna (laguna del Taraje) y están sometidos, por tanto, a condiciones físico-químicas semejantes. Igual que el perfil anterior, estos dos suelos presentan el máximo contenido de asimilables en los horizontes superficiales aunque con valores muy superiores (1 y 7 mg/100 g de  $P_2O_5$ , 16 y 15 mg/100 g de  $K_2O$ , 228 y 299 mg/100 g de Ca y 62 y 67 mg/100 g de Mg, respectivamente). Estas concentraciones deben estar estrechamente relacionadas con la salinidad de la laguna, que se comentará más adelante.

La Tabla B.13 recoge las determinaciones del análisis granulométrico y la clasificación textural de los horizontes.

Los tres perfiles presentan un claro predominio de la fracción arena (gruesa y fina) sobre la fracción fina (limo y arcilla), apareciendo diferencias significativas entre los porcentajes relativos de las dos fracciones arenosas. En efecto, el perfil XXVIII presenta valores muy similares de las dos fracciones arenosas (43,5 % y 41,3 % de arena gruesa y fina, respectivamente) en el primer horizonte, aumentando notablemente los de arena gruesa en relación a la fina (62,6 % y 35,5 %, respectivamente) en el último. Los perfiles XXIX y XXX, por el contrario, presentan un mayor contenido de arena fina que de arena gruesa en superficie (54,6 % frente a 21,8 % en el perfil XXIX y 69,5 % frente a 23,5 % en el XXX). Estas proporciones se mantienen en ambos suelos salvo en el último horizonte del perfil XXIX (53,5 % de arena gruesa frente a 44,0 % de arena fina). En el perfil XXX no se produce este cambio debido probablemente a la escasa profundidad del mismo.

Por otro lado, la fracción fina presenta un máximo en los horizontes superficiales de los perfiles XXVIII y XXIX (15,2 % y 23,6 %, respectivamente). Estos porcentajes relativamente altos de dicha fracción pueden, una vez más, relacionarse con los elevados contenidos en materia orgánica además de con la captación de materiales finos en las épocas de mayor humedad. Así, la fracción fina en estos perfiles disminuye fuertemente en profundidad, alcanzando valores muy bajos en la base del perfil (1,9 % y 2,5 % en los respectivos perfiles). El perfil XXX presenta un contenido menor de limo y arcilla (2,5 % y 4,5 %, respectivamente, en los dos primeros horizontes), que está de acuerdo con el bajo porcentaje de materia orgánica (2,1 % y 1,3 %, respectivamente). En profundidad, estos valores descienden hasta otros similares a los de los perfiles anteriores.

En resumen, los tres perfiles presentan textura arenosa en

todos los horizontes salvo en el superficial de los perfiles XXVIII y XXIX, cuyas texturas son franco-arenosas.

La Tabla C.13 muestra los datos de capacidad de cambio, cationes cambiables y grado de saturación. Como ocurre en otros suelos comentados anteriormente, los valores más altos de la capacidad de cambio se dan en los horizontes superficiales, al tratarse de suelos arenosos. En efecto, en los perfiles XXVIII y XXIX se observa una elevada capacidad de cambio en el primer horizonte (18,6 y 25,0 meq/100 g, respectivamente), de acuerdo con los altos valores de materia orgánica y elementos finos ya comentados. Dicha capacidad de cambio disminuye en profundidad, alcanzando valores muy pequeños en la base del perfil (1,0 y 2,0 meq/100 g, respectivamente). Por este mismo motivo, el perfil XXX muestra bajos valores de capacidad de cambio, incluso desde la superficie (4,0 meq/100 g).

Los perfiles XXVIII y XXIX, relacionados morfoedáficamente, muestran una gran similitud en cuanto a valores de cationes cambiables y grado de saturación. Ambos suelos, condicionados por un alto contenido de materia orgánica en superficie y un pH bajo, presentan un escaso contenido en cationes cambiables, así como un bajo grado de saturación. Hay que destacar los valores de  $\text{Na}^+$  en los respectivos horizontes superficiales (2,0 meq/100 g y 3,4 meq/100 g), que podrían estar relacionados con la ligera salinidad de las aguas de las lagunas, en cuyo borde están situados ambos perfiles. Dichos suelos se empobrecen en profundidad, apareciendo los cationes a nivel de trazas. El grado de saturación se mantiene con un valor bajo y relativamente constante en profundidad, inferior al 36 % en el perfil XXVIII y al 57 % en el XXIX, salvo en la base de este último, donde aumenta hasta un 70 %, de forma paralela a como lo hace el pH (de 5,1 en AC pasa a 6,6 en Cg).

El perfil XXX presenta asimismo un contenido apreciable de  $\text{Na}^+$  (0,8 meq/100 g) en relación a su capacidad de cambio, ya que supone un 20 % de dicha capacidad y da, por tanto, al suelo un carácter sódico. El  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$  presentan asimismo valores relativamente elevados en el horizonte Az (2,4 meq/100 g y 0,8 meq/100 g, respectivamente), que se mantienen en profundidad y satural el suelo al 100 % de acuerdo, por otro lado, a los valores de pH (superiores a 7).

Los valores de cationes de cambio, así como el grado de saturación y el pH se corresponden con la fuerte evaporación y consecuente concentración en sales de las aguas de la laguna del Taraje en la época más seca. Esta circunstancia se refleja en los valores de conductividad eléctrica y sales recogidos en la Tabla E.14. Dicha tabla muestra las determinaciones realizadas en los dos perfiles más afectados por la salinidad (XXIX y XX), situados en el borde y fondo de la laguna del Taraje, respectivamente.

El primero presenta una moderada conductividad eléctrica en el horizonte superficial (1,79 mmhos/cm), causada probablemente por cierta contaminación en sales a partir de las aguas de la laguna, que alcanzan el borde durante las estaciones más húmedas. Dicha conductividad, causada principalmente por  $\text{ClNa}$ , como demuestra el contenido en aniones y cationes (3,20 meq/100 g de  $\text{Cl}^-$  y 3,30 meq/100 g de  $\text{Na}^+$ , frente a 0,36 meq/100 g de  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), disminuye bruscamente en profundidad, alcanzando valores muy bajos en la base del perfil (0,14 mmhos/cm en el horizonte Cg). Esta disminución indicaría una cierta acumulación de sales en superficie por ascensión capilar durante las épocas secas en las que existe fuerte evapotranspiración. La alta conductividad eléctrica (8,38 mmhos/cm) del horizonte superficial del perfil XXX (Fondo de laguna) parece confirmar esta circunstancia. Como en el perfil anterior, dicho valor se debe principalmente al  $\text{ClNa}$ ,

que se presenta en unas concentraciones excepcionalmente elevadas (16,41 meq/100 g de  $\text{Cl}^-$  y 13,76 meq/100 g de  $\text{Na}^+$ ). La conductividad eléctrica, así como los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  disminuyen bruscamente a partir del primer horizonte, manteniéndose relativamente constantes en profundidad (conductividad eléctrica menor de 1,5 mmhos/cm y alrededor de 2,0 meq/100 g de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en los horizontes AC y Cg).

La Tabla D.13 recoge las determinaciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}_2$  total y libre, así como la relación libre/total.

Como se ha comentado anteriormente, los perfiles XXVIII y XXIX presentan altos contenidos de materia orgánica en los respectivos horizontes superficiales, existiendo al mismo tiempo una profunda incorporación de dichas sustancias orgánicas. Quizás por este motivo los valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre son bajos en todo el perfil, no alcanzándose el 0,1 % más que en los horizontes superficiales, donde lógicamente existe una mayor alteración. Estos pobres contenidos se reflejan en las bajas razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total, que no superan el valor de 20, si se exceptúa el horizonte Ah del perfil XXVIII.

El contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total puede considerarse bajo (1,97 % en el horizonte Az del perfil XXX como valor máximo), con tendencia a disminuir en profundidad, lo que podría indicar una pérdida importante de hierro en el perfil por la actuación simultánea de la alta proporción de materia orgánica y la fluctuación de la capa freática. En el perfil XXX se observan asimismo bajos contenidos tanto de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total como libre, alcanzando el primero un máximo de 1,07 % en el horizonte AC y de 0,20 %, el segundo, en el horizonte superficial. Estos valores son una lógica consecuencia del fenómeno de reducción que se aprecia en el suelo y que se manifiesta por un fuerte olor sáprico. Las razones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total son asimismo bajas, oscilando entre 15 y 20 en superficie. Finalmente, en el último horizonte (Cg) se

aprecia un aumento de dicha razón (41,7), que se corresponde con la aparición de manchas de hidromorfía.

El  $\text{MnO}_2$  total presenta valores muy bajos que descienden a lo largo del perfil, alcanzando un máximo en los horizontes subsuperficiales de los perfiles XXIX y XXX (0,05 %). El  $\text{MnO}_2$  libre aparece sólo en forma de trazas en los tres perfiles, salvo en los horizontes superficiales de aquellos situados en la laguna del Taraje, donde alcanza los valores de 0,01 % y 0,02 %, respectivamente.

Estos valores bajos de manganeso están de acuerdo con su pobre contenido en el material original, así como con las condiciones hidromorfas de los tres perfiles.

TABLA A.13 - Determinaciones químicas generales.

Nº del perfil	Horiz.	%			C/N	%	pH		mg/100 g			
		M.O.	C	N			CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	H <sub>2</sub> O	ClK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
XXVIII	Ah	15,9 <sup>‡</sup>	9,22	0,31	29,7	-	5,1	4,1	1	10	60	7
	Au <sub>1</sub>	3,9 <sup>‡</sup>	2,26	0,12	18,8	-	4,3	3,6	3	3	27	2
	Au <sub>2</sub>	1,7 <sup>‡</sup>	0,99	0,06	16,5	-	4,7	3,8	1	2	16	1
	AC <sub>2</sub>	0,7 <sup>‡</sup>	0,41	0,04	10,3	-	4,5	3,9	1	2	16	1
	CA	0,3	0,17	0,02	8,5	-	5,0	4,1	1	2	14	4
	C <sub>1</sub>	0,2	0,12	0,02	6,0	-	5,5	4,4	2	2	8	5
	C <sub>2</sub>	0,1	0,06	0,01	6,0	-	5,9	4,7	4	2	8	1
XXIX	Ah	19,8 <sup>‡</sup>	11,48	0,42	27,0	t	5,0	4,6	1	16	228	62
	A	4,4 <sup>‡</sup>	2,55	0,18	14,2	-	5,1	4,2	1	6	73	14
	AC	0,7	0,41	0,04	10,3	-	5,1	4,5	1	3	47	7
	Cg	0,5	0,29	0,03	9,7	-	6,6	5,5	1	1	42	9
XXX	Az	2,1 <sup>‡</sup>	1,22	0,06	20,3	t	7,7	7,7	7	15	299	67
	AC	1,3	0,75	0,05	15,0	t	7,5	6,9	3	82	72	19
	Cg	1,0	0,58	0,05	11,6	t	7,9	7,2	3	1	40	8

TABLA B.13 -- Análisis mecánico.

Nº del perfil	Horiz.	%				Textura
		Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	
XXVIII	Ah	43,5	41,3	5,3	9,8	Arenosa-franca
	Au <sub>1</sub>	56,0	40,4	1,6	2,0	Arenosa
	Au <sub>2</sub>	57,1	40,0	1,3	1,6	Arenosa
	AC	63,5	35,4	0,4	0,7	Arenosa
	CA	56,9	42,0	0,4	0,7	Arenosa
	C <sub>1</sub>	66,8	32,3	0,3	0,6	Arenosa
	C <sub>2</sub>	62,6	35,5	0,8	1,1	Arenosa
XXIX	Ah	21,8	54,6	9,3	14,3	Franco-arenosa
	A	20,5	68,0	5,0	6,5	Arenosa
	AC	36,0	59,0	2,0	3,0	Arenosa
	Cg	53,5	44,0	0,5	2,0	Arenosa
XXX	Az	23,5	69,5	2,5	4,5	Arenosa
	AC	23,0	70,0	2,5	4,5	Arenosa
	Cg	43,0	54,0	1,0	2,0	Arenosa



TABLA C.13 - Capacidad de cambio, cationes cambiables y grado de saturación.

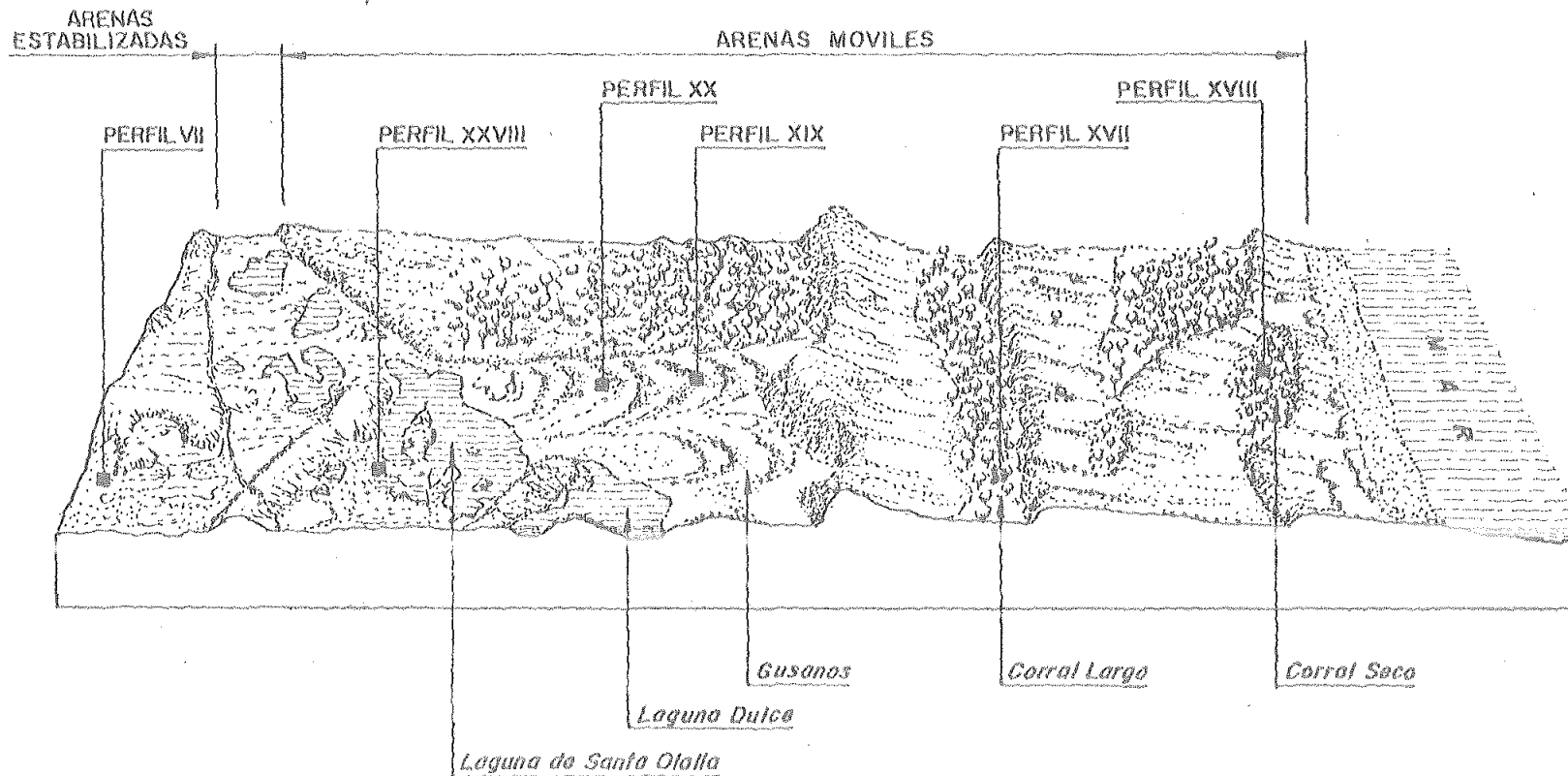
Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g					%	
		CCC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	V
XXVIII	Ah	18,6	2,0	0,2	3,3	1,1	6,6	35,5
	Au <sub>1</sub>	7,2	0,8	t	1,3	0,3	2,4	33,3
	Au <sub>2</sub>	3,7	t	t	1,0	0,3	1,3	35,1
	AC	2,6	t	t	0,5	0,3	0,8	30,8
	CA	2,6	t	t	t	t	t	-
	C <sub>1</sub>	1,0	t	t	t	t	t	-
	C <sub>2</sub>	1,0	t	t	t	t	t	-
XXIX	Ah	25,0	3,4	0,1	5,5	3,4	12,4	49,6
	A	6,0	1,0	0,1	1,5	0,8	3,4	56,7
	AC	2,5	0,3	t	0,5	0,3	1,1	44,0
	Cg	2,0	0,3	t	1,0	0,1	1,4	70,0
XXX	Az	4,0	0,8	t	2,4	0,8	4,0	100
	AC	4,0	0,8	t	2,5	0,7	4,0	100
	Cg	2,0	0,5	t	0,9	0,6	2,0	100

TABLA D.13 - Determinaciones de hierro y manganeso.

Nº del perfil	Horiz.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		libre/total	MnO <sub>2</sub> (%)		libre/total
		total	libre		total	libre	
XXVIII	Ah	0,77	0,30	40,0	0,03	t	-
	Au <sub>1</sub>	0,49	0,07	14,3	0,03	t	-
	Au <sub>2</sub>	0,50	0,07	14,0	0,02	t	-
	AC	0,36	0,05	13,9	0,02	t	-
	CA	0,24	0,03	12,5	0,01	t	-
	C <sub>1</sub>	0,10	0,02	20,0	t	t	-
	C <sub>2</sub>	0,20	0,04	20,0	t	t	-
XXIX	Ah	1,97	0,39	19,8	0,04	0,01	25,0
	A	1,10	0,18	16,4	0,05	t	-
	AC	0,31	0,08	25,8	0,02	t	-
	Cg	0,22	0,06	27,3	0,01	t	-
XXX	Az	0,97	0,20	20,6	0,04	0,02	50,0
	AC	1,07	0,17	15,9	0,05	t	-
	Cg	0,24	0,10	41,7	0,01	t	-

TABLA E.13 - Determinaciones de sales y conductividad eléctrica.

Nº del perfil	Horiz.	meq/100 g				mmhos/cm
		CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.e (suelo)
XXVIII	Ah	-	-	-	-	-
	Au <sub>1</sub>	-	-	-	-	-
	Au <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
	AC	-	-	-	-	-
	CA	-	-	-	-	-
	C <sub>1</sub>	-	-	-	-	-
	C <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
XXIX	Ah	0,36	3,20	3,30	0,16	1,79
	A	0,18	2,80	0,70	0,06	0,82
	AC	0,36	0,40	0,32	0,04	0,41
	Cg	0,36	0,20	0,14	0,03	0,14
XXX	Az	0,91	16,41	13,76	0,21	8,38
	AC	0,36	1,00	1,90	0,05	1,01
	Cg	0,18	3,00	1,80	0,04	1,72



C.2 ARENAS MOVILES Y C.3.2 LAGUNAS PERMANENTES

VIII. DISCUSSION

Cierto que casi siempre se encuentra algo si se mira, pero no siempre es lo que uno busca.

(J.R. Tolkien)

En el capítulo anterior se han expuesto y comentado un conjunto de datos correspondientes a los perfiles representativos de las principales formaciones edáficas desarrolladas en las distintas unidades geomorfológicas diferenciables en las arenas del Parque Nacional de Doñana. Concretamente, se han estudiado treinta perfiles de suelos, de los cuales veintisiete corresponden a diferentes grados de desarrollo edáfico sobre arenas eólicas provenientes, en general, de la erosión por el mar del farallón costero. Los tres restantes están formados a partir de los sedimentos aluviales que constituyen el relleno del antiguo estuario del Guadalquivir durante el Cuaternario reciente, en fases principales de sedimentación y otras que podrían considerarse secundarias, después de fenómenos de erosión, transporte y deposición. Todos estos procesos adquieren una gran importancia por su dinámica, ya que son determinantes de la geomorfología actual y se reflejan en las características morfológicas de los perfiles (Bellinfante y col., 1970).

Una interpretación correcta de la génesis y evolución de los suelos requiere considerar los factores ecológicos que condicionan su

desarrollo (Duchauffour, 1968; Tricart y Michel, 1965; Strahler, 1977; Jenny, 1983; Birkeland, 1984 y otros). Los principales factores condicionantes de la evolución edáfica dentro de las arenas del Parque Nacional de Doñana son el material original, geomorfología, clima y vegetación.

En general, los suelos arenosos presentan un perfil poco evolucionado debido a su juventud y a la escasa alterabilidad del material original (arenas silíceas). Por tanto, y de forma general, los suelos no presentan horizonte B de alteración ni acumulación; esto es, el perfil es de tipo AC, diferenciándose unos de otros en la potencia del horizonte orgánico y en la intensidad del proceso de hidromorfía, dependiente de la profundidad de la capa freática.

Los suelos arcillosos desarrollados a partir de los sedimentos aluviales muestran, igualmente, poca diferenciación en el perfil debido fundamentalmente a su juventud.

Quizás sea el factor geomorfológico el principal responsable del distinto grado de desarrollo de los suelos, desde el momento en que condiciona los dos procesos edáficos fundamentales de la evolución en la zona de estudio: la hidromorfía y la acumulación de la materia orgánica, relacionada esta última con la densidad de la cobertura vegetal (Clemente y col., 1984).

El clima, clasificado anteriormente como seco subhúmedo según Thorntwaite (1948), define el régimen de humedad del suelo como xérico, salvo en aquellas situaciones en las que la proximidad a la superficie de la capa freática permita definirlo como ácrico. En este caso aparecen condiciones reductoras en el perfil, favorecidas generalmente por el mayor desarrollo vegetal.

Ligada a estos dos factores (geomorfología y régimen de humedad), la vegetación tiene un papel fundamental en el distinto grado



de desarrollo del perfil, ya que es la responsable directa del proceso de acumulación de materia orgánica en el suelo, que llega a generar horizontes orgánicos con la potencia y riqueza suficientes como para definir epipedones úmbrico, móllico e incluso hístico, que sirven de diagnóstico en la clasificación del suelo.

La acción conjunta de los factores ecológicos y su intensidad, se reflejan en el diferente grado de desarrollo de los perfiles de suelo estudiados, que corresponden a los distintos elementos morfoedáficos presentes en las arenas del Parque Nacional de Doñana.

Los perfiles se van a discutir con el mismo orden que se ha seguido en el capítulo anterior de comentarios, esto es, agrupados en primer lugar, en función a las tres grandes unidades geomorfológicas (arenas estabilizadas, arenas móviles y zonas de contacto).

Las subunidades resultantes de la división de cada unidad se discuten a su vez por separado, incluyendo la clasificación de los perfiles representativos de los distintos elementos morfoedáficos, estableciéndose al final de cada una de ellas un cuadro evolutivo teórico.

### VIII.1 ARENAS ESTABILIZADAS

Como se ha señalado en el capítulo de Geomorfología, la unidad de arenas estabilizadas ocupa casi un 80 % de la superficie total de la zona arenosa del Parque Nacional de Doñana. Al ser el modelado más abundante y antiguo, presenta mayor variación y por tanto comprende el conjunto más numeroso de perfiles. Por ello, dicha unidad presentará catenas de evolución largas, ramificadas y complejas.

Las arenas estabilizadas han sido divididas en tres subunidades geomorfológicas, en función a su diferente morfología y origen: Naves, Manto arrasado y Cordones de la Marismilla.

#### NAVES

La subunidad geomorfológica "Naves", situada al SW del Parque, presenta un modelado dunar bien conservado constituido por una serie de frentes paralelos y fijados actualmente por una vegetación de tipo xerofítico debido a la gran profundidad de la capa freática (más de tres metros). La morfología dunar presenta un aspecto lineal según la clasificación de McKee (1979), cuyo origen podría estar en la deformación de brazos de antiguas dunas parabólicas (Zazo, 1980). Estas dunas presentan una dirección aproximada N-S que indica un predominio de vientos de componente más de poniente que los actuales.

Hacia el norte las naves conectan suavemente con el manto arrasado y de forma abrupta (desnivel de 8 a 10 m) hacia el este, donde se establece un rosario de pequeñas lagunas temporales entre las que destacan el Navazo del Toro, Ojillo, Moral, etc.

En función del relieve que presenta, se han diferenciado tres elementos morfoedáficos, alto, ladera y bajo de nave, representados respectivamente por los perfiles I, II y III.

Los perfiles I y II ("Control" y "Nave moteada", respectivamente) corresponden a suelos poco evolucionados con escaso desarrollo morfológico, en los que apenas se distingue un horizonte A con pobre contenido en materia orgánica sobre el material original, constituido por arenas silíceas difícilmente alterables.

El bajo contenido en carbono orgánico (0,66 % y 0,76 %, respectivamente) y la baja razón C/N (11,0 y 10,8, respectivamente) indican una rápida mineralización de la materia orgánica y un humus de tipo mull que por el grado de saturación y valor de pH (ligeramente inferior a 6 el primero y a 6,3 el segundo) conviene al subtipo mull forestal poco desarrollado (Duchaufour, 1973).

Las arenas del material original están constituidas fundamentalmente por granos de cuarzo acompañados por otros minerales tales como granate, circón, rutilo, andalucita, etc., cuyo tamaño oscila entre los de arena fina y media (Pena, 1978). La mayoría de los granos se encuentran rodeados por una cutícula ferruginosa con distribución dermática y básicamente granular (Eswaran y Baños, 1976) sin cohesión entre ellos, ya que no existe plasma arcilloso en la matriz.

La escasa evolución del suelo, reflejada en la morfología de ambos perfiles, especialmente en el perfil I, no permite definir ningún horizonte de diagnóstico, salvo un inicio de epipedón ócrico, lo que obliga a clasificarlos en el orden Entisol (Soil Taxonomy, 1975). Dentro de los Entisoles, los suelos pertenecen al suborden Psamment por tener textura arenosa hasta una profundidad superior a un metro. El análisis mineralógico de la fracción arena muestra un porcentaje de cuarzo y minerales no alterables ligeramente inferior al 95 %.

(CEBAC, 1978), umbral exigido para el gran grupo de los Quartzipsamment. Por ello, y en función del régimen de humedad xérico que presentan, ambos perfiles han sido clasificados como Xeropsamments.

El perfil I representa la situación menos hidromorfa, con nivel freático a más de 3 m de profundidad. Este hecho favorece una saturación en bases ligeramente alta, superior al 60 % entre los 25 y 75 cm, que aumenta con la profundidad, lo que permite su clasificación a nivel de subgrupo como Typic Xeropsamment.

Por el contrario, el perfil II presenta un grado de saturación del complejo de cambio por debajo del 60 % a partir de los 20 cm de profundidad (carácter dístrico). Esta desaturación es debida a un proceso de hidromorfía no muy intenso, que se refleja en pequeñas manchas de óxido-reducción por encima de un metro de profundidad (carácter ácuico). Las demás características son semejantes al suelo anterior, por lo que se clasifica como Aquic-Dystric Xeropsamment.

El perfil III, como se ha indicado, es representativo de las zonas bajas del área de dunas fijas, correspondiendo a un enclave de máxima depresión. Quizás la diferencia fundamental con los suelos anteriores se encuentre en el contenido de materia orgánica del horizonte A (7,5 % frente a 1,3 %). Este contenido más alto es consecuencia de la mayor humedad del suelo, ya que la capa freática afecta a la base del perfil y por capilaridad a parte de los horizontes superiores. En efecto, entre 50 y 150 cm de profundidad aparecen señales de hidromorfía que definen un horizonte Cg.

El mayor contenido en materia orgánica se refleja en un elevado porcentaje de carbono orgánico, cuyo proceso de mineralización se encuentra dificultado por la acidez del medio (pH 5,0 en el horizonte A). Este hecho se refleja en una elevada razón C/N (24,2), que define un humus de tipo moder, subtipo hidromoder por las características hidromorfas del perfil.

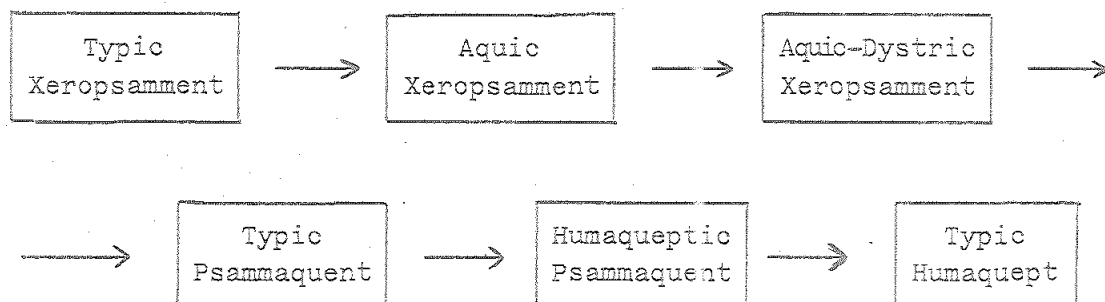
El grado de desarrollo del perfil no permite definir ningún horizonte claro de diagnóstico ya que aún cuando el horizonte superficial cumple las exigencias de color y grado de saturación (menor al 50 %) del epipedón úmbrico, su potencia no alcanza los 25 cm necesarios. Por ello, el perfil se clasifica dentro del orden Entisol y por tener un régimen de humedad ácuico, en el suborden Aquent. La textura arenosa hasta por lo menos un metro de profundidad cataloga al suelo como Psammaquent y la tendencia hacia el desarrollo de un epipedón úmbrico como Humaqueptic Psammaquent.

Como se desprende de la discusión de los diferentes perfiles existe una íntima relación entre geomorfología, suelo y vegetación. La geomorfología condiciona la profundidad de la capa freática, que a su vez influye decisivamente en el desarrollo de la vegetación. Ambos, capa freática y vegetación, son responsables directos de los dos procesos edáficos fundamentales en la subunidad geomorfológica de Navas: hidromorfía y acumulación de materia orgánica. Por ello, es la geomorfología el principal factor ecológico que condiciona la evolución de los suelos, pudiéndose enmarcar dicha evolución en la dinámica geomorfológica del área. De esta forma se establece una secuencia evolutiva que va desde los enclaves más elevados con escaso desarrollo vegetal y profunda capa freática hasta los más deprimidos, con densa cobertura y alto nivel freático (Maman'in, 1979).

A pesar del largo tiempo de evolución de los suelos (las navas constituyen un sistema antiguo de dunas estabilizadas), el desarrollo edáfico ha sido escaso debido a la poca alterabilidad del material original y a la profundidad del nivel freático (es la subunidad de cotas más altas), no existiendo horizontes de alteración ni de acumulación. Los perfiles, como ya se ha discutido, se clasifican en el orden menos evolucionado (Entisol), salvo aquellos en los que por definirse un epipedón úmbrico puedan clasificarse en el orden Inceptisol.

Si bien los perfiles I, II y III son los más representados, respectivamente, en cada uno de los tres elementos morfoedáficos que integran la subunidad geomorfológica de naves (alto, ladera y bajo), los sondeos realizados en cada uno de ellos permiten adivinar una serie de estadios intermedios poco extendidos. En primer lugar, debe admitirse la existencia de suelos ligeramente hidromorfos, en transición hacia el perfil II de ladera, en los que la intensidad del proceso de hidromorfía no es suficientemente alto para desaturar el complejo de cambio por debajo del 60 % en ninguna parte del perfil (Aquic Xeropsamment). Hacia los enclaves más deprimidos, la importancia de la hidromorfía aumenta hasta el punto de poderse definir el suborden Aquent. Sin embargo, la escasa cobertura no permite el desarrollo importante de horizontes orgánicos (ver anexo de sondeos), por lo que hay que admitir la presencia de Typic Psammaquent como transición hacia el perfil III. Finalmente, en este último perfil, el horizonte A cumple todas las características del epipedón úmbrico, salvo la del espesor aún cuando se encuentra muy cerca del exigido. Por ello, aunque constituyendo excepción en el área de naves, la existencia de Typic Humaquent debe considerarse como estadio de máximo desarrollo de esta subunidad geomorfológica.

En resumen, a partir de lo anteriormente expuesto, la evolución edáfica en el área de naves puede establecerse según la siguiente catena, resaltando que el predominio corresponde a los primeros estadios:



## MANTO ARRASADO

La segunda subunidad que compone las arenas estabilizadas (manto arrasado) presenta como característica general un nivel más alto de la capa freática. Sus fluctuaciones indican un máximo de alejamiento de la superficie en el mes de septiembre y un mínimo en los de febrero y marzo. Según Ramírez y col. (1977), las variaciones máximas detectadas fueron de alrededor de 100 cm, por lo que postulan la existencia de un solo manto freático. Sin embargo, la densa red de sondeos realizada en este estudio ha permitido observar fluctuaciones superiores a 1 m en varios puntos, y hasta más de tres metros en el enclave donde se sitúa el perfil VIII ("Alcornoque Mahón"), después del largo período de sequía ocurrido entre 1981 y 1983. Estas variaciones condicionan la vegetación tanto en diversidad como en densidad, estando ocupadas las zonas altas y laderas por especies poikilohídricas (soportan grandes fluctuaciones de potencial hídrico) y las zonas más deprimidas por otras estenohídricas que, al no resistir grandes variaciones del potencial hídrico, ocupan zonas con estrecho rango de fluctuación de la capa freática (Ramírez y col., 1977). Teniendo en cuenta que la disponibilidad de agua es el factor determinante del tipo de vegetación, es de esperar que la cobertura de cada una de las especies esté correlacionada negativamente con su potencial hídrico (Ramírez y col., 1977). Sólo ciertas especies (algunas Ericáceas) muestran la correlación esperada (mayor stress/menor cobertura), por lo que dicho autor apunta la existencia de dos óptimos en una planta, el ecológico y el fisiológico (Helleberg, 1963). Si los óptimos coinciden, se produce el caso de especies con correcta correlación; sin embargo, en la mayoría de los casos, el óptimo ecológico está desplazado del óptimo fisiológico hacia situaciones más áridas. Este desplazamiento podría ser debido a fenómenos de competencia y, sobre todo, al efecto de otros factores relacionados con la capa freática (Ramírez y col., 1975). Por ello, dentro del manto arrasado,

donde las fluctuaciones del nivel freático son menores que en la sub unidad anterior, cabe esperar una buena relación entre aquél y la cobertura vegetal que, en definitiva, sería la responsable directa de la formación y potencia del horizonte orgánico sobre el material arenoso original.

Las arenas presentan una mineralogía semejante a la del área de "Naves", ya que están compuestas por un alto porcentaje (ligeramente inferior al 90 %) de granos de cuarzo redondeados y recubiertos, en las partes altas, por una película de óxidos de hierro que les dan un color amarillo-anaranjado. Dicha película ferruginosa sufre una redistribución en forma de manchas cuando aparecen los primeros síntomas de hidromorfía. Al intensificarse ésta en los enclaves más deprimidos, los óxidos de hierro son evacuados del perfil, adquiriendo la arena un color blanco-grisáceo.

Desde un punto de vista geomorfológico, el manto arrasado está compuesto por una serie de frentes dunares antiguos y erosionados con sentido de avance W-E. Concretamente, dentro del manto arrasado correspondiente al Parque Nacional de Doñana, Pou (1977) describe hasta 3 generaciones dunares distintas, en función de ligeros cambios en la dirección del viento.

De no existir cubierta vegetal, las arenas se movilizarían en un proceso de dunización idéntico al que originó las dunas móviles (García Novo, 1981). Sin embargo, su presencia hace que la acción del viento signifique una erosión de las crestas o altos de dunas ya que éstas se encuentran cubiertas sólo por una vegetación rala y baja. A esta erosión eólica se sumaría otra hídrica por aguas de escorrentía, preponderando la primera en las pendientes mayores, y la segunda en las partes bajas (García Novo, 1981). En éstas se establece un sistema de drenaje laberíntico que descarga en dos direcciones preferentes: hacia el E en pequeños emisarios de tamaño variable que vierten en la



marisma, y hacia el S, en las lagunas peridunares consideradas permanentes, entre las que se desarrolla en años particularmente lluviosos un gran canal de comunicación que, por el caño del Peral, vierte finalmente en la marisma (García Novo, 1981).

El efecto global de estos procesos erosivos es el suavizado del modelado y un encajamiento local de los cauces en sus tramos últimos antes de desembocar en la marisma. Alrededor de las zonas de desagüe de las arenas se produce la precipitación del hierro lavado en las depresiones, originándose suelos muy característicos en los que se desarrollan costras ferruginosas que serán discutidas más adelante.

Debido a la gran extensión del manto arrasado, aparece una mayor variedad de situaciones geomorfológicas que definen distintos elementos morfoedáficos. La diversidad de suelos es, por tanto, superior a la discutida en el caso de las "Naves" y como consecuencia las catenas de evolución edáfica serán más largas y complicadas.

En primer lugar se definen tres elementos morfoedáficos equiparables a los de la subunidad geomorfológica de Naves: Alto, Ladera y Bajo de dunas. La diferencia fundamental es que mientras en el caso anterior el predominio correspondía a las zonas altas, en el manto arrasado las situaciones de depresión tienen una mayor extensión, existiendo enclaves muy hidromorfos con una gran cobertura vegetal y suelos en los que se desarrollan horizontes orgánicos muy potentes que en ocasiones superan el metro de espesor. Dentro de la zona deprimida se reconoce un cuarto elemento morfoedáfico denominado "Bosque conservado" donde tanto la vegetación como el suelo han tenido un largo tiempo de evolución, alcanzando una etapa muy próxima al clímax.

Por otro lado, en el manto arrasado aparecen depresiones de distintos tamaños que funcionan como lagunas temporales y que constituyen un nuevo elemento morfoedáfico. Dicho elemento tiene su origen

en antiguos corrales de fondos deprimidos que, al corresponder con el nivel de la capa freática se inundaban de forma casi permanente si se tiene en cuenta, además, que estos enclaves constituían zonas de descarga de los acuíferos, de la misma forma que ocurre actualmente en el sistema de dunas móviles (Vela, 1984). Debido a este proceso de inundación, los corrales fueron sedimentando elementos finos hasta constituirse un fondo arcilloso impermeable. Dicho fondo permitió el funcionamiento de los corrales más húmedos como lagunas temporales, cuando descendió de forma general el nivel freático como consecuencia del relleno de la marisma y del cambio climático hacia períodos más secos.

Durante las épocas húmedas ha continuado la sedimentación de elementos finos eólicos que han determinado la formación de un horizonte arcilloso sobre el que se establece una vegetación herbácea en la época seca. Esta vegetación aporta gran cantidad de materia orgánica que modifica la textura superficial de dicho horizonte.

El resultado actual es la presencia de una discontinuidad litológica sobre las arenas que influyen decisivamente en la evolución y clasificación de los suelos de este elemento morfoedáfico.

Finalmente, la zona norte del manto arrasado está ocupada por un eucaliptar de reciente implantación sobre un modelado dunar prácticamente irreconocible, en el que el suelo se caracteriza por la presencia, a una profundidad no superior a 2 m, de una discontinuidad litológica constituida por arenas basales de edad plio-villafranquiense. Dicha discontinuidad se hace más superficial cuanto más al norte, hasta aflorar en algunos enclaves del extremo norte del Parque Nacional, pudiéndose establecer una catena de evolución en función a dicho accidente geográfico.

Los elementos alto, ladera y bajo de duna constituyen una secuencia geomorfológica que se refleja en la evolución del suelo, hasta

el punto de que, igual que en la subunidad "Naves", los perfiles que constituyen dichos elementos forman una catena de evolución. Como se ha indicado, estos elementos morfoedáficos corresponden a diferentes frentes difícilmente reconocibles sobre el terreno debido a la erosión que presentan. A pesar de pertenecer a frentes dunares distintos, los altos y laderas de dunas son semejantes en todos ellos, como se ha demostrado a través de los sondeos realizados. Por ello, cualquier perfil perteneciente a cada uno de estos dos elementos es representativo del conjunto. Sin embargo, los bajos de dunas, por su mayor desarrollo edáfico, muestran diferencias entre los diferentes frentes debido fundamentalmente a la profundidad de la capa freática, más superficial hacia el sur. Por todo esto, los elementos morfoedáficos alto y ladera de duna están representados cada uno por un perfil (IV y V, respectivamente), mientras que en el bajo de duna se estudian tres perfiles con distinto grado de desarrollo (VI, VII y VIII).

El perfil IV, situado en cresta de duna estabilizada, representa el primer estadio evolutivo de la catena edáfica que definen los perfiles anteriormente mencionados. Es un suelo muy poco desarrollado debido a que la profundidad de la capa freática (más de 3 m en la época seca) no produce señales de hidromorfía ni favorece la formación de un horizonte orgánico bien desarrollado. En efecto, el primer horizonte muestra sólo un 0,8 % de materia orgánica que, unido al bajo valor de la razón C/N (11,5) y a los valores de pH y grado de saturación, clasifica el humus como mull forestal poco desarrollado (Duchaufour, 1975).

La principal diferencia con el perfil I, correspondiente a una situación similar en el área de "Naves", estriba en el menor grado de saturación del complejo de cambio. Esta desaturación es consecuencia de un proceso de lavado más intenso, debido a la mayor antigüedad de las arenas del manto arrasado y a la intensidad de los procesos

erosivos que en ellas se han producido. Estos hechos se ponen de manifiesto a través de los bajos valores de hierro, tanto en su forma total como libre.

Igual que en el caso de las "Naves", los suelos de altos de dunas (perfil IV) pueden clasificarse como Xeropsamments ya que cumplen las especificaciones comentadas anteriormente para este gran grupo. Por otro lado, al presentar una saturación menor del 60 % entre 25 y 75 cm, se incluye dentro del subgrupo Dystric Xeropsamment.

El perfil V es representativo de los suelos de laderas de dunas fijas. Son suelos escasamente desarrollados debido a la inalterabilidad del material original (arenas fundamentalmente cuarcíticas). Sin embargo, la mayor cercanía de la capa freática a la superficie (detectada a 85 cm en febrero de 1985) provoca un proceso de hidromorfía suficientemente acentuado como para diferenciar morfológicamente horizontes con manchas de óxido-reducción de hierro a partir de los 70 cm de profundidad. La humedad más acentuada favorece un mayor desarrollo de la vegetación y un más alto contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, que alcanza el valor de 1,5 %.

El humus de dicho horizonte es de tipo mull forestal (tendente a moder) que, al tener un pH muy ácido (4,8) y un bajo grado de saturación, pertenece al subtipo oligotrofo. Como se ha apuntado, a consecuencia del proceso de hidromorfía, existe una movilización hacia la profundidad de los óxidos de hierro que rodean los granos de arena del horizonte C, como se demuestra por la distribución de los valores de  $Fe_2O_3$  libre en el perfil. El hierro movilizado se concentra a partir de los 75 cm en forma de manchas, típicas de los horizontes hidromorfos.

Esta circunstancia es la diferencia fundamental con los perfiles I y IV, por lo que hasta nivel de gran grupo la clasificación

será idéntica, esto es, Xeropsamment. La hidromorfía a menos de 1 m de profundidad unida al bajo grado de saturación clasifican el suelo como Aquic-Dystric Xeropsamment.

Los perfiles VI, VII y VIII corresponden a suelos desarrollados en las zonas deprimidas del manto arrasado. Estos suelos suponen estadios más evolucionados que se reflejan en la potencia del horizonte orgánico, dividido en dos subhorizontes en los dos primeros, y en cinco subhorizontes en el tercero, presentando un contenido superior al 5,0 % de materia orgánica en los subhorizontes superficiales. El perfil VI es el que presenta, dentro de este grupo, el mayor contenido en materia orgánica, con un valor de 9,0 % en el horizonte  $Au_1$ . La elevada razón C/N que muestran los horizontes  $Au_1$  y  $Au_2$  (30,7 y 27,5, respectivamente) conviene a un humus de tipo Mor, lo cual no coincide con los valores de pH (5,2) y de saturación en bases en superficie (48,7 %), que deberían ser menores. Este hecho puede ser debido a la intensa hidromorfía existente que retrasa notablemente el proceso de mineralización, por lo que el humus debe clasificarse como moder subtipo hidromoder, tendente a hidromor. El gran desarrollo del horizonte orgánico, con un espesor superior a los 25 cm, permite identificar en el perfil un epipedón definido como úmbrico, al no alcanzar el 50 % de saturación.

El material arenoso subyacente, al que se pasa a través de un horizonte de transición AC, presenta un color blanquecino debido a la casi total movilización y evacuación de los óxidos de hierro libres (contenido menor de 0,05 %). Este empobrecimiento en  $Fe_2O_3$  libre impide la formación de manchas de óxido-reducción a pesar del carácter ácuico que presenta el régimen de humedad provocado por la cercanía a la superficie de la capa freática.

La presencia del epipedón úmbrico significa un grado mayor de evolución, lo que permite clasificarlo como Inceptisol. El régimen de humedad ácuico, unido al epipedón úmbrico, lo define como Humaquept que, por observar las características centrales de este gran grupo puede denominarse como Typic Humaquept.

El perfil VII, situado asimismo en el elemento morfoedáfico "bajo de duna", presenta características semejantes al perfil anterior. En efecto, el horizonte orgánico, de 50 cm de potencia (frente a 45 cm en el perfil VI), se subdivide igualmente en dos subhorizontes,  $Au_1$  y  $Au_2$ . En estos, el contenido en materia orgánica es ligeramente inferior al caso anterior (8,8 % y 2,6 %, respectivamente) mientras que la razón C/N es algo más elevada (31,9 y 30,2 frente a 30,7 y 27,5, respectivamente). Por otro lado, el pH es ligeramente superior en superficie (5,5 frente a 5,2), pero mientras en el perfil VI disminuía en profundidad, en el VII aumenta hasta alcanzar un valor de 8,1 en el último horizonte. Este hecho se refleja en la saturación en bases que, aunque muestra un valor semejante en superficie al del perfil VI (49,3 frente a 48,7 %), aumenta en profundidad hasta alcanzar el 100 % a partir de los 110 cm. De todas formas, la similitud de las características químicas del horizonte orgánico definen, como en el perfil anterior, un humus de tipo moder hidromorfo.

El gran desarrollo del horizonte orgánico (más de 25 cm de espesor) permite identificar un epipedón móllico por cumplir además con las características de color Munsell exigidas y con el contenido de C orgánico (5,10 %) y saturación en bases (superior al 50 % en los primeros 25 cm de suelo, aumentando hacia la base). Igual que en el perfil VI, este suelo presenta un fuerte lavado de óxidos de hierro libres en profundidad, por lo que los horizontes van adoptando colores más claros hacia la base del perfil. Debido a la fluctuación del nivel freático y a la movilización de los óxidos de hierro aparecen

manchas de hidromorfía en profundidad, lo que confiere al suelo un régimen de humedad ácuico. La presencia del epipedón mólico con régimen de humedad ácuico clasifican al suelo como Aquoll que cumple las especificaciones del Typic Haplaquoll.

El perfil VIII, semejante por su situación geomorfológica a los dos perfiles anteriores (VI y VII), presenta por el contrario, una morfología diferente. Esta diferencia estriba básicamente en la presencia de un horizonte orgánico de 130 cm de potencia, que ha sido dividido en 5 subhorizontes, de los cuales, los tres primeros suponen una discontinuidad respecto al resto del perfil. Este suelo refleja una práctica muy usada en la zona antes de convertirse en Parque Nacional, como es la quema de brezales para su rejuvenecimiento y mayor aprovechamiento como pasto. En efecto, en el contacto del enterramiento, especialmente en el horizonte  $Au_2$ , se aprecian restos de tallos y raíces carbonizadas. El porcentaje de materia orgánica evidencia asimismo la existencia de una discontinuidad en los horizontes orgánicos ya que sufre un aumento brusco entre los horizontes  $Au_2$  y  $2Au_1$  (2,1 % y 3,4 %, respectivamente). La razón C/N experimenta asimismo un aumento entre ambos horizontes (de 24,4 pasa a 32,8), alcanzando un valor incluso más alto que el de superficie (31,1). Esto puede deberse a que la parte quemada y posteriormente enterrada muestra una mayor hidromorfía, que frena el proceso de mineralización, favorecida, por otro lado, por el aumento de pH que se produce a partir de dicho horizonte (de 4,6 en  $Au_2$  pasa a 5,2 en  $2Au_1$ ).

El tipo de humus que presenta el perfil VIII corresponde, igual que en los dos perfiles anteriores, a un moder hidromorfo, a pesar de que los valores de la razón C/N y del grado de saturación sean algo más elevados.

El fenómeno de hidromorfía en el perfil, además de favorecer una densa cobertura vegetal con el consiguiente aporte de restos orgánicos, se refleja hacia la profundidad en una decoloración de las arenas más profundas por la pérdida de la cutícula de óxidos de hierro que recubrían dichos granos. Los óxidos así lavados en la época húmeda son evacuados y no sufren concentración en forma de manchas o concreciones en los horizontes del perfil.

El espesor del horizonte orgánico en el perfil VIII, permite diferenciar un epipedón que, por cumplir con el espesor y colores apropiados y presentar una saturación en bases menor del 50 %, puede definirse como úmbrico. Dicho epipedón clasifica al suelo dentro del orden Inceptisol. El régimen de humedad se define como xérico ya que no se aprecian manchas de hidromorfía y el nivel freático se encuentra más profundo que en los perfiles VI y VII. El suelo se clasifica, entonces, dentro del gran grupo Xerumbrept. La excepcional potencia del horizonte orgánico (130 cm) y la irregularidad en el descenso de los valores de materia orgánica a lo largo del perfil se reflejan, respectivamente, en los subgrupos Pachic y Cumulic, por lo que el suelo se clasifica finalmente como Cumulic Pachic Xerumbrept.

El perfil IX corresponde a un suelo representativo de enclaves muy localizados (Encinillas Altas, Encinillas Bajas, El Camellero, etc.), donde perdura el antiguo bosque potencial. El conjunto de dichos enclaves definen un nuevo elemento morfoedáfico que se ha denominado "Bosque potencial".

La gran densidad en la cobertura vegetal genera un microclima favorecedor de la acumulación de restos vegetales que originan un horizonte O (FAO, 1977). La fermentación de dichos restos produce una serie de ácidos orgánicos con alta proporción de radicales libres -COOH (Martín y col., 1981), que confieren al suelo una extrema acidez (pH



inferior a 4 en los horizontes O y Au<sub>1</sub>). A estos bajos pH, la actividad biológica se encuentra muy ralentizada, por lo que el proceso de humificación es muy lento. La razón C/N será, por tanto, muy elevada en los dos primeros horizontes (37,8 y 26,6, respectivamente) lo que, unido al bajo grado de saturación (menor del 10 % en esos mismos horizontes), define un humus de tipo mor. La relativa cercanía a la superficie del nivel freático provoca condiciones de hidromorfía suficientes para clasificarlo en el subtipo hidromor. La acidez del humus trae consigo la solubilización y complejación de todos los cationes pesados del perfil con la consiguiente evacuación a través del nivel freático hacia zonas más bajas, donde se formarán acumulaciones metálicas en forma de costra que serán discutidas más adelante.

Las características de color, acidez, saturación en bases y potencia del horizonte orgánico definen la presencia de un epipedón úmbrico, que permite clasificar al suelo como Inceptisol. La escasa profundidad de la capa freática, así como el tiempo de encharcamiento, establece condiciones de hidromorfía suficientes para definir un régimen de humedad ácuico aunque no existan manchas de óxido-reducción por el motivo anteriormente comentado. Por todo ello, el suelo se clasifica como Humaquept, concretamente Hístico Humaquept, indicando este adjetivo la tendencia del epipedón a evolucionar hacia uno de tipo hístico, de acuerdo con los valores de espesor y contenido en C orgánico, superiores a los exigidos para el úmbrico.

Los suelos representativos de los elementos morfoedáficos de alto, ladera, bajo de duna y bosque potencial presenta un gradiente de evolución semejante al que aparece en las Naves. La principal diferencia consiste en que en el manto arrasado aparecen suelos más desarrollados gracias a una mayor antigüedad y a un nivel freático más elevado.

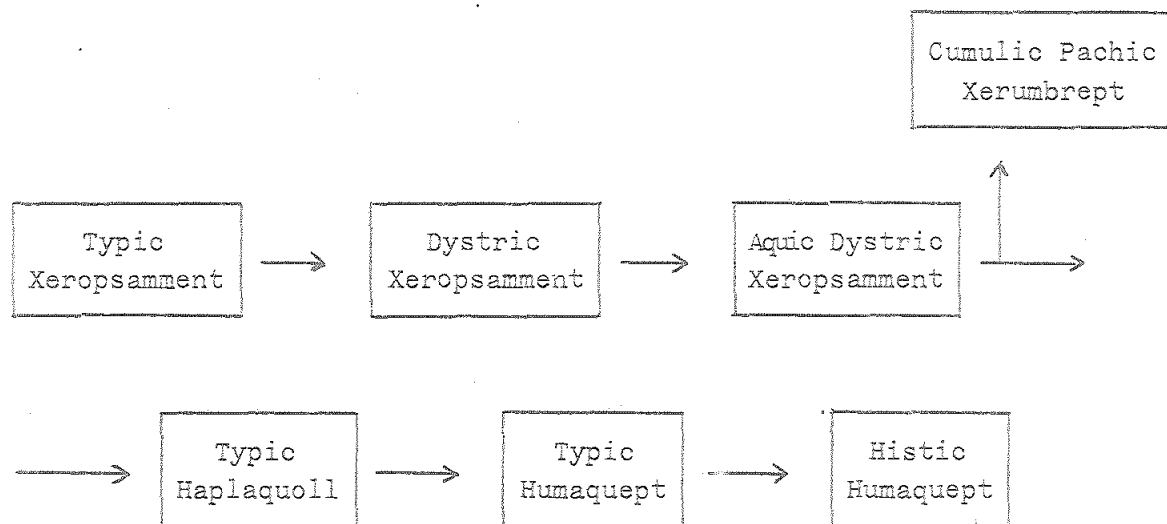
En general puede afirmarse que la escasa alterabilidad del material original frena la evolución del suelo hacia otros con mayor desarrollo morfológico, esto es, los suelos son de tipo AC, diferenciándose unos de otros en la potencia del horizonte A y en la aparición o no de manchas de hidromorfía en función de la profundidad de la capa freática (Clemente y col., 1983). Por ello, el factor geomorfológico es el principal responsable de la evolución edáfica en estos elementos, desde el momento que condiciona la profundidad de la capa freática y ésta, a su vez, la densidad de la cobertura vegetal. En efecto, estos dos factores (capa freática y vegetación) definen los dos procesos edáficos principales de la evolución en el manto arrasado, como son el hidromorfismo y la acumulación de materia orgánica. El primero alcanza a definir un régimen ácuico en situaciones particulares, y la intensificación del segundo lleva a la distinción de epipedones móllico o úmbrico en los perfiles más desarrollados.

De la descripción y propiedades físico-químicas de los perfiles anteriormente comentados puede deducirse que, igual que en las Naves, existe una íntima relación entre geomorfología, suelo y vegetación. Así, el primer estadio de la catena evolutiva estará representado por el perfil IV (Dystric Xeropsamment), si bien puede advertirse la existencia de Typic Xeropsamment cuando el grado de saturación del complejo de cambio supere el 60 %.

En las laderas de dunas se identifica el segundo estadio evolutivo, representado por el perfil V (Aquic Dystric Xeropsamment). La intensificación del régimen ácuico, debido a la cercanía de la capa freática en la base de la pendiente, trae como consecuencia una mayor cobertura vegetal, con el correspondiente aporte de restos orgánicos. La alteración de estos restos genera una serie de ácidos que disminuyen el pH del suelo, ralentizando la actividad biológica e intensificando el proceso de acumulación de materia orgánica. El resulta-

do es un mayor contenido en materia orgánica del horizonte superior, con un espesor suficiente para definir un epipedón que, dependiendo del grado de saturación (mayor o menor del 50 %), será móllico o úmbrico. Estos últimos estadios están representados por los perfiles VI, VII y VIII que presentan un distinto grado de desarrollo en cuanto al horizonte orgánico. Finalmente, el último estabón de la catena está representado por un suelo en perfecto equilibrio con la vegetación, que tiende hacia su clímax (perfil IX). Este suelo presenta un extraordinario desarrollo del horizonte orgánico, que tiende hacia el epipedón hístico (Hístico Humaquept).

En resumen, la catena evolutiva situada en los elementos morfoedáficos alto, ladera, bajo de duna y bosque potencial podría sintetizarse como sigue:



Las lagunas temporales, anteriormente definidas, forman otro elemento morfoedáfico a distinguir dentro del manto arrasado. Situadas en zonas deprimidas, aparecen con muy diferente tamaño y morfología. Dichas lagunas, que sólo funcionan como tales en el período más húmedo, presentan una vegetación típica de pastizal, que alcanza su

máximo desarrollo en la época de primavera-verano, y aporta gran cantidad de materia orgánica al horizonte superficial.

Como suelos característicos de este elemento, se han escogido los perfiles X y XI, situados en el fondo de la "laguna del Caballo" y "el Navazo del Toro", respectivamente. La primera es una laguna pequeña (50 m x 10 m, aproximadamente), rodeada por un matorral muy denso y cerrado. El Navazo del Toro, por el contrario, presenta una gran superficie (300 m x 100 m, aproximadamente) y mantiene el agua durante más tiempo. Por otro lado, dicha laguna presenta una vegetación diferente, de tipo halófito debido a la salinidad que aparece y que será discutida más adelante.

Como se ha indicado, al perfil X corresponde una vegetación de tipo pastizal en la época seca que por su carácter anual, incorpora abundantes restos al horizonte superficial, aumentando el contenido en materia orgánica durante la época húmeda gracias a la vegetación hidrófila que se desarrolla. Los valores de dicha materia orgánica, con un máximo de 9,4 % en el horizonte superficial, descienden de forma gradual hasta el horizonte argílico (1,7 % a 80 cm) y bruscamente a partir de éste (0,4 % en la base del perfil). Esta distribución de la materia orgánica, así como la variación de otros parámetros físicos y químicos (comentados en el capítulo anterior) reflejan una morfología muy peculiar del perfil que permite establecer una discontinuidad litológica en el límite inferior del horizonte arcilloso.

La acidez del horizonte superficial (5,7) así como el grado de saturación en bases (66,7 %) convienen a un humus de tipo mull forestal, subtipo hidromull tendente a hidromoder. El valor de la razón C/N es relativamente alto para este tipo de humus, pero hay que tener en cuenta el aporte continuo de material vegetal fresco, cuyo contenido en C orgánico falsea el valor correspondiente a la fracción húmica.

Quizás la característica más singular de este suelo sea la aparición de un horizonte de textura franco-arcillo-arenosa a 40 cm de profundidad, que por representar una discontinuidad morfológica puede afirmarse que tiene su origen en antiguos fondos de corrales que llegaron a funcionar como lagunas. La acumulación de materiales finos daría lugar a la formación de un horizonte impermeable capaz de retener el agua de lluvia aún cuando el nivel freático general descendiera. Estos horizontes arcillosos han sido enterrados y mezclados en parte por las arenas de las zonas circundantes y, finalmente, removidos por el sistema radicular del pastizal que se desarrolla en la época seca y por los alternativos procesos de desecación y humectación. El resultado es un aumento gradual del contenido en arcilla desde un valor de 15,3 % en el horizonte Ah hasta 29,5 % en el Btg, lo cual indicaría un proceso de lavado que permite definir un horizonte de diagnóstico argílico. En efecto, el análisis micromorfológico en láminas delgadas confirma la existencia de dicho lavado al poner de manifiesto la presencia de algunos cutanes de iluviación alrededor de los microagregados (Fitzpatrick, 1985).

En definitiva, puede hablarse de un alfisol que entierra un suelo arenoso a una profundidad de 80 cm, existiendo en este tránsito un descenso brusco del contenido en arcilla al pasar del horizonte Btg (29,5 %) al 2C (1,5 %). La saturación en agua del suelo durante gran parte del año provoca un proceso de hidromorfía que se manifiesta a través de la formación de abundantes manchas de óxido-reducción, definiendo un régimen de humedad ácuico que clasifica al suelo dentro del suborden Aqualf. Al no poderse identificar claramente ningún tipo de epipedón, el perfil se corresponde con el gran grupo de los Ochraqualf. Las características del horizonte Ah están próximas a las del epipedón móllico, del que se diferencia por el espesor. Esta circunstancia permitiría clasificar al perfil como Mollic Ochraqualf pero la presencia de un suelo arenoso enterrado a 80 cm de profundidad, que constituye

una discontinuidad litológica respecto al perfil superior, decide la clasificación del conjunto como Thapto Psammentic Ochraqualf.

El perfil XI, ubicado en el fondo del "Navazo del Toro", muestra una morfología semejante al perfil X en cuanto a la presencia de discontinuidades litológicas, que se recogen en la descripción morfológica.

El horizonte A tiene un espesor y contenido en materia orgánica similar al del perfil anterior, pudiendo diferenciar igualmente un horizonte Ah de escasos centímetros. Sin embargo, el descenso del contenido en materia orgánica es más rápido en este suelo debido a la reacción básica del medio (pH próximos o superiores a 8) que favorece el proceso de mineralización.

Los valores de pH junto a los de la razón C/N (19,9) y la saturación del complejo (100 %) definen un humus mull moder cálcico (Du chaufour, 1975) o mull like moder (Kubiena, 1953).

Desde un punto de vista granulométrico, el perfil XI puede dividirse en tres zonas claramente diferenciadas. La primera, compuesta por los horizontes Ah, A y C, muestra un descenso en el contenido de arcilla desde 20,5 % en Ah hasta 3,0 % en C. A partir de este horizonte, aparece un nuevo aumento hasta un máximo de 14,5 % en el horizonte 2Bzg para sufrir a continuación un descenso brusco en el horizonte 3C<sub>1</sub> donde nuevamente se alcanza tan sólo un valor de 3,0 %.

Esta peculiar distribución de la fracción arcilla a lo largo del perfil, indica la presencia de un antiguo fondo de laguna representado por el horizonte 2Bzg similar al que se ha discutido en el perfil anterior. Como en este caso, las arenas circundantes han enterrado este antiguo fondo con un mayor aporte debido a la menor protección que la vegetación ofrece en el "Navazo del Toro" a la influencia

eólica. Las inundaciones periódicas actuales permiten, por esta misma causa, una mayor captación de elementos finos de aporte eólico que enriquecen el horizonte superficial de forma más acusada que en el perfil X ("laguna del Caballo").

El análisis micromorfológico de un corte delgado del horizonte 2Bzg muestra la presencia de cutanes de iluviación que permite definirlo como horizonte argílico (Fitzpatrick, 1985) al tener el espesor suficiente (30 cm).

Por otro lado, hay que destacar la salinidad que presenta el perfil, reflejada en los valores de la conductividad eléctrica, cuyos valores máximos corresponden a la base del horizonte 2Bzg (1,56 mmhos/cm) y a la base del perfil (1,76 mmhos/cm) por donde discurre el nivel freático en la época más seca. La conductividad del nivel freático, medida en octubre de 1983 y marzo de 1984, presenta valores de 2,77 y 0,18 mmhos/cm, respectivamente, lo que induce a pensar en un efecto de sumidero en esta laguna (Vela, 1985).

En efecto, esta hipótesis se corrobora por las oscilaciones en el nivel freático que presentan ambas lagunas (130 cm en el perfil X frente a 35 cm en el XI entre febrero y octubre de 1983), lo que parece indicar una posición topográfica más baja del "Navazo del Toro" respecto a la "Laguna del Caballo". Aquél actuaría como área de descarga, no sólo de las arenas circundantes, sino de todas las pequeñas lagunas de los alrededores, concentrando así las aguas más densas y cargadas de sales. Esta salinidad se refleja en unos altos valores de  $\text{Na}^+$  en el complejo de cambio, alcanzando el máximo valor de 33 % en el horizonte 2Bzg, que al ser argílico, permite definirlo como horizonte nátrico.

La presencia de un horizonte de diagnóstico con estas características unido al régimen de humedad ácuico determinado por los

largos períodos de inundación permiten clasificar el suelo como Natraqualf. Finalmente, por cumplir con el concepto central del gran grupo, el perfil XI se clasifica como Typic Natraqualf.

En resumen, los suelos representativos de las lagunas temporales están caracterizados morfológicamente por la presencia de un horizonte argílico, cuyo origen se encuentra en la captación de elementos finos eólicos por las aguas que inundan periódicamente estas zonas. La altura de la capa freática, así como la capa colgada que provoca el horizonte arcilloso durante las épocas lluviosas, producen fuertes fenómenos de hidromorfía que se reflejan en manchas abundantes de óxido-reducción e incluso en concreciones ferruginosas (perfil XI). La presencia de éstas y la frecuencia de las manchas dependen del tiempo de encharcamiento, que está directamente relacionado con la posición topográfica de la laguna ya que mientras más baja sea ésta, más tiempo retendrá el agua por efecto de sumidero.

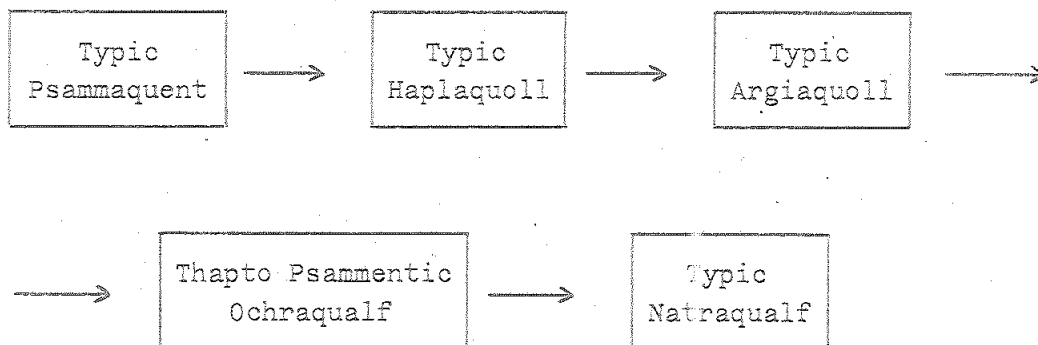
Por tanto, puede afirmarse que la evolución del suelo está condicionada por la intensidad del proceso de hidromorfía y, de forma secundaria, por la acumulación de materia orgánica, ya que el desarrollo de la vegetación se encuentra frenada durante los períodos de encharcamiento. Por otro lado, el suelo de la laguna va acumulando sales a lo largo del tiempo de evaporación de la lámina en agua. Debido a esta circunstancia, el horizonte argílico evoluciona hacia un horizonte nátrico que clasifica los estadios más evolucionados como Natraqualf.

La evolución de estas lagunas a partir de antiguos corrales pertenecientes a frentes dunares actualmente fijados y erosionados, hace pensar de forma lógica que los primeros estadios de la evolución edáfica se corresponden con el Typic Psammaquent presente en la mayor parte de los actuales corrales húmedos. El desarrollo del pasti-



zal en estas zonas permite la formación de un epipedón móllico (identificable en el perfil X) con anterioridad a la del horizonte argílico, por lo que habrá que considerar el Typic Haplaquoll como eslabón intermedio que evoluciona hacia el Argiaquoll al irse conformando el horizonte arcilloso. La presencia de este horizonte dificulta el drenaje interno, aumentando el tiempo de inundación, y, consecuentemente, perdiéndose el carácter móllico.

En definitiva, de lo anteriormente expuesto, la evolución geomorfológica de las lagunas temporales conlleva la siguiente evolución edáfica:



El último elemento morfoedáfico que constituye la subunidad de manto arrasado, denominado "Eucaliptar" por las plantaciones de dicha especie realizadas en los últimos decenios, está situado en la zona norte del Parque Nacional de Doñana. La morfología del terreno será marcada por una gran erosión de las formas dunares, prácticamente irreconocibles. Este elemento morfoedáfico ha sido diferenciado de los restantes en base a una discontinuidad litológica que aparece a una profundidad inferior a 2 m en todo el área estudiada. Dicha discontinuidad está constituida por un sedimento semipermeable de edad plio-villafranquiense que se hace más superficial hacia el límite norte del Parque, donde llega a aflorar. La textura más fina de dicho

sedimento influye en la evolución normal del suelo, provocando cierto proceso de hidromorfía cuando se encuentra suficientemente próximo a la superficie.

En función a la distinta profundidad a que aparece la discontinuidad litológica, han sido escogidos dos perfiles representativos de la zona.

El primero, perfil XIII ("Farallón carretera"), está situado cerca del límite N-NW del Parque. El suelo se ha formado directamente sobre las arenas basales que se encuentran a 10 cm de profundidad bajo un pequeño aporte de arenas eólicas. Estas arenas recientes se han mezclado con la parte superior del sedimento plio-villafranquien-se a causa de la removilización que provocan las raíces del matorral.

La vegetación asentada sobre dicho suelo es semejante a la que ocupa las laderas de dunas, como corresponde a un suelo arenoso con capa freática a más de 2,5 m. La escasa cobertura vegetal condiciona un débil desarrollo del horizonte orgánico, que presenta sólo 10 cm de potencia.

El bajo valor de pH (5,7), así como la relación C/N (16,1) y el grado de saturación en bases (66,7 %) conviene a un humus mull forestal poco desarrollado, subtipo oligotrofo (Duchaufour, 1975).

Este horizonte orgánico de escaso espesor y desarrollo se sitúa directamente sobre las arenas basales, fundamentalmente cuarcí ticas, que en el conjunto del perfil pueden ser consideradas como ma terial original (horizonte Cg). Dicho material presenta características heredadas de un régimen de humedad ácuico, no actual, que quedó reflejado en manchas de óxido-reducción por la removilización de los óxidos de hierro. Ambos horizontes (A y Cg) presentan diferentes texturas (arenosa y arenosa-franca, respectivamente) debido, en este

caso, a que corresponden a sedimentos distintos, como se ha indicado anteriormente. De todas formas la diferencia es menos acusada que en el perfil XIII (como se verá más adelante), ya que el sedimento de arenas basales se encuentra lavado por su proximidad a la superficie.

Otro dato importante a discutir es el contenido en hierro del horizonte Cg (2,59 %), cuyo valor es semejante al del horizonte 2Btg del perfil XIII (2,97 %) y a la muestra tomada a 4 m en el perfil VIII (2,52 %), anteriormente discutido. La semejanza en los valores de hierro de estos tres horizontes, si no prueban la equivalencia de los sedimentos por ellos representados, sí confirman la similitud morfológica que muestran, pudiéndose apuntar la presencia de un zócalo de "arenas basales" sobre el que se asientan las distintas generaciones dunares. Este zócalo ha sido puesto de manifiesto por diversos autores (Zazo, 1980; IGME, 1983; y otros) que discuten su origen a través de sondeos profundos, ignorándose para la clasificación del suelo si su aparición excede de los 2 m de profundidad.

La no presencia de ningún epipedón u horizonte de diagnóstico obliga a incluir el suelo, representado por el perfil XII, en el orden Entisol. La textura arenosa hasta más de 1 m de profundidad, en el suborden Psamment. La profundidad del nivel freático, que no satura el suelo en ningún período del año, define un régimen de humedad xérico, de acuerdo con las condiciones climáticas, por lo que el suelo corresponderá al gran grupo Xeropsamment. La presencia de manchas de hidromorfía a menos de 1 m (aunque sean heredadas) y la desaturación que presenta a partir de los 10 cm (40 %) (carácter dístico), clasifican, finalmente, el suelo como Aquic Dystric Xeropsamment.

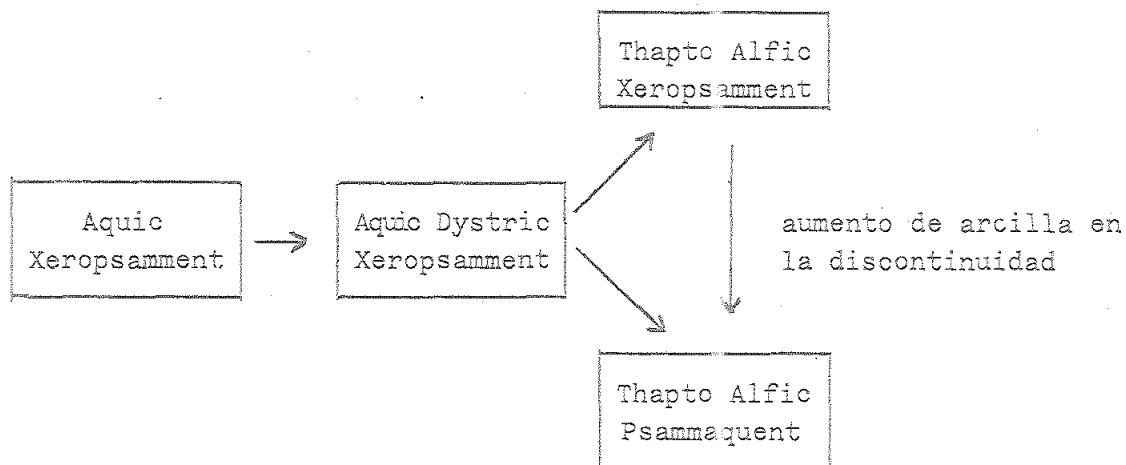
El segundo perfil representativo de este elemento morfoedáfico, perfil XIII ("Farallón enterrado"), se encuentra ubicado en el centro del eucaliptar.

La principal diferencia morfológica respecto al perfil anterior estriba en la mayor profundidad (110 cm) a la que aparece la discontinuidad litológica representada por las arenas basales, que afecta únicamente a la base del perfil. Este muestra, igualmente, un escaso desarrollo debido a la naturaleza del material original y a la ausencia de vegetación. Prácticamente, toda la parte norte de las arenas estabilizadas se encuentra plantada de *Eucalyptus* sp., cuya explotación comenzó a principios de este siglo (Granados, 1981). A partir de esta fecha el suelo no ha podido desarrollar su primitiva cobertura vegetal, salvo en zonas muy húmedas o encharcadas, donde no fue posible el crecimiento de dichos árboles. Esta ausencia de vegetación autóctona se refleja claramente en el escaso desarrollo del horizonte orgánico. La superficie del suelo conviene mejor a un horizonte Ap resultante del manejo humano. Los bajos valores de materia orgánica (3,4 % en Ap) y la desaturación en bases indican la presencia de un humus mull forestal poco desarrollado subtipo oligotrofo (Duchaufour, 1975). La relación C/N es ligeramente alta para este tipo de humus (24,6 %), lo que puede ser explicado por el escaso aporte de material vegetal sobre la superficie sin llegar a humificarse, elevando los valores de carbono orgánico.

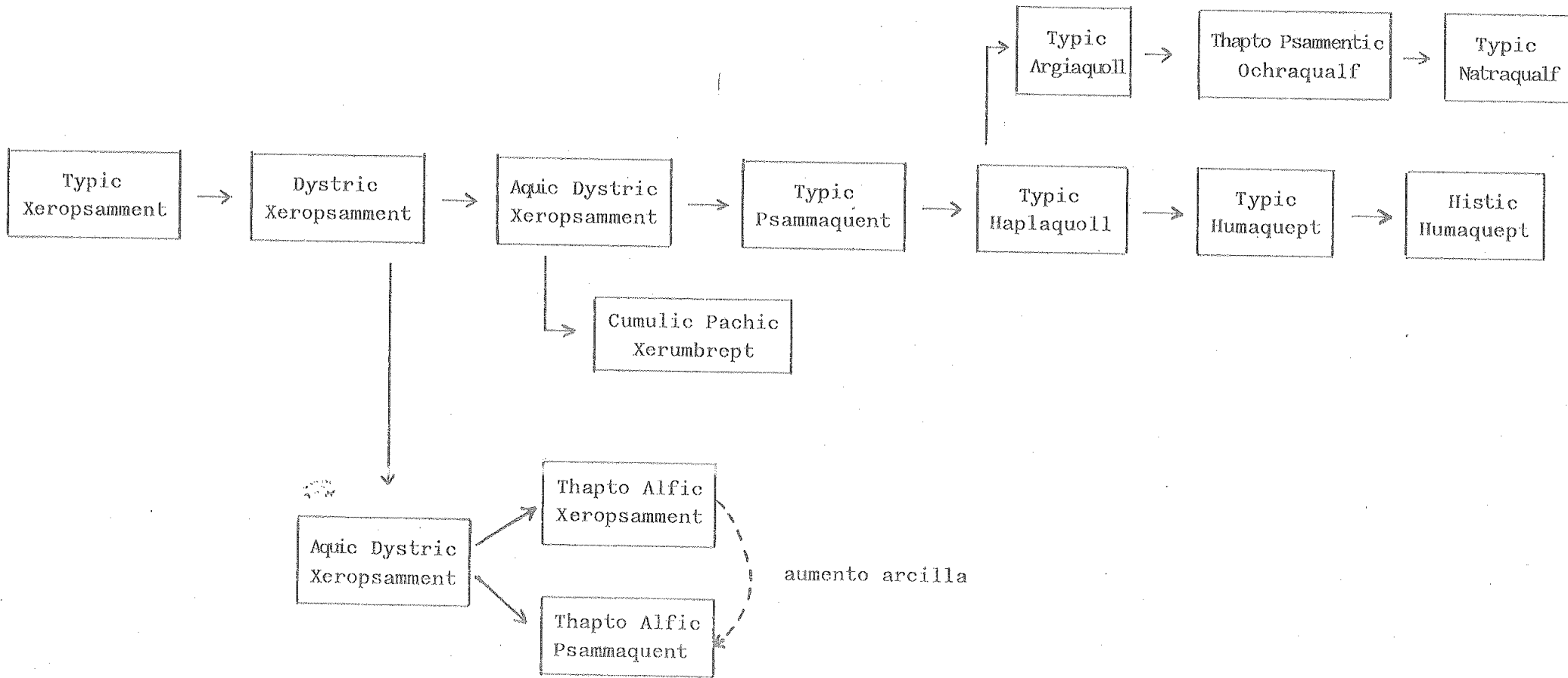
En profundidad aparece un horizonte B textural (2Btg, 13 % de arcilla), correspondiente a un antiguo suelo truncado (alfisol por tener horizonte argílico) y enterrado por los frentes dunares arrasados. La presencia de dicho horizonte afecta al conjunto del perfil aunque suponga una discontinuidad litológica, hay que tenerlo en cuenta en su clasificación. El suelo, hasta nivel de gran grupo, presenta las mismas características que el perfil anterior, clasificándose, por tanto, como Xeropsamment. La presencia del suelo enterrado (Alfisol) a menos de 125 cm (sección de control), define al conjunto del perfil como subgrupo Thapto Alfic Xeropsamment.

Dentro del elemento morfoedáfico "Eucaliptar" aparecen algunas pequeñas lagunas, reconocibles por la falta de vegetación arbórea. Debido a su escasa significación en el conjunto no han sido muestreadas, aunque sí sondeadas (ver anexo de sondeos). La descripción morfológica de los sondeos en este área muestran que la discontinuidad litológica presenta un mayor contenido en arcilla, lo que unido a su menor profundidad provoca fenómenos de hidromorfía que definen un régimen de humedad ácuico. El suelo podría clasificarse como Psammaquent, que como en el caso del perfil XIII habría que adjetivarlo con el nombre de Thapto Alfic.

Por todo ello, la catena de evolución edáfica del elemento morfoedáfico "Eucaliptar" comienza por el perfil XII Aquic Dystric Xeropsamment que, al profundizarse la discontinuidad litológica, evolucionaría hacia el Thapto Alfic Xeropsamment. El Thapto Alfic Psammaquent sería, más que un estadio avanzado de evolución, el resultado de la desviación producida por la presencia de una discontinuidad más arcillosa que provoca fenómenos más fuertes de hidromorfía:



Como resumen de la evolución edáfica del manto arrasado, podría construirse el siguiente cuadro donde quedarían representados los diferentes elementos morfoedáficos reconocidos y discutidos anteriormente:



## CORDONES DE LA MARISMILLA

La subunidad geomorfológica denominada "Cordones de la Marismilla" está situada en el extremo meridional del Parque Nacional de Doñana. Comprende un área limitada por las marismas (Lucio del Membrillo) y las arenas móviles al norte, el río Guadalquivir al este y el mar al sur y oeste. Es una zona diferente al resto de las arenas en cuanto a la génesis y evolución de los suelos y de las formas del terreno. Para mejor comprender su origen y dinámica se amplía esta subunidad hasta la línea de costa, integrando el área conocida como "Punta de Malandar".

Desde un punto de vista ecológico, esta subunidad presenta una gran complejidad ya que engloba ecosistemas de playa, cordones litorales no dunificados, dunas vivas y estabilizadas, pequeños enclaves de depósitos aluviales y ecotonos marisma-matorral (Granados y col., 1984).

En la mitad norte aparecen una serie de cordones arenosos de escasa altura (menor de 10 m) dispuestos paralelamente entre sí con dirección NW-SE. Dichos cordones presentan crestas redondeadas que se encuentran separadas por depresiones de anchura variable (200-500 m) y fondo plano y húmedo, que a veces funcionan como lagunas (Vanney y Menanteau, 1979). Hacia el sur se van espaciando, observándose una desviación en la dirección, que pasa a ser WNW-ESE, lo que parece indicar un giro de la costa situada más al NW (Menanteau, 1981), como se comentó en el capítulo de Geomorfología.

La vegetación evoluciona hacia un estadio de madurez constituido por un bosque de Pinus pinea L., acompañado por un sotobosque de Pistacea lentiscus L. y diversas especies de matorral (Menanteau y Martin, 1979). El análisis polínico realizado por diversos autores

en zonas próximas (Menéndez y Florschütz, 1964; Horowitz, 1981) parece dar un carácter autóctono al pinar (García Novo y col., 1983), si bien datos históricos apuntan hacia una implantación ocurrida en el siglo XVIII (Granados y col., 1984).

Desde un punto de vista geomorfológico, y en base a la fotointerpretación, pueden distinguirse, además de un área de arenas móviles y pequeñas zonas de marismas, dos grandes unidades de arenas estabilizadas, constituidas por una serie de cordones que se diferencian fundamentalmente por su morfología y orientación. Estas estructuras, denominadas "Cordones de la Marismilla", se espacian hacia el sur y permiten el desarrollo de frentes dunares que los entierran, estabilizándose rápidamente debido al cese de la influencia directa del viento por el giro que sufre la costa en la construcción de la Punta de Malandar. Dichos cordones se encuentran reducidos por el avance de las arenas móviles al N y W, y probablemente erosionados por la deriva de la desembocadura del río, como parece indicar el cordón que rodea el Lucio del Membrillo, que muestra trazas de inmersión fluvial.

Desde un punto de vista edáfico, y en base al reconocimiento geomorfológico de la zona, ésta ha sido dividida en dos elementos morfoedáficos: alto y bajo de cordón, tomándose un perfil en el primero (XIV "Flecha Amarilla") y dos en el segundo (XV "Flecha Negra" y XVI "Flecha Gris"). Los datos analíticos y morfológicos de los perfiles y sondeos indican la existencia de niveles conchíferos a distintas profundidades que parecen corresponder a sucesivas líneas de costa (Clemente y col., 1985). La fotointerpretación muestra una morfología típica que confirma su origen en base a alargamientos de bancos de arena por unión de spits o flechas progresivas, según una dinámica de evolución clásica estudiada en zonas similares por Hails y Carr (1975), Zenkovich (1967) y otros. Estos spits o flechas son estructuras arenosas con punta libre, cuyo crecimiento se origina por sucesivas acumulaciones en forma de ganchos o hooks (Guilcher, 1957). El alarga-



miento de los mismos se relaciona con la deriva litoral, y su morfología curvada proviene de la refracción de las olas en la punta, estableciéndose unas formas ajustables a una espiral logarítmica hasta que se constituye una situación de equilibrio en la que el movimiento de materiales se reduce al mínimo (King, 1975). Protegidas por estas bandas de textura gruesa, se depositan limos y arcillas que evolucionan a marismas de tipo mareal con tupida red de esteros ("tidal marsh") (Figueroa y Clemente, 1979).

Hay que destacar la presencia de carbonatos en los perfiles situados en zonas deprimidas (XV y XVI) así como en los Cordones de la zona sur, mientras que en las crestas de los cordones más antiguos (perfil XV) se encuentran ausentes. Este carácter puede considerarse indicativo del origen marino de dichos cordones, ya que la arena de la playa presenta un elevado porcentaje de carbonatos. La ausencia de dichas sales en las partes altas de los cordones puede ser debida tanto a la edad de la zona como a la topografía, que facilita el lavado y consiguiente emigración hacia zonas más bajas.

Como se ha comentado anteriormente, los cordones aumentan su amplitud hacia el sur, manteniéndose las crestas carbonatadas. Estas dos circunstancias indican una aceleración de los depósitos arenosos de la deriva litoral en los últimos tiempos, que ha originado un rápido giro de la dirección de la costa hacia el sur. La aceleración podría ser debida a afloramientos rocosos que existen bajo la actual "playa del Inglesillo", frente a la Torre de San Jacinto. En efecto, dichos afloramientos rocosos, que continúan más adentro, sirven de soporte a la arena transportada por la deriva litoral, constituyendo en principio islotes arenosos que pronto se unirían por acreción lateral de flechas o spits (Clemente y col., 1985).

Los cordones situados en la parte sur, que aparecen muy espaciados, son, por tanto, restos de antiguas líneas de costa que, al

no ser alimentadas directamente por la arena transportada por los vientos dominantes de poniente, quedaron relegadas en forma de dunas carbonatadas.

En el contexto de evolución geomorfológica, los perfiles XIV, XV y XVI constituyen diferentes estadios de la evolución edáfica.

El perfil XIV ("Flecha Amarilla") es representativo de las zonas altas de los cordones situados al norte del Palacio de la Marismillas, esto es, de aquellos de más antigua formación. El suelo presenta un escaso desarrollo morfológico de acuerdo con la inalterabilidad del material original (arenas cuarcíticas) y la gran profundidad del nivel freático (más de 3 m) que condiciona una vegetación rala con escaso aporte de restos orgánicos al horizonte A (0,4 %). Dicho horizonte presenta una relación C/N (12,5), grado de saturación (40,0 %) y pH (6,2) que caracterizan al humus como mull forestal poco desarrollado, subtipo oligotrofo (Duchaufour, 1975).

El escaso desarrollo del perfil impide la diferenciación de horizontes de diagnóstico, por lo que se clasifica dentro del orden Entisol. La textura arenosa hasta más de 1 m de profundidad y el régimen de humedad xérico definido para dicho suelo, lo incluyen entre los Xeropsamment que, por cumplir con el concepto central del gran grupo, se corresponde con el Typic Xeropsamment.

El perfil XV es representativo, junto con el XVI, de los suelos deprimidos, situados en los pasillos de deflación entre los Cordones de la Marismilla. El nivel freático se encuentra a escasa profundidad y aflora en las épocas más húmedas, transformando estas zonas en verdaderas lagunas. Esta mayor humedad permite el desarrollo de una densa vegetación anual que incorpora gran cantidad de materia orgánica al horizonte superficial (4,6 % en Ak). El alto valor de pH (8,1) así como la razón C/N (10,6) y la total saturación en bases de dicho

horizonte (100 %), convienen a un humus de tipo mull cálcico, subtipo calizo por la presencia de caliza activa (Duchaufour, 1960).

El espesor del horizonte Ak (25 cm), la saturación en bases y el color definen un epipedón móllico que permite clasificar al suelo dentro del orden Mollisol.

El material arenoso subyacente, al que se pasa a través de un horizonte de transición AC, muestra señales de hidromorfía en forma de numerosas manchas de óxido-reducción, producidas por la movilización de los óxidos de hierro. Esta circunstancia, unida a la proximidad de la capa freática, define un régimen de humedad ácuico en el suelo y, por tanto, su clasificación en el suborden Aquoll.

A lo largo del perfil, hay que destacar la presencia de carbonatos, que alcanzan un máximo en el horizonte superficial (23,4 %) y disminuyen hacia su base (3,8 %). Dichos carbonatos se acumulan en la fracción fina (arcilla y limo) del primer horizonte y en la fracción gruesa de los más profundos, lo cual está de acuerdo con la presencia de niveles de conchas, anteriormente comentados, situados en profundidad y que afectan a los caracteres morfológicos, físicos, químicos e hidrológicos del perfil. Los restos de conchas son solubilizados parcialmente por la capa freática en forma de bicarbonatos y precipitados en superficie como carbonatos por ascensión capilar durante los meses de fuerte evapotranspiración, o bien por evaporación de las aguas que inundan las zonas más deprimidas. El elevado contenido que presenta el horizonte superficial (más de 15 %) y el espesor de dicho horizonte (25 cm) permite definir un horizonte cálcico, que clasifica el suelo dentro del gran grupo de los Calcicquoll. Finalmente, al presentar el horizonte superficial un color más claro del que exigen los requerimientos del subgrupo típico, el perfil XV se corresponde con el Aeric Calcicquoll.

El perfil XVI ("Flecha Gris") representa, así mismo, los sue los desarrollados en las zonas deprimidas de la subunidad de Cordones de la Marismilla.

Está ubicado al sur del Palacio de las Marismillas, donde los Cordones comienzan a espaciarse. Igual que el perfil anterior, presenta cierta diferenciación morfológica ya que la profundidad del nivel freático (100 cm en marzo de 1985) permite el desarrollo de un pastizal que incorpora continuamente materia orgánica al horizonte su superficial (5,7 % en Ak) a través de un sistema radicular.

Los valores de pH (8,2) y saturación en bases (100 %) apuntan, igual que en el perfil XV, hacia un humus de tipo mull cálcico subtipo calizo (Duchaufour, 1960). Ambos perfiles presentan características tanto morfológicas como químicas y físicas similares, por lo que se clasifican igual hasta el nivel de suborden: Aquoll. El menor contenido en carbonatos del perfil XVI (9,8 % en superficie y tra zas en profundidad) no permite la definición de un horizonte de diagnóstico cálcico, por lo que el suelo se integra dentro del gran grupo Haplaquoll, que por cumplir los requisitos del subgrupo típico, se cla sifica como Typic Haplaquoll.

Tanto en este perfil como en el anteriormente discutido, hay que destacar la peculiar variación de la reacción del suelo en profun didad. En efecto, los valores de pH (8,1 y 8,2 en superficie, respec tivamente) aumentan en la base de ambos perfiles (9,0 y 9,3, respec tivamente) mientras disminuyen los contenidos en carbonatos. Esta rela ción inversa pH/carbonatos no parece lógica, en principio, ya que la presencia de dichas sales en el suelo lleva aparejada un aumento de los valores de pH. Por ello, se pensó en la existencia de  $\text{Na}^+$  en el complejo de cambio ya que, como se sabe, la hidrólisis de este catión provoca una fuerte subida en el pH del medio. Sin embargo, los bajos valores de conductividad, de sales sódicas y de  $\text{Na}^+$  de cambio no po-

drían explicar los valores de pH en profundidad. La única explicación válida es la que se fundamenta en las variaciones de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  a lo largo del perfil y en su influencia sobre la constante de solubilidad del carbonato cálcico. En efecto, a medida que disminuye dicha presión parcial hacia la base del perfil ( $13 \times 10^{-5}$  en los horizontes superficiales y  $1,4 \times 10^{-5}$  y  $5,7 \times 10^{-6}$ , en la base de los respectivos perfiles) aumenta la constante de solubilidad del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  ( $2,4 \times 10^{-8}$  y  $1,4 \times 10^{-8}$  en los respectivos horizontes Ak y  $19 \times 10^{-8}$  y  $3,4 \times 10^{-8}$  en Cg del perfil XV y Cg<sub>2</sub> del perfil XVI, respectivamente) (Garrido, 1985). Este aumento de la solubilidad de los carbonatos provoca su hidrólisis, formándose bicarbonatos y liberando un oxidrilo según la siguiente reacción de equilibrio:



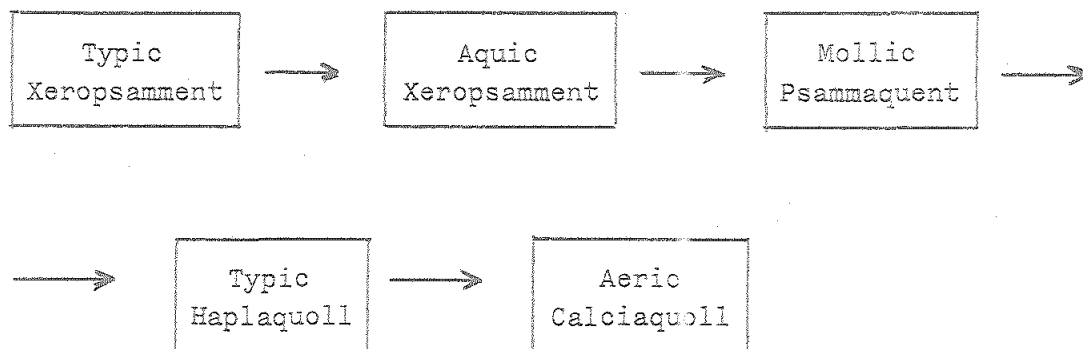
Al no existir cantidades importantes de carbonatos ni salinidad en la base de los perfiles, la ionización será mínima y el medio funcionará como un sistema débil y mal amortiguado. Así, pequeñas variaciones en la presión parcial de  $\text{CO}_2$  hace que se disparen los valores de pH del medio. Los horizontes superficiales no sufren estas oscilaciones porque se encuentran mejor tamponados gracias a una gran concentración iónica (reflejada en los valores de cationes de cambio) y a la presencia de carbonatos. Así mismo, la actividad biológica aumentará la presión parcial de  $\text{CO}_2$ , estableciéndose un sistema más equilibrado en dicha zona (Garrido, 1985).

Como se desprende de la discusión de los perfiles XIV, XV y XVI, y apoyándose en los sondeos realizados en la subunidad, se confirma, una vez más, la íntima relación que existe entre geomorfología, suelo y vegetación. Igual que en otras subunidades, la profundidad del nivel freático y la vegetación son los responsables directos de los dos procesos edáficos fundamentales en dicha zona: hidromorfía y

y acumulación de carbonatos. De esta forma, puede establecerse una catena en función de la geomorfología donde los suelos menos desarrollados corresponden a las zonas más elevadas y con capa freática más profunda. A medida que ésta asciende de nivel, comienza a afectar profundamente al desarrollo del suelo, permitiendo la diferenciación de un horizonte orgánico de potencia variable. Este desarrollo va acompañado de una acumulación de carbonatos en los horizontes superficiales de los perfiles más deprimidos. En base a estas características y a los sondeos que se adjuntan en el anexo no pueden descartarse una serie de estadios evolutivos intermedios en función de los tres procesos anteriormente mencionados (hidromorfía y acumulación de materia orgánica y carbonatos).

A medida que aumenta el proceso de hidromorfía por un ascenso del nivel freático comienzan a formarse manchas de óxido-reducción en la base de los suelos situados en crestas bajas o laderas, dándole un carácter ácuico a los perfiles (Aquic Xeropsamment). Hacia enclaves más deprimidos se intensifica dicho proceso, hasta el punto de que el régimen de humedad pasa a ser ácuico. Dichos suelos presentan un indicio de acumulación de carbonatos, a la vez que comienza a desarrollarse un horizonte orgánico de potencia variable que por la saturación en bases tiende a formar un epipedón mólico (Mollic Psammaquent). El siguiente eslabón en la catena evolutiva sería un suelo perteneciente al orden Mollisol, que estaría representado por el perfil XVI (Typic Haplaquoll), donde los carbonatos no alcanzan todavía el porcentaje suficiente como para ser tenidos en cuenta a nivel de clasificación. Finalmente, en los suelos más deprimidos e hidromorfos, este carácter comienza a cobrar importancia por sobrepasar el 15 % en los primeros 25 cm (horizonte cálcico). Por todo ello, el Aeric Calciaquoll (perfil XV) debe considerarse como último eslabón de la catena evolutiva que se desarrolla sobre las arenas estabilizadas de los Cordones de la Marismilla.

En resumen, y a partir de lo anteriormente expuesto, la evolución edáfica en la subunidad geomorfológica de Marismillas puede establecerse según la siguiente catena:



## VIII.2 ARENAS MOVILES

El sistema de arenas móviles constituye la segunda unidad geomorfológica diferenciada en el área de estudio. Se extiende a lo largo de aproximadamente 30 Km, entre Matalascañas y la desembocadura del Guadalquivir, con una anchura máxima de 4 Km desde la playa hasta la marisma. Su origen se encuentra en los depósitos de arenas transportadas por la deriva litoral como consecuencia de la erosión marina del farallón costero que se extiende a partir de Torre la Higuera hacia Mazagón.

La desaparición de dicho farallón al SE de Torre la Higuera debido a la erosión provocada por la desembocadura del Guadalquivir (ver Historia Geológica) así como a un fenómeno de subsidencia de ésta (Ménanteau y Clemente, 1977), ha permitido la invasión hacia el interior de las arenas móviles, empujadas por vientos dominantes de componente SW.

El sistema de dunas móviles está compuesto por varios frentes que avanzan en dirección SW-NE dejando entre ellos largos pasillos de deflación cuyo fondo se corresponde, en general, con el nivel freático. En función de la dinámica que presenta el sistema se pueden diferenciar, como se ha indicado en el capítulo de Geomorfología, tres subunidades claramente reconocibles mediante fotointerpretación: Frentes dunares, Corrales y Gusanos. Estas tres subunidades se encuentran íntimamente relacionadas tanto genética como funcionalmente, por lo que su dinámica será discutida en conjunto.

Con dirección paralela al litoral, aparecen las primeras dunas embrionarias formadas por la arena transportada desde la playa por la acción del mar. Se encuentran cercanas a la línea de pleamar (10 a 20 m) y se caracterizan por su pequeño tamaño y gran movilidad. Los



primeros montículos de arena son retenidos por la escasa vegetación y una vez alcanzado un determinado tamaño, comienzan a unirse hasta formar un frente más o menos continuo a unos 200 m de la línea de costa, siguiendo un mecanismo de formación descrito por Paul (1944). Este primer frente avanza, pierde velocidad y es alcanzado por otros más recientes, organizándose trenes internos de morfología más regular. Según la clasificación de Davies (1980) y McKee (1979), las dunas de los trenes internos pueden definirse como asimétricas y transgresivas o parabólicas con una morfología atípica, mucho más anchas que largas.

La asimetría se debe a la diferencia de pendientes que presentan el frente de avance ( $10^{\circ}$  a  $48^{\circ}$ ) y la cola de la duna ( $3^{\circ}$  a  $5^{\circ}$ ) (García Novo y col., 1975). La pendiente NE o de avance varía de forma proporcional a la altura del frente ya que a medida que aumenta el tamaño de las dunas, aumenta el límite de estabilidad de las arenas en la cresta, apareciendo ángulos de hasta  $48^{\circ}$  (Torres y col., 1977). En general, la altura de los frentes varía siguiendo un gradiente desde la línea de costa hasta la marisma, donde el Cerro de los Ansares alcanza los 30 m de altura (Vela, 1984). El avance de los trenes se produce de forma diferencial, ya que está condicionado por la vegetación, profundidad del nivel freático e incidencia del viento a escala de detalle (Allier y col., 1975). Su cuantificación ha sido realizada por García Novo y col. (1975) en base a diversos métodos, tales como comparación de fotogramas aéreos de distintos años, colocación de marcas fijas y relación distancia/edad de los pinos, observándose que los valores de velocidades obtenidos variaban en función de la escala de tiempo considerada. A lo largo de grandes extensiones y largos períodos de tiempo, el avance de los frentes del sistema de dunas móviles se puede considerar uniforme y regular con una velocidad media de 5 a 6 m/año. Sin embargo, para períodos más cortos, la variabilidad aumenta, pudiendo diferenciarse "sectores rápidos" y "sectores lentos"

que se alternan en el tiempo. A medida que se reduce la escala, se ha ce notar el efecto de la vegetación, dando lugar a formas festoneadas y escotaduras (García Novo y col., 1977).

El mecanismo de avance de los frentes es semejante al descrito por Hoyt (1966) para las dunas del desierto de Namibia (SW de Africa). Durante períodos de fuertes vientos, que alcanzan velocidades superiores a 5 m/sg (Pou, 1977), la deposición sobre la ladera de sotavento ocurre de tres formas: parte de la arena es transportada sobre la cresta y cae directamente en la ladera de sotavento; otra parte es depositada en la cresta, donde se acumula hasta que, al alcanzar el punto de desequilibrio, se derrumba en amplias avalanchas y, por último, corrientes en remolino desarrolladas a sotavento empujan la arena superficial y la transportan hacia dicha ladera.

Este último mecanismo es, con mucho, el menos importante, si bien aumenta su incidencia cuanto mayor altura tiene la duna ya que de ella depende el radio de acción de los remolinos de viento. De todas formas, aunque este efecto no tenga gran importancia desde un punto de vista volumétrico, sí lo tiene a nivel granulométrico y morfológico ya que mantiene la superficie que precede al frente de avance relativamente limpia de elementos finos.

El derrumbamiento de las crestas dunares suele producirse parcialmente pero de forma continua. Esta movilidad del sustrato impide que sobre las dunas móviles puedan desarrollarse suelos, consistiendo éstos en un horizonte C formado en su mayor parte por granos redondeados y de color claro a causa del transporte y lavado sufrido en el mar.

El segundo elemento integrado en el sistema de dunas móviles está compuesto por los corrales. "Corral" es la denominación local para los valles de fondo plano que se encuentran intercalados en-

tre los frentes móviles. Su origen está estrechamente relacionado con la profundidad del nivel freático ya que se forma por erosión de la cola dunar hasta alcanzar la proximidad de dicho nivel, en el que las arenas, humedecidas por capilaridad, se apelmazan y no pueden ser movilizadas por el viento (Torres y col., 1977). El resultado final es una superficie erosionada casi horizontal que favorece la formación del suelo y su colonización por la vegetación debido a la proximidad del agua freática. La dimensión de los corrales, como la de las dunas, es muy variable y depende de la velocidad de avance de los frentes por encima de ellos. Los más extensos alcanzan 7000 m de largo por 600 m de ancho (Corral de Zalabar) y 4000 m de largo por 800 m de ancho (Corral de la Liebre) (Vela, 1984), si bien estas dimensiones son excepcionales, ya que es frecuente la rotura de los corrales largos por frentes que repentinamente adquieren una mayor velocidad de avance. De la misma forma que las dunas, los corrales presentan un gradiente de menor a mayor evolución desde el mar hacia el interior. Dicho gradiente se refleja asimismo en la evolución de la vegetación, que variará en función a la profundidad del nivel freático. En efecto, los corrales más cercanos al litoral, definidos como "corrales secos", presentan la capa freática muy profunda y muestran una gran irregularidad y variación en su morfología a lo largo del tiempo. Por el contrario los "corrales húmedos", con nivel freático próximo o incluso aflorando en superficie durante ciertas épocas, presentan una mayor estabilidad que permite el asentamiento de una vegetación de matorral y pinar, cuya ecología se adapta perfectamente a este medio (Figueroa, 1976).

La diferente dinámica que presentan ambos tipos de corrales se refleja en la evolución edáfica, presentando los primeros (corrales secos) suelos poco desarrollados y relativamente homogéneos frente a los segundos (corrales húmedos), que muestran perfiles más evolucionados gracias al proceso de hidromorfía que provoca la cercanía del nivel freático.

Desde un punto de vista hidrogeológico, los corrales constituyen, junto con la Vera y Lagunas permanentes, el principal área de descarga del acuífero dunar a través de evapotranspiración por lámina libre (Vela, 1984). El acuífero dunar constituye una parte muy importante del acuífero principal ya que evita descargas más cuantiosas hacia el océano, actuando como barrera hidráulica. La recarga de este acuífero se efectúa principalmente por infiltración directa del agua de lluvia a través de las dunas, aunque también pueda surtirse de otras fuentes (zonas de descarga locales que se comportan como áreas de recarga a nivel regional, etc.) (Vela, 1984).

En base a la permeabilidad de las arenas y en función del acuífero dunar, situado a unos 25 m aproximadamente, Vela (1984) ha calculado que el agua que aparece en los corrales puede tener de 1 a 60 años de antigüedad. Por ello, y teniendo en cuenta los distintos niveles que haya podido atravesar, presentará en diferentes corrales diversas características (sales, carbonatos, etc.) que se reflejarán en las propiedades y morfología de los suelos.

En general, el fondo de los corrales se encuentra en una cota comprendida entre 3 y 10 m sobre el nivel del mar. Sin embargo, desde un punto de vista morfológico, esta altura puede variar dentro de un corral ya que aparecen pequeñas lomas arenosas de 0,5 a 1 m de altura que forman ondulaciones paralelas entre sí y a la cola de la duna precedente (García Novo y col., 1975). Estos montículos, discutidos en el capítulo de Geomorfología, presentan un origen muy controvertido según diferentes autores. Vanney y Ménanteau (1979) los definen como "interdunas", mientras que Zazo (1980) afirma que son restos de una antigua generación de barjanas. Para Allier y col. (1974, 1975) son "contradunas" semejantes a las "Gegenwällen" descritos por Paul (1944, 1953) en la duna móvil de la Kurischen Nehrung, donde el fenómeno de formación guarda estrecha relación con el nivel freático.

Finalmente, García Novo y col. (1975) y Allier y col. (1974, 1975) concuerdan en que dichas estructuras provienen de la fijación de la cola de la duna por el nivel freático a causa de su variación estacional. En efecto, durante el período seco, al descender dicho nivel, la cola comienza de nuevo a moverse, dejando atrás un pequeño montículo, retenido por la vegetación nacida durante la época húmeda, que conserva la forma de la duna que acaba de pasar. Estas estructuras se hacen particularmente visibles en el borde W y SW de las lagunas de Santa Olalla y del Sopetón, ya que las dunas predecesoras que las formaron han desaparecido bajo dichas lagunas, reduciendo su superficie. El resultado es la aparición de unas formaciones arenosas en semicírculo concéntricos que se denominan localmente "Gusanos".

Desde un punto de vista morfológico detallado, conviene dividir esta subunidad en función a la topografía en "Gusano Alto" y "Gusano Bajo". En efecto, ambos elementos morfoedáficos presentan grandes diferencias edafológicas derivadas fundamentalmente de la distinta profundidad del nivel freático. Así, el suelo desarrollado en la zona alta del Gusano presenta un perfil muy poco diferenciado con una vegetación escasa y rala. Por el contrario, el Gusano Bajo, que permanece encharcado durante la época húmeda, presenta un gran desarrollo vegetal y un perfil de suelo bien diferenciado debido al proceso de la hidromorfía.

Una característica peculiar de ambos perfiles, sobre todo del correspondiente al Gusano Alto, es la presencia de delgados estratos de arenas negras, paralelos a la superficie pero especialmente discontinuos. Estas arenas corresponden a acumulaciones de metales pesados, ilmenita (titanato de hierro) fundamentalmente, que varían los contenidos de hierro total de manera aleatoria en los distintos horizontes, alcanzando ocasionalmente valores excepcionalmente

elevados, como se ha comentado anteriormente en los datos experimentales. Estas acumulaciones confirman el origen de los Gusanos, anteriormente expuesto, mostrando además los cambios de la intensidad del viento a lo largo del tiempo de formación.

Desde un punto de vista granulométrico, es la fracción arena fina la que presenta las mayores acumulaciones, originando depósitos con un grado intermedio de evolución en los que no se aprecia una importante mezcla de materiales (Pérez-Mateos y col., 1982).

Por otro lado, y desde un punto de vista mineralógico, se observa que no existe un gran desarrollo en los perfiles estudiados, lo cual, por otra parte, es lógico, ya que el material original ha sido depositado en un estado de gran alteración, como indica el alto porcentaje de cuarzo y otros minerales primarios. Sin embargo, en base a los minerales pesados, puede apreciarse cierta alteración edáfica debida a la fluctuación de la capa freática que, en definitiva, parece ser el mayor condicionante de la evolución en el sistema de dunas móviles.

Todas las muestras analizadas presentan, aproximadamente, la misma asociación de minerales pesados transparentes: Andalucita-Turmalina-Epidota, acompañada de Circón, variando sólo el orden de dominancia en algunas de ellas (Apcarián, 1983). El predominio de esta asociación y la presencia de Estauroлита, Granate y Distena indican una procedencia de rocas metamórficas, fundamentalmente de granitos, pegmatitas y otras rocas ígneas de gran abundancia en Sierra Morena. Los asomos de rocas básicas justificarían la presencia de Hiperstena y Hornblenda (Pérez-Mateos y Rivas, 1961).

Así mismo, es común en todas las muestras un contenido elevado de minerales opacos, menos importantes antes en aquellas cercanas a la playa. Dentro de los opacos hay que resaltar el alto porcen

taje de naturales (principalmente Ilmenita) frente a los de alteración (Leucoxenos y otros óxidos), lo cual está de acuerdo con la mineralogía del farallón costero, de donde proceden las arenas del área de estudio (Pérez-Mateos y Rivas, 1961).

Tanto en los perfiles como en las muestras superficiales del área, hay que resaltar la presencia de minerales transparentes considerados menos estables, siendo el más importante la Epidota, que llega a formar parte de la asociación mineralógica característica (Apcarián, 1983). La escasa presencia de este mineral en los sedimentos que constituyen el farallón costero induce a pensar en una contaminación por arenas más modernas aportadas por las corrientes marinas predominantes de dirección W-E, y cuyo origen está en los aluviones de ríos situados hacia poniente (Guadiana, Piedras, Tinto y Odiel) (Apcarián, 1983). Por todo ello, puede afirmarse que el origen de los materiales que forman la unidad geomorfológica de arenas móviles está fundamentalmente en los sedimentos del farallón costero, con aportes más modernos de tipo aluvial (Apcarián, 1983).

El estudio de las arenas, comentado anteriormente, muestra una distribución en el transecto playa → laguna de Santa Olalla en función de la densidad de los minerales pero fuertemente influenciada por la topografía, hasta el punto de que existe mayor relación con ésta que con la distancia en el transecto. Los datos granulométricos y mineralógicos, recogidos en el capítulo de Comentarios, permiten establecer una serie de subunidades coincidentes con las realizadas en función de la geomorfología y movilidad del sustrato. Sobre esta base, los suelos siguen una distribución paralela a la de dichas subunidades, facilitando el estudio edafológico.

En las dunas móviles, la evolución edáfica es prácticamente nula, pues al condicionante que supone la escasa alterabilidad del ma

terial original se suma otro factor limitante, como es la movilidad del sustrato. El perfil del suelo no está constituido más que por arenas fundamentalmente cuarcíticas de granos redondeados, que conforman un horizonte C.

En los corrales o valles interdurares, la capa freática frena la movilidad del sustrato, permitiendo cierta evolución y desarrollo del perfil en función de un proceso de hidromorfía. La diferente profundidad del nivel freático permite diferenciar dos elementos morfoedáficos: corrales húmedos (C.2.2.1) y corrales secos (C.2.2.2), representados por los perfiles XVII ("Corral Largo") y XVIII ("Corral Carbonero"), respectivamente.

El perfil XVII permanece saturado en agua la mayor parte del año, detectándose la capa freática a 50 cm en la época seca. La escasa vegetación que se desarrolla es de tipo hidrófila, predominando juncales distróficos que aportan poca materia orgánica, por lo que el horizonte orgánico es poco potente (7 cm) y con señales de hidromorfía.

El humus presenta características semejantes al de otras zonas deprimidas, con valores de la razón C/N próximos a 10, pH alrededor de 6 y grado de saturación del 80 %, por lo que corresponde a mull forestal, subtipo hidromull. En profundidad, el color grisáceo con cierto abigarramiento y el ligero olor sáprico del material original constituido por arenas de dunas, determinan unas condiciones de reducción típicas de un régimen de humedad ácuico. La escasa potencia del horizonte húmico (7 cm) no permite definir ningún epipedón, y al no existir horizonte alguno de diagnóstico, el suelo se incluye en el orden Entisol con régimen de humedad ácuico (Aquent). De nuevo, la textura arenosa a lo largo del perfil condiciona su clasificación como Psammaquent que, al coincidir con el concepto central del gran grupo, se clasifica como Typic Psammaquent.



El perfil XVIII representa al suelo típico de corral seco, con el nivel freático siempre a más de dos metros de profundidad. La vegetación que coloniza este tipo de suelo es un pinar ralo, con escaso desarrollo de matorral. Dicho pinar aporta continuamente material vegetal al suelo, que se acumula sobre el horizonte C sin llegar a combinarse con el material mineral. El resultado es la formación de un horizonte O de sólo 3 cm de espesor con un 16,5 % de materia orgánica, que disminuye bruscamente en profundidad (0,4 %). La elevada razón C/N (34,6), las condiciones climáticas y la morfología del horizonte O, apuntan a la existencia de un humus poco desarrollado que puede definirse como Xeromor (Duchaufour, 1975).

Igual que el perfil anterior, el escaso desarrollo observado obliga a clasificar el suelo como Entisol, Psamment por la textura y Xeropsamment por el régimen de humedad, al encontrarse el nivel freático por debajo de los 2 m de profundidad. Finalmente, al no presentar ninguna desviación del concepto central del gran grupo, el suelo queda clasificado como Typic Xeropsamment.

Este perfil constituye el caso más generalizado entre los suelos de los corrales secos pero, como se demuestra a partir de los sondeos realizados, existen situaciones intermedias en las que, aún cuando el régimen de humedad continúa siendo xérico, aparecen algunas manchas de hidromorfía difusas que clasifican el suelo como Aquic Xeropsamment.

Detrás del paso de los frentes dunares, aparecen unas pequeñas elevaciones arenosas fijadas por la humedad del nivel freático que se denominan contradunas. Como se ha expuesto, estas formaciones tienen una especial representación a barlovento de las grandes lagunas permanentes y corresponden a colas de frentes dunares desaparecidos dentro de dichas lagunas. Estas estructuras constituyen la subunidad

geomorfológica "Gusanos" que ha sido dividida en dos elementos morfoedáficos: Gusano Alto y Gusano Bajo, representados, respectivamente por los perfiles XIX y XX.

El perfil XIX corresponde a un suelo poco evolucionado, en el que se reconoce un horizonte A escasamente desarrollado, con pobre contenido en materia orgánica (0,6 %). Los bajos valores de C orgánico (0,35 %) y de la razón C/N (8,8) indican una buena mineralización del humus, que se clasifica como mull forestal poco desarrollado (Du chaufour, 1975).

La capa freática, relativamente cercana a la superficie (70 cm) en la época más húmeda, provoca un fenómeno de hidromorfía que afecta a la mitad inferior del perfil. El resultado es la aparición de manchas de óxido-reducción a partir de los 70 cm, que se hacen más manifiestas en profundidad. La escasa evolución del suelo no permite definir ningún horizonte diagnóstico, salvo un inicio de epipedón órico, lo que clasifica al suelo dentro del orden Entisol. La textura arenosa hasta más de 1 m de profundidad lo introduce en el suborden Psamment y, el régimen de humedad xérico en el gran grupo Xeropsamment. Finalmente, el inicio de un proceso de hidromorfía le confiere un carácter ácuico que permite clasificarlo como Aquic Xeropsamment.

Las partes más deprimidas, situadas entre estas pequeñas elevaciones arenosas (particularmente visibles al sur de la laguna de Santa Olalla) constituyen el elemento morfoedáfico "Gusano Bajo", representado por el perfil XX.

La baja posición topográfica de dicho elemento condiciona un nivel freático muy superficial, que llega a encharcarlo en la época húmeda, definiendo un régimen ácuico.

El suelo de esta zona se encuentra, igualmente, poco desarrollado debido a la inalterabilidad del material original y a su relativa juventud. La mayor altura del nivel freático provoca fenómenos de hidromorfía intensos, que llegan a diferencias horizontes de gleyzación. Al mismo tiempo, favorece la aparición de una densa cobertura vegetal (pastizal y juncal, fundamentalmente), que origina un horizonte A de unos 15 cm de espesor con un contenido alto de materia orgánica (11,4 %). Las características químicas de este horizonte (pH 5,6, C/N 20,7 y 68 % de saturación en bases) definen un humus de tipo mull forestal subtipo hidromull (Duchaufour, 1975).

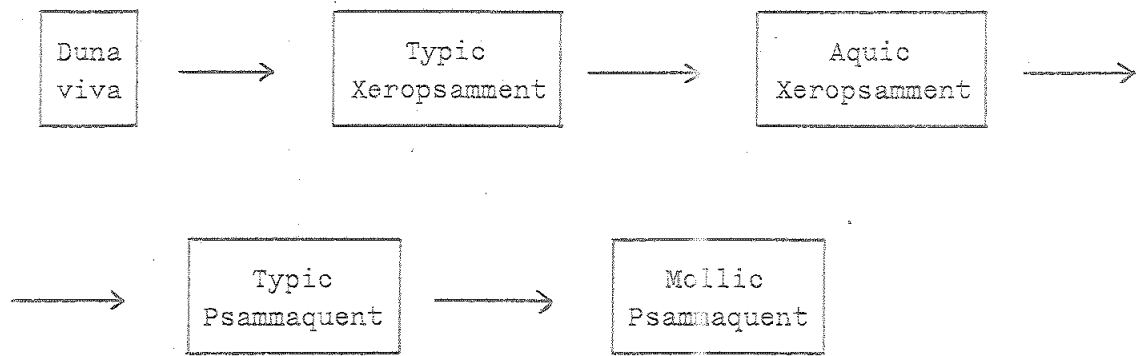
La juventud del suelo y su escasa diferenciación morfológica (perfil AC), lo clasifica dentro del orden Entisol que, por tener régimen de humedad ácuico, se incluye en el suborden Aquent. Igual que los perfiles anteriores, presenta textura arenosa hasta más de 1 m, definiéndose como Psammaquent. El color, textura y saturación en bases del horizonte orgánico muestran una cierta tendencia hacia la formación de un epipedón móllico que, en el perfil XX, no se puede definir por no alcanzar un espesor de 25 cm. Por todo ello, el suelo ha sido clasificado como Mollic Psammaquent.

La discusión de las diferentes muestras y perfiles estudiados en el sistema de dunas móviles muestra, en primer lugar, la influencia del material original en el escaso desarrollo edáfico. En efecto, estos suelos están condicionados fundamentalmente por la naturaleza cuarcítica poco alterable de las arenas y por la movilidad del sustrato, directamente relacionado con la profundidad a que se encuentra el nivel freático. Este condiciona, a su vez, el desarrollo vegetal, impidiéndolo casi totalmente en las dunas y favoreciéndolo con mayor o menor intensidad en los distintos corrales y gusanos.

Todo lo anteriormente expuesto, pone de manifiesto una íntima relación entre geomorfología, suelo y vegetación, pudiéndose enmarcar fácilmente la evolución edáfica en la dinámica geomorfológica de las arenas móviles. Así, se establece una catena que vá desde un suelo embrionario situado en los enclaves elevados de las dunas, con nivel freático profundo y gran movilidad del sustrato, hasta un perfil desarrollado en zonas deprimidas, con capa freática cercana a la superficie y potente horizonte orgánico.

En efecto, mientras el nivel freático se encuentra suficientemente profundo, la movilidad del sustrato impide cualquier evolución edáfica. Este estadio estará representado por un horizonte C constituido por las arenas cuarcíticas de las dunas móviles. A medida que la capa freática comienza a frenar el avance de las arenas, se desarrolla cierta vegetación que dá lugar a un suelo muy poco desarrollado (Typic Xeropsamment) que pronto se ve afectado por un inicio de proceso hidromorfo cuando la lámina de agua alcanza la base del perfil (Aquic Xeropsamment). El ascenso del nivel freático en situaciones más deprimidas termina provocando condiciones hidromorfas suficientes para definir un régimen de humedad ácuico (Typic Psammaquent), que al mismo tiempo favorece el establecimiento de una vegetación de tipo pastizal aportadora de una cantidad importante de materia orgánica. A partir de este momento, comienza el desarrollo de un horizonte orgánico, sin llegar a alcanzar potencia suficiente para definir un epipedón móllico, que incluiría al último eslabón de la catena en un orden más evolucionado. Por ello, el suelo con mayor desarrollo edáfico (Mollic Psammaquent), refleja el escaso tiempo de evolución edáfica, y, por tanto, la gran juventud de todo el sistema.

En resumen, la evolución edáfica del sistema de arenas móviles puede concretarse como sigue:



### VIII.3 ZONAS DE CONTACTO

La tercera gran unidad geomorfológica de las arenas del Parque Nacional de Doñana comprende las zonas de contacto de los tres grandes ecosistemas compuestos por arenas estabilizadas, arenas móviles y marisma. El área de intersección de las arenas estabilizadas con la marisma se denomina "Vera" y constituye la primera subunidad geomorfológica diferenciada. Ocupa una franja estrecha y larga, desde la altura del Rocío hasta el Lucio del Membrillo, extendiéndose como una orla que desaparece hacia el sur, donde las arenas móviles avanzan directamente sobre los fangos marismieños.

La segunda zona de contacto limita las arenas estabilizadas y los sistemas de dunas móviles. Está constituida por un rosario de lagunas permanentes (Lagunas del Brezo, Charco del Toro, Zahillo, Taraje, Dulce, Santa Olalla y Sopotón) que en épocas excepcionalmente lluviosas pueden conectar, desagüando en la marisma a través del caño del Peral.

#### VERA

La vera tiene un carácter de ecotono (Merino y col., 1980), esto es, constituye un área de transición entre dos ecosistemas diferentes como son las arenas oligotrofas del manto eólico y la depresión de la marisma con suelos arcillosos salinos y alcalinos sujetos a encharcamiento (Allier y col., 1974). Esta zona es la de mayor productividad primaria en Doñana por su textura y humedad más equilibradas y por la frecuente fertilización que recibe de los animales (Allier y Bresset, 1977).

La vegetación que coloniza la Vera está definida por un complejo mosaico de juncuales distróficos y pastizales eutróficos, entre los que se intercalan charcas distróficas casi permanentes. Las comunidades vegetales, muy variadas, son de gran interés ecológico y responden gradualmente a los cambios de los caracteres geomorfológicos, edáficos y de microrrelieve (Merino y col., 1978).

Desde un punto de vista hidrológico, la Vera comprende un área con alto índice de humedad como consecuencia de la descarga del acuífero dunar, así como el del sistema Almonte-Marismas (MOPU, 1979). Dichos acuíferos drenan a su través, liberándose un volumen de agua que puede pasar a formar parte de la escorrentía superficial o perderse a la atmósfera por evapotranspiración (Rodríguez Arévalo, 1984). En este sentido, la Vera puede definirse como una zona de salida del agua freática por afloramiento directo (Yagüe y Llamas, 1984). Por ello, numerosos autores coinciden en subrayar la importancia del mantenimiento sin alteraciones del balance hídrico y en resaltar la complejidad de dicha zona y el papel decisivo que juega en el equilibrio de todo el Parque (CEOTMA, 1981).

Topográficamente, la Vera se caracteriza por un descenso de nivel de unos 4 a 6 m desde las arenas estabilizadas a la marisma. En esta escasa diferencia de cotas existe un brusco cambio textural que la divide en dos elementos morfoedáficos: Vera arenosa y Vera arcillosa. Los materiales que conforman este último son los sedimentos aluviales limo-arcillosos que rellenan el antiguo estuario del Guadalquivir durante el Holoceno reciente (ver capítulo de Historia Geológica), hasta constituir las actuales marismas que han alcanzado un estadio avanzado de evolución (Vanney, 1970; Ménanteau y Pou, 1978). Dichos materiales limo-arcillosos entierran las arenas eólicas del manto arrasado, considerándose como Vera arcillosa el borde de marismas en el que las arenas aparecen a menos de dos metros de profundidad.

Actualmente, puede considerarse estacionada la deposición y avance de los sedimentos aluviales sobre las arenas estabilizadas, existiendo un equilibrio entre ambos ecosistemas. Sin embargo, en algunos enclaves concretos de esta zona de contacto, continúa una gran dinámica geomorfológica que obliga a distinguir otros dos elementos morfoedáficos. Estos son las zonas de desembocadura de los arroyos (Rocina, Soto Grande, Soto Chico y otros), y algunas pequeñas áreas de surgencia del nivel freático tales como los Nocles.

En definitiva, la subunidad geomorfológica Vera puede dividirse en cuatro elementos morfoedáficos: Vera arcillosa, Vera arenosa, Nucle y Arroyos.

#### Vera Arcillosa

Como se ha indicado anteriormente, la Vera arcillosa comprende el borde de marisma que presenta una discontinuidad litológica a menos de dos metros de profundidad. Dicha discontinuidad corresponde a las arenas estabilizadas sobre las que se han depositado los materiales finos aluviales de la Cuenca del Guadalquivir. En función de la profundidad a la que se encuentra la discontinuidad arenosa, se han tomado dos perfiles representativos de este elemento morfoedáfico (perfiles XXI "Marisma Rocina" y XXII "Vera Juncal", respectivamente).

El perfil XXI está situado cerca de la desembocadura del Arroyo de la Rocina y representa a la zona de marisma más alejada de la Vera, donde la arena aparece a 170 cm de profundidad. A pesar de ser un suelo típico de marisma, es pobre en sales, como demuestran los valores de conductividad eléctrica ( 2,5 mmhos/cm) a lo largo del perfil, debido a los continuos aportes de agua dulce que recibe, tanto del Arroyo de la Rocina como de los numerosos canales de desagüe de las arenas estabilizadas.



El suelo muestra un profundo agrietamiento en estado seco que le confiere una estructura prismática gruesa muy bien desarrollada, gracias al alto contenido en arcilla montmorillonítica de gran capacidad de hinchamiento y retracción. La presencia de carbonatos da al suelo reacción básica y favorece la neoformación de arcillas de tipo 2:1 que aumenta el carácter vértico (Rode y col., 1960; González y Pérez, 1970; Clemente, 1978 y otros). El contenido en carbonatos aumenta en profundidad, reflejando un ligero proceso de lixiviado, no suficientemente intenso como para formar horizonte argílico.

El contenido en materia orgánica (7,5 %), unido al valor de la relación C/N (13,2), a la presencia de carbonatos y a la completa saturación del complejo de cambio (100 %), definen un humus de tipo mull cálcico de pradera (Duchaufour, 1975).

El bajo contenido en sales no permite considerar el suelo como salino, dominando el carácter vértico que es criterio fundamental para su clasificación. Dentro del orden Vertisol, el régimen xérico define el perfil como Xerert y el color del chroma menor de 1,5 en los primeros 40 cm, como Pelloxerert. Entre los Pelloxerert, el perfil XXI cumple con el concepto central del gran grupo, clasificándose como Typic Pelloxerert.

El perfil XXII, "Vera Juncal", está situado muy cerca del límite de las arenas con la marisma. Representa zonas de juncales de gran productividad primaria que permanecen húmedas la mayor parte del año debido a la descarga del acuífero de las arenas estabilizadas. Por todo ello, el horizonte superficial muestra un mayor contenido en materia orgánica (14,9 %), que le confiere cierta acidez (pH 6,2). La relación C/N es demasiado elevada (16,6) para definir un humus semejante al del perfil anterior a pesar de tener el complejo de cambio totalmente saturado. Los valores mencionados convienen mejor a un humus mull-moder cálcico.

El suelo presenta características físicas, químicas y morfológicas semejantes al del perfil XXI, clasificándose de la misma forma hasta nivel de gran grupo, esto es, Pelloxerert. La principal diferencia radica en la profundidad a la que aparece la discontinuidad litológica (100 cm) que está comprendida dentro de la sección de control (125 cm). Esta circunstancia obliga a tener en cuenta el suelo arenoso enterrado bajo los sedimentos finos aluviales, por lo que el perfil se clasifica, a nivel de subgrupo como Thapto Psammentic Pelloxerert.

Como puede observarse, el proceso genético fundamental de la evolución edáfica en la Vera arcillosa es el de vertisolización, muy frecuente en clima mediterráneo caracterizado por la alternancia de períodos húmedos y secos (Dudal, 1967). Dicha alternancia climática provoca fenómenos de hinchamiento y retracción en los materiales arcillosos (Anderson y col., 1973; Martín y col., 1980; Clemente, 1978), que se reflejan en la apertura y cierre de grietas de más de 50 cm de profundidad. Estos fenómenos se acentúan en medios básicos ricos en cationes  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  (Roy y Borde, 1962; Marado y col., 1966), en los que los períodos alternativos hidromorfos favorecen la neoformación de montmorillonita (Rode y col., 1960), de gran capacidad de hinchamiento. La neoformación de estas arcillas incluirían Fe en su red cristalina, lo que explicaría las bajas razones  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre/total de estos suelos a pesar del alto contenido en hierro total. Esta dinámica de apertura y cierre de grietas trae como consecuencia una homogeneización del perfil característica de estos suelos.

Sobreimpuesto al proceso principal de la vertisolización, los suelos de la Vera arcillosa presentan otro secundario de hidromorfía más vinculado a condiciones de drenaje externo impedido que a la naturaleza del material original. Todos estos fenómenos favorecen la polimerización de los compuestos orgánicos, dando lugar a la formación

de ácidos húmicos muy negros, de gran estabilidad y estrechamente ligados a la fracción coloidal mineral del suelo (Díaz, 1969). El resultado es un oscurecimiento del mismo que se intensifica a medida que se lavan los carbonatos.

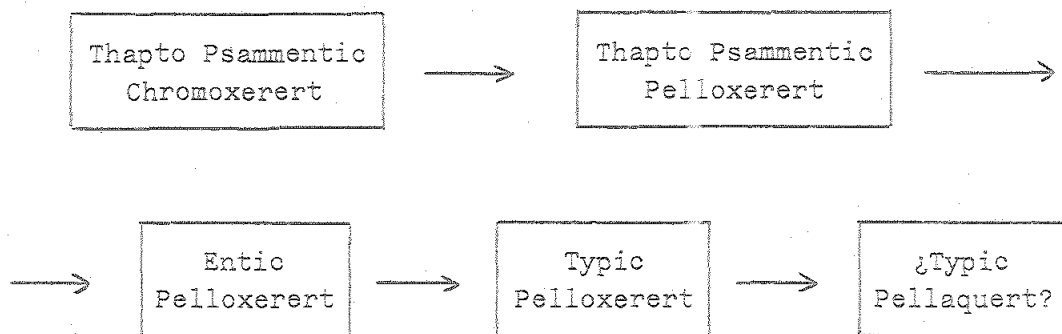
La acentuación del proceso de hidromorfía acidificaría el suelo, con la consiguiente liberación y movilización de hierro que se refleja en la formación de moteado y concrecionamiento. La evolución del vertisol sería, entonces, hacia un suelo típicamente hidromorfo (Mudarra y col., 1984). Esta dinámica evolutiva crea la necesidad de incluir en el orden Vertisol, un suborden Auert que recoja aquellos vertisoles que presenten un proceso de hidromorfía suficientemente intenso, como es el caso de los perfiles XXI y XXII.

Ambos perfiles presentan cierta salinidad en sus respectivos horizontes superficiales, donde se alcanza una conductividad eléctrica de 2,2 mmhos/cm en el primero y de 4,4 mmhos/cm en el segundo. Estos valores descienden de forma acusada en profundidad, por lo que el carácter vértico es predominante y el salino sólo se tendría en cuenta para definir fases en algunos subgrupos de estos vertisoles.

En resumen, los suelos de la Vera arcillosa están afectados por tres procesos edafogenéticos que en orden de importancia son vertisolización, hidromorfismo y halomorfismo. El primero es el más importante y, por tanto, clasifica los suelos en el orden Vertisol. El segundo está sobreimpuesto debido a las características topográficas y al material original que impiden el drenaje externo e interno, respectivamente. En función de la intensidad de dicho proceso, pueden encontrarse algunos suelos en los que el chroma sea superior a 1,5 (Chromoxerert), pero en general, el predominio corresponde a vertisoles con chroma inferior a 1,5 (color oscuro), como consecuencia de la evolución especial que sufre la materia orgánica (Pelloxerert). Finalmente, el carácter salino, muy importante en gran parte de la marisma, no tiene

suficiente incidencia en la Vera arcillosa debido al continuo aporte de agua dulce proveniente de la descarga del acuífero de las arenas estabilizadas y a la proximidad de los arroyos que recogen el drenaje de las mismas.

Por todo lo expuesto, la catena de evolución edáfica que se establece para este elemento morfoedáfico sería:



### Vera Arenosa

La Vera arenosa se define como aquella parte del ecotono, cuyos suelos muestran textura francamente arenosa hasta por lo menos 1 m de profundidad.

Como se ha indicado, es una zona de gran productividad primaria y, por tanto, muy frecuentada por las comunidades faunísticas del Parque. La parte más próxima al matorral de las arenas estabilizadas corresponde a un pastizal acidófilo seco, más rico y denso mientras más próximo a la marisma debido, por un lado, al aumento de humedad y, por otro, a una mayor fertilidad y alcalinidad que acrecienta la actividad biológica del suelo (Allier y col., 1974).

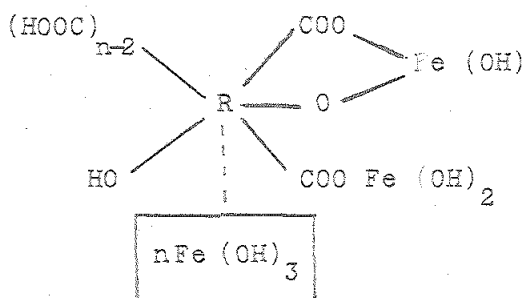
En general, la Vera arenosa presenta una gran humedad ya que constituye una zona de descarga del acuífero de las arenas estabilizadas, que en su parte terminal se encauza en numerosos pequeños arroyos. En las proximidades de sus desembocaduras aparece un accidente morfológico que caracteriza a la Vera arenosa. Se trata de una costra ferruginosa formada por arena cementada por óxidos de hierro, fundamentalmente, y manganeso. Dicha costra se origina a una profundidad de 90 a 100 cm en la parte más alejada de la marisma, y de 55 a 75 cm en la parte más próxima, correspondiendo siempre el límite superior de la zona de fluctuación de la capa freática, donde precipitan los óxidos de hierro y manganeso evacuados por lavado del área de arenas estabilizadas (Siljeström, 1981).

Como se ha discutido, los procesos fundamentales de la génesis y evolución de los suelos de la zona de arenas son hidromorfía y acumulación de materia orgánica, procesos que influyen directamente en la formación de las corazas ferruginosas (Vepraskas y Bouma, 1976). El primer paso sería la liberación de los óxidos metálicos por alteración del material original (Segalen, 1964; Perkins y Lawrence, 1982). Los óxidos de hierro libres recubren los granos de arena, formando una cutícula íntimamente ligada a ellos, que da al material un color pardo-amarillento (Williams y Yaalon, 1977).

En el estado oxidado en que se encuentra, el hierro no es soluble a los pH normales del suelo. Por ello es necesario un proceso de hidromorfía que lo reduzca previamente a su movilización, llegando se a constatar menor contenido de Fe libre en suelos con mal drenaje que en otros bien drenados (Rich y Obenshain, 1956). Por otro lado, la presencia de materia orgánica favorece la reducción a expensas de los productos resultantes de su fermentación (Betrémieux, 1954), de las bacterias que colonizan el suelo (Bromfield, 1954) y de los ácidos orgánicos, fundamentalmente ácidos fúlvicos (Kuznicki y Slodowski,

1978). Respecto a estos últimos, Dupuis y col. (1970) han demostrado que a pH 3 la reducción de hierro alcanza los 500 meq por 100 g de ácidos fúlvicos.

En estas condiciones el hierro es complejado por la materia orgánica mediante reacciones de intercambio catiónico, adsorción superficial, quelación o peptización (Mortensen, 1963). La formación de estos complejos o quelatos ha sido puesta de manifiesto por numerosos autores. Así, Atkinson y Wright (1957) demuestran la presencia de quelatos de hierro en el suelo a los que Alexandrova (1960) da una fórmula aproximada a:



Fundamentalmente, en la complejación o quelación del Fe intervienen grupos carboxilos, hidroxilos y amidas.

Dentro de las arenas del Parque Nacional de Doñana, se ha estudiado la fracción orgánica de uno de los suelos con mayor acumulación de material vegetal (perfil IX, "Encinillas Altas"), habiéndose comprobado la existencia de una serie de compuestos, entre los que destacan los ácidos grasos de 16 y 18 átomos de carbono y ácidos bencenocarboxílicos y fenólicos (Martín y col., 1981). La acidez del medio (pH menor que 4 en los horizontes orgánicos) frena la actividad de la microflora autóctona del suelo, especializada en la ruptura del anillo bencénico, del que toman la energía (Dagley, 1977), por lo que los ácidos bencenocarboxílicos no evolucionan hacia los alifáticos di

carboxílicos. El resultado es la formación de ácidos húmicos jóvenes con alta proporción de ácidos fúlvicos que tienen un gran poder complejante.

Una vez reducido y complejado, el Fe puede emigrar favorecido por la textura arenosa del sustrato y, sobre todo, por la acidez del medio (Dommergues y Duchaufour, 1965) y la humedad excesiva temporal (Kauritschew y col., 1964). En este sentido, Bruckert (1960) y Guillet (1972) han demostrado experimentalmente, con ayuda de  $C^{14}$ , la emigración de los complejos organo-férricos, especialmente en medios ácidos. En el área de estudio, la emigración del hierro en forma de complejo o quelato dependerá, básicamente, de la circulación hacia la marisma del nivel freático, como se aprecia a través de los diagramas de flujo hidráulico correspondientes a esta zona (Rodríguez Arévalo, 1984).

El recorrido de los complejos estará en función de una serie de factores entre los que cabe destacar cambio de salinidad, oxidación de las aguas y potencial de óxido-reducción (Callame y Dupuis, 1972; Tian Ren, 1982). Al mismo tiempo hay que tener en cuenta el aumento de la carga catiónica como consecuencia de la destrucción del anión orgánico por microorganismos, descomposición que ha sido puesta de manifiesto por diversos autores (Oades, 1963; Aristovskaya y Zykina, 1979; Chukhrov y Gorshkov, 1981, y otros), sin olvidar la influencia de la elevación del pH en la estabilidad de los complejos (Schnitzer y Skinner, 1963).

Para una zona dada, todos estos factores marcan una posibilidad de emigración traducida en una distancia a la que precipitan y se acumulan para formar la costra ferruginosa, puesta de manifiesto en el perfil XXV. En dicho perfil, se comprueba que el contenido en materia orgánica disminuye con el incremento de la profundidad para

aumentar de nuevo en el horizonte Cms (90 cm), donde se desarrolla la costra que, por otra parte, coincide con el nivel superior de la capa freática. Este aumento en el contenido de materia orgánica está a favor de la emigración del hierro complejado por ella (Clemente y col., 1981). El manganeso sigue, como se ha indicado en el capítulo de Comentarios, un proceso similar al hierro aunque se encuentre en mucha menor proporción. Este escaso contenido está relacionado con la pobreza que muestran las arenas en dicho elemento, como consecuencia de su mayor poder de movilización (Yaalon y col., 1972; Childe y Leslie, 1977), que aumenta, respecto a la del hierro, cuando se intensifican las condiciones de hidromorfía (Zaydel'man y col., 1979).

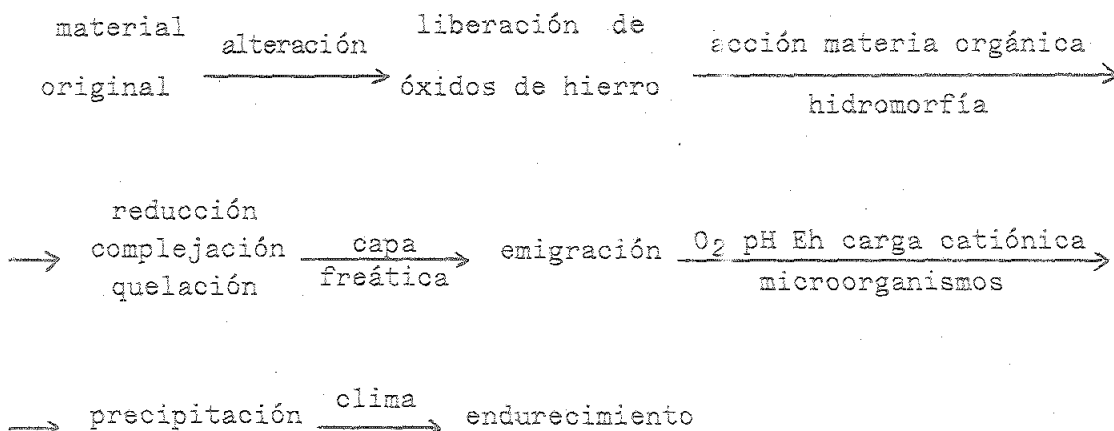
El último proceso en la formación de la costra es su endurecimiento por cristalización de los óxidos de hierro a partir de las formas amorfas precipitadas. Los óxidos cementan los granos de arena, alcanzándose una gran consistencia que depende fundamentalmente de la influencia del clima, con estaciones bien contrastadas (Segalen, 1964), y de las variaciones de los valores de la difusión del oxígeno. En efecto, donde existe poca difusión se forman moteados y donde ésta es más rápida, nódulos, por lo que los primeros tenderán a situaciones más cercana de la superficie que los segundos (Bini, 1976).

El hierro se acumula en forma de gel que al envejecer pasa a forma de sol, constituido por una amplia gama de óxidos hidratados amorfos de fórmula general  $Fe_5(OH)_8 \cdot 4H_2O$ . Durante los períodos húmedos se producen nuevos aportes y se redistribuyen los ya existentes. La redistribución y acumulación de los sucesivos aportes va dirigida a sitios específicos en los que las condiciones de permeabilidad y reparto de carga son propicios. En los períodos secos, los óxidos hidratados amorfos (prehematite, fundamentalmente, de color rojo) (Lamouroux y col., 1977) sufren una deshidratación y cristalización hacia goetita (única forma estable desde un punto de vista termodinámico).



mico, según Schwertmann y col., 1974), como se demuestra a través del estudio de los diagramas de rayos X y térmico diferencial realizados por Clemente y col. (1981).

En resumen, la génesis y evolución de la costra ferruginosa, que coincide con la definición de "Plintita" según Daniels y col. (1978), puede sintetizarse en base al siguiente esquema:



En base a esta hipótesis, puede afirmarse que las costras no corresponden a verdaderas costras edáficas sino a acumulaciones de hierro actuales, favorecidas por cambios texturales del depósito, transportado por niveles freáticos o aguas de escorrentía, con lo que su significado climático hasta ahora admitido (Pérez-Mateos y Riba, 1961) no parece ser correcto, por lo menos en su generalidad.

En función a las diferentes situaciones geomorfológicas encontradas, así como a la génesis y evolución de las costras ferruginosas se han abierto tres perfiles representativos de la Vera arenosa.

El perfil XXIII ("Farallón aluvial" está situado en el límite norte de las arenas estabilizadas (elemento morfoedáfico "Eucalip-tar"), frente a la aldea de El Rocío. Su cercanía al arroyo de la Rocina, su baja posición topográfica, y la presencia de las arenas basales a partir de los 55 cm hacen que este suelo presente una serie de características muy peculiares.

En efecto, un intenso proceso de hidromorfía se manifiesta a través de un suelo pastizal con gran cobertura herbácea. La proximidad de la marisma (5 m aproximadamente), así como las crecidas del arroyo de la Rocina, confieren al perfil XXIII trazas de carbonatos y una gran fertilidad en superficie, como reflejan los altos valores de elementos asimilables.

La vegetación es de tipo anual, por lo que incorpora material orgánico continuamente al horizonte superficial a través de sus raíces (8,8 %). El pH (6,3), y la elevada saturación del complejo de cambio (96,7 %) convienen a un humus mull forestal que, por las condiciones hidromorfas a que está sometido, correspondería al subtipo hidromull. Por otro lado, la elevada razón C/N del horizonte Ah (31,9) lo hace tender hacia moder, quedando definitivamente como hidromull tendente hacia hidromoder.

La saturación en bases aumenta en profundidad, de forma paralela al pH, hasta llegar a la discontinuidad litológica, donde ambos alcanzan los máximos valores (100 % y 7,1 , respectivamente). Esta discontinuidad se diferencia claramente en base al análisis mecánico, como se ha comentado anteriormente, ya que las arenas basales muestran un mayor contenido en elementos finos (limo + arcilla) que las arenas eólicas suprayacentes.

Por otro lado, dicho sedimento constituye el nivel más bajo por el que circula la capa freática (en superficie en la época húmeda), provocando un intenso fenómeno de hidromorfía en los horizontes

superiores, como puede apreciarse a través de la descripción morfológica del perfil. El elevado porcentaje en C orgánico y el color del horizonte superficial, así como el aumento gradual que sufre la saturación en bases hacia la profundidad, permitirían definir un epipedón móllico si tuviera el espesor suficiente. Por ello, el suelo se incluye en el orden menos evolucionado, Entisol. La fuerte hidromorfía que se observa en el perfil define un régimen de humedad ácuico que, unido a la textura arenosa en más de 1 m de profundidad, clasifica el perfil en el gran grupo Psammaquent. Finalmente, el carácter móllico del horizonte superficial permite clasificarlo como Mollic Psammaquent.

Los perfiles XXIV y XXV ("Asphodelus Martinazo" y "Cerrado Alcornocues", respectivamente) están situados en el límite E de las arenas estabilizadas con la marisma.

El perfil XXIV representa los suelos desarrollados cerca de los canales de desagüe del drenaje de las arenas estabilizadas en la marisma, alrededor de los cuales comienza a formarse una costra ferruginosa cuya génesis se ha descrito anteriormente. En este suelo, los óxidos de hierro comienzan a precipitar en forma de manchas primero ( $Cg_1$ , 20-40 cm) y masiva y nodular en los siguientes horizontes ( $Cs_1$  y  $Cs_2$ , 40-60 cm y 60-70 cm, respectivamente). En efecto, de acuerdo con la teoría postulada por Ojanuga y Lee (1973) sobre una formación semejante en Nigeria, estas costras adquieren aspecto nodular debido a la cristalización diferencial del cemento goetítico del núcleo del moteado, como parecen poner de manifiesto los puentes de hierro entre granos de cuarzo que se observan en el estudio microscópico de láminas delgadas (Fitzpatrick, 1985).

La altura del nivel freático (entre 50 y 70 cm en la época seca) mantiene húmeda la zona de acumulación de hierro, incluso en los meses de verano por ascensión capilar. No existen claros períodos al-

ternativos de humectación y desecación del suelo, por lo que dicha acumulación ferruginosa no evoluciona o lo hace muy lentamente hacia una costra endurecida. Los horizontes  $Cs_1$  y  $Cs_2$  del perfil XXIV pueden considerarse, por tanto, como un paso previo en la formación de la costra que aparece en el perfil XXV.

El elevado nivel freático favorece un gran desarrollo de la vegetación. En efecto, durante la época más húmeda se establece un denso pastizal acompañado de numerosos Asphodelus sp., indicadores de suelos hidromorfos.

El pH (5,1) y la razón C/N (21,9) convienen a un humus moder, subtipo hidromoder (Duchaufour, 1975). La saturación en bases es un poco elevada para este tipo de humus (64,3 %) debido, probablemente, a una contaminación por cationes provenientes de la marisma, de la que se encuentra muy cerca (20 m aproximadamente). Igual que el perfil anterior, el horizonte superficial presenta una clara tendencia a formar un epipedón móllico, cuyas condiciones no cumple por su escasa potencia. El régimen de humedad del suelo es, asimismo, ácuiico, por lo que, a nivel de gran grupo recibe el mismo nombre que el perfil XXIII, esto es, Psammaquent. La aparición de una costra en formación a partir de los 40 cm de profundidad da al suelo un carácter plíntico. Por todo ello, el perfil XXIV ha sido clasificado como Mollic-Plinthic Psammaquent.

El tercer suelo estudiado en la Vera arenosa (perfil XXV "Cerrado Alcornocues") representa a los enclaves más alejados del límite de inundación de la marisma. Se trata de un suelo poco desarrollado, situado en una zona próxima a un gran caño de desagüe del drenaje del manto de arenas, que muestra una costra ferruginosa fuertemente cementada a 90 cm de profundidad, con forma alveolar y grandes oquedades rellenas de arena y pequeñas raíces. Este tipo de costra ha sido descrita por Smith y col. (1977) en suelos de Venezuela y denominada li-thoplinthita.

Su presencia a menos de 1 m obliga a considerarla a nivel de clasificación, cualquiera que sea el proceso de su formación y aunque constituya una discontinuidad litológica.

Entre las características químicas hay que resaltar la variación que sufre el contenido en materia orgánica en el perfil. En efecto, a partir de la superficie, el porcentaje de materia orgánica disminuye con el incremento de la profundidad para aumentar en el horizonte que incluye la costra, donde alcanza un valor semejante al superficial (3,7 % en Au<sub>1</sub> frente a 3,4 % en Cms). Esta circunstancia confirma la idea de que los óxidos de Fe y Mn que constituyen la costra han sido movilizados y transportados bajo la forma de complejos orgánicos, lo que explica su solubilización a los pH encontrados en los suelos de las arenas estabilizadas.

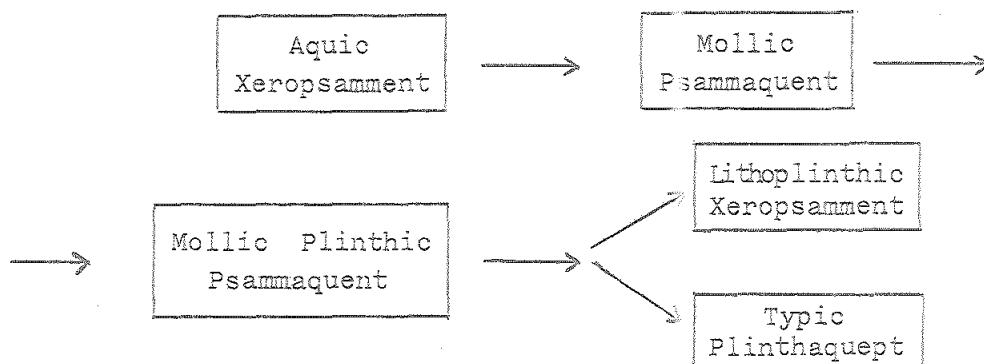
El endurecimiento que muestra la costra en este perfil se debe a una mayor fluctuación de la capa freática que permite periodos de sequedad, durante los cuales avanza el proceso de cristalización de los óxidos de hierro. Se trata, pues, de un estadio más evolucionado respecto de la acumulación ferruginosa observada en el perfil anterior.

Al no existir horizontes de diagnóstico, el perfil se clasifica en el orden Entisol con un humus de tipo mull oligotrofo debido a la acidez y escasa saturación en bases del medio. La profundidad de la capa freática, detectada a 160 cm, en la época seca, no permite hablar de régimen ácuico, lo que, unido a la textura arenosa del perfil, clasifica el suelo como Xeropsamment. La presencia de la litoplintita estaría a favor de la creación de un subgrupo que podría denominarse Lithoplinthic Xeropsamment ya que la Soil Taxonomy (1975) permite adjetivar los grandes grupos en caso de que los suelos no encajen en los subgrupos ya definidos.

Los sondeos realizados en la Vera arenosa muestran la presencia de suelos poco evolucionados con el nivel freático suficientemente profundo, que sólo afecta a la base del perfil (Aquic Xeropsamment). Conforme la hidromorfía aumenta, además de definirse ácuico, comienza a desarrollarse un epipedón con características móllicas (perfiles XXIII y XXIV) que en ocasiones muy especiales alcanza el espesor necesario para definir un Aquept. De forma paralela aumenta la acumulación de óxidos de hierro en el límite superior de oscilación de la capa freática, por lo que este último suelo se clasifica como Typic Plinthaquept.

Cuando existe un descenso relativo del nivel freático por acumulación de arenas en enclaves determinados, la zona de enriquecimiento en hierro permanece seca durante el tiempo necesario para favorecer su endurecimiento y, por tanto, la formación de la costra. Por otro lado, la mayor profundidad del nivel freático no permite la continuidad del pastizal, perdiendo el perfil su carácter móllico.

Por ello, el Lithoplinthic Xeropsamment (perfil XXV) debe considerarse como un suelo menos evolucionado desde un punto de vista edáfico pero más evolucionado en función de la génesis de las costras ferruginosas. Por tanto, en la catena de evolución de la Vera arenosa dicho suelo supone una desviación, quedando aquella como sigue:



## Nocle

Dentro de la subunidad geomorfológica "Vera", y más concretamente en zonas puntuales de la Vera arenosa, aparecen una serie de suelos representativos de situaciones muy singulares que se han concretado en el perfil XXVI.

El perfil XXVI, denominado "Nocle", se encuentra situado al Sur de la laguna del Sopotón, en un área donde la Vera se confunde con antiguos corrales. La baja posición fisiográfica del perfil en el paisaje implica un "efecto colector" de las aguas, lo que explica el elevado nivel freático que presenta el suelo, llegando a estar inundado una gran parte del año. Dicho nivel muestra, asimismo, una gran variación en la conductividad eléctrica (0,83 mmhos/cm en la época seca y 1,36 mmhos/cm en la húmeda), reforzando la idea de "sumidero" anteriormente postulada ya que en invierno hay un flujo hidráulico mucho más intenso que en verano. Dicho flujo comienza en las zonas de recarga (zonas más elevadas y crestas de dunas) y puede tardar en su recorrido de 2 a 220 años (Vela, 1984). Existen flujos más profundos que circulan a través del acuífero hasta el muro impermeable de las margas, pasan a través y por debajo de las formaciones ligeramente más permeables que rellenan la marisma y ascienden por flujo vertical después de un período que varía entre 50 y 13.000 años (Yagüe y Llamas, 1984). Es lógico pensar que durante la circulación subterránea, las aguas hayan atravesado diversos niveles conchíferos y/o salinos, aumentando su contenido en sales. Posteriormente, afloran en la zona de la Retuerta (parte Sur de la Vera donde se sitúa el perfil "Nocle"), depositando una serie de sales, carbonatos fundamentalmente, que se acumulan en su superficie (33,5 % de  $\text{CO}_3^{=}$  en el horizonte cuyos valores en el perfil son muy elevados, especialmente en su forma total, debido a la conjunción de dos fenómenos. En primer lugar, el hierro complejado por la materia orgánica, proveniente del acuífero

del manto arrasado, precipita en superficie al variar ésta sus condiciones físico-químicas, siguiendo un proceso semejante al discutido anteriormente para los perfiles XXIV y XXV. Por otro lado, al estar ubicado en las proximidades de las dunas móviles, puede suponerse que recibe aportes arenosos ricos en minerales pesados, de forma similar a lo que ocurre en el perfil XX ("Gusano Bajo").

Como se ha indicado, el perfil XXVI corresponde a un suelo saturado en agua gran parte del año. Esta circunstancia genera un desarrollo vegetal de tipo pastizal que origina un horizonte orgánico de 25 cm de espesor, dividido en dos subhorizontes (Akz y Ak) en función a la presencia de sales (ClNa, fundamentalmente) y a un cierto carácter anaeróbico del horizonte Ak que, además de mostrar color gris verdoso, presenta cierta cantidad de sulfuros que dan al suelo olor sáprico.

Los valores de pH (8,2), relación C/N (11,7) y saturación en bases del horizonte superficial y, sobre todo, el tiempo de encharcamiento, convienen a un humus de tipo anmoor cálcico (Duchaufour, 1975).

El intenso proceso de hidromorfía que sufre el suelo se refleja no sólo en los horizontes superficiales, sino en un color grisáceo con cierto abigarramiento y olor sáprico en profundidad, condiciones de reducción típicas que determinan un régimen de humedad ácucico. La potencia, color y textura del horizonte húmico permiten la definición de un epipedón móllico que, unido al régimen de humedad, clasifica el suelo en el suborden Aquoll.

La presencia de sales en superficie, reflejadas a través de una elevada conductividad eléctrica (4,41 mmhos/cm en Akz), no es suficiente para definir un horizonte sálico, por lo que no puede ser tenida en cuenta a nivel de clasificación. No sucede lo mismo con los carbonatos que, por superar el 15 % en los primeros 25 cm, definen un



horizonte cálcico que clasifica el perfil como Calciaquoll. Finalmente, como consecuencia de un color en superficie más claro al exigido para el concepto central, el perfil XXVI puede ser denominado Aeric Calciaquoll.

Este suelo se considera en la catena evolutiva desarrollada en la Vera arenosa como un eslabón más evolucionado, a partir del Mollic Psammaquent anteriormente mencionado, por acumulación de sales en superficie (carbonatos, principalmente). Esta acumulación presenta cierto paralelismo con la discutida en los perfiles XV y XVI de los Cordones de la Marismilla. En efecto, como se discutió anteriormente, la posición deprimida del perfil XXVI favorece la presencia de un área de descarga del acuífero circundante. Este agua, cargada en sales en disolución inunda el suelo en la época húmeda. En la época seca, las sales se concentran en el agua y precipitan cuando alcanzan su constante de solubilidad. Por otro lado, al descender la presión de  $\text{CO}_2$ , los bicarbonatos pierden hidrogeniones y pasan a carbonatos (insolubles), que se acumulan en superficie donde alcanzan valores excepcionalmente elevados. Por tratarse de una situación especial dentro de la Vera arenosa, no se establece catena de evolución en este elemento morfoedáfico, sino que, como se ha indicado, se introduce en la general del elemento anterior, como un estadio más evolucionado del suelo.

### Arroyos

La parte Norte de las arenas estabilizadas se encuentra atravesada por una serie de arroyos capaces de mover un gran caudal (La Rocina, Soto Grande, Soto Chico) a través de cauces bien encajados en el manto eólico que ponen al descubierto las arenas basales. Dichos arroyos presentan una vegetación de bosque galería que se adapta perfectamente al sustrato gleizado, oligotrofo y temporalmente inundado. La

asociación vegetal propia de la zona se define por la presencia de sauces (Salix atrocinerea Brot.), al que alguna vez puede acompañar el fresno (Fraxinus angustifolia Vahl.), junto con lianas y microfanerófitos sarmentosos que alternan con plantas vivaces, entre las que cabe destacar el helecho palustre (Thelypteris palustris Schott) (Rivas-Martínez y col., 1980). Los bosquetes de sauces son el tipo de vegetación forestal de carácter más higrófilo del territorio estudiado, y la sauceda representa la etapa madura del ecosistema. A medida que el arroyo se acerca a la marisma, se ensancha su desembocadura y desaparece el bosque galería, evolucionando la vegetación hacia una asociación pobre en especies, entre las que dominan la "masiega" (Cladium mariscus (L.) Pohl) y la "enea" (Typha angustifolia L.). Estas especies son típicos helófitos competitivos, de gran talla y grandes hojas que muestran cierta preferencia por biotopos higrófilos dulceacuícolas meso-oligotrofos que, bajo la influencia de la gran densidad vegetal encharcada la mayor parte del año, tienden a turberizar el suelo (Rivas-Martínez y col., 1980).

El perfil XXVI, "Soto Grande", está ubicado en la desembocadura del arroyo del mismo nombre y representa las zonas turberizadas anteriormente descritas. El material original del suelo está constituido por los elementos finos que constituyen la marisma del Guadalquivir (91,0 % y 99,0 %, respectivamente, en los dos últimos horizontes). Por encima de estos sedimentos se ha originado un suelo de 70 cm de potencia, compuesto básicamente por restos vegetales, cuyo contenido en materia orgánica supera con mucho cualquier perfil estudiado, constituyendo un caso excepcional dentro de la evolución de los suelos del Parque Nacional de Doñana. La potencia y la diferente estructura del horizonte orgánico permiten su diferenciación en tres subhorizontes (Hi, He y 2Hi).

Hay que destacar la presencia del horizonte 2Hi por cuanto que supone un cambio en el régimen de inundación de la marisma. En efecto, al descender el nivel freático, en la actualidad sólo afecta, de forma permanente, la base del horizonte orgánico (2Hi), permitiendo algún período de sequedad en la parte superior de dicho horizonte. Esta circunstancia favorece un proceso de humificación discontinuo que se refleja en la formación del horizonte H2. Por ello, se ha considerado el horizonte 2Hi como una discontinuidad en el conjunto del potente horizonte orgánico.

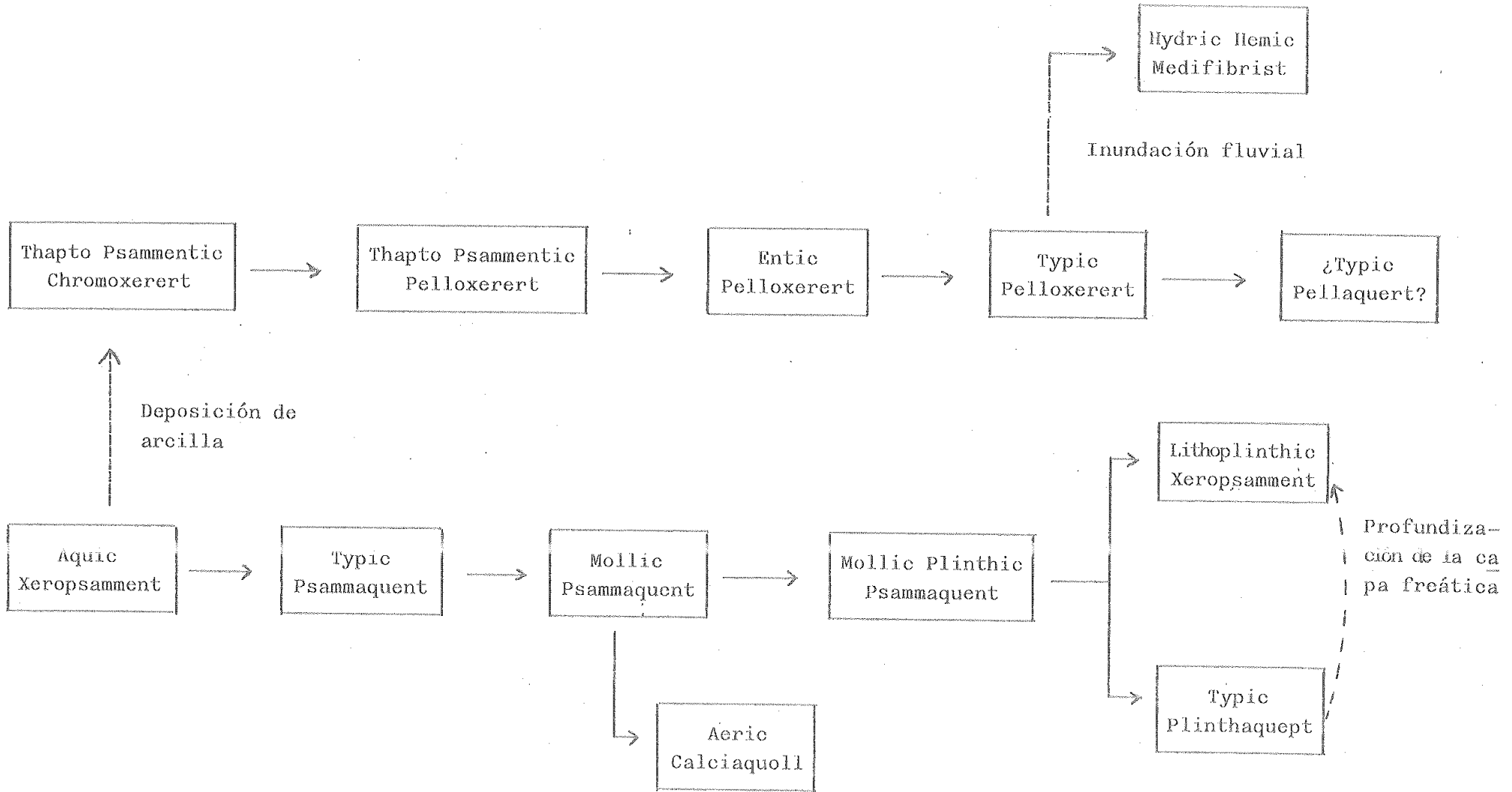
Todo este proceso se refleja en los porcentajes de materia orgánica, que disminuyen del primero al segundo horizonte (72,4 % frente a 56,3 %), para aumentar de nuevo en el tercero, donde alcanza un valor similar al superficial (75,0 %). A pesar de que existe una corta estación en la que el suelo se seca, el humus no puede ser clasificado como anmoor a causa del elevado porcentaje de materia orgánica y relación C/N (38,9 en Hi). Asimismo, la acidez del medio (pH 4,5) apunta hacia una turba de tipo oligotrófica, cuyos valores de razón C/N (entre 30 y 40) y porcentaje de materia orgánica (más de 30 %, poco humificada y de estructura fibrosa) coinciden con los del horizonte orgánico de este perfil (Duchaufour, 1975). El grado de saturación en bases presenta valores ligeramente superiores a los exigidos (45,3 % en Hi), debido probablemente a una cierta contaminación por cationes de la marisma. En efecto, en la época húmeda, el agua que inunda toda la desembocadura está constituida por una mezcla del drenaje proveniente de las arenas edáficas (aguas ácidas) con agua relativamente rica en sales de la marisma. Es lógico pensar que la acidez del medio no permita la presencia de carbonatos, manteniéndose parte de los cationes retenidos por el complejo orgánico, como reflejan los valores de elementos asimilables y de conductividad eléctrica (1,49 mmhos/cm en Hi).

El elevado contenido en carbono orgánico y el espesor del horizonte (70 cm) permiten definir un epipedón hístico que clasifica el suelo en el orden Histosol. La textura predominantemente fibrica de dicho epipedón y la ausencia de un horizonte mayor de 2 cm compuesto en más de un 50 % por materiales humilúvicos, clasifican el suelo dentro del gran grupo Medifibríst. La existencia de material hémico a menos de 25 cm permite adjetivarlo Hémico Medifibríst que, unido a la presencia del nivel freático dentro de la sección de control incluso en la época seca (55 cm en octubre 1982), lo clasifica como Hydríc Hémico Medifibríst.

Por tratarse de un suelo derivado de una situación geomorfológica especial, no puede hablarse de catena de evolución edáfica independiente en este elemento morfoedáfico. Por tanto, se considera el perfil XXVII como un estadio más evolucionado en el conjunto de suelos de la Vera arcillosa.

En resumen, la subunidad geomorfológica "Vera" está constituida por cuatro elementos morfoedáficos: Vera arcillosa, Vera arenosa, Arroyos y Nocles. Estos dos últimos pueden considerarse, respectivamente, como situaciones extremas y puntuales de los dos primeros, participando en sus catenas edáficas como estadios avanzados de evolución originados por unas características geomorfológicas especiales.

De esta forma, la evolución edáfica de la subunidad geomorfológica "Vera" se establece esquemáticamente como sigue:



### Lagunas permanentes

Marcando el límite entre las arenas móviles y estabilizadas, aparece una serie de lagunas paralelas a la costa que mantienen el agua todo el año (Lagunas del Brezo, Charco del Toro, Zahillo, Taraje, Dulce, Sta. Olalla y Sopotón).

Las lagunas presentan una extensión variable, aguas someras con materia orgánica en suspensión y bordes higróturbosos (Allier y col., 1974). Como se comentó anteriormente, en los años excepcionalmente lluviosos, las lagunas se comunican entre sí, desagüando en la marisma a través del Caño del Peral (García Novo, 1981). A pesar de ello, presentan diferencias en la composición química de sus aguas (Hernando, 1978), en el fitoplancton (Margalef, 1976) y en el zooplankton (Armengol, 1976). El agua de las lagunas permanentes o peridunares proviene fundamentalmente de la descarga de los acuíferos del sistema de dunas por la base de los frentes de avance (García Novo y col., 1975), a la que se une el agua de lluvia procedente del drenaje del manto arrasado (Toja y Furest, 1981). En efecto, las dunas aportan gran cantidad de agua por la escasa evapotranspiración (mala conductividad del suelo y vegetación rala) del agua de lluvia y/o de la condensación del rocío (Torres y col., 1977). Este hecho hace de las dunas móviles un área de recarga del acuífero que tiende a descargar hacia los corrales, lagunas permanentes y vera.

Esta gran humedad convierte el área de lagunas en un ecosistema de gran productividad, ya que favorece el desarrollo de un pastizal que mantiene una complicada cadena trófica.

En función del tiempo de encharcamiento y, en consecuencia, de los suelos y vegetación que se desarrollan, se han diferenciado dos elementos morfoedáficos dentro de esta zona de contacto: borde higrófitico y fondo de laguna.

### Borde higrofítico de laguna

Los bordes presentan textura arenosa y capa freática relativamente superficial (85 cm en octubre 1979 en la laguna de Sta. Olalla). Es en este elemento donde se establece el pastizal que, por su carácter anual, incorpora gran cantidad de materia orgánica al suelo a través de su sistema radicular, como se refleja en los valores de los horizontes superficiales de los perfiles XXVIII y XXIX (laguna de Sta. Olalla y Taraje, respectivamente).

El perfil XXVIII, ubicado en el borde de la laguna de Sta. Olalla, se encuentra permanentemente húmedo y presenta un horizonte orgánico bien desarrollado que puede dividirse en tres subhorizontes. El más superficial presenta un contenido en materia orgánica de 15,9 %, que es de los más elevados entre los suelos hasta ahora discutidos. La razón C/N (29,7) y el pH (5,1) corresponden a un humus de tipo moder, subtipo hidromoder por las condiciones hidromorfas del medio. El grado de saturación (35,5 %) es ligeramente más alto que el exigido para este tipo de humus, probablemente debido a una contaminación de cationes por parte del agua de la laguna, que presenta una salinidad variable tanto estacional como anual.

El alto porcentaje de materia orgánica y la acidez del medio son responsables de la movilización casi completa de los óxidos de hierro y manganeso, existiendo un gran empobrecimiento en estos elementos, como se refleja en los bajos contenidos en su forma libre. No existen, por tanto, manifestaciones morfológicas del proceso de hidromorfía que se deriva de la capa freática, situada a 85 cm de profundidad al final de la época seca. Esta proximidad de la capa freática define un régimen de humedad ácuico.

Las características de color, acidez, grado de saturación (< 50 %) y espesor del horizonte orgánico (mayor de 25 cm) convienen

a un epipedón úbrico que, unido a las propiedades anteriormente comentadas, clasifica al suelo como Humaquept. A nivel de subgrupo, por cumplir el concepto central del gran grupo, se clasifica, finalmente, como Typic Humaquept.

El perfil XXIX, situado en el borde de la laguna del Taraje, representa igualmente al elemento morfoedáfico "borde higrofitico". La laguna del Taraje es más pequeña que la de Sta. Olalla y por su menor profundidad, puede llegar a secarse en períodos excepcionalmente áridos como el de 1980-1983. Este hecho permitió la descripción y muestreo de un perfil perteneciente al fondo de dicha laguna, que se rá discutido más adelante. El perfil XXIX se ubica más cerca de la lámina de agua y, por tanto, presenta un nivel freático menos profundo que fluctúa desde la superficie (época húmeda) hasta sólo 30 cm de profundidad (época seca). Esta permanente humedad favorece el desarrollo del pastizal y como consecuencia un horizonte superior rico en materia orgánica (19,8 %), si bien de menor espesor (sólo 15 cm) que el perfil anterior, como consecuencia del mayor tiempo de encharcamiento. Esta circunstancia, unida a los valores de la razón C/N y al pH del suelo, define un humus de tipo hidromoder tendente a anmoor ácido.

El escaso desarrollo del perfil (de tipo AC), en el que no se define ningún tipo de horizonte de diagnóstico, clasifica el suelo como Entisol. La fuerte hidromorfía y la textura arenosa corresponden, al gran grupo Psammaquent. Finalmente, la tendencia del horizonte superficial hacia un epipedón móllico, del que se diferencia por su escaso espesor, designa el suelo como Mollic Psammaquent.

El segundo elemento morfoedáfico que constituye la subunidad de lagunas permanentes ha sido denominada "Fondo de laguna", y está representado por el perfil XXX. Dicho perfil fue tomado en la laguna del Taraje durante el período de sequía 1980-1983 que afectó profundamente al complejo lagunar, secando totalmente algunas de ellas.



Al ser un suelo permanentemente encharcado, presenta escasos valores de materia orgánica en superficie (2,1 %), producto de la descomposición de algas y algunas plantas helófitas. Como se pudo observar en dicho período, la laguna del Taraje presenta además otro condicionante para la vegetación como es la salinidad, por lo que las primeras y únicas plantas que la colonizaron fueron especies típicas de marisma (Quenopodiáceas). La salinidad es variable de una laguna a otra ya que depende de su posición topográfica, observándose esta característica de forma particular entre la laguna Dulce y Sta. Olalla, que a pesar de su proximidad presentan salinidades muy diferentes. En efecto, al estar situada la primera unos 50 cm más alta que la segunda, se origina un flujo subterráneo en el que la laguna de Sta. Olalla actúa como sumidero. Teniendo en cuenta que el agua cargada de sales aumenta su densidad, es lógico suponer que ésta circulará hacia la laguna más deprimida, acumulándose en ella. Todo este movimiento se refleja en una concentración en sales 4 veces superior en la de Sta. Olalla que en la Dulce (Vela, 1984).

La laguna del Taraje presenta igualmente un contenido alto de sales en superficie como consecuencia de la evaporación del agua. De todas formas, esta elevada salinidad (16,4 meq/100 g de  $\text{Cl}^-$  y 13,8 meq/100 g de  $\text{Na}^+$ ) sólo afecta a los 5 primeros centímetros, por lo que no puede definirse un horizonte sálico.

Los largos períodos de encharcamiento favorecen procesos anaeróbicos que condicionan la evolución del humus hacia uno de tipo anmoor definido por Kubiena (1953).

El escaso espesor del horizonte orgánico y la ausencia de horizontes de diagnóstico incluyen el suelo en el orden Entisol. El encharcamiento prolongado del suelo implica la definición de un régimen de humedad ácuico y, por tanto, del suborden Aquent.

La fuerte hidromorfía provoca la reducción biológica de los sulfatos a sulfuros que dan al suelo un fuerte olor sáprico. La presencia de estos materiales sulfídicos a menos de 30 cm de profundidad, unido a un valor de "n valúe" menor que 1, clasifica, finalmente, el suelo como Typic Sulfaquent.

Por tratarse el fondo de laguna de una situación de permanente encharcamiento, la evolución de los materiales que lo constituyen es única y similar para todos los suelos de este elemento morfoedáfico.

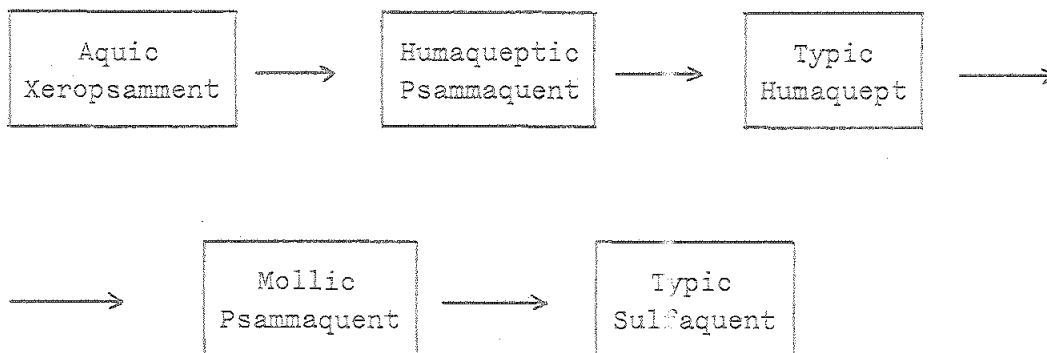
En resumen, la evolución edáfica de la subunidad geomorfológica Lagunas permanentes comprenderá conjuntamente los suelos de los dos elementos morfoedáficos: fondo y borde de laguna. Si bien se han discutido los dos suelos más representativos de este último, la evolución edáfica comenzaría a partir de las zonas arenosas ligeramente más elevadas que muestran leves signos de hidromorfía en profundidad (Aquic Xeropsamment). Al aproximarse hacia la laguna, la hidromorfía se intensifica (Psammaquent) y comienza la formación de un horizonte orgánico que muestra características de epipedón úmbrico debido a la acidez de las arenas (Humaqueptic Psammaquent). El siguiente paso en la evolución es el desarrollo de un epipedón úmbrico (espesor mayor de 25 cm y saturación inferior al 50 %) que definiría el suelo más extendido en el borde de la laguna de Sta. Olalla (Typic Humaquept).

En las zonas inmediatas a la lámina de agua, el mayor tiempo de encharcamiento provoca una hidromorfía excesiva que frena el desarrollo de la vegetación y, por tanto, disminuye la potencia del epipedón úmbrico. Por otro lado, la contaminación por las aguas ligeramente salinas de las lagunas aumenta el grado de saturación del complejo de cambio, tendiendo el epipedón hacia uno de tipo móllico (Mollic Psammaquent). Finalmente, el suelo de fondo de laguna tendría un menor desarrollo debido al fuerte y permanente proceso de hidromorfía que pro-

voca un ambiente reductor reflejado en la formación de materiales sulfídicos (Typic Sulfaquent).

En definitiva, se observa que la catena de evolución edáfica en la subunidad geomorfológica lagunas permanentes, se desarrolla en función del proceso de hidromorfía. Al aumentar éste, avanza la evolución hasta alcanzar su máximo desarrollo en el suelo definido como Typic Humaquept, a partir del cual, el incremento de humedad supone un retroceso hacia estadios menos evolucionados.

Por todo lo anteriormente expuesto, la catena de suelos estaría representada como sigue:



IX. CONCLUSIONES

No hay mejor recompensa que el trabajo  
bien hecho.

(refrán popular chino)

1. La interpretación de la fotografía aérea a escala 1/15.000 y el re conocimiento de campo permiten diferenciar tres grandes unidades geomorfológicas dentro de las arenas del Parque Nacional de Doña-na: Arenas estabilizadas, Arenas móviles y Zonas de contacto. Estas tres unidades se dividen en subunidades geomorfológicas y elementos morfoedáficos, según el siguiente cuadro:

<u>Unidad Geomorfológica</u>	<u>Subunidad Geomorfológica</u>	<u>Elemento Morfoedáfico</u>
Arenas estabilizadas	Naves	Alto de nave
		Ladera de nave
		Bajo de nave
	Manto arrasado	Alto de duna
		Ladera de duna
		Bajo de duna
		Bosque conservado
		Lagunas temporales
		Eucaliptar
	Cordones de la Marismilla	Zona alta
		Zona baja

<u>Unidad Geomorfológica</u>	<u>Subunidad Geomorfológica</u>	<u>Elemento Morfoedáfico</u>
Arenas móviles	Frentes móviles	Dunas móviles
	Corrales	Corrales húmedos Corrales secos
	Gusanos	Gusano alto Gusano bajo
Zonas de contacto	Vera	Vera arcillosa Vera arenosa Nocle Arroyos
	Lagunas permanentes	Borde higrofitico Fondo de laguna

2. Existe una estrecha relación entre los elementos morfoedáficos y los suelos que en ellos se desarrollan, hasta el punto de que a iguales elementos corresponden suelos similares.
3. La geomorfología es el factor ecológico con mayor influencia en la evolución edáfica, encuadrándose ésta en la dinámica geomorfológica.
4. Las condiciones climáticas del área de estudio definen un régimen de humedad xérico, salvo en aquellos enclaves en los que la altura del nivel freático establece un régimen de humedad ácuico.

5. Los suelos sobre arenas son poco desarrollados (perfil AC en general) debido a la limitación impuesta por la escasa alterabilidad del material original (arenas cuarcíticas), acentuándose la limitación en la unidad de arenas móviles por la dinámica del sustrato.
  
6. Dentro del área de arenas del Parque Nacional de Doñana se incluyen suelos situados en el borde con la marisma cuya textura arcillosa, basicidad e inundación periódica favorecen el proceso de la vertisolización.
  
7. La evolución edáfica en el área de arenas está condicionado fundamentalmente por los procesos de hidromorfía y acumulación de materia orgánica. Ambos procesos se encuentran directamente relacionados con la profundidad y fluctuación de la capa freática.
  
8. Sobreimpuestos a estos dos procesos principales, hay que considerar en zonas concretas, la actuación de otros secundarios tales como lavado, salinización, carbonatación y paralaterización o formación de costras ferruginosas.
  
9. La evolución del humus sigue una secuencia paralela a la evolución edáfica. La diversidad de elementos morfoedáficos y el gradiente de humedad definido por la profundidad del nivel freático, favorecen un amplio rango de variación en los tipos de humus que va desde el mull oligotrofo poco desarrollado de los perfiles situados en las cotas más elevadas, hasta la turba que caracteriza el elemento morfoedáfico Arroyos.



10. Si bien la mayoría de los suelos del Parque Nacional de Doñana pertenecen al orden Entisol, existen situaciones de mayor desarrollo en las que se definen horizontes de diagnóstico (argílico, nátrico y cálcico) y epipedones (úmbrico, móllico e hístico) que indican la presencia de suelos pertenecientes a ordenes más evolucionados tales como Inceptisol, Mollisol, Histosol y Alfisol, además de los Vertisoles pertenecientes al límite con la marisma.
  
11. La evolución de los suelos en la subunidad Naves permite establecer una catena cuyos estadios inicial y final corresponden al Typic Xeropsamment y Humaqueptic Psammaquent, admitiendo casos excepcionales de Typic Humaquept.
  
12. La mayor diversidad de situaciones y extensión del Manto arrasado aumentan la complejidad de la secuencia de evolución edáfica. La catena principal comienza en el Typic Xeropsamment y termina en el Histic Humaquept o Cumulic Paohic Xerumbrept, en función del régimen de humedad. En el elemento morfoedáfico Lagunas temporales, existe una desviación de dicha catena hacia el Typic Natraqualf a partir del Typic Haplaquoll.
  
13. La presencia de carbonatos en la subunidad geomorfológica Cordones de la Marismilla definen un horizonte de diagnóstico cálcico y favorece el desarrollo de un epipedón móllico en los estadios más evolucionados, representado por el Aeric Calciaquoll. Los menos evolucionados corresponden, como en las subunidades anteriores al Typic Xeropsamment.

14. La movilidad del sustrato, en el sistema de dunas vivas, condiciona un escaso desarrollo de los suelos que se refleja en una corta catena de evolución edáfica integrada por las tres subunidades diferenciadas. Dicha catena se inicia en la duna móvil, cuyo suelo está representado por un horizonte C de arenas cuarcíticas en las que predominan Ilmenita y asociación Andalucita-Turmalina-Epidota en los minerales opacos y transparentes, respectivamente, de la fracción pesada. La etapa final de la evolución corresponde al Mollic Psammaquent perteneciente al elemento morfoedáfico Gusano bajo.
  
15. La diferente textura de los materiales que constituyen la subunidad geomorfológica Vera obliga a distinguir dos secuencias edáficas genéticamente independientes. La primera engloba los elementos morfoedáficos Vera arcillosa y Arroyos, estableciéndose una catena que se inicia en el Thapto Psammentic Chromoxerert y finaliza en el Typic Pelloxerert. En enclaves muy localizados (desembocaduras de arroyos), se originan suelos representados por el Hydric Hemic Medifibríst, que supone una desviación a partir del Typic Pelloxerert por inundación fluvial permanente.
  
16. La sobreimposición de un fuerte proceso de hidromorfía sobre el principal de la vertisolización provoca cambios en la morfología del perfil que deberían ser recogidos en otro nivel taxonómico, justificando la creación de un nuevo suborden dentro del orden Vertisol, que podría denominarse Aquent.
  
17. La segunda secuencia de la Vera engloba los elementos morfoedáficos Vera arenosa y Nucle. En el primero se desarrolla una costra ferruginosa a partir de óxidos de hierro reducidos y complejados

por compuestos orgánicos y evacuados hacia la marisma a través de la capa freática. La presencia de esta costra condiciona la catena de evolución edáfica que, comenzando en un Aquic Xeropsamment, finaliza en un Typic Plinthaquept o bien en un Lithoplinthic Xeropsamment cuando la capa freática se encuentra suficientemente profunda. En enclaves que funcionan como puntos de surgencia, se desarrolla un horizonte de diagnóstico cálcico que desvía la evolución normal hacia un Aeric Calciaguoll.

18. La evolución edáfica en la subunidad geomorfológica Lagunas permanentes está condicionada por el proceso de hidromorfía. En un principio, el aumento de dicho proceso origina un mayor desarrollo edáfico cuyo estadio más evolucionado está representado por el Typic Humaquept. A partir de este momento, una intensificación de la hidromorfía provoca un retroceso en la evolución hasta el Typic Sulfaquent correspondiente al Fondo de laguna.
  
19. El estudio realizado demuestra una íntima relación entre geomorfología, suelo y vegetación, en la que un cambio en cualquiera de estos tres factores supone una variación en los otros dos.

X. BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, J.; MONTES DEL OLMO, C.; RAMIREZ, L. y TORRES, A. 1980. "Mapa ecológico del Parque Nacional de Doñana. Memoria". Edit. Minist. Agricultura, ICONA, 23 p.
- ALEXANDROVA, L.M. 1960. "On the composition of humus substances and the nature of organo-mineral colloids in soil". 7th Int. Cong. of Soil Sci., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- ALLIER, C.; GONZALEZ B., F. y RAMIREZ, L. 1974. "Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana". C.S.I.C., Sevilla, 14 p.
- ALLIER, C.; GARCIA NOVO, F.; RAMIREZ, L. y TORRES, A. 1975. "Dynamique actuelle et végétation du système littoral de Doñana (Golfe de Cadiz)". C.R. Soc. Biogéogr. Fr. 440-442: 95-111.
- ALLIER, C. y BRESSET, V. 1977. "Etude phytosociologique de la Marisma et de sa bordure. Reserve Biologique de Doñana. Carte Phytosociologique". ICONA, Monografía nº 18, p. 59-110, Madrid.

- ANDERSON, J.V.; FADUL, K.E. y O'CONNOR, G.A. 1973. "Factors affecting the coefficient of linear extensibility in vertisols". Proc. Soil Sci. Am., 37, p. 296.
- APCARIAN, A. 1983. "Evolución geomorfológica y edafológica de las arenas móviles del Parque Nacional de Doñana (España)". Monografía. Centro de Edaf. y Biol. Aplic. del Cuarto, Sevilla, 100 p.
- ARISTOVSKAYA, T.V. y ZYKINA, L.V. 1979. "Microorganisms as indicators of the accumulation of iron, aluminium and manganese in soils". Soviet Soil Science, 11 (1) p. 36.
- ARMENGOL, J. 1976. "Crustáceos acuáticos del Coto de Doñana". Oecol. Aquatica, 2, p. 23.
- ATKINSON, H.J. y WRIGHT, J.R. 1957. "Chelation and the vertical movement of soil constituents". Soil Sci., 84 (1), p. 1.
- AUBERT, G. y LENEUF, N. 1960. VII Congres. Intern. Science du Sol. Madison.
- AVERY, B.W. 1956. "A classification of British soils". VI Cong. Int. Sci. du Sol, E, p. 285, París.
- BALDWIN, M.; KELLOG, Ch. y THORP, J. 1933. "Soil classification". Soils and Men, U.S. Dept. Agr., p. 79.
- BALDY, Ph.; BOILLOT, G. DEPEUBLE, P.A.; MALOD, J.; MOITA, I. y MOUGENOT, D.D. 1977. "Carte Géologique du plateau continental sud-portugais et sud-espagnol (Golfe de Cadix)". Bull. Soc. Géol. Fr., (7), 29 (4): 703-724.
- BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G. y CLEMENTE, L. 1970. "Estudio físico-químico y edafogenético de un perfil complejo situado en la terraza del Guadalquivir de San Pablo (Sevilla)". An. Edaf. y Agrobiol. XXIX, p. 463.
- BERTALANFFY, L. von. 1968. "General System Theory". George Brantlner, Nueva York.

- BERTHOIS, L. 1965. "Techniques d'etudes estuarines". Centr. Docum. Univ. Ecole Nat. Sup. Agronomique de Reunes, 144 p.
- BETRÉMIEUX, R. 1954. "Influence de la fermentation des matières organiques sur la dynamique des éléments minéraux dans un sol en place". C.R. Acad. Sc., 238, p. 2557.
- BIDWELL, O.W.; MARCUS, L.F. y SARKAR, P.K. 1964. "Numerical classification of soils by electronic computer". 8th Int. Cong. Soil Sci., V, p. 933. Bucarest (Rumanía).
- BINI, Cl. 1976. "Relazioni fra pH ed Eh nella acqua circolanti in due suoli idromorfi (lisciviati a pseudogley) della val Chiana (Arezzo)". Soc. Italiana de Mineralogia e Petrologia, vol. XXXII (1), 227-242.
- BIRKELAND, P.W. 1984. "Soils and Geomorphology". Oxford University Press Inc. 372 pp.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1931. "Aperç des groupements végétaux du Bas-Languedoc-Commum". Stat. Int. Geobot. Méd. et Alpine SIGMA) 9, Montpellier.
- BRIGGS, D. 1977. "Sediments. Sources and methods in geography". Butterworths Ed., 192 p.
- BROMFIELD, J.M. 1954. "The reduction of iron by bacteria". J. Soil Sci., 5, p. 129.
- BRUCKERT, P. 1970. "Influence des composés organiques solubles sur la pédogénese en milieu acide". Tesis doctoral, Universidad de Nancy.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. y McCracken, R.J. 1973. "Soil Genesis and Classification". The Iowa State University Press, Ames.
- CALLAME, B. y DUPUIS, J. 1972. "Recherches sur la dynamique du fer dans les formations littorales et les sols de prés salés". Sc. du Sol, 2, p. 33.
- CARATINI, C. y VIGUIER, Cl. 1973. "Etude palynologique et sédimentologique des sables halogènes de la falaise littorale d'el Asperillo (province de Huelva)". Est. Geol., Inst. Lucas Mallada, C.S.I.C., 19: 325-328.

- CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DEL CUARTO. 1978. "Guía de las excursiones científicas". VII Reunión Nacional de Suelos, 159 p.
- CEOTMA. 1981. "Proyecto del Plan Director Territorial de Coordinación de la Comarca de Doñana". M.O.P.U., Madrid, 3 tomos.
- CLEMENTE, L.; MENANTEAU, L. y FIGUEROA, M.E. 1977. "Intento de cronología del segundo nivel de terraza del Guadalquivir en los alrededores de Sevilla en relación con los restos fósiles de *Elephas* encontrados en su borde". Actas II Reunión Nac. Gr. Esp. Trab. Cuaternario, Jaca, p. 49-56.
- CLEMENTE, L. 1978. "Tierra negra andaluza (vertisol) sobre sedimentos de terrazas del Guadalquivir". An. Edaf. y Agrobiol. XXXVII, 5-6, p. 461.
- CLEMENTE, L.; LOPEZ-REGUERO, C. y FIGUEROA, M.E. 1979. "Origen, génesis y evolución de unos sedimentos calizos pertenecientes al Cuaternario Antiguo del Guadalquivir". III Reunión Nac. Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Zaragoza, p. 239-247.
- CLEMENTE, L.; LOPEZ-REGUERO, C. y PASCUAL, J. 1979. "Edafogénesis como metodología aproximada en el estudio del Cuaternario". Actas IV Reunión Nac. Grup. Trab. Cuaternario, Bañolas (Gerona), p. 51-71.
- CLEMENTE, L.; PASCUAL, J. y SILJESTRÖM, P. 1981. "Génesis y evolución de las costras ferruginosas de Doñana (Huelva)". Actas V Reunión Nac. Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Sevilla, p. 294-307.
- CLEMENTE, L.; SILJESTRÖM, P.; MERINO, J.; FIGUEROA, M.E. y PASCUAL, J. 1983. "Diferenciación geomorfológica de las arenas estabilizadas de la Reserva Biológica de Doñana, en base a la evolución edáfica". Actas VI Reunión Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Santiago, p. 243-254.
- CLEMENTE, L.; SILJESTRÖM, P. y MUDARRA, J.L. 1984. "procesos edafogenéticos en las arenas de la Reserva Biológica de Doñana". Actas I Cong. Nac. Ciencia del Suelo, Madrid, p. 561-573.



- CLEMENTE, L.; MENANTEAU, L. y SILJESTRÖM, P. 1985. "La Punta de Malandar (Parque Nacional de Doñana, provincia de Huelva): características edáficas y morfogénesis". Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico. Lisboa. En prensa.
- COROMINAS, J.; SACRISTAN, M.A. y GARRIDO, J. 1976. "Informe final sobre la zona regable Almonte-Marismas y síntesis hidrogeológica". IRYDA.
- COTA, H.; GARCIA N., F. y POU, A. 1976. "Estudio de las Marismas del Parque Nacional de Doñana, utilizandp imágenes del satélite ERTS I". Bol. Est. Centr. Ecología, I.C.O.N.A., 5 (12) : 29-40.
- CHAPMAN, V.J. 1976. "Coastal Vegetation". Pergamon, Oxford. London.
- CHILDS, C.W. y LESLIE, D.M. 1977. "Interelement relationships in iron-manganese concretions from a catenary sequence of yellow-grey earth soils in loess". Soil Scie., 123, p. 369.
- CHRISTIANSEN, W. 1934. "Das pflanzengeographische und soziologische Verhalten der Salzpflanzen mit besonderer Berücksichtigung von Schleswig-Holstein". Beitr. Biol. Pfl. 22: 139-154.
- CHUKHROV, F.V. y GORSHKOV, A.I. 1981. "Iron and manganese oxide minerals in soils". Transactions of the Royal Soc. of Edinburgh, Earth Sciences, 72 (3), p. 195-200.
- DAGLEY, S. 1977. "Microbial degradation of organic compounds in the Biosphere". Survey of progress in chemistry, 8, p. 121. Academic Press Inc., New York.
- DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E. y CADY, J.G. 1971. "The relation between geomorphology and soil morphology and genesis". Advances in Agronomy, American Soc. of Agronomy, 23: 51-88. Academic Press, New York.
- DANIELS, R.B.; PERKINS, H.F.; HAJEK, B.F. y GAMBLE, E.E. 1978. "Morphology of Discontinuous Phase Plinthite and Criteria for its Field Identification in the SE United States". Soil Science Soc. Am. Jour., vol. 42, p. 944.

- DANSEREAU, P. 1957. "Biogeography: and ecological perspective".  
Ronald Press, Nueva York.
- DAVIES, J.L. 1980. "Geographical variation in coastal development".  
Ed. Longman, London. 211 pp.
- DE JONG, J.D. 1971. "The scenery of the Netherlands against the back  
ground of Holocene geology; a review of the recent littera-  
ture". Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn., (2), 13 (2): 143-162.
- DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M. y MAES, L. 1955. "L'analyse mé-  
chanique au moyen de l'hydromètre à chaîne". Silic. In-  
dust., 20, 37 p.
- DELIBRIAS, G. 1974. "Variations du niveau de la mer sur la côte ouest  
africaine, depuis 26.000 ans. Les méthodes quantitatives  
d'étude des variations du climat au cours du Pleistocène".  
Colloques Internationaux du C.N.R.S., 218: 127-134.
- DIAZ, E. 1969. "Constitución y propiedades de la materia húmica de  
una tierra negra andaluza". Tesis Doctoral, Universidad  
de Sevilla.
- DIEZ, B.; ANSENSI, A. y ESTEVE, F. 1978. "Pastizales terofíticos de  
las playas y dunas en el sur de la Península Ibérica". Co-  
lloques Phytosociologiques, 6: 73-80.
- DOMMERGUES, Y. y DUCHAUFOR, Ph. 1965. "Etude comparative de la dé-  
gradation biologique des complexes organo-ferriques dans quel-  
ques types de sols". Sc. du Sol, 1, p. 43.
- DUCHAUFOR, Ph. 1960. "La végétation et le problème de la podzolis-  
ation en climat tempéré". Rap. Sol et Veg. Masson et Cie,  
Paris.
- DUCHAUFOR, Ph. 1961. "Données nouvelles sur la classification des  
sols". Ec. Nat. des eaux et fcrets. Nancy (Francia).
- DUCHAUFOR, Ph. 1968. "L'évolution des sols". Masson et Cie, Pa-  
ris.

- DUCHAUFOR, Ph. 1970. "Precis de Pédologie". Masson et Cie, Paris.
- DUCHAUFOR, Ph. 1975. "Manual de Edafología". Ed. Toray-Masson. Barcelona, 476 pp.
- DUDAL, R. 1967. "Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales". F.A.O., Roma.
- DUMAS, B. 1977. "Le levant espagnol. La genèse du relief". Paris. (Public. avec le concours du Min. Univ., Universidad de Paris - Val de Marne - Paris XII y C.N.R.S.). 520 p.
- DUPUIS, J. 1952. "Contribution à l'étude des sols du Gâtinais". Tesis Doctoral, Paris, 256 p.
- DUPUIS, T.; JAMBU, P. y DUPUIS, J. 1970. "Sur les formes de liaisons entre le fer et les acides fulviques de sols hydromorphes". C.R. acad. sc., Paris, 270, p. 2264.
- ENDREDY, A.S. 1963. "Estimation of free iron oxid in soils and clays by a photolytic method". Clay Miner. Bull., 29, 5, p. 209.
- ESWARAN, H. y BAÑOS, C. 1976. "Related distribution patterns in soils and their significance". An. Edaf. y Agrobiol. XXXV, p. 33.
- FAIRBRIDGE, R.W. 1968. "The Encyclopedia of Geomorphology". Reinhold Book Corporation. Columbia University, 1295 p.
- FALLOU, F.A. 1862. "Pédologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde". Dresden.
- F.A.O. 1968. "Guía para la descripción de perfiles de suelos". Dir. Fom. Tierras y Aguas. Roma, 70 p.
- F.A.O. 1970. "Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalquivir. Informe preparado para el gobierno del estado español por la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación en su carácter de organismo ejecutivo del programa de las Naciones Unidas para el desarrollo". Toma, I: 115 p. (Informe Técnico I-A GL: SF/SPA 9).

- F.A.O. 1972. "Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir, España-Anteproyecto de transformación en regadío de la zona Almonte-Marismas (Margen derecha). Apéndice". Madrid, programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: 263 pp. (Informe Técnico I, AGL: SF/SPA 16).
- FIGUEROA, M.E. 1976. "Ecología del pino en el Parque Nacional de Doñana". Tesina de Licenciatura, Universidad de Sevilla, 96 p.
- FIGUEROA, M.E. y CLEMENTE, L. 1979. "Dinámica geomorfológica del estuario de los ríos Tinto y Odiel (Huelva). Aplicación a la Ordenación del Territorio". Actas IV Reunión Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Bañolas, p. 79-95.
- FITZPATRICK, E.A. 1980. "Soils. Their formation, classification and distribution". Ed. Longman. London.
- FITZPATRICK, E.A. 1985. Comunicación personal.
- GANDULLO, J.M.; SANCHEZ, O. y BLANCO, A. 1984. "Un índice de drenaje calculado para España. Limitaciones al empleo de la fórmula de Hénin y Aubert". Actas I Cong. Nac. Ciencia del Suelo. Madrid, p. 1021.
- GARCIA NOVO, F.; RAMIREZ, L. y TORRES, A. 1975. "El sistema de dunas de Doñana". I.C.O.N.A. Naturalia Hispanica, 5, 56p., Madrid.
- GARCIA NOVO, F. 1977. "Fire effect on the vegetation of Doñana National Park (SW Spain)". Symposium on the Environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean Ecosystems. U.S.D.A. Technical Report, WD-3, 318 p.
- GARCIA NOVO, F.; RAMIREZ, L.; MERINO, J.; RODEÑAS, M.; SANCHO, F.; TORRES, A.; GONZALEZ B., F.; DIAZ, F.; ALLIER, C.; BRESSET, V. y LACOSTE, A. 1977. "Doñana. Prospección e inventario de ecosistemas". Madrid, I.C.O.N.A., Monografía 18: 244 p.

- GARCIA NOVO, F. 1979. "The ecology of vegetation of the dunes in Doñana National Park (SW Spain)". First European Ecological Symposium and the 19th Symposium of the British Ecological Society, 34; 571 p, Norwich.
- GARCIA NOVO, F. 1981. "Descripción ecológica del Parque Nacional de Doñana". Memoria Dept. de Ecología, Universidad de Sevilla, 52 p.
- GARCIA NOVO, F.; MOORE, P.; GRANADOS, M. y STEWENSON, A. 1983. "Cambios en la vegetación de Doñana y entorno en los últimos 11.000 años". Seminario sobre Reservas de la Biosfera (Ma B). La Rábida (Huelva).
- GARRIDO, J. 1985. Comunicación personal.
- GAVALA, J. 1936. "Memoria explicativa de la hoja nº 1017 ("El Asperillo") del mapa geológico de España, a escala 1/50.000". Madrid, IGME, 48 p.
- GEDROIZ, K. 1929. "Der adsorbierende Bodenkomplex und die adsorbier ten Boden kationen als Grundlage der genetischen Bodenklas sification Kolloiden". Beihefte, p. 1.
- GÉHU, J.M. 1975. "Essai systématique et chorologie sur les principa les associations végétales du littoral atlantique français". Anal. Real Acad. Farmacia, 41 (2): 207-227.
- GÉHU, J.M. y GÉHU-FRANK, J. 1977. "Quelques données sur les *Arthrocnemetea fruticosi* ibériques sud-occidentaux". Acta Botánica Malacitana, 3: 145-157.
- GÉZE, B. 1951. LXX<sup>e</sup> Congrès de l'A.F.A.S., Túnez IV, pp. 8.
- GIGNOUX, M. 1960. "Géologie stratigraphique". Masson et Cie. Paris.
- GONZALEZ, F. y PEREZ, J.L. 1970. "Constitución y propiedades físico-químicas de las arcillas de suelos del Valle del Guadalquivir. I. Tierras negras andaluzas (vertisuelos), rendsinas y suelos pardo calizos margosos vérticos (suelos margosos béticos)". An. Edaf. y Agrobiol. XXIX, p. 791.

- GONZALEZ B, F.; RAMIREZ, L.; TORRES, A. y DIAZ, F. 1977. "Estructura de la vegetación de la Marisma de la Reserva Biológica de Doñana. I. Análisis factorial de datos cualitativos. II. Estudio de un gradiente de salinidad". An. Edaf. y Agrobiol. XXXVI, p. 989.
- GONZALO y TARIN, J. 1886-1887. "Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva". Madrid. Mem. Com. Mapa Geol. España, tomo I (Descripción física): 1-274; tomo 2 (Descripción geológica-estratigráfica): 277-671.
- GRANADOS, M. 1981. "Historia ecológica de Doñana". Memoria Dept. Ecología Univ. Sevilla.
- GRANADOS, M.; MARTIN, A.; FERNANDEZ, R. y GARCIA NOVO, F. 1984. "Etude diachronique d'un ecosysteme a longue echelle. La Pinede des Marismillas (Parc. National de Doñana)". Mélanges de la Casa de Celázquez, tomo XX, p. 394-418.
- GRANDE, R. 1978. "El estuario del Guadalquivir y su problemática agrosocial". I.R.Y.D.A. (Min. Agricultura). Madrid, 47 p.
- GUILCHER, A. 1957. "Morfología litoral y submarina". Ed. Omega.
- GUILLET, L. 1972. "Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges". Tesis Doctoral, Universidad de Nancy, Francia.
- HAILS, J. y CARR, A. 1975. "Nearshore sediment dynamics and sedimentation". John Wiley & Sons, 316 p.
- HARANT, H. y JARRY, D. 1967. "Guide du naturaliste dans le Midi de la France. II. Delachaux et Niestlé, Neuchatel". Niestlé, Neuchatel.
- HARTGE, K.H. 1983. "Böden als Teile von Systemen". Catena, vol 10, p. 105-114.
- HARTMANN, F. 1952. "Förstökologie". G. Dromme, Viena.

- HAYES, M.O. 1975. "Morphology of sand accumulation in estuaries: An introduction to the Symposium". Estuarine Research. v. II, Edit. Cronin. L.E., Academic Press. London.
- HELLEMBERG, H. 1963. "Vegetation Mitteleuropas". Ulmer. Stuttgart.
- HENIN, S. y AUBERT, G. 1945. "Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols". C.R. Acad. Sc. Paris, 220, p. 30.
- HERNANDO, J.A. 1978. "Estructura de la comunidad ictiológica del Bajo Guadalquivir". Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 354 p.
- HERNANDO, V. y SANCHEZ, P. 1954. "Estudio del pH en suelos de distintas características". An. Edaf. y Fisiol. Veg. XIII, p. 737.
- HIDALGO, L. y CANDELA, M.R. 1958. "El poder clorosante de los suelos calizos en el viñedo". Bol. Inst. Nac. Inv. Agron. XVIII, p. 383.
- HOROWITZ, A. 1976. "Palynology of peats representing different Holocene groundwater tables at the coastal plain of Huelva". Rapport: 11 p.
- HOROWITZ, A. 1981. "Exploración de la llanura costera de Huelva"; en Blanco Freijeiro, A. y Rothenberg, B. (eds.). "Exploración Arqueometalúrgica de Huelva". Cap. IV. p. 183-215. Ed. Labor, S.A., Barcelona.
- HOWELL, J.V. 1957. "Glossary of Geology and related Sciences". Amer. Geogr. Inst.
- HOYT, J.H. 1965. "Air and sand movement to the lee of the dunes". Sedimentology, vol 7, p. 137.
- HUGUET DEL VILLAR, E. 1928. "Geobotánica". Ed. Labor, Barcelona.

- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1973. "Investigación minera preliminar de la plataforma continental submarina Huelva-Cádiz". Plan Nacional de la Minería. Programa Nacional de Investigación Minera. Programa sectorial de fondos marinos (FOMAR). Estudio realizado por contrato del IGME al Inst. Español de Oceanografía: 290 p. + 12 planos.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1974. "Investigación minera submarina en el subsector Huelva I, Golfo de Cádiz". Serv. Publ. Min. Ind. Colección Informe: 134 p.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1983. "Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno". Colección Informe. Madrid. 120 p.
- JACKSON, M.L. 1962. "Soil Chemical Analysis". Constable & Co. Ltd., London.
- JENNY, H. 1941. "Factors of soil formation". McGraw-Hill, New York. 321 p.
- JENNY, H.J. 1983. "The Soil Resource. Origin and Behavior". Ed. Springer-Verlag, Berlin, 377 p.
- JUNTA DE OBRAS DEL PUERTO DE HUELVA. 1979. Memorias de Actividades de 1978.
- KAURITSCHEW, J.S.; NOSDRUNOWA, E.M. y ZÚRUPA, J.G. 1964. "Über Organische Chelatverbindungen des Eisens in Boden". VIII Cong. Int. de la Sc. du Sol, III, p. 235.
- KING, C.A.M. 1975. "Introduction to marine geology and geomorphology". Ed. Arnold, London.
- KUBIENA, W.L. 1953. "Claves sistemáticas de suelos". C.S.I.C., Madrid.
- KUBIENA, W.L. 1953. "The Soils of Europe, Illustrated Diagnosis and Systematics". Thomas Murby, Londres.



- KUZNICKI, F. y SKLODOWSKI, P. 1978. "Relationship between free iron and carbon of fulvic acids in sandy soils, as a typological criterion". Soils and Fertil. XLI, Abst. 3652.
- LAMOUREUX, M.; LOYER, J.Y.; BOULEAU, A. y JANOT, Ch. 1977. "Formes du fer des sols rouges et bruns fersiallitiques. Application de la spectrométrie Mössbauer". Pédologie, vol XV, nº 2, p. 199.
- LEYVA, F. y PASTOR, F. 1976 a. "Memoria del Mapa Geológico de España. Escala 1/50.000. El Abalario, nº 1017". IGME, 2ª serie, 1ª edición: 34 pp.
- LEYVA, F. y PASTOR, F. 1976 b. "Memoria del Mapa Geológica de España. Escala 1/50.000. El Rocío, nº 1018". IGME, 2ª serie, 1ª edición: 38 pp.
- McKEE, E.D. 1979. "A study of global sand seas". Geological Survey Professional Paper 1052, 429 p.
- MAMAN'IN, A.N. 1979. "Primitive soils on the sands of northern Kazakhstan". Soviet Soil Science, 11, p. 402.
- MARGALEF, R. 1974. "Ecología". Ed. Omega. Barcelona.
- MARGALEF, R. 1976. "Algas de agua dulce de Doñana". Oecol. aquatica, 2, p. 79.
- MARGALEF, R. 1978. "Perspectivas de la teoría ecológica". Ed. Blume, 110 p.
- MARTIN, J.; ARRUE, J.L. y MORENO, F. 1980. "Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: Influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. IV. Hinchamiento y contracción". An. Edaf. y Agrobiol. XXXIX, p. 523.
- MARTIN, A. 1981. "El matorral de las arenas estabilizadas de Doñana". Dpto. de Ecología. Memoria. Universidad de Sevilla, 32 p.
- MARTIN, F.; SAIZ, C. y GONZALEZ, F.J. 1981. "The persulfate oxidation of a soil humic acid". Soil Sci., vol 132, nº 3, p. 200-203.

- MARTINEZ, C. 1949. "Vaso de terra sigilata hallado en las inmediaciones del Santuario de Nuestra Sra. de Regla (Chipiona)". Arch. Esp. Arq., 32: 237-240.
- MELIERES, F. 1974. "Recherche sur la dynamique sédimentaire du Golfe de Cadix (Espagne)". Tesis Doctoral, Universidad de Paris, 325 p.
- MENANTEAU, L. y CLEMENTE, L. 1977. "Variaciones de la influencia marina y su incidencia en la transformación del paisaje aluvial del delta del Guadalquivir durante los dos últimos milenios". Actas II Reunión Nac. Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Jaca, p. 167-176.
- MENANTEAU, L. y CLEMENTE, L. 1977. "Nuevos datos sobre las relaciones entre la erosión costera y el ascenso del nivel marino en el sector Mazagón (Huelva)-Chipiona (Cádiz). Papel de la tectónica". Actas II Reunión Nac. Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Jaca, p. 177-186.
- MENANTEAU, L. y POU, A. 1978. "Les Marismas du Guadalquivir: Apport de la télédétection et de l'archéologie à la reconstitution du paysage antique". Caesarodunum. Actas del Colquio "Arqueología du paysage", Paris, E.N.S., 13: 174-192.
- MENANTEAU, L. y MARTIN, A. 1979. "Environnement et tourisme. Exemple de la Costa de la Luz (Andalousie atlantique)". Tourisme et développement régional en Andalousie. Publ. de la Casa de Velázquez, De Boccard ed., série Rech. en Sc. Soc., 5: 324 p. (241-310).
- MENANTEAU, L. 1981. "Les Marismas du Guadalquivir. Exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent". Tesis Doctoral, Universidad de Paris-Sorbona, 2 vol., 252 p.
- MENANTEAU, L. 1985. Comunicación personal.
- MENENDEZ, J. y FLORSCHÜTZ, F. 1964. "Resultados del análisis paleobotánico de una capa de turba en las cercanías de Huelva (Andalucía)". Est. Geol. Esp., 20: 183-185.

- MERINO, J.; RAMIREZ, L.; SANCHO, F. y TORRES, A. 1980. "Estudio ecológico de la vegetación de ecotono ("Vera") de la Reserva Biológica de Doñana (Huelva)". I y II. An. Edaf. y Agrobiol. XXXIX, nº 11-12, p. 1867-1894.
- MOPU. 1979. "Informe hidrogeológico y de recursos hidráulicos, desagües y vertidos, y posibles incidencias de los mismos en el Parque Nacional de Doñana". Direc. Gral. de Obras Hidráulicas. Madrid.
- MORA-FIGUEROA, L. de. 1978. "Torres almenara de la costa de Huelva". Tesina de Licenciatura, Universidad de Granada, 340 p.
- MORTENSEN, J.L. 1963. "Complexing of metals by soil organic matter". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 27 (2), p. 179.
- MÖRNER, N.A. 1973. "Climatic changes during the last 35,000 years as indicated by land, sea and air data". Boreas, 2 (1): 33-53.
- MUDARRA, J.L.; MERINO, J.; CLEMENTE, L. y FIGUEROA, M.E. 1977. "Descripción de los principales tipos de suelos en la Reserva Biológica de Doñana". I Reunión Iberoam. Zool. Vert., La Rábida (Huelva).
- MUDARRA, J.L.; CLEMENTE, L. y SILJESTRÖM, P. 1984. "Hidromorfía en suelos del orden vertisol del Valle del Guadalquivir". Actas I Cong. Nac. Ciencia del Suelo, p. 655-667.
- MUNSELL COLOR COMPANY, Inc. USA. 1954. "Munsell soil color charts". Maryland (USA).
- MURPHY, J. y RILEY, J.P. 1962. "Determinación de fósforo en solución". Anal. Chim. Acta, 27, p. 31.
- MÜCKENHAUSEN, E. 1954. "A tentative classification scheme of the soil of Germany". F.A.O. Meet. Subgr. Soil Classif. Gand.
- NORRIS, J.M. 1970. "Multivariate methods in the study of soils". Soils and Fertil. XXXIII, p. 313.

- CADES, J.M. 1963. "The nature and distribution of iron compounds in soils". *Soils and Fertil.* XXVI. p. 69.
- OBRADOR, A. 1973. "Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca". *Revista de Menorca.* Mahón.
- OJANUGA, A.G. y LEE, G.B. 1973. "Characteristics, distribution and genesis of nodules and concretions in soils of the southwestern Upland of Nigeria". *Soil Science*, vol 116 : 282-291.
- OLLIER, C.D. 1975. "Weathering". Edit. Longman, London. 304 p.
- PALLMANN, H. 1947. "Pédologie et Phytosociologie". Cong. Int. Pédol. Méditerran., Montpellier.
- PAQUET, H. 1969. "Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées". Mem. Serv. Carte Geol. d'Alsace et de Lorraine, 30 Univ. Strasbourg.
- PASTOR, F. y ZAZO, C. 1976. "Mapa Geológico de España, escala 1/50.000, nº 1000, Moguer". (2ª serie). IGME.
- PAUL, K.H. 1944. "Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung. I. Gestaltung der Bodenformen in ihrer Abhängigkeit von der Pflanzendecke". *Nova Acta Leopoldina.* N.F. 13: 215-238.
- PAUL, K.H. 1953. "Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung. II. Entwicklung der Pflanzendecke von der Besiedlung des Flugsandes bis zum Wald". *Nova Acta Leopoldina.* N.F. 16: 261-378.
- PELLOUX, P.; DABIN, B.; FILLMAN, G. y GOMEZ, P. 1971. "Méthode de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols". ORSTOM Initiations-Documentations Techniques, nº 17, Paris.
- PENA, J. 1978. "Suelos sobre dunas fijas y áreas de depresión interdunares del Coto de Doñana (Huelva - España)". Monografía. Centro de Edaf. y Biol. Aplic. del Cuarto. Sevilla, 75 p.

- PERCONIG, E. 1961. "Sur la constitution géologique de l'Andalousie Occidentale en particulier du Bassin du Guadalquivir (Espagne méridionale)". Mem. Soc. Géol. de France (Livre à la mémoire du Dr. Paul Fallot), I: 229-256.
- PEREZ-MATEOS, J. y RIBAS. 1961. "Estudio de los sedimentos pliocenos y cuaternarios de Huelva". II Reun. Sedim. C.S.I.C. Madrid, p. 87-94.
- PEREZ-MATEOS, J.; PINILLA, A.; ALCALA DEL OLMO, L. y ALEIXANDRE, T. 1982. "Mineralogía de los arenales costeros españoles. Tramo Málaga-Ayamonte". Bol. Geol. y Min. XCIII, p. 1-18.
- PERKINS, H.F. y LAWRENCE, B. 1982. "Sesquioxides segregation in plinthic and non-plinthic counterpart soils". Soil Science, vol. 133 nº 5, p. 314-318.
- PINTA, M. 1971. "Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique". ORSTOM, Masson et Cie, Paris.
- PIRAZZOLI, P. 1976. "Les variations du niveau marin depuis 2000 ans". Mem. Lab. Géomorph. de L'E.P.H.E., Dinard, 30: 421 p.
- POMEROL, C. y BLONDEAU, A. 1968. "Initiation a la Géologie Pratique". Ed. N. Boubée & Cie, Paris. 217 p.
- POU, A. 1977. "Implicaciones paleoclimáticas de los sistemas dunares de Doñana". V Reunión Climatológica Agrícola, Santiago de Compostela, Min. Agric.: 10 p.
- RAMIREZ, L. 1973. "Estudio ecológico cuantitativo del matorral de la Reserva Biológica de Doñana". Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 394 p.
- RAMIREZ, L.; GARCIA NOVO, F. y MERINO, J. 1975. "On the ecological interpretation of Principal Components Analysis". Oecol. Plant. 11 (2): 137-141.

- RAMIREZ, L.; GARCIA NOVO, F.; MERINO, J. y GONZALEZ B., F. 1977. "Sistemas de dunas y arenas estabilizadas de la Reserva Biológica de Doñana". ICONA, Monografía 18, p. 159-193, Madrid.
- RANWELL, D.S. 1972. "Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes". Ed. Chapman and Hall, London, 258 pp.
- RAYNER, J.M. 1966. "Classification of soils by numerical methods". J. Soil Sci., 17, 1, p. 79.
- REITEMEIER, R.F. 1943. "Semimicroanalysis of saline soil solutions". Indus. and Engin. Chem. Analyt. 15: 393-402.
- RICH, C.I. y OBENSHAIN, S.S. 1956. "Distribution of free iron oxide in four coastal plain soils of Virginia". C.R. VI Cong. Int. Sci. Sol, B, p. 447, Paris.
- RIVAS, S.; FERNANDEZ, G.E. y RIVAS-MARTINEZ, S. 1963. "Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz, 3. Vegetación natural y mapa de vegetación potencial, 1/200.000". Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. Sevilla, p. 215-257.
- RIVAS-MARTINEZ, S.; ARNAIZ, C.; BARRENO, E. y CRESPO, A. 1977. "Apuntes sobre las provincias corológicas de la Península Ibérica e Islas Canarias". Opuscula Botanica Pharmaciae Complutensis, 1: 1-48.
- RIVAS-MARTINEZ, S.; CASTROVIEJO, S.; VALDES, E.; CALONGE, F.D.; COSTA, M.; SAEZ, C. y PORTA, J. 1980. "Estudio botánico de los ecosistemas de Doñana". Dept. de Botánica, Facultad de Farmacia, Univ. Complutense, Madrid, 2 vol, 189 p.
- ROBINSON, G.W. 1949. "Soils". Thomas Murby, Londres.
- RODE, A.A.; YARILOVA, Y.A. y RASHEVSKAYA, I.M. 1960. "Some genetic characteristics of dark soils of large depressions". Abs. 181, Soils and Fertil. XXIV (1961).

- RODRIGUEZ AREVALO, J. 1984. "Estudio hidrogeológico de la zona de contacto entre los depósitos eólicos y de marisma en el área de Doñana (La Vera-La Retuerta)". Tesina de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 177 p.
- ROMERO DE TORRES, E. 1934. "Catálogo monumental de España. Provincia de Cádiz (1908-1909)". Madrid, Min. Instr. Publ. y Bellas Artes, 1: 595 p.
- ROY, B.B. y BARDE, N.K. 1962. "Some characteristics of the black soils of India". Soil Sci., 93, p. 142.
- SALISBURY, E.J. 1952. "Downs and dunes". London: Bell.
- SANDOVAL, F. y FIGUEREDO, M. 1984. "Génesis y cartografía de los suelos del área de "Naves" de la Reserva Biológica de Doñana". Memoria. Centro de Edaf. y Biol. Aplic. del Cuarto, C.S.I.C., 59 p.
- SCHNITZER, M. y SKINNER, S.I.M. 1963. "Organo-metallic interactions in soils: 3. Properties of iron and aluminium-organic matter complexes prepared in the laboratory and extracted from a soil". Soil Sci. 98, p. 197.
- SCHWERTMANN, U.; FISCHER, W.R. y TAYLOR, R.M. 1974. "New aspects of iron oxide formation in soils". 10th International Congress of Soil Science, Moscow, vol. VI, p. 237-247.
- SEGALEN, P. 1964. "Le fer dans les sols". ORSTOM, Paris.
- SILJESTRÖM, P. 1981. "Propiedades, Génesis y Evolución de los suelos de la Reserva Biológica de Doñana". Tesina de Licenciatura, Universidad de Sevilla, 130 p.
- SMITH, G.; BRITO, P. y LUQUE, P. 1977. "The lithoplastic horizon, a diagnostic horizon for Soil Taxonomy". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 41, p. 1212.
- SOIL SURVEY STAFF. 1960. "Soil Classification. A comprehensive system. 7th Approximation". U.D. Dept. Agriculture.

- SOIL SURVEY STAFF. 1967. "Supplement to soil classification system: (7th Approximation)". U.S. Dept. Agriculture.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. "Soil Classification. A comprehensive system. 7th Approximation". U.S. dept. Agriculture. 754 pp.
- STRABON, 1966. Geographie, T. II (libro 3). Paris, Soc. edit. "Les Belles Lettres", Coll. Univ. de France: 242 p. (29, 32-35, 45 y 95).
- STRAHLER, A.N. 1977. "Geografía física". Ed. Omega. Barcelona.
- SUBDIRECCION GENERAL DE COSTAS Y SEÑALES MARITIMAS, TERCERA JEFATURA REGIONAL DE COSTAS Y PUERTOS - SUR. 1977. "Plan indicativo de usos del dominio público litoral. Tramo de costa: provincia de Huelva; tramo de costa: provincia de Cádiz; tramo de costa: provincias de Huelva, Cádiz y Málaga". 240 p.; 2; 59 p. Edit. por la Dirección General de Puertos y Señales Marítimas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- SUC, J.P. 1980. "Aperçu sur la végétation et le climat des régions méditerranéennes d'Europe occidentale au Pliocène et au Pléistocène inférieur d'après l'analyse pollinique. Paléoclimats du Tertiaire. Plio-Pléistocène en Catalogne, Languedoc et Campanie". In: Entretiens du Museum. Palynologie et climats (16-18 Octobre 1979), Mem. Mus. Nat. Hist. Nat., série B, Botanique, 27: 177-182.
- TERAN, M. de. 1967. "Geografía de España y Portugal". IV-III, p. 75. Montaner y Simón, S.A., Barcelona.
- TERRADAS, J. 1977. "Ecología, hoy". Ed. Teide. 149 p.
- TERS, M. 1973. "Les variations du niveau marin depuis 10.000 ans le long du littoral atlantique français". Le Quaternaire: Géodynamique, Stratigraphie et Environnement. IX Congres. INQUA (suppl. Bull. Ass. Fr. et Quat. n° 36), Nueva Zelanda: 114-135.
- THORNTWAITE, W.C. 1948. "An approach toward a rational classification of climate". Geogr. Rev., 38, 55 p.



- TIAN-REN, YU. 1982. "Physicochemical Equilibria of Redox Systems in Paddy Soils". Soil Science, vol. 135, nº 1.
- TOJA, J. y FUREST, A. 1981. "Limnología de las aguas continentales de Doñana". Memoria, Dept. Ecología, Universidad de Sevilla, 35 p.
- TORRES, A. 1975. "Estudio ecológico cuantitativo de los sistemas de dunas y marismas de la Reserva Biológica de Doñana". Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 308 p.
- TORRES, A.; ALLIER, C.; RAMIREZ, L. y GARCIA NOVO, F. 1977. "Sistemas de dunas". Prospección e inventario de Ecosistemas. Monografía 18, ICONA; p. 195-224.
- TRICART, J. y MICHEL, P. 1965. "Morphogénèse et Pédogénèse. I. Approche methodologique: Géomorphologie et Pédologie". Sc. du Sol, 1, p. 69.
- U.S. SALINITY LABORATORY. 1954. Richards, L.A. (Ed.). "Diagnostic and Improvement of Saline and Alkali Soils". Agriculture Handbook nº 60, U.S. Depart. Agric., 160 p.
- VALVERDE, J. 1960. "Vertebrados de las Marismas del Guadalquivir". Arch. Inst. Aclimat. Almería, 9: 1-168.
- VALVERDE, J.A. 1967. "Estructura de una comunidad mediterránea de vertebrados terrestres". Monografías de Ciencia Moderna, nº 76, C.S.I.C., Madrid, p. 20-26.
- VANNEY, J.R. 1970. "L'hydrologie du Bas Guadalquivir". Casa de Velázquez. Instituto de Geografía Aplicada Alonso de Herrera. C.S.I.C. Madrid, 176 p.
- VANNEY, J.R. y MENANTEAU, L. 1979. "Types de reliefs littoraux et dunaires en Basse Andalousie (de la Ría de Huelva à l'embouchure du Guadalquivir)". Melanges de la Casa de Velázquez, 15: 5-52.

- VANNEY, J.R.; MENANTEAU, L. y ZAZO, C. 1979. "Physiographie et évolution des dunes de Basse Andalousie (Golfe de Cadix, Espagne)". En: Les côtes atlantiques d'Europe, évolution, aménagement, protection. Brest, France. 15-16 Mayo 1979. Publicación del CNEXO. Actas del Coloquio, 9: 277-286.
- VANNEY, J.R.; MENANTEAU, L. y ZAZO, C. 1982. "Carte physiographique de la zone maritime de Basse Andalousie, entre les Rías de Huelva et du Guadalquivir". (en prensa).
- VELA, A. 1984. "Estudio preliminar de la hidrogeología e hidrogeológica del sistema de dunas móviles y flecha litoral del Parque Nacional de Doñana". Tesina de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 221 p.
- VELA, A. 1985. Comunicación personal.
- VEPRASKAS, M.J. y BOUMA, J. 1976. "Model experiments on mottle formation simulating field conditions". Geoderma, 15: 217-230.
- VERGER, F. 1968. "Marais et wadden du littoral française". Ed. Frères Biscaye, Bordeaux, 542 p.
- VIGUIER, Cl. 1974. "Le néogène de l'Andalousie nord-occidentale (Espagne). Histoire géologique du Bassin du Guadalquivir". Tesis Doctoral, Universidad de Bordeaux. 450 p.
- VOLOBUEV, V.R. 1964. "Ecology of Soils". Israel Prog. Scient. Translat.
- WALKLEY, A. y BLACK, I.A. 1934. "An examination of the Degtjaseff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic and titration method". Soil Sci., 37, p. 29.
- WILLIAMS, C. y YAALON, D.H. 1977. "An experimental investigation of seddening in dune sand". Geoderma, 17: 181-191.
- WOOLDRIDGE, S.W. 1949. Journal Soil Science, 1, p. 31-34.

- YAALON, D.H.; JUNGREIS, C. y KOYUMDJISKY, H. 1972. "Distribution and reorganization of manganese in three catenas of mediterranean soils". *Geoderma*, 7, p. 71.
- YAGÜE, A. y LLAMAS, M.R. 1984. "Simulación del flujo subterráneo del sistema acuífero del estuario del Guadalquivir en un perfil vertical". I Congreso Esp. de Geología, tomo IV, p. 435-451.
- ZAYDEL'MAN, F.R.; NIKIFOROVA, A.S. y SANZ, A.F. 1979. "Cutans and ortsteins of nongleyed and gleyed sod-podzolic soils on a calcareous moraine and their diagnostic importance". *Soviet Soil Sci.*, 11 (1), p. 1-18.
- ZAZO, C. 1980. "El Cuaternario marino-continental y el límite plio-pleistoceno en el litoral de Cádiz". Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 2 vol.
- ZAZO, C.; DABRIO, C.; GOY, J.L. y MENANTEAU, L. 1981. Excursión de la IV Reunión del Grup. Esp. de Trab. del Cuaternario. "Parada Torre del Loro". 5 p.
- ZENKOVICH, V.P. 1967. "Processes of Coastal Development". Oliver and Boy Ltd., 738 p.

ANEXO : SONDEOS

=====

Elemento morfoedáfico: ALTO DE NAVE

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
1	0-40	7,5 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	40-50	10 YR 5/6 (h)	-	"
	50-120	10 YR 6/6 (h)	-	"
2	0-40	7,5 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	40-50	10 YR 5/6 (h)	-	"
	50-120	10 YR 6/6 (h)	-	"
3	0-30	10 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	30-120	10 YR 6/6 (h)	-	"
4	0-30	10 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	30-120	10 YR 6/6 (h)	-	"
5	0-20	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-70	10 YR 5/6 (h)	-	"
	70-140	10 YR 6/6 (h)	Difusas a par tir de 140 cm	"
	140-210	10 YR 6/8 (h)		"
6	0-15	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	15-30	10 YR 4/3 (h)	-	"
	30-120	10 YR 5/4 (h)	-	"
7	0-15	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	15-150	10 YR 6/6 (h)	-	"
	150-200	10 YR 6/8 (h)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
8	0-15	10 YR 5/8 (h)	-	Arenosa
	15-30	10 YR 5/6 (h)	-	"
	30-110	10 YR 6/4 (h)	-	"
	110-150	7,5 YR 5/6 (h)	-	"
	150-200	7,5 YR 6/6 (h)	-	"
9	0-20	10 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	20-40	10 YR 5/8 (h)	-	"
	40-120	10 YR 6/6 (h)	-	"
10	0-40	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	40-70	10 YR 5/6 (h)	-	"
	70-120	10 YR 6/8 (h)	-	"
11	0-5	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	5-30	10 YR 5/6 (h)	-	"
	30-+	10 YR 6/6 (h)	-	"
12	0-15	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	15-50	10 YR 5/6 (h)	-	"
	50-150	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	150-200	10 YR 6/8 (h)	-	"
13	0-15	10 YR 3/3 (h)	-	Arenosa
	15-70	10 YR 5/3 (h)	Difusas	"
	70-90	10 YR 7/2 (h)	-	"
	90-200	10 YR 7/1 (h)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
14	0-15	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	15-50	10 YR 3/3 (h)	Difusas	"
	50-100	10 YR 6/4 (h)	-	"
	100-150	10 YR 7/4 (h)	-	"
	150-170	10 YR 7/2,5 (h)	-	"
15	0-15	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	15-70	10 YR 6/3 (h)	-	"
	70-125	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	125-(+)	10 YR 7/3,5 (h)	-	"
16	0-20	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-45	10 YR 5/6 (h)	-	"
	45-90	10 YR 6/6 (h)	-	"
	90-120	10 YR 7/4 (h)	Difusas	"
	120-170	10 YR 7/2 (h)	-	"
	170-200	10 YR 7/1 (h)	-	"
17	0-15	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	15-45	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	45-100	2,5 Y 7/4 (s)	-	"
18	0-15	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	15- +	10 YR 5/6 (h)	-	"
19	0-10	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	10-60	10 YR 5/6 (h)	-	"
	60-180	10 YR 6/6 (h)	Difusas a 140 cm	"
	180-200	10 YR 6/8 (h)	-	"
20	0-10	10 YR 5/4 (h)	-	Arenosa
	10-50	10 YR 5/6 (h)	-	"
	50-130	10 YR 6/6 (h)	-	"

## Elemento morfoedáfico: LADERA DE NAVES

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
21	0-10	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	10-80	10 YR 6/6 (h)	Frecuentes	"
	80-130	10 YR 6/8 (h)	Abundantes	"
	130-160	10 YR 6/6 (h)	Frecuentes	"
	160-180	10 YR 7/4 (h)	Abundantes	"
	180-200	10 YR 6/8 (h)	Abundantes	"
22	0-20	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	20-40	10 YR 6/4 (h)	Difusas	"
	40-90	10 YR 6/6 (h)	Difusas hasta 80 cm	"
	90-110	10 YR 7/4 (h)	-	"
	110-120	10 YR 7/2 (h)	Difusas, a 170 cm nítidas	"
23	0-20	10 YR 5/4 (h)	-	Arenosa
	20-60	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	60-80	10 YR 7/6 (h)	-	"
	80-90	10 YR 7/4 (h)	Nítidas	"
	90-110	10 YR 7/3 (h)	Difusas	"
	110-120	10 YR 7/2 (h)	-	"
24	0-20	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	20-50	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	50-120	10 YR 6/4 (h)	Nítidas	"
	120-200	10 YR 7/2 (h)	Difusas	"



Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
25	0-20	10 YR 4/4 (h)	Difusas	Arenosa
	20-80	10 YR 6/3 (h)	-	"
	80-130	10 YR 7/4 (h)	Nítidas	"
	130-200	2,5 Y 7/2 (h)	Difusas	"
26	0-40	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	40-85	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	85-140	10 YR 6/4 (h)	Nítidas	"
	140-150	10 YR 7/4 (h)	Difusas	"
	150-180	10 YR 7/2 (h)	-	"
	180-220	10 YR 7/3 (h)	-	Areno-arc illosa
27	0-15	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	15-60	10 YR 6/4 (h)	Difusas	"
	60-70	10 YR 6/6 (h)	Abundantes	"
	70-100	10 YR 6/8 (h)	Frecuentes y nódulos	"
	100-125	10 YR 7/6 (h)	Difusas	"
	125-135	10 YR 7/3 (h)	Difusas	"
	135-160	10 YR 7/2 (h)	-	"
	160-210	10 YR 7/1 (h)	-	"
28	0-30	10 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	30-100	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	100-170	10 YR 7/6 (h)	Nítidas	"
	170-185	10 YR 7/3 (h)	Difusas	"
	185-210	10 YR 7/2 (h)	Frecuentes	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfia	Textura
29	0-20	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-40	10 YR 5/4 (h)	-	"
	40-50	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	50-70	10 YR 6/4 (h)	Nítidas	"
	70-120	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
30	0-10	10 YR 5/4 (h)	-	Arenosa
	10-40	10 YR 6/4 (h)	-	"
	40-60	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	60-80	10 YR 7/6 (h)	-	"
	80-100	10 YR 7/4 (h)	Frecuentes	"
	100-120	10 YR 7/3 (h)	Difusas	"
31	0-10	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	10-40	10 YR 5/6 (h)	-	"
	40-170	10 YR 6/8 (h)	Frecuentes	"
	170-200	10 YR 7/8 (h)	Difusas	"
32	0-10	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	10-40	10 YR 5/6 (h)	Difusas	"
	40-80	10 YR 6/6 (h)	-	"
	80-120	10 YR 7/6 (h)	Abundantes	"
	120-180	10 YR 7/4 (h)	Difusas	"
	180-200	10 YR 8/3 (h)	Nítidas	"
33	0-10	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 5/6 (h)	-	"
	30-115	10 YR 6/4 (h)	Difusas	"
	115-140	10 YR 7/3 (s)	Difusas	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
34	0-15	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	15-40	10 YR 6/6 (h)	Difusas	"
	40-80	10 YR 6/4 (h)	-	"
	80-110	10 YR 7/4 (h)	Escasas	"
	110-130	10 YR 7/3 (h)	-	"
	130-140	10 YR 7/2 (h)	-	"
	140-180	10 YR 7/1 (h)	Escasas y nítidas	"
	180-200	2,5 Y 7/4 (h)	Abundantes	"
35	0-20	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-40	10 YR 5/6 (h)	-	"
	40-190	10 YR 6/6 (h)	Difusas a 70 cm Nítidas a 160 cm	"
	190-210	10 YR 7/6 (h)	-	"
36	0-15	10 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	15-40	10 YR 5/8 (h)	-	"
	40-80	10 YR 6/8 (h)	Difusas a 70 cm	"
	80-100	10 YR 7/8 (h)	Nítidas	"
	100-120	10 YR 8/8 (h)	Difusas	"
37	0-10	10 YR 5/8 (h)	-	Arenosa
	10-40	10 YR 5/6 (h)	-	"
	40-100	10 YR 6/6 (h)	Difusas a 70 cm	"
	100-135	10 YR 7/4 (h)	Nítidas	"
	135-150	10 YR 7/3 (h)	-	"
	150-200	10 YR 7/2 (h)	-	"
38	0-10	10 YR 5/6 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 6/6 (h)	-	"
	30-100	10 YR 7/6 (h)	Nítidas a 60 cm	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	100-120	10 YR 6/8 (h)	Difusas	Arenosa
	120-140	10 YR 7/4 (h)	-	"
	140-160	10 YR 7/6 (h)	Difusas	"
	160-200	10 YR 7/4 (h)	-	"
39	0-10	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 5/3 (h)	-	"
	30-70	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	70-100	10 YR 6/4 (h)	Nítidas	"
40	0-20	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-30	7,5 YR 5/6 (h)	-	"
	30-50	7,5 YR 7/4 (h)	Nódulos ferruginosos	"
	50-80	10 YR 7/4 (h)	Difusas	"
	80-(+)	10 YR 8/2 (h)	-	"
41	0-20	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-45	10 YR 5/6 (h)	-	"
	45-90	10 YR 6/6 (h)	-	"
	90-120	10 YR 7/4 (h)	Difusas	"
	120-170	10 YR 7/2 (h)	-	"
	170-200	10 YR 7/1 (h)	-	"
42	0-30	10 YR 6/3 (h)	-	Arenosa
	30-70	10 YR 6/4 (h)	-	"
	70-90	10 YR 7/4 (h)	Difusas	"
	90-110	10 YR 7/3 (h)	-	"
	110-120	10 YR 7/2 (h)	-	"

## Elemento morfoedáfico : BAJO DE NAVES

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
43	0-30	7,5 YR 3/1 (h)	-	Arenosa
	30-50	7,5 YR 4/2 (h)	-	"
	50-70	7,5 YR 6/2 (h)	Difusas	"
	70-120	7,5 YR 7/2 (h)	Nítidas	"
44	0-7	7,5 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	7-30	7,5 YR 4/2 (h)	-	"
	30-60	7,5 YR 5/2 (h)	-	"
	60-160	10 YR 7/2 (h)	-	"
	160-(+)	10 YR 6/2 (h)	Difusas a 165 cm	"
45	0-10	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	10-35	10 YR 5/2 (h)	-	"
	35-100	10 YR 6/4 (h)	Abundantes	"
	100-120	10 YR 7/3 (h)	Frecuentes	"
46	0-20	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	20-50	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	50-80	10 YR 6/2 (h)	-	"
	80-100	2,5 Y 5/4 (h)	-	"
	100-120	10 YR 7/2 (h)	-	Areno-arcilosa
47	0-15	10 YR 5/2 (h)	-	Arenosa
	15-60	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	60-160	10 YR 7/2 (h)	-	"
	160-200	2,5 Y 7/2 (h)	Difusas	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
48	0-3	10 YR 7/1 (h)	-	Arenosa
	3-20	10 YR 5/2 (h)	-	"
	20-40	10 YR 7/2 (h)	Difusas	"
	40-60	10 YR 7/3 (h)	-	"
	60-75	10 YR 7/4 (h)	Nítidas	"
	75-(+)	10 YR 6/6 (h)	-	"
49	0-15	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	15-35	10 YR 5/4 (h)	Abundantes	"
	35-50	10 YR 6/4 (h)	-	"
	50-70	10 YR 7/3 (h)	Abigarrado	"
	70-90	7,5 YR 4/4 (h)	Abigarrado	Arcillosa
	90-110	10 YR 7/2 (h)	Difusas	Arenosa
	110-120	10 YR 4/3 (h)	Abigarrado	Arcillosa
	120-135	10 YR 4/4 (h)	Difusas	Arcillo-are- nosa
	135-145	10 YR 5/4 (h)	-	"
	145-180	10 YR 5/3 (h)	-	"
	180-210	10 YR 5/2 (h)	-	"
	50	0-30	10 YR 4/3 (h)	Difusas
30-70		10 YR 7/3 (h)	-	"
70-180		10 YR 7/2 (h)	Difusas	"
180-190		10 YR 6/2 (h)	-	Areno-ar- cillosa
190-210		2,5 Y 6/4 (h)	Difusas	"
51	0-5	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	5-20	7,5 YR 5/2 (h)	-	"
	20-45	10 YR 7/3 (h)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	45-95	10 YR 7/4 (h)	-	Arenosa
	95-140	10 YR 7/3 (h)	Difusas	"
	140-200	2,5 Y 7/2 (h)	Frecuentes	"
52	0-12	5 Y 2,5/1 (s)	-	Arenosa
	12-50	10 YR 6/2 (s)	-	"
53	0-15	10 YR 4/2 (s)	-	Arenosa
	15-55	10 YR 6/2 (h)	-	"
	55-(+)	10 YR 7/2 (h)	-	"
54	0-7	7,5 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	7-30	7,5 YR 4/2 (h)	-	"
	30-60	7,5 YR 5/2 (h)	-	"
	60-160	10 YR 7/2 (h)	-	"
	160-(+)	10 YR 6/2 (h)	Difusas a 165 cm	"
55	0-5	7,5 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	5-20	7,5 YR 5/2 (h)	-	"
	20-95	10 YR 7/3 (h)	Difusas	"
	95-130	10 YR 7/2 (h)	-	"
	130-(+)	10 YR 7/1 (h)	-	"
56	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-30	7,5 YR 4/2 (h)	-	"
	30-40	7,5 YR 5/2 (h)	Moteado	"
	40-60	7,5 YR 6/2 (h)	-	"
	60-80	10 YR 7/2 (h)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
57	0-25	7,5 YR 3/3 (h)	-	Arenosa
	25-40	10 YR 3/2 (h)	-	"
	40-55	10 YR 5/2 (h)	-	"
	55-90	10 YR 6/2 (h)	-	"
	90-110	10 YR 7/2 (h)	-	"
	110-130	10 YR 7/1 (h)	-	"
	130-200	10 YR 8/1 (h)	-	"
58	0-10	7,5 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	10-50	7,5 YR 6/3 (h)	-	"
	50-90	7,5 YR 7/3 (h)	Difusas	"
	90-120	7,5 YR 7/1 (h)	Nítidas	"
59	0-20	10 YR 4/2 (h)	Difusas	Arenosa
	20-40	10 YR 5/2 (h)	-	"
	40-70	10 YR 5/3 (h)	Definidas	"
	70-80	10 YR 6/3 (h)	Difusas	"
	80-90	10 YR 7/3 (h)	-	"
	90-150	10 YR 7/2 (h)	-	"
60	0-5	10 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa
	5-25	7,5 YR 4/2 (h)	-	"
	25-80	7,5 YR 6/2 (h)	-	"
	80-160	10 YR 6/2 (h)	-	"
	160-(+)	10 YR 5/2 (h)	-	"



Elemento morfoedáfico: ALTO DE DUNA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
61	0-10	10 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	10-25	10 YR 4/3 (s)	-	"
	25-40	10 YR 4/4 (s)	-	"
	40-85	10 YR 5/6 (h)	-	"
	85-105	10 YR 6/6 (h)	-	"
	105-140	10 YR 7/6 (h)	-	"
	140-	10 YR 6/8 (h)	-	"
62	0-25	7,5 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	25-60	7,5 YR 5/8 (h)	-	"
	60-	7,5 YR 6/8 (h)	-	"
63	0-10	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	10-25	10 YR 4/4 (h)	-	"
	25-120	10 YR 5/8 (h)	-	"
	120-180	10 YR 6/8 (h)	-	"
	180-	10 YR 6/6 (h)	-	"
64	0-15	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	15-40	10 YR 5/6 (h)	-	"
	40-80	10 YR 6/6 (h)	-	"
	80-125	10 YR 6/8 (h)	-	"
65	0-20	10 YR 4/4 (s)	-	Arenosa
	20-55	10 YR 5/6 (s)	-	"
	55-100	10 YR 5/8 (s)	-	"
	100-150	10 YR 6/8 (s)	-	"
66	0-10	10 YR 4/4 (s)	-	Arenosa
	10-35	10 YR 5/4 (s)	-	"
	35-90	10 YR 5/6 (h)	-	"
	90-150	10 YR 5/8 (h)	-	"

## Elemento morfoedáfico: LADERA DE DUNA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
67	0-10	10 YR 3/3 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 5/4 (s)	-	"
	30-50	10 YR 5/4 (s)	Escasas y difusas	"
	50-105	10 YR 5/8 (h)	-	"
	105-115	10 YR 7/8 (h)	-	"
	115-150	10 YR 5/8 (h)	-	"
	150-	10 YR 6/6 (m)	-	"
68	0-20	10 YR 3/3 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	20-40	10 YR 4/3 (h)	-	"
	40-80	10 YR 6/2 (h)	-	"
	80-120	10 YR 7/3 (m)	-	"
	120-	10 YR 5/4 (m)	-	"
69	0-12	10 YR 5/4 (s)	-	Arenosa
	12-40	10 YR 6/6 (s)	-	"
	40-120	10 YR 6/8 (h)	-	"
	120-150	10 YR 6/8 (h)	Escasas y difusas	"
	150-230	10 YR 5/8 (m)	Abundantes	"
70	0-20	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	20-45	10 YR 6/4 (h)	-	"
	45-70	10 YR 7/4 (h)	Frecuentes y difusas	"
	70-120	10 YR 7/6 (m)	Moteado difuso	"
	120-155	10 YR 6/8 (m)	Abundantes	"
71	0-10	10 YR 3/3 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 4/3 (h)	Escasas y difusas	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	30-90	10 YR 6/4 (h)	Frecuentes y nítidas	Arenosa
	90-150	10 YR 5/6 (h)	Escasas y difusas	"
	150-180	10 YR 6/6 (h)	Escasas y difusas	"
	180-	10 YR 5/8 (h)	Escasas y muy difusas	"
72	0-15	10 YR 5/2 (s)	-	Arenosa
	15-50	10 YR 6/2 (s)	-	"
	50-	10 YR 6/3 (h)	Escasas y difusas	"
73	0-10	10 YR 3/3 (h)	-	Arenosa
	10-60	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	60-110	10 YR 6/3 (h)	Escasas y difusas	"
	110-	10 YR 6/6 (m)	Abundantes	"
74	0-10	7,5 YR 5/2 (h)	-	Arenosa
	10-50	10 YR 6/3 (h)	-	"
	50-90	10 YR 6/4 (h)	Abundante moteado	"
	90-115	2,5 Y 6/4 (m)	-	"
	115-120	5 Y 7/2 (m)	-	"
75	0-20	10 YR 4/4 (h)	-	Arenosa
	20-80	10 YR 6/3 (h)	-	"
	80-130	10 YR 7/4 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	130-200	2,5 Y 7/2 (h)	Escasas y difusas	"
76	0-10	7,5 YR 5/2 (s)	-	Arenosa
	10-100	10 YR 6/3 (s)	Escasas y difusas	"
	100-120	10 YR 7/3 (h)	Escasas y difusas	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	120-145	10 YR 6/5 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	145-160	10 YR 6/6 (m)	-	"
77	0-2	10 YR 7/1 (s)	-	Arenosa
	2-10	10 YR 6/2 (s)	Escasas y difusas	"
	10-100	10 YR 6/3 (s)	Frecuentes y nítidas	"
	100-130	10 YR 7/4 (h)	Escasas y difusas	"
	130-150	2,5 Y 6/2 (h)	Vetas	"
	150-190	2,5 Y 6/2 (m)	-	"
	190-230	10 YR 6/6 (m)	-	"
78	0-10	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	10-60	10 YR 5/6 (h)	-	"
	60-120	10 YR 5/6 (h)	Frecuentes y difusas	"
	120-160	10 YR 5/6 (h)	Abundantes y nítidas	"
	160-190	10 YR 5/6 (h)	-	"
	190-	2,5 Y 6/4 (h)	-	"
79	0-5	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	5-30	10 YR 4/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	30-60	10 YR 5/4 (h)	Escasas y difusas	"
	60-90	10 YR 6/4 (h)	-	"
	90-110	10 YR 5/8 (h)	-	"
	110-130	10 YR 6/8 (h)	-	"
	130-145	7,5 YR 5/8 (m)	-	"
	145-175	10 YR 6/6 (m)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfia	Textura
80	0 - 5	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 5/4 (h)	-	"
	20-90	10 YR 6/6 (h)	-	"
	90-115	10 YR 7/6 (h)	-	"
	115-130	2,5 Y 7/4 (h)	Muy abundantes	"
	130-	10 YR 7/1 (m)	Frecuentes	"

Elemento morfoedáfico: BAJO DE DUNA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
81	0-3	10 YR 7/1 (s)	-	Arenosa
	3-20	10 YR 5/2 (h)	-	"
	20-40	10 YR 7/2 (h)	Escasas y difusas	"
	40-60	10 YR 7/3 (h)	Escasas y difusas	"
	60-75	10 YR 7/4 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	75-	10 YR 6/6 (h)	-	"
82	0-10	10 YR 4/2 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 6/3 (s)	Escasas y difusas	"
	30-100	10 YR 7/3 (h)	-	"
	100-130	10 YR 4/3 (h)	Frecuentes; vetas	Areno-ar cillosa
	130-200	10 YR 6/3 (h)	-	Arenosa
83	0-3	5 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa
	3-15	10 YR 3/1 (h)	-	"
	15-30	10 YR 4/1 (h)	-	"
	30-45	10 YR 5/2 (h)	-	"
	45-95	10 YR 6/3 (h)	-	"
	95-120	10 YR 5/3 (h)	-	"
84	0-15	10 YR 2,5/1 (h)	-	Areno-limosa
	15-30	10 YR 3/1 (h)	-	Arenosa
	30-40	10 YR 4/2 (h)	-	"
	40-95	10 YR 6/2 (h)	Escasas y difusas	"
	95-135	10 YR 5/2 (h)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
85	0-25	5 YR 2,5/2 (s)	-	Franco- arenosa
	25-60	7,5 YR 4/4 (s)	-	Arenosa
	60-90	7,5 YR 4/2 (h)	Frecuentes; concreciones	"
	90-120	7,5 YR 5/2 (h)	Escasas	"
	120-	10 YR 6/3 (h)	-	"
86	0-10	10 YR 6/3 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 6/4 (s)	-	"
	30-70	10 YR 6/6 (h)	Escasas; concreciones	"
	70-110	10 YR 7/4 (h)	-	"
	110-130	10 YR 7/4 (h)	Frecuentes	"
	130-200	10 YR 5/6 (h)	Aumentan en profundidad	"
87	0-20	10 YR 4/2 (s)	-	Arenosa
	20-40	7,5 YR 5/2 (h)	-	"
	40-85	7,5 YR 6/2 (h)	-	"
	85-110	10 YR 6/2 (h)	Escasas y difusas	"
	110-150	10 YR 7/2 (h)	-	"
	150-	10 YR 4/2 (m)	-	"
88	0-15	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	15-25	10 YR 5/3 (h)	-	"
	25-110	10 YR 6/3 (h)	-	"
	110-130	10 YR 6/2 (h)	Escasas y difusas	"
	130-220	10 YR 4/2 (h)	-	"
	220-	10 YR 5/1 (m)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
89	0-25	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	25-45	7,5 YR 3/2 (h)	-	"
	45-65	10 YR 3/2 (h)	Frecuentes y concreciones	"
	65-95	10 YR 5/3 (h)	-	"
	95-115	2,5 Y 6/4 (h)	-	"
	115-150	2,5 Y 6/2 (m)	-	"
	150-	2,5 Y 7/6 (m)	-	"
90	0-15	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	15-30	7,5 YR 3/2 (h)	-	"
	30-55	7,5 YR 5/2 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	55-70	10 YR 6/2 (h)	Escasas y difusas	"
	70-160	10 YR 7/2 (m)	-	"
91	0-10	10 YR 3/2 (h)	-	Franco- arenosa
	10-35	2,5 YR 2,5/0 (h)	-	Franco- arcillosa
	35-65	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	65-	10 YR 6/2 (m)	-	"
92	0-8	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	8-30	7,5 YR 3,5/2 (h)	-	"
	30-45	10 YR 3/3 (h)	Frecuentes; concreciones	Arenosa- franca
	45-65	10 YR 4/4 (h)	Escasas	Arenosa
	65-105	10 YR 6/2 (h)	-	"
	105-120	10 YR 3/4 (h)	-	"
	120-165	10 YR 2,5/1 (m)	-	"
	165-	10 YR 6/2 (m)	-	"



Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
93	0-5	5 YR 2,5/2 (s)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 3/2 (s)	-	"
	20-70	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes	"
	70-90	5 YR 5/8 (h)	Frecuentes; concreciones	"
	90-130	10 YR 6/3 (m)	-	"
	130-	10 YR 5/8 (m)	Algunas vetas	"
94	0-5	7,5 YR 3/2 (s)	-	Arenosa- -franca
	5-25	10 YR 5/3 (s)	Escasas y difusas	Arenosa
	25-70	10 YR 6/4 (s)	-	"
	70-100	10 YR 6/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	100-120	10 YR 7/3 (h)	-	"
	120-150	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	150-	10 YR 5/8 (h)	Frecuentes	"
95	0-10	5 YR 3/2 (h)	-	Areno- -limosa
	10-50	7,5 YR 2,5/0 (h)	-	Arenosa
	50-65	7,5 YR 3/0 (h)	-	"
	65-80	10 YR 3/1 (m)	-	"
	80-90	10 YR 5/2 (m)	-	"
	90-	10 YR 7/2 (m)	-	"
96	0-5	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 3/2 (h)	-	"
	20-50	10 YR 5/3 (h)	-	"
	50-75	10 YR 5/4 (h)	Abundantes y nítidas	"
	75-105	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	105-120	10 YR 7/1 (m)	Frecuentes	"
	120-	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de Hidromorfía	Textura
97	0-15	10 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa
	15-35	10 YR 3/1 (h)	-	"
	35-60	10 YR 4/2 (h)	Escasas y difusas	"
	60-85	10 YR 6/3 (h)	Frecuentes y difusas	"
	85-105	10 YR 7/2 (m)	-	"
	105-	1,5 Y 6/2 (m)	-	"
98	0-5	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 4/2 (h)	Escasas y difusas	"
	20-40	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	40-70	10 YR 6/3 (h)	-	"
	70-95	10 YR 6/4 (h)	Abundantes; concreciones	"
	95-125	10 YR 5/8 (m)	Abundantes; concreciones	"
	125-	10 YR 6,5/1 (m)	-	"
99	0-12	5 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa
	12-40	10 YR 3/1 (h)	-	"
	40-60	10 YR 4/2 (h)	Escasas y difusas	"
	60-85	10 YR 5/2 (m)	-	"
100	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 4/3 (h)	-	"
	30-60	10 YR 6/3 (h)	-	"
	60-75	10 YR 3/1 (m)	-	"
	75-	10 YR 3/2 (m)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
101	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 4/3 (h)	Escasas y difusas	"
	30-80	10 YR 6/3 (h)	Frecuentes; concreciones	"
	80-100	10 YR 5/8 (h)	Muy abundantes	"
	100-115	10 YR 5/1 (h)	Abundantes	"
	115-135	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	135-155	10 YR 5/6 (h)	-	"
	155-165	10 YR 3/1 (m)	-	"
	165-	7,5 YR 2,5/0 (m)	-	Areno- -limosa
102	0-5	10 YR 4/4 (s)	Escasas y pequeñas	Arenosa
	5-30	10 YR 6/4 (h)	Frecuentes y difusas	"
	30-50	10 YR 7/3 (h)	-	"
	50-	10 YR 7/3 (h)	Abundantes; concreciones	"

## Elemento morfoedáfico: LAGUNA TEMPORAL

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
103	0-10	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 5/3 (h)	-	"
	30-60	10 YR 6/3 (h)	Escasas y difusas	"
	60-75	10 YR 6/4 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	75-85	10 YR 4/4 (h)	-	"
	85-105	10 YR 3,5/1 (m)	Frecuentes	"
	105-140	10 YR 6/2 (m)	-	Areno-ar cillosa
104	0-15	7,5 YR 4/2 (s)	-	Franco- arenosa
	15-35	5 YR 2,5/1 (s)	-	Franco-ar cillosa
	35-60	10 YR 5/8 (h)	-	Arcillosa
	60-80	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	80-120	5 YR 2,5/1 (h)	-	Franco-ar cillosa
	120-	10 YR 8/2 (m)	-	Arenosa
105	0-15	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa- franca
	15-45	10 YR 2,5/1 (h)	-	Franco- limosa
	45-60	10 YR 2,5/1 (h)	-	Franco-ar cillo-are nosa
	60-80	7,5 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	80-	10 YR 6/2 (m)	-	"
106	0-15	10 YR 3/2 (h)	-	Limosa
	15-40	10 YR 3/1 (h)	-	Areno- limosa

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	40-70	10 YR 4/2 (h)	-	Franco-arcillo-arenosa
	70-90	10 YR 5/2 (h)	-	Arenosa
	90-	10 YR 6/2 (h)	-	"
107	0-10	5 YR 2,5/2 (h)	-	Limo-arenosa
	10-17	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	17-35	10 YR 6/3 (h)	-	"
	35-65	10 YR 3/3 (h)	Frecuentes	Areno-arcillosa
	65-85	2,5 Y 5/2 (m)	Abundantes	Arenosa
	85-115	2,5 Y 6/2 (m)	-	"
	115-150	10 YR 5/1 (m)	-	"
108	0-25	10 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa-franca
	25-50	10 YR 3/1 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	50-72	10 YR 3/3 (h)	Abundantes; concreciones	Arenosa-franca
	72-	10 YR 6/2 (m)	-	Arenosa
109	0-15	10 YR 6/1,5 (s)	-	Limosa
	15-40	10 YR 7/1 (s)	-	"
	40-70	10 YR 3/3 (h)	Abundantes y nítidas	Arcillo-arenosa
	70-130	10 YR 5/3 (h)	-	Arenosa
	130-145	10 YR 5/1 (m)	-	"
	145-	5 Y 4/1 (m)	-	"

Elemento morfoedáfico : EUCALIPTAR

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
110	0-15	10 YR 4/3 (s)	-	Arenosa
	15-30	10 YR 4/4 (s)	-	"
	30-70	10 YR 7/3 (h)	Escasas y nítidas	"
	70-100	10 YR 6/4 (h)	Muy abundantes; concreciones	Arcillo- arenosa
	100-	10 YR 6/3 (m)	-	Arenosa- franca
111	0-20	10 YR 6/4 (s)	-	Arenosa
	20-60	10 YR 6/3 (s)	-	"
	60-80	2,5 Y 7/4 (h)	-	"
	80-100	10 YR 6/6 (h)	Frecuentes y difusas	"
	100-180	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Arenosa- franca
112	0-10	5 YR 5,5/1 (s)	-	Arenosa
	10-50	5 YR 7/1 (s)	-	"
	50-85	10 YR 5/2 (s)	Abundantes	Arenosa- franca
113	0-10	10 YR 4/4 (s)	-	Arenosa
	10-80	10 YR 6/4 (s)	-	"
	80-125	10 YR 6/6 (s)	Difusas	"
	125-180	Abigarrado (s)	Muy abundantes	Areno-ar- cillosa

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
114	0-10	10 YR 5/4 (s)	-	Arenosa
	10-130	Abigarrado (s)	Abundantes y difusas	Arenoso- -franco
115	0-15	10 YR 6/3 (s)	-	Arenosa
	15-30	10 YR 6/2 (s)	-	"
	30-45	10 YR 7/2 (s)	Difusas	"
	45-75	10 YR 7/3 (s)	Frecuentes	"
	75-115	10 YR 7/4 (s)	Abundantes	"
	115-150	Abigarrado (s)	Muy abundantes	Arenoso- -franca

Elemento morfoedáfico: ZONA ALTA DE LA MARISMILLA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
116	0-15	10 YR 6/3 (s)	-	Arenosa
	15-150	10 YR 6/4 (h)	-	"
117	0-10	10 YR 5/4 (s)	-	Arenosa
	10-200	10 YR 6/4 (s)	Escasas, difusas	"
118	0-10	10 YR 5/3 (s)	-	Arenosa
	10-60	10 YR 5/5 (h)	-	"
	60-	10 YR 6/4 (h)	-	"
119	0-10	10 YR 3/1 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 4/2 (s)	-	"
	30-40	10 YR 4/3 (s)	-	"
	40-100	10 YR 6/4 (h)	Escasas, difusas	"
120	0-10	10 YR 6/4 (s)	-	Arenosa
	10-65	10 YR 6/6 (h)	-	"
	65-	10 YR 7/6 (h)	-	"



## Elemento morfoedáfico : ZONA BAJA DE LA MARISMILLA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
121	0-3	7,5 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	3-15	10 YR 5/4 (h)	Escasas, difusas	"
	15-150	10 YR 6/4 (h)	Escasas, difusas	"
122	0-3	10 YR 4/2 (s)	-	Areno- -limosa
	3-50	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Arcillosa
123	0-20	10 YR 7/3 (s)	-	Arenosa
	20-35	10 YR 4/2 (s)	Frecuentes, nítidas	"
	35-85	10 YR 7/2 (s)	Frecuentes, nítidas	"
	85-95	10 YR 6/4 (h)	Abundantes, nitidad	"
	95-125	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Areno-ar cillosa
	125-175	2,5 Y 3,5/0 (m)	Muy abundantes	Arcillosa
124	0-25	10 YR 6/1 (s)	-	Arenosa
	25-40	10 YR 6/2 (s)	-	"
	40-	10 YR 7/4 (s)	Escasas, difusas	"
125	0-10	7,5 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	10-25	10 YR 4/3 (s)	-	"
	25-45	10 YR 5/6 (h)	Frecuentes, nítidas	"
	45-95	10 YR 6/6 (h)	Abundantes, difusas	"
	95-120	10 YR 6/4 (m)	Escasas, difusas	"
126	0-25	10 YR 3/1 (h)	-	Arenosa
	25-35	10 YR 4/4 (h)	-	"
	35-	10 YR 7/4 (m)	Frecuentes, difusas	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
127	0-15	10 YR 4/2 (s)	-	Limo- arenosa
	15-25	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	25-45	10 YR 6/6 (h)	Abundantes, nítidas	Arenosa
	45-75	10 YR 5/4 (h)	Frecuentes, nítidas	"
	75-90	10 YR 6/4 (h)	Frecuentes, nítidas	"
	90-	10 YR 5/2 (m)	Escasas, difusas	"
128	0-20	10 YR 4/2 (s)	-	Arenosa
	20-30	10 YR 5/2 (s)	-	"
	30-	10 YR 6/4 (s)	-	"
129	0-25	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa- franca
	25-40	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	40-70	10 YR 6/6 (h)	Escasas, difusas	"
	70-100	10 YR 6/6 (m)	Frecuentes, nítidas	"
130	0-10	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa- franca
	10-25	10 YR 5/2 (h)	-	Arenosa
	25-65	10 YR 6/3 (h)	Frecuentes, difusas	"
	65-	10 YR 5/3 (m)	Abundantes, nítidas	"
131	0-5	10 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	5-15	10 YR 3/3 (s)	-	"
	15-35	10 YR 3/1 (s)	-	"
	35-95	10 YR 5/6 (h)	Escasas, difusas	"
	95-105	10 YR 5/4 (h)	Escasas, difusas	"
	105-170	10 YR 5/6 (m)	Escasas, difusas	"

Elemento morfoedáfico: CORRAL SECO

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
132	0-10	10 YR 3/3 (s)	-	Arenosa
	10-150	10 YR 7/4 (s)	Escasas, difusas	"
133	0-10	10 YR 7/3 (s)	-	Arenosa
	10-70	10 YR 6/4 (s)	Escasas, difusas	"
	70-85	10 YR 7/6 (h)	Frecuentes, nítidas	"
	85-150	10 YR 6/4 (h)	-	"
134	0-10	10 YR 6/3 (s)	-	Arenosa
	10-100	10 YR 7/4 (h)	Escasas, difusas	"
135	0-5	7,5 YR 4/2 (s)	-	Arenosa
	5-	10 YR 7/2 (s)	Escasas y difusas	"
136	0-10	10 YR 4/3 (s)	-	Arenosa
	10-80	10 YR 6/4 (s)	-	"
	80-125	10 YR 6/8 (h)	-	"

Elemento morfoedáfico: CORRAL HUMEDO

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
137	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-20	10 YR 5/4 (h)	-	"
	20-	10 YR 6/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
138	0-5	10 YR 6/4 (h)	-	Arenosa
	5-	10 YR 7/4 (h)	Escasas, difusas	"
139	0-15	5 YR 2,5/1 (h)	-	Limo- arenosa
	15-22	10 YR 4/3 (h)	Escasas, difusas	Arenosa
	22-45	10 YR 6/6 (h)	Frecuentes	"
	45-70	10 YR 5/4 (h)	Escasas, difusas	"
	70-	10 YR 4/2 (h)	Muy escasas	"
140	0-5	5 YR 2,5/2 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	5-10	10 YR 4/4 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	10-25	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	25-60	10 YR 6/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	60-	10 YR 5/1 (h)	-	"

## Elemento morfoedáfico: GUSANO ALTO

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
141	0-20	10 YR 6/3 (h)	-	Arenosa
	20-30	10 YR 4/3 (h)	Escasas y difusas	"
	30-40	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes	"
	40-60	10 YR 4/3 (h)	-	"
	60-	10 YR 5/3 (h)	-	"
142	0-60	10 YR 6/4 (h)	-	Arenosa
	60-	10 YR 5/3 (m)	-	"
143	0-7	5 YR 4/4 (s)	-	Arenosa
	7-30	10 YR 5/3 (s)	Escasas y difusas	"
	30-50	10 YR 5/4 (h)	Escasas y difusas	"
144	0-20	7,5 YR 6/3 (s)	-	Arenosa
	20-40	10 YR 6/4 (h)	Escasas y difusas	"
145	0-20	10 YR 6/3 (s)	-	Arenosa
	20-50	10 YR 5/3 (h)	-	"
146	0-15	10 YR 5/4 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	15-50	10 YR 6/4 (h)	Escasas y difusas	"
	50-70	10 YR 5/3 (h)	-	"

Elemento morfoedáfico: GUSANO BAJO

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
147	0-10	5 YR 2,5/2 (m)	-	Arenosa
	10-	7,5 YR 4/2 (m)	-	"
148	0-10	5 YR 3/3 (h)	-	Arenosa
	10-20	7,5 YR 5/6 (m)	-	"
	20-40	7,5 YR 5/4 (m)	-	"
149	0-5	7,5 YR 3/2 (m)	-	Areno- -limosa
	5-15	10 YR 4/4 (m)	-	Arenosa
	15-	10 YR 5/6 (m)	-	"
150	0-5	7,5 YR 3/2 (m)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 4/2 (m)	-	"
151	0-10	7,5 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	10-40	7,5 YR 5/4 (m)	Difusas	"
	40-	10 YR 5/6 (m)	Difusas	"
152	0-15	2,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	15-30	10 YR 5/4 (h)	-	"
	30-60	10 YR 4/4 (h)	Difusas	"
	60-70	10 YR 4/1 (h)	-	"
	70-100	2,5 Y 4/2 (m)	-	"

Elemento morfoedáfico: VERA ARCILLOSA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
153	0-10	10 YR 3/2 (h)	-	Areno-ar- cillosa
	10-	5 Y 5/1 (m)	Abundantes	Arcillosa
154	0-10	5 Y 4/1 (h)	-	Arcillosa
	10-	2,5 Y 4,5/2 (h)	Frecuentes y concreciones	"
155	0-25	10 YR 3/1 (s)	-	Arcillo- -arenosa
	25-75	10 YR 4/2 (h)	Pequeñas y difusas	Arcillosa
	75-	5 Y 5/1 (h)	Frecuentes y nítidas	"
156	0-20	10 YR 3/2 (s)	-	Arcillosa
	20-50	10 YR 4/2 (s)	Abundantes y nítidas	"
	50-75	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	75-	10 YR 6/1 (h)	Escasas	Arcillo- -arenosa
157	0-15	10 YR 5/2 (s)	-	Limo-arci- llo-arenosa
	15-30	10 YR 4/3 (h)	Escasas y difusas	Arcillo- -limosa
	30-	10 YR 5/3 (h)	Muy abundantes	Arcillosa
158	0-20	10 YR 6/1 (s)	-	Arcillo- -limosa
	20-50	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Arcillosa
	50-65	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Arcillo- -arenosa

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	65-90	10 YR 6/4 (h)	Escasas y nítidas	Arenosa
	90-100	10 YR 5/3 (h)	Abundantes y nítidas	Areno- -arcillosa
	100-	10 YR 3/1 (m)	Abundantes y nítidas	Arcillo- -arenosa
159	0-5	10 YR 4/2 (s)	-	Areno- -arcillosa
	5-20	10 YR 5/2 (s)	Frecuentes y nítidas	"
	20-80	10 YR 6/2 (s)	Muy abundantes	Arcillosa
	80-100	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes y nítidas	Arcillo- -arenosa
160	0-20	5 YR 7/1 (s)	Escasas y difusas	Franco- -arcillo- -arenosa
	20-40	10 YR 4/2 (h)	Muy abundantes	Arcillosa
	40-80	10 YR 5/2 (h)	Escasas y difusas	"
	80-	7,5 YR 4/4 (h)	Muy escasas	"
161	0-30	10 YR 6/3 (s)	-	Arcillo- -arenosa
	30-65	10 YR 4/4 (h)	-	Arcillosa
	65-	10 YR 4/1 (h)	Escasas y difusas	"
162	0-50	10 YR 7/4 (h)	-	Arcillo- -arenosa
	50-70	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	70-90	7,5 YR 5/6 (h)	Frecuentes y nítidas	Arenosa
	90-150	10 YR 5,5/2 (m)	Escasas	"



Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
163	0-10	10 YR 6/2 (s)	-	Limo-ar- cillosa
	10-20	10 YR 4/2 (s)	-	Arcillosa
	20-50	10 YR 5/3 (h)	Escasas	"
	50-60	10 YR 5/3 (h)	Abundantes	Areno-ar- cillosa
	60-67	10 YR 6/1 (h)	Abundantes	"
	67-	10 YR 6/2 (m)	Escasas	Arenosa
164	0-20	10 YR 6/2 (s)	-	Arcillosa
	20-70	5 Y 5/2 (h)	Escasas	"
	70-	5 Y 5/2 (h)	Abundantes	"
165	0-35	10 YR 5/1 (s)	-	Limo-ar- cillosa
	35-75	10 YR 5/3 (h)	Escasas	Arcillosa
	75-	5 Y 5/1 (h)	Abundantes y concreciones	"
166	0-25	10 YR 4/1 (h)	-	Franco-ar- cillosa
	25-125	5 Y 4/2 (h)	Escasas	Arcillosa

Elemento morfoedáfico: VERA ARENOSA

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
167	0-15	5 YR 2,5/2 (s)	-	Arenosa
	15-35	7,5 YR 4/2 (s)	-	"
	35-80	7,5 YR 6/2 (s)	-	"
	80-105	10 YR 6/3 (s)	-	"
	105-135	2,5 Y 6/4 (h)	Escasas y difusas	"
	135-160	2,5 Y 7/4 (h)	Abundantes y nítidas	"
	160-	2,5 Y 6/2 (m)	-	"
168	0-5	7,5 YR 3/2 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	5-20	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	20-50	10 YR 5/4 (h)	Frecuentes y difusas	"
	50-65	10 YR 3/1,5 (h)	Escasas y difusas	Areno-ar- cillosa
	65-85	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Arenosa
	85-150	2,5 Y 6,5/0 (m)	-	"
169	0-10	10 YR 3/1 (h)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 3/2,5 (h)	Escasas y difusas	"
	30-50	10 YR 4/3 (h)	Frecuentes; concreciones	"
	50-85	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
	85-	10 YR 6/1 (m)	-	"
170	0-5	10 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa
	5-40	10 YR 4/2 (h)	Escasas y difusas	"
	40-85	10 YR 6/3 (m)	Escasas y difusas	"
	85-90	10 YR 7/1 (m)	-	"
	90-	10 YR 5/8 (m)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfia	Textura
171	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-50	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes	"
	50-80	7,5 YR 5/8 (m)	Abundantes; concreciones	"
	80-90	2,5 Y 6/0 (m)	-	"
172	0-5	10 YR 3,5/2 (h)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 4/4 (h)	-	"
	20-60	7,5 YR 4/4 (h)	Escasas y difusas	"
	60-70	10 YR 5/6 (h)	Escasas y nítidas	"
	70-110	10 YR 5/8 (h)	Muy abundantes	"
	110-	10 YR 5/6 (m)	Escasas y difusas	"
173	0-5	10 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	5-40	10 YR 5/4 (h)	Escasas y difusas	"
	40-65	7,5 YR 4/4 (h)	Abundantes; concreciones	"
	65-120	10 YR 5/8 (h)	Abundantes	"
	120-	10 YR 5/6 (m)	-	"
174	0-15	5 YR 2,5/2 (h)	-	Areno- -limosa
	15-30	7,5 YR 4,5/2 (h)	Frecuentes y nítidas	Arenosa
	30-50	7,5 YR 3,5/2 (m)	Muy abundantes	"
	50-	10 YR 5/2 (m)	-	"
175	0-40	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	40-80	5 YR 2,5/1 (h)	-	"
	80-95	7,5 YR 3,5/2 (h)	-	"
	95-130	10 YR 5/2 (m)	Costa a 110 cm	"
	130-	10 YR 3,5/1 (m)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
176	0-10	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	10-50	7,5 YR 4/2 (h)	Escasas y difusas	"
	50-65	10 YR 3/1,5 (m)	Frecuentes y difusas	"
	65-	10 YR 3/3 (m)	-	"
177	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-50	7,5 YR 4/4 (h)	-	"
	50-70	7,5 YR 4/2 (h)	-	"
	70-90	5 YR 3/4 (h)	-	"
	90-105	7,5 YR 4/4 (h)	-	"
	105-140	10 YR 4,5/4 (h)	-	"
	140-	10 YR 6/4 (m)	-	"
178	0-5	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	5-40	10 YR 5/2 (h)	Escasas y difusas	"
	40-60	10 YR 4/2 (h)	Frecuentes y difusas	"
	60-75	10 YR 3/2 (h)	Frecuentes y difusas	"
	75-	10 YR 2,5/1 (m)	-	"
179	0-20	5 YR 2,5/1,5 (h)	Frecuentes y nítidas	Arenosa
	20-55	10 YR 3/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	55-	10 YR 4/1,5 (m)	-	"
180	0-5	10 YR 3,5/2 (h)	-	Arenosa
	5-20	10 YR 5,5/3 (h)	-	"
	20-75	10 YR 6/3 (h)	Escasas y difusas	"
	75-90	10 YR 5/6 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	90-	10 YR 4,5/3 (h)	Muy abundantes	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
181	0-45	10 YR 5/5 (h)	-	Arenosa
	45-85	10 YR 5/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	85-100	10 YR 4/2 (h)	-	"
	100-140	10 YR 3/1,5 (m)	-	"
	140-	10 YR 6/2 (m)	-	"
182	0-10	10 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 6/3 (s)	-	"
	30-60	7,5 YR 5/8 (h)	Abundantes	"
	60-80	10 YR 5/1 (h)	-	"
	80-90	10 YR 6/1 (h)	-	"
	90-	10 YR 5/4 (m)	Abundantes	"
183	0-10	10 YR 5/2 (s)	-	Areno- -limosa
	10-45	10 YR 6/4 (s)	-	Arenosa
	45-65	10 YR 5/4 (s)	-	"
	65-90	10 YR 7/4 (s)	-	"
	90	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
184	0-35	10 YR 6/2 (s)	-	Arenosa
	35-70	10 YR 5/3 (h)	Escasas y difusas	Arenosa- -franca
	70-	Abigarrado (h)	Muy abundantes	"
185	0-60	10 YR 7/2 (s)	-	Arenosa
	60-70	10 YR 6/4 (h)	Escasas y difusas	"
	70-100	10 YR 7/3 (h)	Frecuentes y nítidas	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
186	0-40	10 YR 4/3 (h)	-	Franco- arenosa
	40-85	10 YR 3/3 (h)	-	Arenosa
	85-100	2,5 Y 6/2 (m)	Frecuentes	"
	100-	5 Y 5/1 (m)	Frecuentes	Areno-ar cillosa
187	0-7	10 YR 4,5/3 (s)	-	Arenosa
	7-75	10 YR 6/4 (h)	-	"
	75-85	10 YR 5/8 (h)	Frecuentes y concreciones	"
	85-110	10 YR 5/4 (m)	Escasas	"
188	0-5	10 YR 4/4 (s)	Escasas y difusas	Arenosa
	5-30	10 YR 6/4 (h)	Abundantes y difusas	"
	30-50	10 YR 7/3 (h)	-	"
	50-	7,5 YR 5/8 (h)	Muy abundantes	"
189	0-10	10 YR 3/2 (s)	-	Arenosa
	10-30	10 YR 6/3 (h)	-	"
	30-60	7,5 YR 5/8 (h)	Abundantes	"
	60-80	10 YR 5/1 (h)	-	"
	80-90	10 YR 6/1 (h)	-	"
	90-	10 YR 5/4 (m)	Muy abundantes	"
190	0-10	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	10-20	10 YR 5/3 (h)	-	"
	20-40	10 YR 6/3 (h)	Abundantes	"
	40-60	Abigarrado (h)	Muy abundantes y concreciones	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	60-70	Abigarrado (h)	Muy abundantes	Arenosa
	70-	10 YR 5/2 (m)	-	"
191	0-10	10 YR 4/3 (h)	-	Arenosa
	10-25	7,5 YR 4/4 (h)	-	"
	25-60	7,5 YR 4/4 (h)	Difusas	"
	60-90	7,5 YR 4/4 (h)	Frecuentes y nítidas	"
	90-120	2,5 YR 2,5/4 (h)	Costra	"
	120-160	10 YR 6/6 (h)	-	"
	160-	10 YR 5/8 (h)	-	"

## Elemento morfoedáfico: NOCLE y ARROYOS

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
192	0-20	10 YR 2,5/1 (h)	-	Franca
	20-50	2,5 Y 2,5/0 (h)	-	Limosa
	50-70	5 YR 2,5/1 (m)	-	Franca
	70-	2,5 Y 5/0 (m)	-	Arcillosa
193	0-25	5 YR 2,5/2 (h)	-	Franca
	25-45	7,5 YR 2,5/0 (h)	-	Limosa
	45-70	5 YR 2,5/2 (m)	-	Franco- -limosa
	70-100	7,5 YR 4/0 (m)	-	Arcillosa
	100-	Abigarrado (m)	Muy abundantes, difusas	"
194	0-15	5 YR 3/3 (h)	Abundantes y nítidas	Franco- -arenosa
	15-25	2,5 Y 3/2 (h)	Abundantes y nítidas	Arenosa- -franca
	25-45	10 YR 5/3 (h)	Escasas y difusas	Arenosa
	45-120	10 YR 6/3 (h)	-	"
	120-	2,5 Y 4/2 (m)	-	"



## Elemento morfoedáfico: BORDE DE LAGUNA PERMANENTE

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfia	Textura
195	0-20	10 YR 3/1 (h)	-	Limosa
	20-60	10 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	60-80	10 YR 4/2 (m)	-	"
	80-100	10 YR 4/1 (m)	-	"
	100-150	10 YR 5/2 (m)	-	"
196	0-20	10 YR 2,5/1 (h)	-	Arenoso- -franca
	20-55	10 YR 5/2 (h)	-	Arenosa
	55-	10 YR 6/2 (m)	-	"
197	0-10	5 YR 2,5/1 (h)	-	Limo- -arenosa
	10-30	10 YR 3/2 (h)	Frecuentes	Arenosa
	30-55	10 YR 5/3 (h)	-	"
	55-	10 YR 6/3 (m)	Abundantes y difusas	"
198	0-25	5 YR 2,5/2 (h)	-	Areno- -limosa
	25-35	7,5 YR 4/2 (h)	-	Arenosa
	35-70	7,5 YR 5/2 (h)	-	"
	70-90	7,5 YR 6/2 (h)	Frecuentes	"
	90-200	10 YR 7/1 (h)	-	"
199	0-5	5 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa
	5-20	7,5 YR 3/2 (h)	-	"
	20-75	7,5 YR 4/2 (h)	-	"

Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
	50-75	7,5 YR 6/2 (h)	-	Arenosa
	75-115	7,5 YR 7/2 (m)	-	"
200	0-20	5 YR 2,5/2 (h)	-	Arenosa
	20-55	7,5 YR 3/2 (m)	-	"
	55-	10 YR 4/3 (m)	-	"
201	0-3	5 YR 3/2 (h)	-	Areno- -limosa
	3-20	5 YR 2,5/1 (h)	-	"
	20-40	5 YR 3,5/2 (h)	-	Arenosa
	40-	10 YR 5,5/2 (h)	-	"
202	0-20	5 YR 2,5/1 (h)	-	Arenosa- -franca
	20-50	7,5 YR 3/2 (h)	-	Arenosa
	50-70	10 YR 4/3 (h)	-	"
	70-110	10 YR 7/3 (m)	-	"

## Elemento morfoedáfico: FONDO DE LAGUNA PERMANENTE

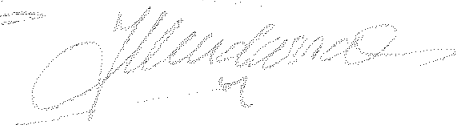
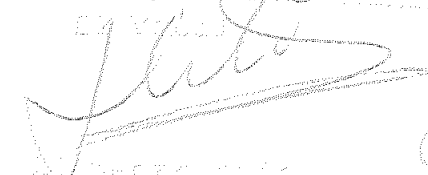
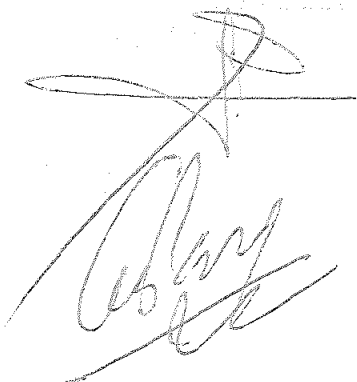
Sondeo Nº	Prof. cm.	Color	Mancha de hidromorfía	Textura
203	0-5	7,5 YR 2,5/0 (h)	-	Franco- arenosa
	5-15	7,5 YR 3,5/2 (h)	-	Arenosa
	15-	7,5 YR 5/2 (m)	-	"
204	0-30	5 YR 2,5/1 (h)	-	Limo- arenosa
	30-50	7,5 YR 3/2 (m)	-	Arenosa
	50-	10 YR 4/3 (m)	-	"
205	0-15	7,5 YR 2,5/0 (h)	-	Franco-ar cillosa
	15-35	7,5 YR 3/2 (m)	-	Franco- arenosa
	35-	10 YR 5/2 (m)	-	Arenosa
206	0-10	2,5 YR 3/3 (h)	-	Limo- arcillosa
	10-25	5 YR 2,5/1 (h)	-	Limosa
	25-50	5 YR 4/1 (h)	-	Arenosa
	50-	10 YR 5/1 (m)	-	"

= Patricia Astudillo Silvestre Ribed  
"Geomorfología y Edafogénesis de las  
arenas del Parque Nacional de Bosma"

APTO. Cuenca de Arequipa

8 octubre

85



MANABANDA

P. Silvestre



500293245  
FBI E TO-110

500293245