



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España



# HIDROGEOLOGIA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y SU ENTORNO



1992

Colección: INFORMES AGUAS  
SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un "Geological Survey of Spain", es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria y Energía, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R. D. 1270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.

**HIDROGEOLOGIA DEL PARQUE NACIONAL  
DE DOÑANA Y SU ENTORNO**


Edita: Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Deposito Legal: M - 9585 - 1992

I.S.B.N. 84 - 7840 - 109 - 1

NIPO 241 - 92 - 006 - 2

Imprime: ReproMarket

Logo informe: 

Mapa Ecológico, Fuente: Aguilar Amat, J. Montes del Olmo, T. Ramirez Díaz, L. Torres Martinez, A.

## INDICE

	Págs.
<b>PRESENTACION.</b> .....	7
<b>1.- EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y SU ENTORNO.</b> .....	9
1.1. ENCUADRE GEOLOGICO .....	11
1.1.1. Estratigrafía .....	11
1.1.2. Tectónica .....	16
1.1.3. Historia geológica .....	16
1.2. ENCUADRE CLIMATICO .....	18
1.3. ENCUADRE HIDROGRAFICO .....	19
1.3.1. Las Mareas .....	21
1.4. ENCUADRE ADMINISTRATIVO: POBLACION Y VIAS DE COMUNICACION .....	21
1.5. ENCUADRE ECONOMICO .....	22
1.6. ECOLOGIA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA .....	24
<b>2.- EL AGUA EN EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y SU     ENTORNO.</b> .....	31
2.1. ESCORRENTIA SUPERFICIAL .....	33
<b>3.- LAS AGUAS SUBTERRANEAS.</b> .....	37
3.1. LAS FORMACIONES ACUIFERAS .....	37
3.2. EL MURO DEL ACUIFERO .....	38
3.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA .....	39
3.4. PIEZOMETRIA .....	39
3.5. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL ACUIFERO .....	41
3.5.1. Explotación del acuífero .....	42
3.6. RESERVAS. SU PAPEL REGULADOR .....	45
3.7. CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS .....	45

	<b>Págs.</b>
3.8. CALIDAD NATURAL DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL ACUIFERO DE ALMONTE-MARISMAS .....	46
3.8.1. Calidad de las aguas subterráneas en el Parque Nacional de Doñana. ....	48
3.9 CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS .....	50
3.9.1. Focos potenciales de contaminación de origen urbano o industrial .....	50
3.10. MODELO MATEMATICO .....	54
3.11. PROTECCION DEL ACUIFERO DE LA SUBUNIDAD ALMONTE-MARISMAS .....	56
<b>4.- AGRADECIMIENTOS. ....</b>	<b>59</b>
<b>5.- BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>61</b>

El presente informe de síntesis ha sido realizado por el Instituto Tecnológico y GeoMinero de España (ITGE) con la colaboración de la Compañía General de Sondeos, S.A. (CGS).

El equipo técnico que ha intervenido ha sido el siguiente:

**POR EL INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA**

- Directores del Proyecto: Miguel Martín Machuca. Ingeniero de Minas  
Juan A. López Geta. Ingeniero de Minas

**POR LA COMPAÑÍA GENERAL DE SONDEOS, S.A.**

- Responsable: Luis López Vilchez. Ingeniero de Minas
- Hidrogeólogos: Ramón Mantecón Gómez. Geólogo  
Ricardo Cantos Robles. Ingeniero de Minas
- Hidroquímica: Isabel Coletto Fiaño. Lda. Ciencias Químicas

Fotografías cedidas por Juan Carlos Rubio Campos, Juan Antonio López Geta, Antonio Camoyan Perez y Antonio Silgado Dorado.



El Coto de Doñana, uno de los humedales más importantes de Europa, fue declarado Parque Nacional en 1969. Inicialmente abarcaba una superficie de 37.425 ha. de las que 19.946 correspondían a terrenos del antiguo coto y 17.479 a marismas exteriores. En 1978 se reclasifica el Parque, ampliando su territorio a 73.000 ha. y creando unos límites más naturales. Dentro de estos límites se pueden definir tres grandes ecosistemas, denominados cotos, marismas y playas con dunas.

La supervivencia del Parque está ligada a muchos factores, prácticamente todos relacionados con la actividad humana. Uno de ellos es el agua, tanto la subterránea como, principalmente, la superficial.

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE), consciente de la responsabilidad que le confiere la legislación en materia de aguas subterráneas, mantiene, desde hace varias décadas, una línea de investigación prácticamente ininterrumpida, cuyo objetivo es el de conocer, cada vez con mayor precisión, tanto los parámetros que intervienen en el funcionamiento de los acuíferos existentes, como los términos del balance, evolución de la calidad del agua, etc.

Todos los trabajos realizados hasta la fecha se encuentran publicados en los correspondientes informes técnicos, citados en bibliografía. En 1983 se publicó, en la colección Informe, un resumen de los trabajos realizados, con el nombre de "Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno". Agotada la edición, y en vista del interés creciente que muestra la sociedad española y extranjera, el ITGE publica esta segunda edición actualizada, en la que, como en la anterior, se sintetiza el conocimiento hidrogeológico de la zona.

Octubre de 1991



## 1.- EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y SU ENTORNO

Para estudiar el comportamiento y la interrelación de las aguas subterráneas con el Parque Nacional es preciso definir unos límites más amplios que los que circunscriben al Parque, ya que es preciso abarcar las zonas por donde se recarga el agua, por donde circula y por donde se drena, es decir, el conjunto del acuífero en el que se ubica esta importante reserva ecológica.

En 1970, el IGME, hoy ITGE, definió el sistema acuífero nº 27, que incluía dos subunidades: Almonte-Marismas y acuífero de Espartinas, separadas ambas por el río Guadimar que actúa como eje drenante.








*Río Guadimar. Límite subunidades*

El Parque Nacional de Doñana se localiza, íntegramente, en la subunidad acuífera Almonte-Marismas, en el tercio más meridional. La subunidad queda limitada al norte por el afloramiento de las margas azules que coincide, aproximadamente, con la carretera Sevilla-Huelva, por el este por el río Guadimar, por el sur con el Guadalquivir y por el oeste con el océano Atlántico. Aproximadamente tiene la forma de un triángulo rectángulo, cuya hipotenusa coincidiría con la costa, que presenta una dirección NO-SE. A estos límites (Plano nº 1) se circunscribe este informe.



**LEYENDA**

-  LIMITE UNIDAD ALMONTE MARISMAS
-  LIMITE DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA
-  LIMITE DEL PREPARQUE
-  LIMITE PROVINCIAL
-  FRONTERA



**PLANO N°1 PLANO GENERAL DE SITUACION**

## **1.1. ENCUADRE GEOLOGICO**

El sector estudiado se encuentra situado en la depresión del Guadalquivir. Geológicamente está formado por depósitos marinos del Neógeno y por otros de origen fluvio-marino y eólico del Cuaternario. Todo el conjunto de formaciones yacen, prácticamente, horizontales al no haber sido afectadas por importantes movimientos tectónicos.

### **1.1.1. Estratigrafía**

Las principales características estratigráficas y sedimentológicas de las formaciones que afloran (Plano General) son las siguientes:

#### **Margas azules (Mioceno superior-Plioceno inferior)**

Esta formación, que aflora en todo el borde septentrional del área, es la base impermeable del acuífero. Está constituida por margas de facies típicamente marina con estratificación masiva. Hacia el techo aparecen intercalaciones de limos y de arenas. La potencia total es del orden de 1.200 m.

El techo presenta una topografía suave, con cotas descendentes hacia el sur. Al alcanzar la zona de las marismas la pendiente del techo se acentúa de forma acusada, de modo que en las proximidades del Guadalquivir se encuentra, a veces, a profundidades del orden de 250 m. bajo el nivel del mar. Esta última depresión se prolonga hacia el norte en dos alargamientos, uno bajo el arroyo de La Rocina y otro bajo el río Guadiamar.

#### **Limos basales (Plioceno medio)**

La regresión producida a finales del Plioceno inferior provocó un cambio en la sedimentación, lo que ocasionó que se sedimentasen margas con contenidos crecientes en arenas, o que incluso continuase con una serie de limos arenosos calizos. Como resultado se tiene una formación poco homogénea, con zonas en las que predominan las arenas sobre los limos y otras donde el contenido arcilloso aumenta considerablemente.

En el recinto del Parque Nacional de Doñana y en las marismas esta formación no aflora. Según los datos de sondeos, está constituida por alternancia de capas arenosas y/o areniscosas y lumaquelas de ostreas negras. Se observa que las litofacies en esta zona son bastante diferentes con respecto a las que presenta la formación en los afloramientos situados al norte.

#### **Arenas basales (Pliocuaternalio)**

Este tramo está constituido, fundamentalmente, por arenas blanco-amarillentas o amarillo-rojizas de granos de cuarzo y en menor proporción de feldspatos y de fragmentos de rocas metamórficas. Se superpone, discordantemente, sobre los materiales del Plioceno medio. Se observa a veces, entre ambas formaciones, una costra ferruginosa-conglomerática. En la zona costera presenta una potencia comprendida entre 10 y 30 metros.

El ambiente de depósito de estas arenas corresponde a un medio holomarinero, con regresión posterior generalizada y con dispersión fluvial e influencia eólica en algunos sectores.

Las arenas basales constituyen el nivel acuífero más importante, entre los que existen en el área. Su importancia se debe a la permeabilidad elevada que posee, como consecuencia del tamaño, redondeamiento y homogeneidad del grano, y a la gran extensión superficial que ocupa.

### **Marismas**

Una importante extensión del Parque de Doñana está situada sobre sedimentos cuaternarios de marismas.

Aunque la génesis de esta formación no está suficientemente conocida, puede admitirse que, durante el Cuaternario antiguo y medio, el golfo marino existente en esta zona comenzó a cerrarse parcialmente por la formación del cordón litoral, dando lugar a una amplia albufera que, progresivamente, se colmató con sedimentos de origen continental.

Litológicamente se inicia con unos sedimentos groseros de origen fluvio-marino, que subyacen a los actuales de marisma. Se encuentran directamente apoyados sobre los materiales más ó menos erosionados del Pliocuatrnario.

Los datos de sondeos ponen de manifiesto la existencia, en las marismas, de dos capas bien individualizadas, con predominio de cantos rodados y gravas. La más profunda se encuentra entre los 90 y 150 metros de profundidad y tiene una potencia comprendida entre 10 y 30 m. La más superficial se sitúa entre los 50 y 80 m. y su potencia varía entre 5 y 30 m. Hacia los bordes, las dos capas detríticas groseras se confunden en una sola, con potencia del orden de los 10 m. (Planos nº 5 y 6).



*Zona de marismas inundadas*

Entre las dos capas citadas, y también por encima de la más superficial, aparecen niveles arcillosos y arcillo-arenosos de coloraciones grises y azuladas que contienen gran abundancia de microfauna, típica de mares poco profundos y aguas salinas.

A partir de estudios micropaleontológicos y de microfacies de muestras tomadas en sondeos perforados en las inmediaciones del Parque Nacional de Doñana, se pueden establecer las condiciones medioambientales en las que se formaron las marismas, y que debieron ser las siguientes: la sedimentación se produjo en un medio de tipo marino muy litoral, con influencias salobres o lacustres, sobre todo en la parte más superficial. En la más profunda, en la que existe abundancia de fósiles resedimentados, gravas y arenas, los episodios de origen fluvial pueden haber sido muy importantes.



*Zona de marismas inundadas*

Durante el año 1981 el Centro de Estudios y Experimentación del MOPU realizó algunas dataciones de sedimentos de la zona de marismas a partir de análisis isotópicos, llegando a la conclusión de que los más superficiales (5 a 15 m) se depositaron entre los 4.000 y 7.500 últimos años, por lo que resulta para esta zona una velocidad de sedimentación del orden de 1 a 2.5 mm. al año.

#### **Playas, dunas actuales y barra costera.**

Las playas están formadas principalmente por arenas silíceas. Paralelamente a la línea de costa, desde la desembocadura del río Tinto hasta la del Guadalquivir, se extiende una

serie de dunas actuales que alcanzan su mayor grado de desarrollo en el extremo meridional. En este complejo se pueden distinguir a veces hasta cuatro cordones dunares.

En los sectores de Torre del Loro y Médano del Asperillo, se han diferenciado dos tramos eólicos, que a su vez se pueden encontrar separados de las arenas basales infrayacentes por una capa de turba. Sin embargo, esta separación, en los demás sectores, viene marcada por una superficie en la que son abundantes los óxidos de hierro.

### **Terrazas, manto eólico, dunas antiguas, formación roja, margas verdes y turbas.**

Las terrazas están compuestas, generalmente, por cantos de cuarcita, de esquistos y de pizarras, arenas cuarcíticas y matriz limo-arenosa, y en algunas ocasiones se han observado también restos de margas. La potencia alcanza como máximo 7 u 8 m.

El manto eólico y las dunas antiguas están constituidos, principalmente, por arenas blancas. La potencia es muy variable, pero como máximo llega a alcanzar los 3 m. Proceden de antiguos trenes de dunas móviles que, posteriormente, fueron degradados (manto eólico), aunque en ciertos puntos se conserva, todavía, la morfología dunar (dunas antiguas).



*Barra costera de dunas*

La formación roja es suprayacente y discordante a las arenas basales. Está constituida por gravas, arenas y conglomerados con cemento, fundamentalmente ferruginoso. La litología varía de unos puntos a otros, predominando, a veces, las arenas y, en otras ocasiones, los conglomerados cementados o las gravas sueltas. Los granos son de cuarzo y,

en menor proporción, de fragmentos de roca metamórfica y de feldespatos. La potencia es muy variable pasando de pocos decímetros a 15 ó 20 m.

Las características sedimentarias parecen indicar un origen típicamente fluvial, a veces torrencial; ó bien, intermedio entre playa marina y eólico, removilizado posteriormente por la acción de los ríos.

Entre las arenas basales y la formación roja existe, a veces, un nivel discontinuo, escasamente representado, de unas margas verdosas, muy plásticas, mezcladas con granos de cuarzo. De los restos de microfósiles encontrados se puede deducir que se depositaron en un medio sedimentario claramente marino.

Localmente se encuentran algunas turberas formadas, frecuentemente, por alternancias de turba con arcillas y/o arenas negras. Los espesores son variables pero pueden llegar a ser hasta de unos 20m., (turbera de Las Madres), y su edad, probablemente, corresponde al Holoceno medio. Tienen su origen en los ambientes lagunares que se formaron en este área.



*Laguna de las Madres*

### **Aluviales**

Se trata de los sedimentos recientes depositados en los lechos de los ríos y arroyos. Están constituidos principalmente por conglomerados, gravas, arenas y limos. Estos sedimentos, en la zona más costera, suelen ser muy finos.

### 1.1.2. Tectónica

Los materiales descritos anteriormente forman parte de una cobertera terciaria-cuaternaria que no ha sufrido ninguna deformación importante, salvo algunos basculamientos recientes de poco interés para la hidrogeología de la zona.

### 1.1.3. Historia geológica

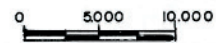
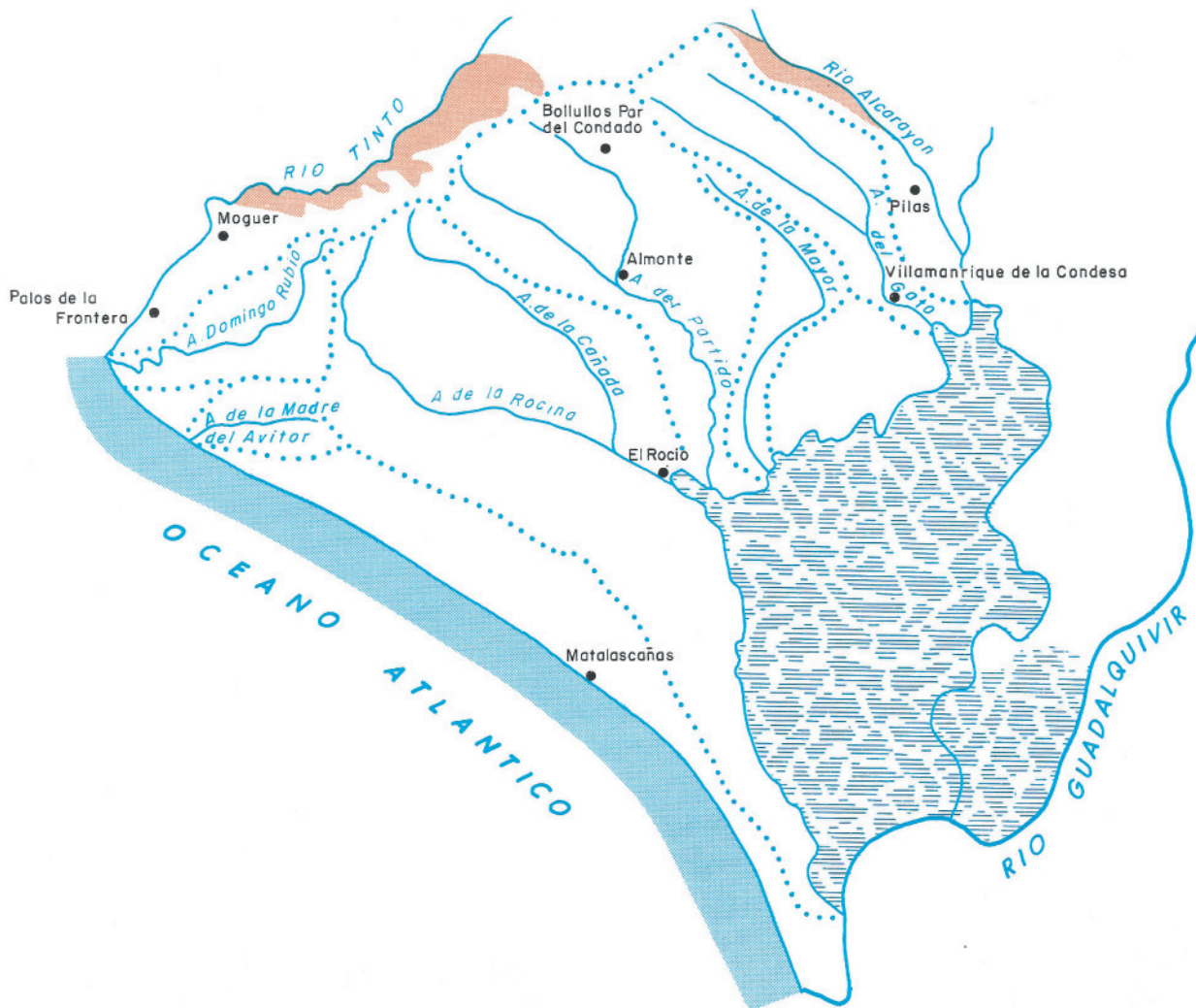
Durante el Mioceno superior-Plioceno las condiciones de depósito reinantes, parecen corresponder a los de la cuenca marina de profundidad de media a grande, en la que se depositaron potentes capas de margas. En las zonas marginales se formaron áreas inestables, que favorecieron el deslizamiento de masas de materiales subbéticos hacia el fondo de la cuenca. Estos sedimentos, que incluyen los denominada "albarizas" se encuentran, en parte, intercalados entre los materiales autóctonos del Mioceno.





Hacia el techo las margas (margas azules), son cada vez más arenosas, lo que indica que, la cuenca entró en un periodo regresivo. Al final se produjo una emersión, con erosión parcial del techo del tramo margoso, sobre el que a continuación se depositaron sedimentos costero-litorales (arenas basales). En las zonas emergidas se generó una importante red fluvial, así como un glacis (formación roja) que llegó a ocupar una extensión considerable.

Posteriormente, entre finales del Plioceno y principios del Cuaternario se produjo una nueva transgresión marina, pero de mucha menor envergadura que la del Mioceno superior.



*Avance línea de costa. Torre la Higuera*



-  Formaciones permeables aflorantes
-  Marismas
-  Formaciones impermeables
-  Subcuencas hidrograficas

**PLANO N° 2 SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS**

Se instaló así un golfo en una zona que prácticamente coincide con la ocupada por las actuales marismas.

De forma simultánea a esta transgresión, probablemente, se inició el crecimiento, en dirección SE de una barra litoral arenosa que paulatinamente, cerró el golfo, convirtiéndolo en una albufera. Esta se rellenó, principalmente, con sucesivos aportes fluviales, los cuales junto con algunas interferencias de origen marino-costero, contribuyeron a la colmatación final. Así, el avance progresivo de las arenas pudo llegar a cerrar, en muchos casos, las desembocaduras de algunos arroyos y a dificultar o impedir el drenaje, lo que originó ambientes lagunares locales, en los que se pudieron dar las condiciones precisas para la formación de turba.

En la actualidad en la costa se produce una intensa removilización eólica, y en las marismas una colmatación, a expensas, fundamentalmente, de materiales detríticos finos.

El análisis de la evolución de las playas actuales, permite conocer el cambio reciente de la línea de costa entre Mazagón y la desembocadura del Guadalquivir. Así se puede observar un avance entre Mazagón y la Torre del Loro, y una retirada de la misma entre Matalascañas y Sanlúcar de Barrameda, originando en este último sector una serie de playas colgadas que aumentan en número hacia la desembocadura del Guadalquivir.

## **1.2. ENCUADRE CLIMATICO**

El clima existente en el Parque Nacional de Doñana y su entorno corresponde con el denominado Mediterráneo subhúmedo con influencia atlántica. Se caracteriza por la variabilidad hiperanual e interanual de las precipitaciones, lo que condiciona la irregularidad de las aportaciones fluviales. El número de horas de insolación es elevado, con una media anual de orden de 3.000 horas. Los vientos predominantes son los del sureste y oeste.

La influencia del Atlántico produce una suavización de las temperaturas, de modo que la media anual es del orden de 16-17°C, y las medias mensuales oscilan entre los 9,9°C y 24,7°C en Julio (Observatorio de Almonte "Bodegones"). Las heladas son poco frecuentes, del orden de 5 días al año.

La precipitación anual media es del orden de 575 mm. que se distribuyen del siguiente modo: 20% en primavera, 5% en verano, 35% en otoño y 40% en invierno.

Las lluvias en otoño tienen un régimen generalmente, tormentosos, siendo de carácter frontal en primavera e invierno.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se ha seguido el método de Thornthwaite. Los valores deducidos (840 mm/año) suponen cifras muy elevadas, ya que superan en casi el 50% al valor de la precipitación anual media.

Para evaluar la evapotranspiración real se han distinguido las siguientes zonas:

- Zona forestal, con una superficie de 710 km<sup>2</sup>, a la que se le ha asignado una retención de 300 mm.
- Zona de textura más suelta y escasa vegetación (1130 km<sup>2</sup>). En este caso la retención considerada es de 100 mm.

Considerando los valores de retención anteriormente expuestos, se obtiene para la evapotranspiración real un valor medio de 420 mm/año, equivalente al 73% de la precipitación anual media.

### **1.3. ENCUADRE HIDROGRAFICO**

La zona sur oriental del subsistema acuífero está ocupada por las marismas que son subhorizontales, y en las que no es posible definir cuencas hidrográficas. Por este motivo, parece más lógico delimitar las distintas subcuencas hidrográficas hasta la entrada de los cauces en esta formación. Con este criterio se pueden definir las señaladas en la tabla nº1 (Plano nº2).



*Red fluvial*

A partir de la década de los años 40 se han llevado a cabo diferentes actuaciones que han modificado la compleja red hidrográfica de las marismas, cambiando su estructura. Así, se realizó el encauzamiento del río Guadamar, el del arroyo de La Cigüeña, se ha construido un recinto dentro del cual el antiguo caño Travieso ha desaparecido por completo, etc. En general todas estas actuaciones tenían por objeto el desecar zonas inundadas.

Para retornarlas a la situación natural, se ha abordado, recientemente, el Plan de Regeneración Hídrica de Doñana. En la actualidad se han llevado a cabo las obras de la llamada Montaña del Río y las obras de acondicionamiento del caño Guadamar, que se encuentra ya en funcionamiento y que permite el trasvase de hasta 6m<sup>3</sup>/s de aguas del río Guadamar al caño Guadamar. (Solución centro-norte).

Además se trabaja en la conexión del río Guadamar con el caño Travieso, a través de un cauce artificial y se proyecta eliminar parte del muro derecho de defensa y encauzamiento del río Guadamar a fin de que las riadas de éste vuelvan a inundar las marismas (Solución sur).

**TABLA Nº 1**  
**SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS**

SUBCUENCA DEL RIO ARROYO DE	VIERTE A	SUPERFICIE EN LA SUBUNIDAD ACUIFERA ALMONTE-MARISMAS (km <sup>2</sup> )
Guadamar Alcarayón	Marismas	81,4 (1)
Gato	Marismas	166,2
Entre el Gato y la Mayor	Marismas	86,0
Del Partido	Marismas	73,4
La Rocina	Marismas	314,0
Entre la Rocina y El Guadalquivir	Marismas	400,0
Entre el Guadalquivir y la Madre del Avitor	Marismas	216,0
La Madre del Avitor	Atlántico	42,8
Entre la Madre del Avitor y Domingo Rubio	Atlántico	14,4
Domingo Rubio	Atlántico	96,8
Varios arroyos	Tinto	185,0 (2)
	TOTAL .....	1.828,2
Marismas	Guadamar/ Guadalquivir	531,6
	TOTAL .....	2.359,8

(1) 16,6 Km<sup>2</sup> en las margas azules

(2) 48,8 km<sup>2</sup> en las margas azules

Con la ejecución de todas estas obras se garantizará un volumen de aportación superficial suficiente para la conservación de los complejos marismeños.

Los caudales circulantes por los arroyos que llegan a las marismas provienen, fundamentalmente, de la escorrentía superficial generada y del drenaje del subsistema acuífero Almonte-Marismas. En el caso del río Guadiamar, la mayor parte de su caudal proviene del área situada al norte, fuera de los límites del acuífero. Estos caudales no están suficientemente acotados, debido a la inexistencia de estaciones de aforo.

Ante la imposibilidad de conocer con precisión los aportes de agua de las distintas subcuencas, se han calculado globalmente, por diversos métodos más o menos teóricos que arrojan valores medios del orden de 140 hm<sup>3</sup>/a.

### **1.3.1. Las Mareas**

Como es lógico, la costa se encuentra sometida a la acción de las mareas. En esta zona los niveles de pleamar y bajamar oscilan del orden de 2,30 m.

Con el fin de comprobar la interconexión entre el mar y el agua subterránea en el acuífero en carga por debajo de Las Marismas, los técnicos del IRYDA instalaron un limnógrafo en el sondeo denominado "Señuela bis", situado a unos 30 km. de costa, y próximo a la margen izquierda del Guadalquivir. La experiencia se realizó durante varios días de diciembre de 1977. Los resultados obtenidos evidenciaron una oscilación del nivel del agua subterránea en el sondeo con el mismo periodo que la marea y una amplitud del orden del 7 por ciento de la de aquella. Las oscilaciones en el piezómetro presentaron un retraso de 3 horas y 30 minutos respecto a las de la marea en el océano.

### **1.4. ENCUADRE ADMINISTRATIVO: POBLACION Y VIAS DE COMUNICACION**

La zona en cuestión incluye parcial o totalmente dieciocho municipios: catorce de la provincia de Huelva y cuatro de Sevilla.

La población de derecho, referida a los 18 municipios, es de 103.088 habitantes según el censo del 1 de abril de 1986, resultando una densidad media de población de algo más de 36 hab./km<sup>2</sup>, cifra muy inferior a la media nacional (75 hab./km<sup>2</sup>) y a la media de Andalucía (74 hab./km<sup>2</sup>) (Plano nº3).

La distribución espacial de la población es muy heterogénea, debido, entre otros, a los siguientes factores: intenso desarrollo de los sectores económicos secundario y terciario en las áreas más próximas a Huelva capital y en Matalascañas y a diferencias productivas en la agricultura: en las comarcas de El Condado y El Aljarafe el desarrollo agrícola es muy importante, mientras que es prácticamente nulo en las marismas.

Debido a estas causas las densidades de población presentan grandes variaciones. Aparece un máximo en el término municipal de Bollullos Par del Condado con 253,70 hab./km<sup>2</sup> y un mínimo en Aznalcazar, con 6,77 hab./km<sup>2</sup>. Existen casos como Hinojos y Aznalcazar donde este valor se encuentra por debajo del límite de desertización (13 hab./km<sup>2</sup>). (Fuente: Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, escala 1:50.000 nº 1.018, El Rocio. Ministerio de Agricultura).

Con la ejecución de todas estas obras se garantizará un volumen de aportación superficial suficiente para la conservación de los complejos marismeños.

Los caudales circulantes por los arroyos que llegan a las marismas provienen, fundamentalmente, de la escorrentía superficial generada y del drenaje del subsistema acuífero Almonte-Marismas. En el caso del río Guadamar, la mayor parte de su caudal proviene del área situada al norte, fuera de los límites del acuífero. Estos caudales no están suficientemente acotados, debido a la inexistencia de estaciones de aforo.

Ante la imposibilidad de conocer con precisión los aportes de agua de las distintas subcuencas, se han calculado globalmente, por diversos métodos más o menos teóricos que arrojan valores medios del orden de 140 hm<sup>3</sup>/a.

### **1.3.1. Las Mareas**

Como es lógico, la costa se encuentra sometida a la acción de las mareas. En esta zona los niveles de pleamar y bajamar oscilan del orden de 2,30 m.

Con el fin de comprobar la interconexión entre el mar y el agua subterránea en el acuífero en carga por debajo de Las Marismas, los técnicos del IRYDA instalaron un limnógrafo en el sondeo denominado "Señuela bis", situado a unos 30 km. de costa, y próximo a la margen izquierda del Guadalquivir. La experiencia se realizó durante varios días de diciembre de 1977. Los resultados obtenidos evidenciaron una oscilación del nivel del agua subterránea en el sondeo con el mismo periodo que la marea y una amplitud del orden del 7 por ciento de la de aquella. Las oscilaciones en el piezómetro presentaron un retraso de 3 horas y 30 minutos respecto a las de la marea en el océano.

### **1.4. ENCUADRE ADMINISTRATIVO: POBLACION Y VIAS DE COMUNICACION**

La zona en cuestión incluye parcial o totalmente dieciocho municipios: catorce de la provincia de Huelva y cuatro de Sevilla.

La población de derecho, referida a los 18 municipios, es de 103.088 habitantes según el censo del 1 de abril de 1986, resultando una densidad media de población de algo más de 36 hab./km<sup>2</sup>, cifra muy inferior a la media nacional (75 hab./km<sup>2</sup>) y a la media de Andalucía (74 hab./km<sup>2</sup>) (Plano nº3).

La distribución espacial de la población es muy heterogénea, debido, entre otros, a los siguientes factores: intenso desarrollo de los sectores económicos secundario y terciario en las áreas más próximas a Huelva capital y en Matalascañas y a diferencias productivas en la agricultura: en las comarcas de El Condado y El Aljarafe el desarrollo agrícola es muy importante, mientras que es prácticamente nulo en las marismas.

Debido a estas causas las densidades de población presentan grandes variaciones. Aparece un máximo en el término municipal de Bollullos Par del Condado con 253,70 hab./km<sup>2</sup> y un mínimo en Aznalcazar, con 6,77 hab./km<sup>2</sup>. Existen casos como Hinojos y Aznalcazar donde este valor se encuentra por debajo del límite de desertización (13 hab./km<sup>2</sup>). (Fuente: Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, escala 1:50.000 nº 1.018, El Rocío. Ministerio de Agricultura).



#### *Poblado autóctono*

El ritmo de crecimiento de la población es muy bajo y en algunos casos nulo, a excepción de los municipios de Palos de la Frontera, Moguer y Almonte, donde se registra un aumento progresivo durante los últimos años.

En cuanto a vías de comunicación se puede observar una clara diferencia entre la zona norte y la sur. Por la zona más septentrional discurre la línea de ferrocarril de Sevilla-Huelva y una buena red de carreteras cuyos ejes principales son la autovía de Sevilla a Huelva y la carretera N-341 (Sevilla-Huelva) de las que vertebran una serie de carreteras locales. Por el contrario, en el sur, la mayoría de las vías de comunicación están constituidas por caminos sin firme que enlazan algunos cortijos de la zona. La única excepción es la carretera comarcal Hu-445 (Almonte-Matalascañas, por El Roció).

### **1.5. ENCUADRE ECONOMICO**

La zona presenta una economía deprimida. Así, los únicos municipios de la provincia de Huelva que superan la renta media provincial (Anuario del Mercado Español, Banesto, 1977) son Niebla, Almonte, Hinojos, Moguer y Palos de la Frontera, y en la de Sevilla no hay ninguno que la supere, siendo el valor más alto Aznalcazar.

#### **Sector primario: agricultura, ganadería y pesca**

En los últimos años, la agricultura de la zona ha experimentado un espectacular desarrollo debido, fundamentalmente, a la masiva implantación de cultivos tempranos (fresón y en menor medida hortalizas, melón y uva de mesa). También tienen cierta

importancia los cítricos, arroz, viñedo y olivar. Paralelamente al desarrollo agrícola se ha producido un claro retroceso de sector pesquero, que, actualmente, solo tiene cierto interés en Palos de la Frontera. La ganadería también tiene un elevado peso específico en la economía de la zona.



*Cultivos en el acuífero de Almonte - Marismas*



*Ganadería en la zona*

#### **Sector secundario : industrias.**

Las industrias más importantes se localizan en la franja costera próxima a Palos de la Frontera. Además, la mayoría de los municipios de la zona cuenta con algunas industrias artesanales y de transformación y elaboración de productos agrarios, así como con industrias derivadas de la construcción.

### **Sector terciario: servicios**

Está escasamente desarrollado en la zona, aunque empieza a incrementarse en los municipios de Almonte, Moguer y Palos de la Frontera debido, fundamentalmente, al turismo.



*Turismo. Playa de Torre de la Higuera*

En el caso de Almonte, el turismo se localiza en las playas de Torre de la Higuera y Matalascañas, donde, en los meses de verano, la población pasa de algo menos de 800 habitantes a más de 80.000. En Mazagón también se registra un importante incremento poblacional 50.000 habitantes. Mención aparte merece la romería del Rocío, que congrega durante unos días a cientos de miles de personas.

### **1.6. ECOLOGIA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA**

Existen en el área ocupada por Doñana tres grandes ecosistemas que le confieren un gran interés. Son los siguientes: Arenas estabilizadas o cotos, cordón litoral de dunas móviles y marismas. (Plano nº 4).

La zona de contacto entre las arenas y las marismas constituye el importante ecotono de La Vera-La Retuerta, de una gran riqueza biológica.

Las arenas estabilizadas o "cotos" ocupan la zona más nor-occidental del Parque. Se desarrollan sobre arenas pertenecientes al manto eólico y a las dunas antiguas arrasadas por la erosión, que a veces aún conservan su morfología dunar. La topografía es ondulada y la



*Ecosistema de marismas inundadas*

permeabilidad del terreno es bastante alta (zona del acuífero libre), quedando la superficie piezométrica a muy poca profundidad respecto de la del terreno, a la cual se adapta generalmente.



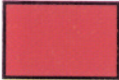
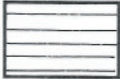
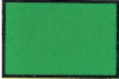


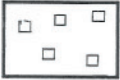




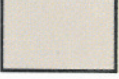










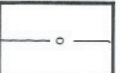
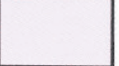
Dependiendo precisamente de la proximidad del nivel freático, quedan condicionadas las variantes de flora. Así son típicos los bosquetes de enebro cuando la humedad del subsuelo es más baja y, como contraste, en los lugares de humedad mayor, suelen localizarse alcornocales y espesuras, a veces impenetrables, constituidas por madroños, mirtos y densos brezales. Entre uno y otro extremo existen gran variedad de facies de matorrales transicionales que, junto con la vegetación circundante de los charcos y lagunas temporales, da una abundante diversificación y colorido al paisaje.

Entre la fauna, se puede destacar: la tortuga griega, la culebra rayada, la víbora, el águila imperial, el milano real, el alcaraván, la perdiz, la comadreja, el meloncillo, el lince, el conejo, el jabalí y los cérvidos.

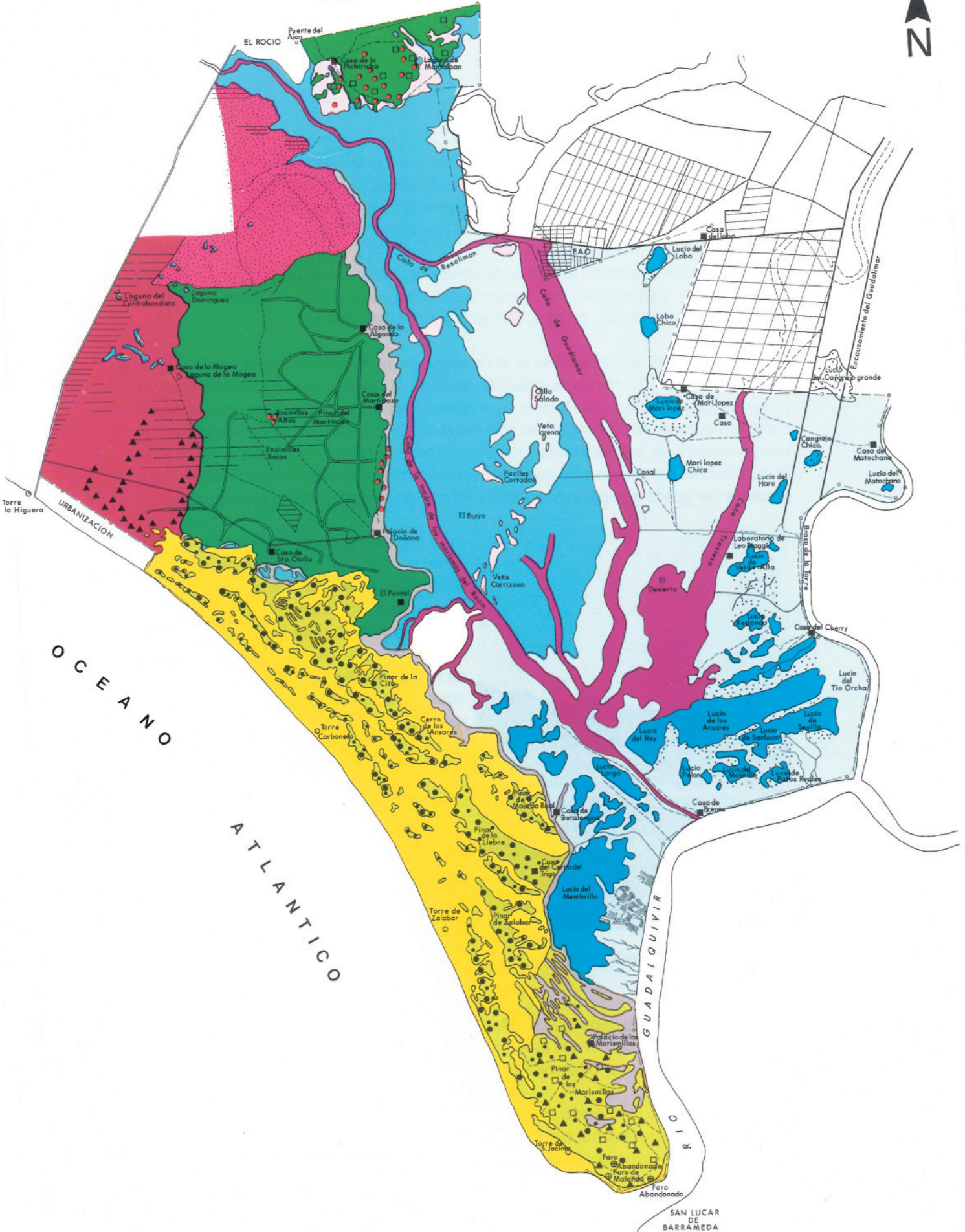
El segundo ecosistema, el cordón litoral de dunas móviles, es uno de los paisajes más llamativos del parque. El movimiento rápido de las arenas, provoca fenómenos importantes de sucesión ecológica que posibilitan una investigación muy detallada.

El avance de las dunas es, en valor medio, del orden de 6 m. anuales. Entre dunas y dunas se originan unas zonas deprimidas, igualmente móviles, a las que se denomina "corrales". El paso de las dunas por encima de un pinar supone la destrucción del mismo,

## LEYENDA

	Arenas estabilizadas de "monte blanco" y "monte negro" transformadas en eucaliptar.		"Pino piñonero" autóctono.
	Matorral y brezal de "monte negro" sobre arenas estabilizadas.		Plantaciones de "Pino piñonero".
	Matorral de "monte blanco" sobre arenas estabilizadas (naves).		"Sabinas".
	Dunas móviles.		"Lentiscos".
	Corrales.		"Alcornoques".
	Lagunas y charcas temporales.		Arroyos.
	Zona de contacto entre arenas y marisma (vera).		Gavetas.
	Lucios.		Cultivos.
	Zona de influencia de los Lucios. Vegetación de "bayunco", "castañuela" y "almajos".		Muros.
	Caños y Brazos.		Cortafuegos.
	Marisma de "castañuela".		Sendas.
	Marisma de "almajos".		Límites del Parque.
	Vetas y Paciles.		

### PLANO N° 4 - MAPA ECOLOGICO DEL PARQUE



ESCALA  
1000mts 0 1 2 3 4 Km.

aunque posteriormente, tras del paso de la misma aparece de nuevo vida vegetal. El reciclaje de esta dinámica da lugar a un proceso de sucesión ecológica muy rápido, de modo que los distintos estadios, dunas y "corrales", se encuentran siempre presentes en el conjunto de la franja costera.

La flora de este biotopo es escasa. Aparte de los pinos y de sus sotobosques, se pueden ver camarinas y algunas gramíneas y compuestas. En cuanto a la fauna, viven entre otros: víboras, águilas culebreras, conejos, tortugas, lince y meloncillos.

El tercer ecosistema definido es el de la marismas. A grandes rasgos, resalta considerablemente su gran homogeneidad. Ahora bien, la realidad es que, a escala local, se presentan gran multitud de formas, que tienen una importancia trascendental y que controlan las zonas de inundación, así como su duración. Lógicamente, esto trae consigo un control indirecto de la flora y fauna existente, así como la relación entre éstas y las de otros ecosistemas de Doñana con los que mantiene estrechas relaciones. La multiformidad que presentan se puede agrupar escuetamente en marismas secas y marismas sumergidas.



*Arenas Estabilizadas*

La marisma sumergida es, aquella que durante bastantes meses del año está cubierta de agua. Incluye los caños, lucios, ojos y albinas.

En el conjunto marismeño, en donde las variaciones de cota raramente superan los 2 m. las más bajas corresponden a los llamados "caños" y "lucios". Los primeros son pretéritos cauces y los lucios, constituyen auténticas

En líneas generales se puede llamar marisma seca a una zona en la que, aunque durante la primavera e invierno puede llegar a encharcarse total o parcialmente, el periodo seco es grande. Incluye los llamados paciles, vetas y vetones. La flora queda reducida a especies típicamente halófilas. La fauna más representativa está constituida fundamentalmente por aguiluchos, avefrías y liebres y ratas comunes.



*Cordón litoral de dunas móviles*

lagunas de muy poca profundidad. Por otra parte, los "ojos" se comportan como singulares resurgencias de agua que no suelen llegar a secarse en verano.

En la zona de marismas sumergida, existe una densa vegetación, compuesta principalmente por bayancos y castañuelas, que emergen en febrero y se secan a finales de verano. Esta densa cobertura vegetal, permite y favorece la reproducción de numerosas poblaciones de aves.

La zona de contacto entre las arenas y las marismas que se extiende desde la desembocadura del Guadalquivir hasta la aldea de El Rocío y desde ésta hacia el noreste hasta Villamanrique de la Condesa forma el importante ecotono de La Vera-La Retuerta.

Se trata de una franja, de unos 60 km. de longitud de gran riqueza biológica por sus peculiares características de humedad equilibrada, por su textura y por ser una zona frecuentemente fertilizada ya que es lugar de alimentación y paso para muchas especies animales. Entre la flora característica de la zona predominan los pastizales y los juncales, lo que hace que sea un lugar muy frecuentado por gran número de herbívoros, como jabaliés, ciervos, gamos y conejos. En esta zona también se asientan algunas especies de aves como las garzas, las espátulas, las garcetas y los martinetes.

Todos estos ecosistemas y ecotonos dependen, en gran parte, del agua, por lo que cambios importantes en las condiciones hídricas naturales pueden provocar desequilibrios de graves repercusiones en las características ecológicas y medioambientales de los mismos. Por ello no debe llevarse a cabo ningún cambio de las actuales condiciones hídricas, sin la realización de estudios previos muy detallados que demuestren su viabilidad.



*Pinares en los Arenales*



### 2.-EL AGUA EN EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y SU ENTORNO

La supervivencia del Parque Nacional de Doñana depende, entre otros factores, del agua superficial y subterránea. La primera aporta caudales que inundan la marisma durante parte del año, y a la segunda se debe la existencia ininterrumpida de zonas húmedas, charcas, etc.

Los orígenes de las aguas que provocan la inundación de las marismas son, fundamentalmente, la lluvia caída directamente sobre su superficie, y el desbordamiento de los ríos que confluyen a ese área, es decir, lo que clásicamente se denomina aguas superficiales.

Ahora bien, en el sector de la unidad hidrogeológica que funciona como acuífero libre, estas aguas y las subterráneas están íntimamente conexionadas en los ríos y arroyos, y por tanto, una parte del agua que alcanza las marismas tiene un origen subterráneo, al proceder de la descarga del acuífero.

El papel del agua subterránea en el Parque Nacional es, no por menos llamativo, menos importante, ya que no queda limitado a estas aportaciones que incrementan las inundaciones de las marismas. En estiaje, la vida animal y vegetal puede continuar gracias a las aguas subterráneas. Si éstas no existiesen, no se hubiera podido desarrollar la importante reserva ecológica que representa Doñana. Así, en el ecosistema de las dunas, en donde el nivel piezométrico del acuífero está próximo a la superficie, es posible mantener en los "corrales" una humedad en el suelo que se conserva durante todo el año. En el ecotono de La Vera La Retuerta, la superficie piezométrica se sitúa también muy alta, ligeramente por encima del



*Ecosistema de la Vera La Retuerta*

nivel de marismas. Como consecuencia, en toda esta franja límite, son normales las zonas húmedas y las lagunas.

Las aguas subterráneas que circulan por el acuífero profundo influyen igualmente en la ecología del Parque. Una parte de las mismas pueden ascender, muy lentamente, a través de las arcillas semipermeables, cargándose en sales. Al llegar a la superficie se evaporan, salinizando los metros más superficiales, fundamentalmente con cloruros.

En las marismas existen pequeñas depresiones circulares, de algunos metros de diámetro, llamadas "ojos" que suelen mantener una lámina de agua durante todo el año. Aunque la procedencia de estas aguas no está suficientemente estudiada, parece evidente que se corresponde con el drenaje de paleocauces localizados en la zona más superficial de las marismas, y, que conectan los mencionados ojos con el sector del acuífero que funciona como libre.

Las aguas subterráneas pueden contemplarse en otra vertiente distinta. Los conocimientos adquiridos pueden aplicarse para potenciar la vida en el ecosistema. Así, mediante la explotación racional de los recursos subterráneos pueden crearse nuevas zonas húmedas, como la laguna artificial del Acebuche. En épocas particularmente secas, es posible llenar lucios y lagunas naturales mediante la construcción de sondeos y extracción de agua subterránea, tal como se hizo en el Palacio de Doñana, Lucio de Mari-López, etc.

La explotación de los recursos subterráneos del acuífero no tiene por que estar reñida con la conservación del medio físico y biológico del Parque. No obstante, es preciso llevarla a cabo de forma que ambos intereses sean compatibles, evitando que la explotación inadecuada, desordenada y no suficientemente controlada que se da en determinadas zonas pueda llegar a originar, en un futuro, perjuicios difíciles de evaluar.



*La Raya Real. Camino tradicional de la Romería del Rocío*

## 2.1. ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Si bien estas aguas no son motivo de la publicación, se presenta a continuación un resumen de las características más comunes que presentan.

Las aportaciones de los arroyos que nacen en la subunidad acuífera (La Rocina, Del Partido, etc), presentan una gran variedad de caudales, que pasan, en tiempos relativamente cortos, de varios m<sup>3</sup> por segundo a unas decenas de litros por segundo, o incluso a caudales nulos. El río Guadiamar, que nace fuera del sistema, y que presenta una cuenca de recepción mucho mayor que los anteriores, presenta caudales que varían desde nulos en estiaje, a algunas decenas de metros cúbicos por segundo en la época más húmeda y con puntas que alcanzan varias centenas de m<sup>3</sup> por segundo.



*Arroyo la Rocina. Ermita de la Virgen del Rocío*

Como ya se ha indicado, estas aportaciones, junto con las precipitaciones, originan la inundación de las marismas. Este proceso se inicia, en general, hacia octubre, con las primeras lluvias y aportaciones, y continua, progresivamente, hasta inundar toda la superficie marismeña, lo que se consigue entre diciembre y abril. A continuación, al iniciarse el estiaje, las pérdidas por evaporación o evapotranspiración desecan progresivamente la marisma, salvo los ojos y los lucios, culminando así un ciclo de inundación/desecación.

La calidad química de estas aguas superficiales se ha estudiado a partir de la red de control de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, durante el período 1979 a 1988. El análisis de los resultados obtenidos permite diferenciar los tres grupos siguientes:

- Aguas que alcanzan al Parque por la zona oeste. Incluyen las del arroyo de La Rocina, las del arroyo del Partido, arroyo de la Cañada Marín y arroyo de la Cañada Mayor.
- Aguas que lo alcanzan por la zona este. Incluyen las del complejo sistema del Guadimar (incluyendo muro de encauzamiento).
- Aguas de los lucios. Se dispone de información para el lucio del Lobo y el lucio de los Ansares.

Entre las características comunes a estos grupos, destaca la variabilidad temporal. Este comportamiento era de esperar, ya que son aguas superficiales, producto de la composición de efectos climáticos, aportes subterráneos, mezclas de caudales variables, etc.

### **Contribuciones de la zona oeste**

Mientras que el arroyo de La Rocina y su afluente el arroyo de los Reyes, presentan unas conductividades medias de 706 y 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un rango de variación muy importante (306-4364  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 309-960  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente), el arroyo del Partido posee una mineralización media mayor (1950  $\text{MS}/\text{cm}$ ), y en general bastante constante (entre 515 y 3215  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El vertido de alpechines y residuos urbanos de la zona de Almonte parece la causa más probable de este aumento de conductividad, que también causa valores altos de cloruros y DQO.

Se poseen escasos datos sobre la calidad química de los arroyos de Cañada Mayor y Caño Marín, cuyo seguimiento ha iniciado recientemente la CHG, pero los resultados obtenidos en los primeros análisis realizados, parecen indicar que las aguas de estos arroyos presentan una mineralización similar a las del arroyo del Partido.

El arroyo del Partido es el que registra mayor cantidad y variedad de microcontaminantes orgánicos, que en muchos casos superan con creces las concentraciones tolerables por la reglamentación técnico sanitaria sobre aguas potables (hasta 0.1  $\mu\text{g}/\text{l}$  por compuesto individual y 0.5  $\mu\text{g}/\text{l}$  en conjunto). Los mayores niveles son los de aldrina, HCB y A-HCH, lindano, heptaclorados y 2,4-D (IOE). En el arroyo de La Rocina los niveles de estos productos son inferiores, aunque, esporádicamente, también rebasan estos límites.

Respecto al contenido en metales pesados, prácticamente igual para las estaciones estudiadas, sólo hay concentraciones algo más altas en el caso del Fe y Mn, como es de esperar en aguas superficiales, que transportan estos metales en suspensión, o como complejos acuosos.

### **Contribuciones de la zona este (Zona Guadimar)**

Cerca de la confluencia del Guadimar con las marismas, las aguas superficiales registran una conductividad media de 3145  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un rango de variación comprendido entre 320 y 10860  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los pH más bajos se dan en el período seco de 1980-1981, presentando un mínimo de 4.8 en Diciembre de 1980.

Respecto a los metales pesados, las concentraciones de cadmio, mercurio y cromo (VI) se sitúan en niveles bajos, mientras que los contenidos en cinc son, en gran parte de las ocasiones mayores que 5 µg/l.

Aguas abajo, más cerca del Parque Nacional, los análisis muestran altas conductividades (se trata de aguas salobres y saladas) y aumento de pH hacia condiciones básicas. Parecen representar un carácter intermedio entre agua en movimiento y aguas estancadas. La tendencia hacia pH alcalinos, con el aumento de mineralización, es un proceso típico en aguas sometidas a evaporación, y por tanto a precipitación intensa de sales. Los altos valores de DQO indican abundancia de materia orgánica y especies reductoras durante la desecación.

### **Las aguas de los lucios**

Los valores de conductividad son muy semejantes en el lucio del Lobo y de los Ansares. Los mínimos son bastante altos y los máximos están en el rango del agua marina. La clara basicidad de estas aguas, en especial en los momentos de conductividades más altas, indica un sistema sometido a procesos de evaporación intensísimos, que alcanza la saturación en algunos minerales, precipitándolos.

Los contenidos de metales pesados son bajos, aunque esporádicamente se superan los niveles de potabilidad para el cadmio y cromo, así como hierro y manganeso. Es previsible que los iones metálicos de alta densidad precipiten en los primeros estadios y se acumulen en la fase sólida.

Hay considerables concentraciones de pesticidas orgánicos: aldrina, lindano, heptaclorohexano, 2, 4-D (IDE) y 2, 4, 5-T (ME) principalmente. Estos compuestos se concentran en la fase acuosa con escasa preferencia por la fase sólida.

Por otra parte, los valores de DQO no son excesivamente altos, por lo que gran parte de la materia orgánica en suspensión debe tender a coprecipitar con las sales inorgánicas.



### 3.- LAS AGUAS SUBTERRANEAS

El Parque Nacional de Doñana se localiza en el extremo meridional del sistema acuífero número 27, y dentro de éste en la subunidad Almonte Marismas, que abarca una superficie del orden de 2.300 km<sup>2</sup>, limitada, al norte por el Tinto y los afloramientos de las margas azules del Mioceno superior-Plioceno, al este y suroeste, los ríos Guadamar y Guadalquivir, y de noroeste a sureste, el océano Atlántico (Plano general).

El comportamiento hidrogeológico de estos límites es distinto. Las margas azules se presentan como afloramientos de la base impermeable, el Guadamar como divisoria de aguas subterráneas con la subunidad de Espartinas, el océano como límite a nivel constante, el Tinto como eje de drenaje, y el Guadalquivir, prácticamente, es independiente del acuífero, ya que está separado de las formaciones permeables por el nivel semipermeable de las marismas.

La topografía de toda la región es bastante suave, sobre todo en la zona de marismas donde es prácticamente llana.

#### 3.1. LAS FORMACIONES ACUIFERAS.

Las formaciones geológicas que constituyen el acuífero del subsistema de Almonte-Marismas se pueden agrupar, de forma sintética, en: (Plano general y cortes localizados en los planos números 5 y 6) en:



*Dunas y arenales*

- Arenas basales del Pliocuatnario. Su espesor varía entre algunos metros a la altura de Almonte, 80 a 100 m. en el borde de las marismas, y un orden de 200 m. en el extremo más meridional bajo las marismas.
- Barra costera y dunas actuales, formadas por arenas de origen eólico y dunas antiguas. Los espesores máximos son superiores a 60 m.
- Materiales cuaternarios de las marismas, constituidos por un nivel de grava y cantos rodados bastante continuo cuyo espesor varía entre 10 y 30 m. Además de este nivel inferior existe, generalmente, otro más superficial y de menor continuidad lateral formado por lentejones de 5 a 30 m. de espesor y formados, igualmente, por gravas y cantos rodados.

Estos tres términos son los principales componentes del acuífero. Asociados a los dos primeros se encuentran las tres siguientes formaciones permeables:

- Manto eólico y dunas antiguas: constituidas por arenas finas y algunas intercalaciones de arcillas menos importantes; afloran en la parte más occidental del Parque. Su potencia es variable alcanzando valores máximos de 7 a 8 m.
- Formación roja del Cuaternario antiguo y Plioceno superior: está constituida por gravas, arenas y conglomerados rojizos con matriz arcillosa. En esta formación son muy frecuentes los cambios laterales de facies. Su potencia es muy variable, llegando a alcanzar como máximo los 15 a 20 m.
- Terrazas fluviales: Formadas, principalmente, por niveles de gravas y cantos rodados englobados en una matriz areno-arcillosa, que pueden llegar a tener hasta 30 m. de espesor, en el tramo inferior del río Guadiamar.

A partir de los datos de sondeos y de las prospecciones geofísicas realizadas, se conoce que la potencia global de las formaciones permeables varía, en la zona libre, de 15 a 20 m. al norte y de 80 a 100 m. al sur. Por debajo de las marismas incrementa aún más su potencia llegando a alcanzar valores del orden de 200 m. en una gran extensión (plano nº 7).

### **3.2. EL MURO DEL ACUIFERO**

Todo el conjunto permeable descansa en las margas azules del Mioceno superior-Plioceno inferior, que constituyen, por tanto, la base del acuífero. Ya se ha indicado que presentan una morfología suave, con una disminución progresiva de cotas de norte a sur, de modo que en el límite septentrional se encuentran a unos 100 m. s.n.m., mientras que en el meridional están por debajo de las marismas, a una cota de unos 200 a 250 m. bajo el nivel del mar. Se ha constado la existencia de dos vaguadas en el fondo impermeable, que se sitúan, aproximadamente, por debajo del arroyo de La Rocina y del río Guadiamar (plano nº 8).

### 3.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

En la subunidad Almonte-Marismas se han inventariado más de mil puntos de agua. Aproximadamente la mitad corresponden a sondeos y el resto a pozos y pequeños manantiales. Los datos hidrogeológicos correspondientes se encuentran en el Archivo Nacional de Puntos de Agua del ITGE.

Los pozos tienen profundidades, casi siempre, inferiores a 10 m. La mayoría se sitúa en la zona norte del acuífero y presentan unos caudales que, en general, son inferiores a los 2 l/s. En las zonas costeras existen algunas captaciones a base de grandes zanjas de drenaje, que tienen una profundidad, generalmente, inferior a 6 m.

En el área estudiada no hay manantiales significativos. Existen surgencias temporales, pero están poco localizadas. Generalmente, las aguas drenadas pasan directamente a la escorrentía superficial, o se evaporan, o bien, rellenan zonas relativamente deprimidas sin dar lugar a escorrentías superficiales fácilmente cuantificables.

Los sondeos se localizan, principalmente, en una franja situada al norte del Parque Nacional. Las profundidades son variables en función de su localización. En las zonas de acuífero libre raramente sobrepasan los 70 m. y en las del acuífero en carga, alcanzan hasta los 150 ó más metros. Los caudales medios son del orden de 70 a 80 l/s, con mínimos de 20 a 30 y máximos de hasta 120 l/s. Se han realizado, además, otros sondeos en las proximidades de la costa (Matalascañas y Mazagón) destinados al abastecimiento de los importantes enclaves turísticos existentes en la zona.

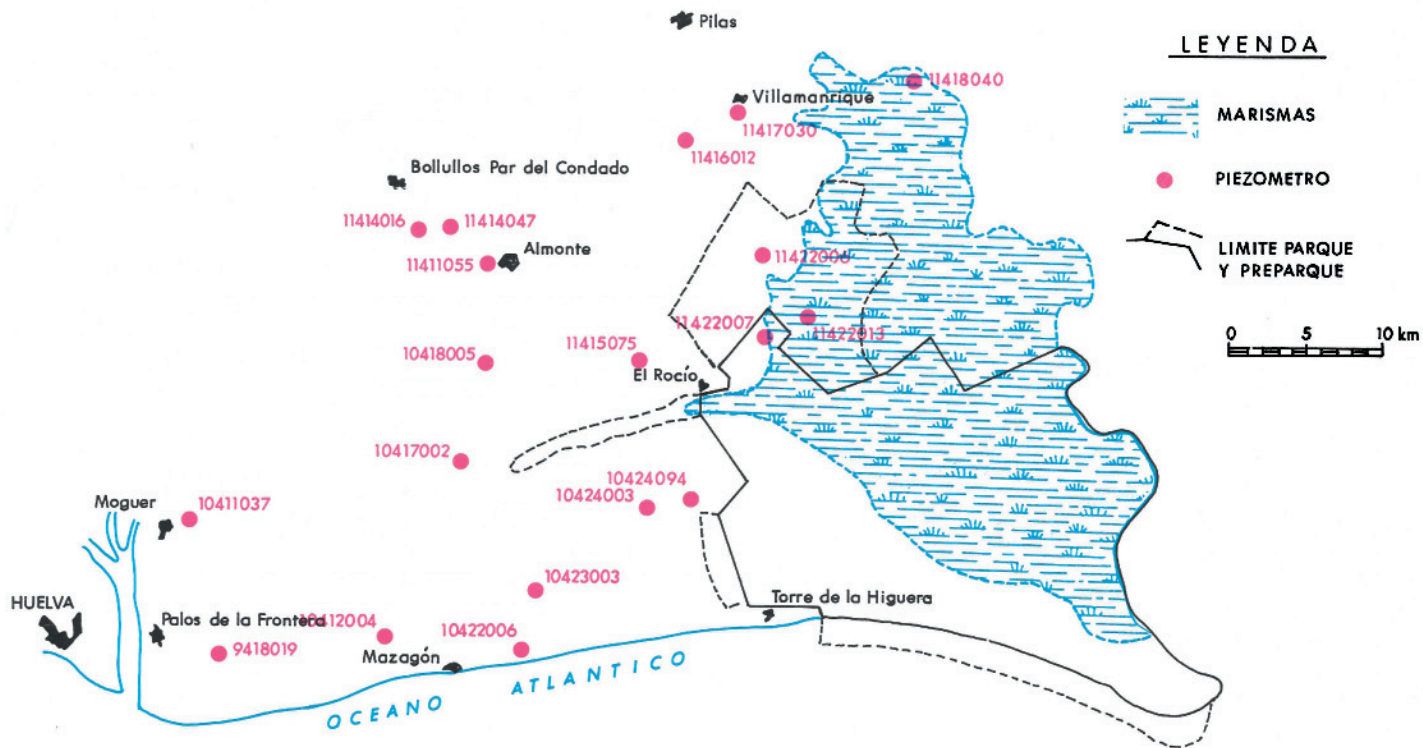
En muchos de ellos se han realizado ensayos de bombeo, lo que permite disponer de un número considerable de datos de transmisividad del acuífero y algunos valores de porosidad y de coeficiente de almacenamiento.

En la tabla nº 2 se indican algunas características de los sondeos perforados dentro del recinto del Parque Nacional. El objetivo de los mismos es explotar aguas subterráneas que se utilizan para el llenado de lucios, como el del Lobo, Mari López y Caño Travieso, que en el estiaje pueden quedar prácticamente secos.

### 3.4. PIEZOMETRIA

El ITGE y el IARA controlan, periódicamente, los niveles del agua subterránea en dos series de sondeos piezométricos. La primera serie forma un red que se extiende por toda la subunidad acuífera (plano nº 9) y la segunda se centra en las zonas de explotación definidas por el IARA. (plano general). En el plano nº 10 se encuentran las evoluciones piezométricas constatadas en una serie de sondeos.

Independientemente de la información obtenida a partir de todas estas medidas piezométricas, el ITGE ha llevado a cabo dos campañas exhaustivas de control, una en junio-julio de 1982 y la otra en abril y mayo de 1989, en las que se midieron los niveles de agua en más de doscientos puntos. En el plano general (localizado al final de la publicación) se presentan las piezometrías obtenidas en esas dos fechas.



Plano N° 9 - SITUACION DE PIEZOMETROS ITGE

En ambos casos las piezometrías obtenidas se adaptan a la topografía, de modo que los niveles de agua subterránea se sitúan a cotas del orden de 100-120 m. s.n.m. en el entorno de Bonares-Rociana-Bollullos Par del Condado-Chucena y a cotas inferiores a 10 m. s.n.m. en la desembocadura del río Tinto, costa atlántica, proximidades del acuífero libre a las marismas y cauce bajo del Guadiamar.

La piezometría, de abril-mayo de 1989, detecta la existencia de una depresión piezométrica, al sur de Villamanrique de la Condesa, y que se localiza bajo las marismas, próxima al contacto con el acuífero libre, y en donde los niveles del agua llegan a encontrarse por debajo del nivel del mar.

Desgraciadamente la piezometría del acuífero situado bajo las marismas no está suficientemente conocida, ya que existen pocos puntos de control hidrogeológico. En la tabla nº 2 se indican las características de las principales perforaciones que existen en el Parque.

TABLA Nº 2

CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDEOS LOCALIZADOS EN EL P.N. DE DOÑANA

SITUACIÓN SONDEOS	PROFUNDIDAD (en m)	COTA DEL NIVEL ESTÁTICO (en m s.n.m)	COTA DE LA BASE IMPERMEABLE (en m s.n.m)	COTA DEL TECHO DEL ACUIFERO (en m s.n.m)	CAUDALES AFORADOS (en l/s)
Lucio del Lobo	238,00	+ 1,89 (1)	- 223	- 104,96	110,47 (1)
Lucio de Mari López	153,85	+ 1,50 (2)	- 153	- 114,00	135,41 (2)
Caño Travieso Nº 1	210,00	+ 0,27 (1)	- 205	- 95,00	125,98 (1)
Caño Travieso Nº2	182,00	Surgente (1)	- 184	- 77,00	131,66 (1)
Al Sur de El Rodó	40 a 120	+ 16 a 0 (2)	- 113 a - 20	- 39 a + 7	30 a 115 (2)
Palacio	210,00	+ 1,10 (2)	- 193	- 48,00	30,00 (2)

(1) Octubre 1974

(2) Octubre 1975

### 3.5. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL ACUIFERO

El sistema hidrogeológico Almonte-Marismas está formado por un conjunto de niveles detríticos permeables, en contacto entre sí, que se comportan como un acuífero libre a excepción del sector localizado bajo las marismas. en donde funciona como semiconfinado. (cortes hidrogeológicos en los planos nº 5 y 6).

La recarga natural del acuífero se ha estimado en 200 hm.<sup>3</sup> de media al año. Procede de la infiltración de parte de la lluvia que cae sobre el acuífero libre. En función de la capacidad de infiltración del terreno se pueden distinguir las tres zonas siguientes:

- Extremo occidental y cordón litoral, en donde afloran arenas muy permeables, donde la infiltración es máxima.
- Area que bordea las marismas, constituida por arenas permeables con una topografía suave, y presentan tasas medias de infiltración.
- Area norte en la que se encuentran arenas y limos poco permeables con una topografía más acentuada, y en donde la recarga es menor.

Si bien la recarga natural del acuífero es un fenómeno esencialmente discontinuo en el tiempo, la descarga se presenta de una forma prácticamente ininterrumpida, salvo la ocasionada por los bombeos. En la situación actual, el drenaje se produce por las siguientes zonas:

- a) por los ríos y arroyos.
- b) por la costa, directamente al mar.
- c) por el borde norte, en el contacto con las margas azules.
- d) por evapotranspiración en las zonas con nivel piezométrico muy superficial o con eucaliptus.
- e) por un drenaje ascendente a través del semipermeable, en las marismas.
- f) en los campos de bombeo.

El drenaje natural del acuífero, es decir el que se produce en el conjunto de las zonas mencionadas a excepción del originado en los campos de bombeo, se estima actualmente en unos 135 hm<sup>3</sup>/a de media, de los que casi la mitad se deben a pérdidas por evapotranspiración.

En relación con el movimiento del agua subterránea en el acuífero, hay que reseñar los siguiente (ver plano general piezométrico al final del informe):

En el acuífero libre se presenta una dirección preferencial del flujo hacia las marismas, salvo en la franja costera en la que parte de esta circulación presenta una dirección hacia el océano, y en el extremo septentrional que es hacia el Tinto.

Al alcanzar el agua subterránea a la zona de las marismas, el funcionamiento hidrogeológico se hace muy complejo debido a varias razones, entre las que se señalan las siguientes:

- El acuífero pasa de libre a semiconfinado.
- La formación permeable infrayacente a las marismas no presenta ninguna zona de drenaje directo, salvo (quizás) al océano a través de una estrecha franja situada bajo la desembocadura del Guadalquivir.
- La formación semipermeable de las marismas contiene agua con alta concentración salina y por tanto más densa que el agua dulce infrayacente, lo que puede imposibilitar, en gran parte, el flujo ascendente a través del semipermeable.

Los dos últimos factores condicionan y acotan el volumen de agua subterránea que puede pasar del acuífero libre al confinado, de modo que si el caudal subterráneo que procede del acuífero libre es mayor que un umbral determinado, el caudal en exceso tiene que resurgir, formando manantiales, humedales, etc. Este comportamiento se produce en una estrecha franja que incluye el contacto de ambos tipos de acuíferos, y que coincide con el ecotono de La Vera-La Retuerta.

Se tiene, en resumen, que una parte del agua subterránea que alcanza a la zona de marismas, debe emerger en una banda subparalela al contacto acuífero libre/semiconfinado, y el resto circulará por el acuífero profundo, del que emergerá bien a través del semipermeable, bien al océano por una zona bajo el Guadalquivir, bien por una conjunción de ambos procesos.

### **3.5.1. Explotación del acuífero**

El aprovechamiento actual de parte de los 200 hm<sup>3</sup> /a en que se han estimado los recursos subterráneos se lleva a cabo mediante bombeos que, según sea la utilización del agua, se pueden dividir en urbanos y agrícolas.

En la tabla nº 3 se presentan los datos de explotación de aguas subterráneas, destinados al abastecimiento a núcleos urbanos del área. En conjunto la población abastecida es de unos 40.500 habitantes en invierno y de unos 170.000 habitantes en verano.

TABLA Nº 3

EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO

NUCLEO URBANO	POBLACION DERECHO (CENSO 1986)	EXTRACCION hm <sup>3</sup> /año	OBSERVACIONES	FUENTE / FECHA
ALMONTE ROCIANA BOLLULLOS PAR DEL CONDADO	12.713 6.153 12.304	1,9	Mancomunidad de Almonte Rociana, Bollullos Par del Condado	C.H.G. / Julio 1990
ALDEA DEL ROCIO	1.111	0,2		C.H.G. / Julio 1990
MATALASCAÑAS	780	2,4 (1)	En verano 80.000 habit.	C.H.G. / Julio 1990
MAZAGON	2.000	0,5	En verano 50.000 habit.	ENCUESTA ITGE / Enero 1989
LUCENA DEL PUERTO	1.988	0,1		ENCUESTA ITGE / Enero 1989
HINOJOS	3.241	0,2		ENCUESTA ITGE / Enero 1989
VILLAMANRIQUE DE LA CONDESA	3.423	0,2		ENCUESTA ITGE / Enero 1989
	43.893	5,5		

La explotación total estimada, en base a los datos suministrados por C.H.G. y a los calculados, mediante la realización de encuestas directas por el ITGE, es del orden de 5,3 hm<sup>3</sup> anuales.



*Explotaciones abandonadas*

En cuanto al aprovechamiento agrícola, en la tabla nº 4 se indica la evolución, desde 1968 a 1986, del número de hectáreas regadas en la zona de Almonte-Marismas y su entorno. Se observa que en ese período la superficie ha variado de unas 600 ha a cerca de 7.000 ha.

TABLA N° 4

EVOLUCION DE LA SUPERFICIE EN RIEGO DE LA ZONA ALMONTE-MARISMAS Y SU ENTORNO

AÑO	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
<b>RESUMEN POR SECTORES</b>																			
SECTOR I (VILLAMANRIQUE)																			
- Riegos particulares	-	-	160	160	160	160	295	295	510	590	670	685	685	910	1055	1135	1135	975	975
- Riegos I.A.R.A.	-	-	-	-	-	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	-	-	800	1485
TOTAL SECTOR I.	-	-	160	160	160	220	355	355	570	650	730	745	745	910	1055	1135	1135	1775	2460
SECTOR II (EL ROCIO)																			
- Riegos particulares	600	600	600	650	650	675	710	710	740	880	980	1000	1020	1040	1060	1160	1120	1170	1170
- Riegos I.A.R.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	150	225	275	425	900	1230	1230	1530
TOTAL SECTOR II.	600	600	600	650	650	675	710	710	740	880	1080	1150	1245	1315	1485	1960	2350	2400	2700
SECTOR III (MARISMAS)																			
- Riegos particulares	-	-	-	-	40	90	140	260	410	535	555	750	950	1200	1400	1940	1980	1740	1740
- Riegos I.A.R.A.	-	-	-	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
TOTAL SECTOR III.	-	-	-	-	75	125	175	295	445	570	590	785	985	1235	1435	1975	2015	1775	1775
TOTAL ZONA ALMONTE-MARISMAS																			
- Riegos particulares	600	600	760	810	850	925	1145	1265	1660	2005	2205	2435	2655	3150	3515	4135	4235	3885	3885
- Riegos I.A.R.A.	-	-	-	-	35	95	95	95	95	95	195	245	320	310	460	935	1265	2065	3050
TOTAL RIEGOS	600	600	760	810	885	1020	1240	1360	1755	2100	2400	2680	2975	3460	3975	5070	5500	5950	6935

FUENTE: IARA

En la tabla n° 5 se muestra, para Diciembre de 1989 la superficie de regadío existente, así como las dotaciones medias empleadas y el volumen extraído para regadío.

TABLA N° 5

SUPERFICIE, RIEGOS Y EXTRACCIONES DE AGUA PARA REGADIO EN LA SUBUNIDAD ALMONTE-MARISMAS

		SUPERFICIE DE RIEGO (ha)		DOTACION MEDIA m <sup>3</sup> / ha / año	VOLUMEN m <sup>3</sup> / año	FUENTE / FECHA
		PARTICULARES	IARA			
A C T I V I D A D E S E M P L E A D A	VILLAMANRIQUE	564	-	3.000	1.692.000	C.H.G. / Julio 1990
	HINDIOS	356	-	3.000	1.068.000	C.H.G. / Julio 1990
	ALMONTE	1.642	-	4.000	6.568.000	C.H.G. / Julio 1990
	SECTOR II-9, II-10, II-17	-	1.283	5.300	6.799.900	C.H.G. / Julio 1990
	SECTOR II-11, II-13, II-14, II-16	-	2.307	5.300	12.227.100	C.H.G. / Julio 1990
	SECTOR I+2, I-3	-	1.373	5.300	7.276.900	C.H.G. / Julio 1990
	TERMINO MOGUER	2.338(1)	-	4.000	9.352.000	CAMARA AGRARIA / Enero 1990
	TERMINO PALOS DE LA FRONTERA	678(1)	-	4.000	2.712.000	CAMARA AGRARIA / Enero 1990
	TERMINO LUCENA DEL PUERTO	290(1)	-	4.000	1.160.000	CAMARA AGRARIA / Enero 1990
	SUBTOTAL	5.868	4.963		48.855.900	
S E M P L E A D A	SECTOR 1-4, 1-5	-	1.428	5.300	7.854.600	C.H.G. / Julio 1990
	AZNALCAZAR	2.672	-	5.300	14.161.600	C.H.G. / Julio 1990
	SUBTOTAL	2.672	1.428		22.016.200	
T R A N S M I S I O N E S E M P L E A D A	ALMONTE	668	-	2.700	1.803.600	C.H.G. / Julio 1990
	ROCIANA	191	-	2.700	515.700	C.H.G. / Julio 1990
	BOLLULLOS PAR DEL CONDADO	286	-	2.700	772.200	C.H.G. / Julio 1990
	PILAS	450	-	2.700	1.215.000	C.H.G. / Julio 1990
	SUBTOTAL	2.672	-		4.306.500	
TOTAL		10.135	6.445		75.178.600	

(1) En la cuenca del Rio Tinto

De acuerdo con estas cifras, se obtienen los siguientes valores de explotación media para regadío, en el subsistema acuífero Almonte-Marismas:

Cuenca del río Guadalquivir	(hm <sup>3</sup> /año)
-Volumen medio de la explotación para riegos del IARA .....	34,1
-Volumen medio de la explotación para riegos particulares .....	27,8
Cuenca del río Tinto:	
-Volumen medio de la explotación para riegos particulares .....	13,2
TOTAL .....	75,1

Si se supone que de estas explotaciones, un 18% retornan al acuífero, la explotación neta es del orden de 61,6 hm<sup>3</sup>/año.

Además de las extracciones destinadas a abastecimiento urbano y regadío, en el palacio de Doñana y en la zona de marismas se extrae un volumen anual medio del orden de 0,2 hm<sup>3</sup> para alimentar artificialmente, durante los meses de abril a octubre, una serie de lagunas y lucios.

Se tiene, por tanto, que la explotación neta actual mediante bombeos y para todos los usos, para el conjunto de la subunidad acuífera, es del orden de 67 hm<sup>3</sup>/año.

### **3.6. RESERVAS. SU PAPEL REGULADOR**

El cálculo de las reservas de aguas subterráneas almacenadas en el acuífero solo se puede conocer de una manera muy aproximada, ya que no se tienen suficientes datos de porosidad eficaz del mismo. Extrapolando los existentes, se estima que en el acuífero libre existen alrededor de 2.500 hm<sup>3</sup> de agua y en el semiconfinado unos 3.000 hm<sup>3</sup>. lo que hace un conjunto de unos 5.500 hm<sup>3</sup>.

Sin embargo, y pese a que el valor de las reservas, es muy superior al de los recursos anuales actualmente utilizados, la capacidad de movilización de las mismas se ve muy limitada, debido a las características hidrodinámicas del acuífero.

### **3.7. CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS**

Los valores de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero, en el entorno inmediato del parque, son suficientemente conocidos. Se han calculado a partir de ensayos de bombeo, que han dado los siguientes resultados:

## **Transmisividad**

La transmisividad del acuífero aumenta de noroeste a sureste, como consecuencia de los incrementos del espesor saturado y/o de la permeabilidad que se dan en el mismo sentido. Se pueden diferenciar las siguientes áreas:

- Área más septentrional: las transmisividades suelen ser inferiores a  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.
- Franja que rodea a las marismas: En donde los valores medios son del orden de  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.
- Área de marismas: La transmisividad es, en general, superior a  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, llegándose a valores de hasta  $4 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s hacia el sector más oriental.

## **Permeabilidad**

La evolución de las permeabilidades es muy parecida a la de las transmisividades: aumenta de noreste a sureste, según la siguiente zonalidad:

- Área más septentrional, con permeabilidades inferiores a  $4 \times 10^{-6}$  m/s.
- Franja que rodea a las marismas, con valores medios comprendidos entre  $10^{-5}$  y  $4 \times 10^{-4}$  m/s.
- Zona de marismas, con permeabilidades superiores a  $10^{-4}$  m/s.

## **Coefficiente de almacenamiento. Porosidad eficaz**

En el acuífero semiconfinado se han deducido valores de coeficiente de almacenamiento comprendidos entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$ .

En la zona de acuífero libre, al sur de Almonte, existen abundantes áreas en las que se presenta un nivel de baja permeabilidad, bastante superficial y discontinuo, que actúa como capa semiconfinante. Este nivel es el causante de que se origine durante los primeros tiempos de bombeo un comportamiento anómalo del acuífero, con valores del coeficiente de almacenamiento del orden de  $2 \times 10^{-4}$  a  $2 \times 10^{-3}$ . Sin embargo, para explotaciones prolongadas hay que considerar la porosidad eficaz que varía entre el 2 y 5 por ciento.

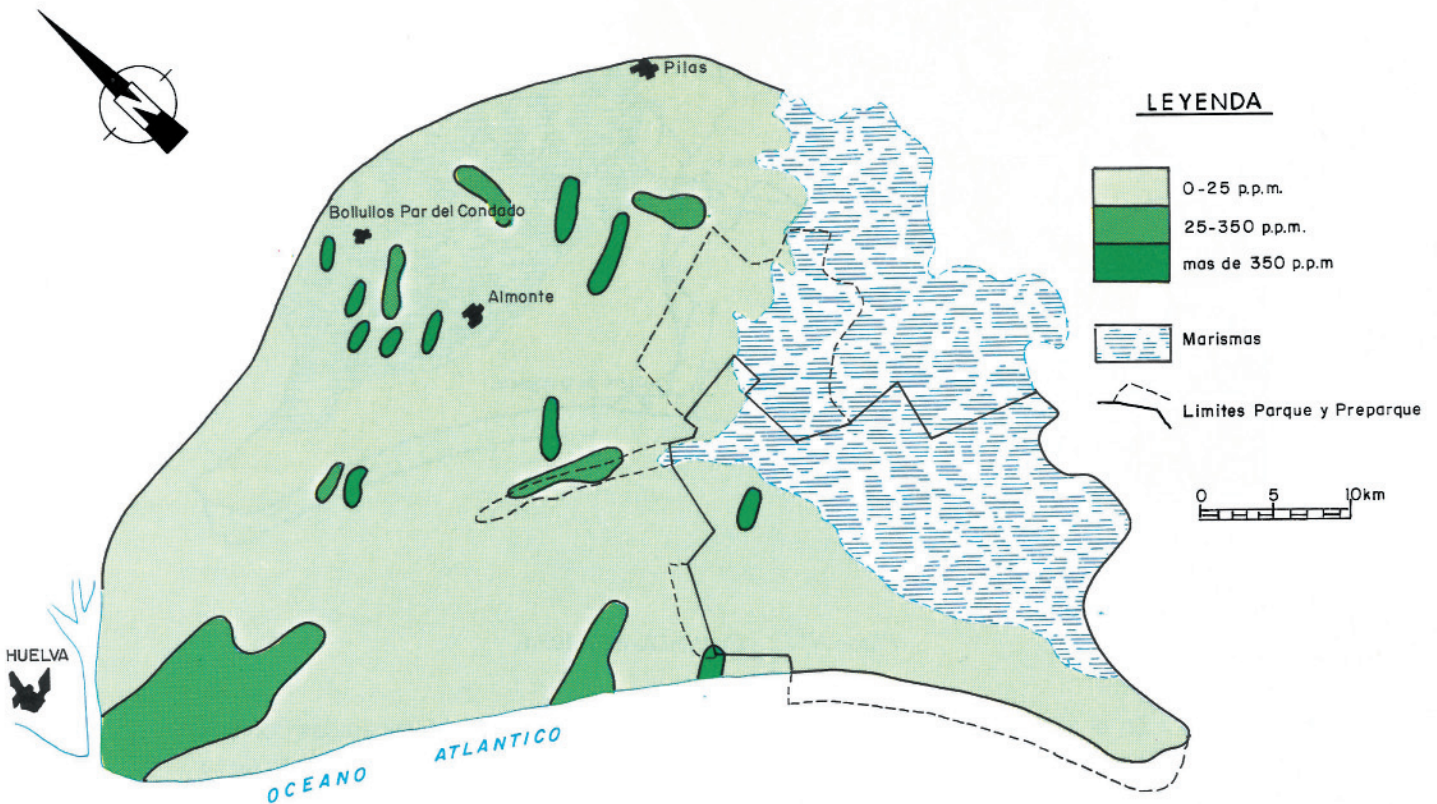
## **3.8. CALIDAD NATURAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO DE ALMONTE-MARISMAS**

Atendiendo a la calidad del agua subterránea se pueden diferenciar en el acuífero tres sectores:

- el acuífero libre,
- la parte del acuífero en carga con agua dulce y
- el resto del acuífero en carga y los lentejones permeables incluidos en las formaciones semiconfinantes con aguas con elevado contenido en sales.

Las características químicas de las aguas de estos tres sectores se han estudiado en función de los contenidos en cloruros, sulfatos y total de sólidos disueltos.

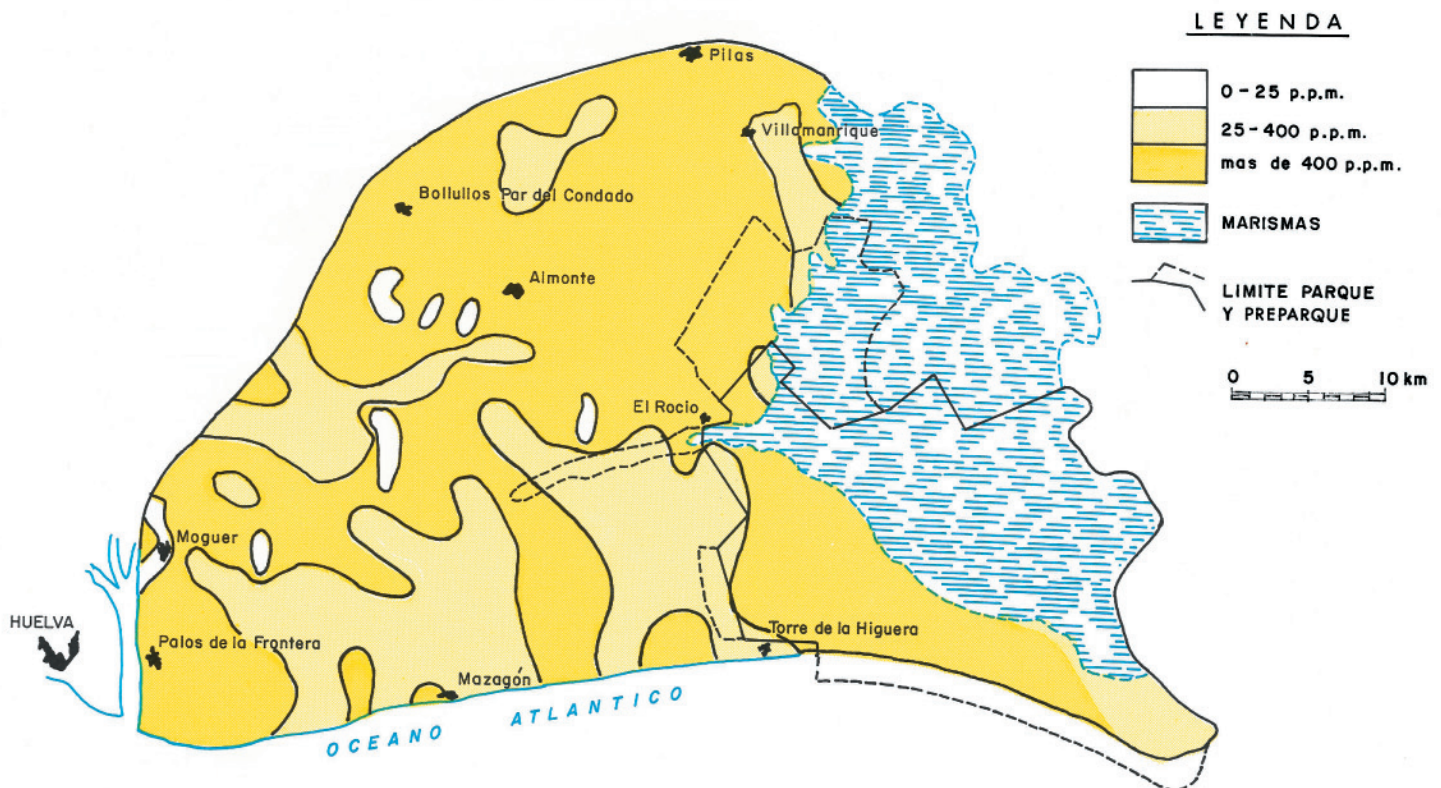
En el primer sector, en el acuífero libre, las aguas son de muy buena calidad. Los contenidos en cloruros, en la mayor parte del acuífero, son inferiores a las 25 ppm, aunque existen áreas aisladas, muchas veces representadas por un solo punto, con concentraciones comprendidas entre 25 y 350 ppm e incluso con valores superiores a los 350 ppm (plano nº 11).



Plano Nº 11 - Contenido en cloruros

Los sulfatos, en prácticamente todo el sector, están por debajo de las 400 ppm con amplias zonas en las que no se alcanzan ni siquiera las 25 ppm. Como en el caso de los cloruros existen algunas áreas aisladas, sin ninguna representatividad, donde se superan las 400 ppm (plano nº 12).

El total de sólidos disueltos es inferior, en una gran parte, a los 750 ppm y, en el resto, se presentan contenidos comprendidos entre 750 y 1500. Únicamente en algunos puntos aislados se supera este último valor (plano nº 13).



*Plano N° 12 - Contenido en sulfatos*

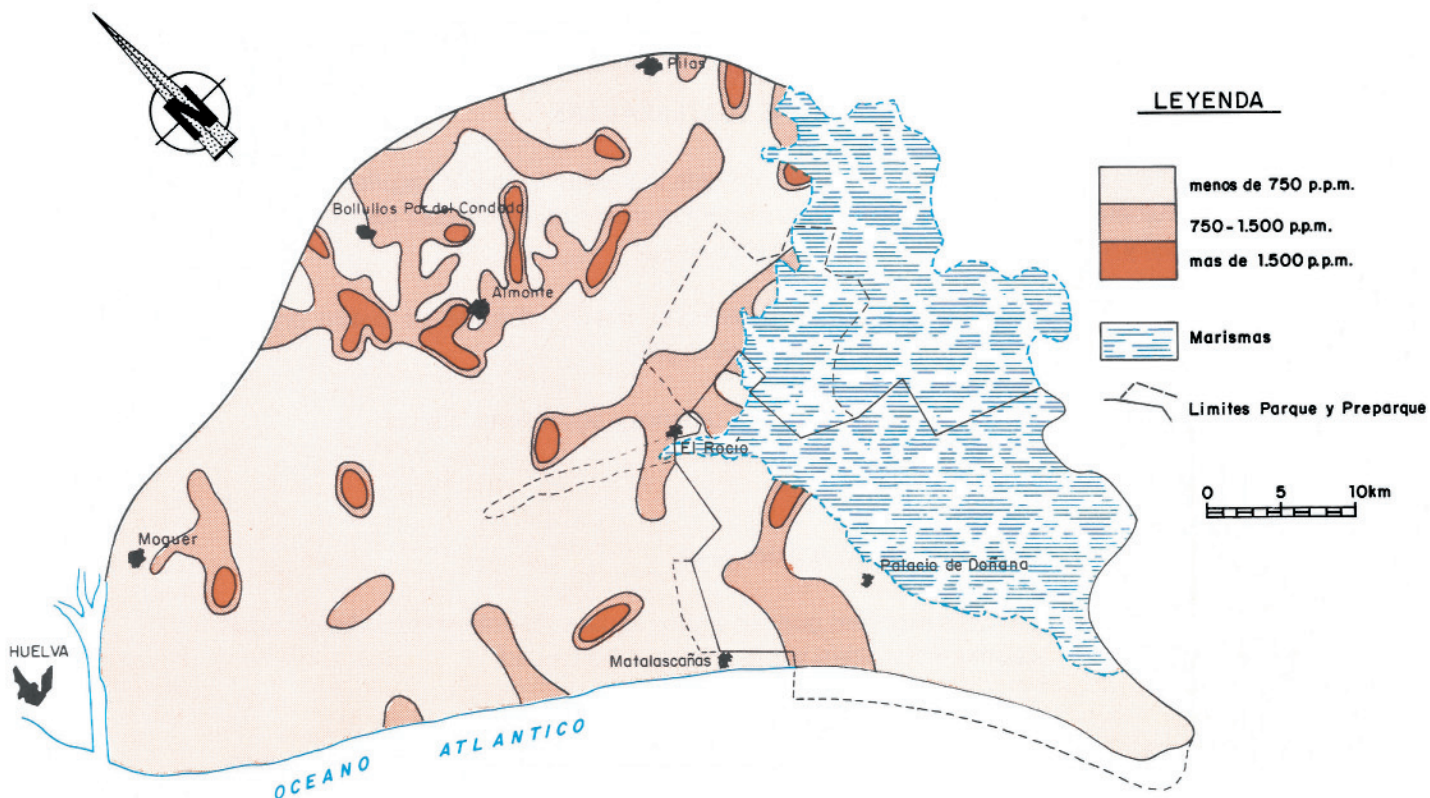
En el acuífero semiconfinado existe agua dulce y agua salada, separadas por una interfase cuya posición actual, aunque mal conocida, se encuentra al oeste del brazo de La Torre.

El agua del segundo sector definido, que coincide con la situada al oeste de la interfase se ha podido analizar en algunos puntos. Presenta una calidad muy similar a la del acuífero libre, con concentraciones bajas y medias de cloruros, sulfatos y total de sólidos disueltos.

Por último, en el tercer sector, que coincide con el acuífero semiconfinado situado al este de la interfase y con los lentejones permeables incluidos en la formación semiconfinante de las marismas o en las margas azules infrayacentes al acuífero, las aguas presentan contenidos en cloruros y en total de sólidos disueltos de varios gramos por litro.

### **3.8.1. Calidad de las aguas subterráneas en el Parque Nacional de Doñana**

Limitándose el recinto ocupado por el Parque Nacional de Doñana, aún a pesar del escaso número de puntos donde es posible tomar muestras del agua subterránea, se pueden establecer las siguientes consideraciones para cada uno de los parámetros analizados:



Plano N° 13 - Total sólidos disueltos

### Cloruros

En general se presentan contenidos inferiores a las 25 ppm, existiendo puntos aislados donde se sitúan entre 25 ppm y 350 ppm y otros, en que las concentraciones superan el límite de 350 ppm. Al este de la interfase, las aguas subterráneas evolucionan de cloruradas cálcico-magnésicas a cloruradas sódicas y, lógicamente, las concentraciones en iones cloruro son bastante elevadas, superándose claramente las 2.000 ppm.

### Sulfatos

Prácticamente en todas las muestras analizadas, procedentes de sondeos de la zona de marismas, no superan las 25 ppm. En el resto del área los contenidos están comprendidos entre 25 y 400 ppm, no sobrepasándose esta última concentración en ninguna de las muestras analizadas.

### Total de sólidos disueltos

En la mayoría de los análisis, el contenido total de sales disueltas no llega a 750 ppm

y en el resto de las aguas del acuífero libre presentan concentraciones entre 750 y 1500 ppm. Únicamente se han encontrado valores superiores a 1.500 ppm en las aguas procedentes de la fase salina del acuífero semiconfinado.

### **3.9. CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS**

En la subunidad hidrogeológica de Almonte Marismas, la zona de acuífero libre es la más vulnerable y dentro de ella las que presentan mayor permeabilidad (dunas y arenas basales) y menor profundidad del nivel piezométrico.

Las causas potenciales de la contaminación, pueden dividirse en cuatro grupos, relacionados con la actividad humana que los origina:

- Vertidos de residuos sólidos urbanos y aguas residuales.
- Vertidos industriales.
- Actividades agrícolas extensivas.
- Bombeos excesivos que demanden aguas subterráneas situadas en zonas alejadas del acuífero y que sean de mala calidad.

Se analiza a continuación la incidencia de estas actividades en el acuífero de Almonte-Marismas bien entendido que, por el momento, el acuífero, tanto fuera como dentro de los límites del Parque Nacional, no sufre problemas graves de contaminación que puedan afectar seriamente ni a los usos del agua subterránea ni a la ecología de la zona.

#### **3.9.1. Focos potenciales de contaminación de origen urbano o industrial**

##### **a) Vertidos de residuos sólidos urbanos**

Se resumen en la tabla nº 6 la cuantía de los vertidos producidos en los principales núcleos urbanos durante 1986, según datos de encuestas directas, llevadas a cabo por el ITGE en los diferentes municipios de la zona.

Se producen, por tanto, algo más de 55.000 t/año de residuos sólidos urbanos, que prácticamente todos, se vierten en una serie de basureros incontrolados distribuidos por el área de estudio; la situación puede verse en el plano nº 14. Los lixiviados producidos, al infiltrarse en las formaciones permeables, pueden originar contaminaciones puntuales del acuífero en el entorno del vertedero.

##### **b) Vertidos líquidos urbanos e industriales.**

La localización de éstos puede verse igualmente en el plano nº 14. Prácticamente en ninguno existe depuración y el vertido se realiza en algún arroyo próximo. Como en el caso anterior pueden originar la degradación local de la calidad de las aguas subterráneas, cuando la infiltración contaminada que producen alcance el nivel saturado.

**TABLA N° 6**  
**RESIDUOS SOLIDOS URBANOS GENERADOS**

MUNICIPIOS	HABITANTES	R.S.U. (t / año)
Almonte (Núcleo urbano)	12.713	4.590
El Rocio (Almonte)	1.111	2.025
Matalascañas (Almonte)	780 (1)	6.480
Aznalcázar	3.070	1.300
Bollullos Par del Condado	12.304	4.600
Bonares	4.872	1.836
Chucena	1.914	475
Hinojos	3.421	1.071
Huevar	2.071	871
Lucena del Puerto	1.988	612
Manzanilla	2.471	630
Moguer (Núcleo urbano)	9.100	6.120
Moguer (Mazagón)	2.000 (2)	6.300
Niebla	3.941	1.000 (3)
Palma del Condado (La)	9.252	2.500
Palos de la Frontera	6.406	4.284
Pilas	10.173	3.336
Rociana	6.153	3.000
Villalba del Alcor	3.770	3.060
Villamanrique de la Condesa	3.423	1.120
Villarrasa	2.246	670 (3)
TOTAL	103.179	55.880

El volumen anual se estima en un orden de 6 hm<sup>3</sup>, cifra que coincide con el 85 por ciento del consumo de agua de abastecimiento. La distribución por municipios y los tipos de residuos se resumen en la tabla nº 7.

**TABLA Nº 7**

**RESIDUOS LIQUIDOS URBANOS GENERADOS**

MUNICIPIOS								Consumo de agua (según facturación de 1986) en m <sup>3</sup> / año	Volumen de vertidos líquidos en hm <sup>3</sup> /año	
	Urbanos	Mataderos	Cooperativas vitivinícolas	Industrias vitivinícolas	Almazaras	Industrias alcoholeras	Ind. Pl. Huelva Cosmética			Varios
Almonte	1	1	3		5			37	396.000 (1)	0,337
Aznalcázar	1							10	49.629	0,042
Bollullos Par del Condado	1	1	1	16	2	2		9	453.600	0,385
Bonares	1	1						3	173.600	0,148
Chucena	1	1	2		1			5	73.000	0,062
El Rocio (Almonte)	1								146.000	0,124
Hinojos	1	1	1				1	2	205.312	0,174
Huevar	1							3	260.000	0,221
La Palma del Condado	1		2					5	273.600	0,233
Lucena del Puerto	1	1						2	83.038	0,070
Manzanilla	1	1	1		1			2	115.474	0,098
Matalascañas (Almonte)	1								1.800.000	1,530
Mazagón (Moguer)	1								492.100	0,418
Moguer	1	1					1	3	511.000 (2)	0,434
Niebla	1	1						5	292.000	0,248
Palos de la Frontera	1						5	5	580.000	0,493
Pilas	1	1		5	2			7	588.560	0,500
Rociana	1		2			1		3	263.000	0,223
Villalba del Alcor	1		1					2	168.446	0,143
Villamanrique de la Condesa	1							1	157.529	0,134
Villarrasa	1	1		1				1	116.800	0,099
<b>TOTAL .....</b>									<b>7.198.688</b>	<b>6,116</b>

(1) No incluye el consumo de El Rocio y Matalascañas.

(2) No incluye el consumo de Mazagón.

**c) Contaminación agrícola.**

La contaminación de aguas subterráneas por actividades agrícolas suele afectar, casi siempre, a grandes áreas, siendo el ión nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) el agente contaminante más abundante.

El empleo de fertilizantes nitrogenados en las zonas de regadíos, origina que una parte del N que contienen, se infiltre hacia el acuífero, disuelto en las aguas de riego.

Si bien la presencia del NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las aguas subterráneas se debe generalmente a esta causa, también contribuyen los vertidos de aguas residuales urbanas y en menor proporción, los vertederos de basuras.

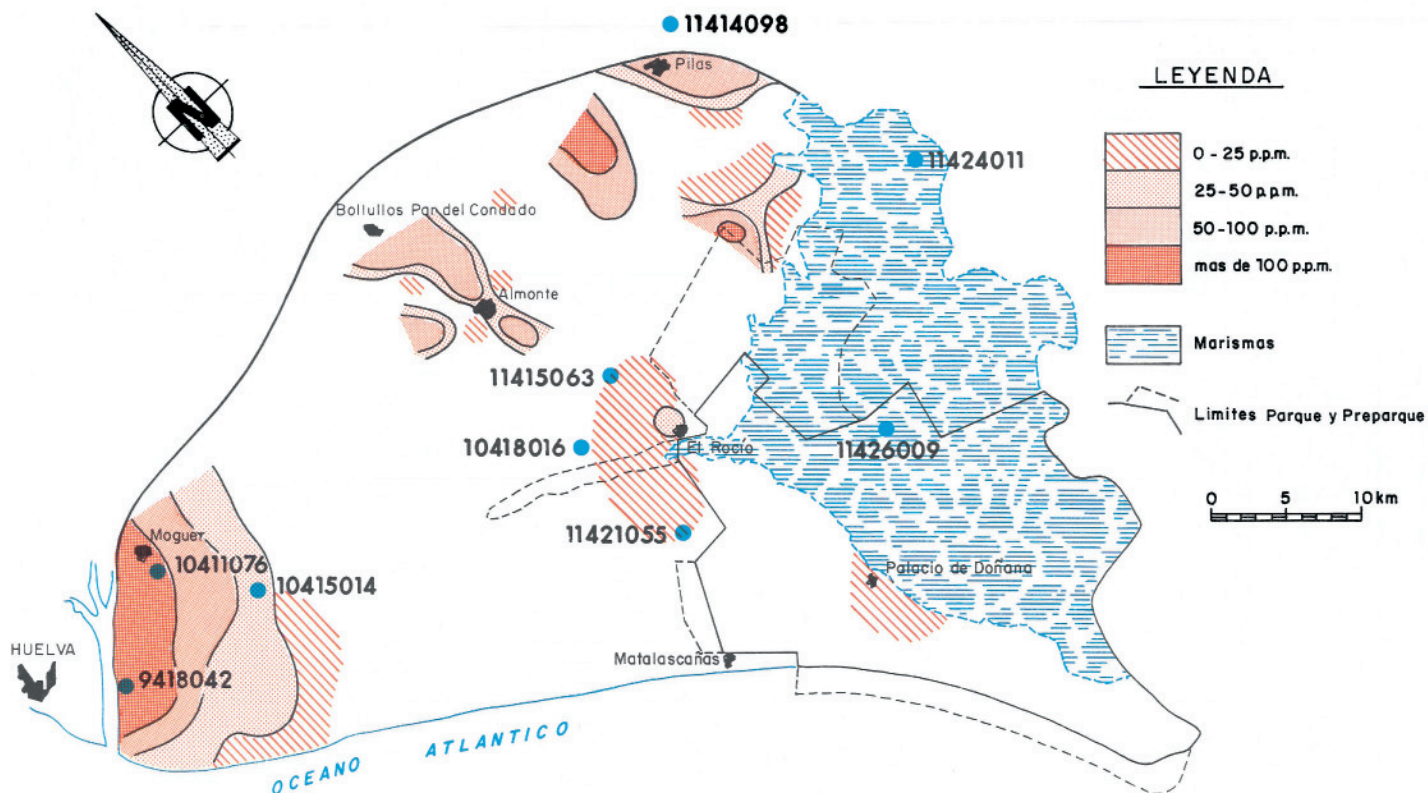
Durante los meses de octubre y noviembre de 1982 se analizó el contenido en nitratos de 104 muestras, resultando que las concentraciones máximas, (mapa nº 15), se encuentran fundamentalmente en la zona de Palos de la frontera y Moguer, y de forma más localizada alrededor de Hinojos y al sur y este de Villamanrique de la Condesa. En todas estas zonas se superan las 100 p.p.m.

Contenidos entre 50 y 100 p.p.m. se localizan alrededor de las anteriores, y en las proximidades de Bollullos Par del Condado, Rociana, Almonte, Pilas y Aznalcázar. Estas últimas contaminaciones probablemente tienen su origen en los vertidos líquidos residuales de dichas poblaciones y en el uso de abonos para la agricultura.

En el resto de la subunidad las aguas presentan contenidos en nitratos generalmente por debajo de las 25 p.p.m. en las zonas de acuífero libre. En el acuífero en carga prácticamente no se han detectado.

Dentro del sector del Parque Nacional de Doñana, los análisis realizados en los puntos de agua más significativos no han detectado concentraciones altas en nitratos, siendo ésta siempre inferiores a 25 p.p.m.

En lo que respecta a los pesticidas, que siempre en las aguas de superficie pueden ser considerados como contaminantes importantes, en el caso de las aguas subterráneas suelen ocasionar contaminaciones mucho menores, ya que son retenidos por el suelo vegetal y zona no saturada, y los que alcanzan el acuífero lo hacen en magnitudes prácticamente inapreciables.



**9418042**

● Punto de la red de control de calidad del ITGE y N° de inventario

Plano N° 15 - Contenido en nitratos

#### **d) Intrusión de agua salada.**

El acuífero Almonte-Marismas presenta áreas con un peligro potencial de intrusión de agua salada, ya que, por una parte está en contacto con el océano y por otra existe una zona, bajo las marismas, con aguas que tienen un elevado contenido salino.

En el entorno de estas dos áreas es imprescindible realizar una explotación correctamente programada con el fin de impedir que se produzca la intrusión de aguas saladas en las zonas del acuífero que actualmente tienen aguas de buena calidad.

En el sector costero, en Palos de la Frontera, Mazagón y Matalascañas se ha producido, en los últimos años un significativo aumento del volumen anual de bombeo destinado, en el primer caso a regadío y, en los otros a satisfacer la demanda urbana generada por el turismo. Dichos incrementos de la explotación, tienen un carácter marcadamente puntual y estacional, y no están suficientemente controlados, pudiendo llegar a ocasionar, de persistir el actual ritmo de crecimiento en los volúmenes extraídos, y sobre todo si estas extracciones no se hacen de forma ordenada y controlada, problemas puntuales con la aparición de aguas subterráneas saladas, en las áreas afectadas.

En las marismas, la progresiva eliminación de las explotaciones existentes, que se sitúan al oeste de la interfase que separa las aguas dulces de las saladas, reduce el peligro de que se produzca un avance, hacia el oeste, de esas aguas con elevada concentración salina. No obstante es preciso vigilar y controlar las explotaciones existentes en el borde de esta zona.

### **3.10. MODELO MATEMATICO**

En 1982, el ITGE elaboró, en base al programa bidimensional de Trescott, Prinder y Larson modificado y mejorado, un modelo digital del acuífero Almonte-Marismas, con el fin de disponer de una herramienta de trabajo que permitiese simular la respuesta del acuífero frente a distintas alternativas de explotación.

La aplicación del modelo se ha llevado a cabo en tres fases. La primera, en 1982 en la que se caló en régimen permanente y transitorio con los datos existentes. La segunda en 1986 en la que se consideraron las lluvias caídas en el periodo 1982 a 1986 y las explotaciones correspondientes y se obtuvieron las evoluciones que proporcionaba el modelo empleado, comparándose estos resultados con las evoluciones piezométricas reales. Por último, la tercera se llevó a cabo en 1987 y consistió en determinar las evoluciones del nivel de las aguas subterráneas, previstas por el modelo para los 25 próximos años en función de unas extracciones y precipitaciones determinadas.

En síntesis, los resultados obtenidos en cada etapa han sido los siguientes: El modelo se caló, en 1982 con suficiente precisión y con el siguiente balance, para un año medio, unos recursos hídricos del orden de 250 hm<sup>3</sup>, de los que 200 se infiltran y 50 escurren superficialmente, tal como se indica en el siguiente cuadro:

<b>Entradas:</b>	hm <sup>3</sup> /a
- Lluvia útil	250
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>
<b>Salidas:</b>	
- Escorrentía superficial	50
- Bombeos	44 *
- Pérdidas por transpiración en zonas de eucaliptus	48
- Drenaje del acuífero al océano	38
- Drenaje del acuífero a ríos, arroyos, etc.	30
- Pérdidas por evapotranspiración en zonas con nivel piezométrico muy superficial	25
- Drenaje del acuífero semiconfinado a través de las marismas	15
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>
* Los bombeos se estimaron en 54 hm <sup>3</sup> /a, de los que 44 se pierden a la atmósfera o se incorporan a seres vivos, etc. y 10 retornan al acuífero.	

Para el conjunto del sistema hidrogeológico, el modelo evidenció que los recursos que se explotan en cada zona del acuífero libre deben generarse en su entorno ya que, en general, tiene poca capacidad de respuesta a estímulos alejados del área considerada.

En 1986 se aplicó el modelo para contrastar las evoluciones piezométricas reales con las que proporcionaba la simulación, en función de las precipitaciones y extracciones producidas cada año. La coincidencia, entre ambas evoluciones, fueron muy aceptables para la mayoría de los piezómetros.

En 1987 se llevó a cabo una simulación de la evolución de los niveles del agua subterránea entre el año 1985 y el 2010, suponiendo que entre 1985 y el 2005 la precipitación sería constante e igual a 576 mm/a y que entre el 2005 y 2010 se reduciría en un 29%, para cada uno de los años considerados y que en todo el período la superficie en regadío, en entorno de las marismas, sería de 6.935 ha.

Con estas hipótesis de partida se obtuvieron los siguientes resultados:

- En el año 2005, se presentarían pequeñas zonas, al norte de El Rocío, en donde los descensos superan los 20 metros, y otras tres áreas, dos próximas al arroyo de la Rocina y la tercera al noroeste de las marismas en las que se localizan descensos superiores al metro. Estas tres zonas alcanzan una extensión conjunta del orden de 650 km<sup>2</sup>.

Con esta última hipótesis se producen unos descensos que son debidos, en parte, a las extracciones, y en parte a las desfavorables condiciones climáticas simuladas. Los debidos a estos últimos se evidencian incluso en sectores de la zona de dunas no influenciados por los bombeos. Por tanto estos resultados deben considerarse exclusivamente como indicativos y teóricos.

### **3.11. PROTECCION DEL ACUIFERO DE LA SUBUNIDAD ALMONTE-MARISMAS.**

La protección de un acuífero debe plantearse atendiendo a la conservación de la calidad de las aguas que contiene y limitando la explotación por debajo de determinados niveles que produzcan la sobreexplotación o efectos medio ambientales no deseados.

En relación con la protección de la calidad, ya se han indicado cuáles son las causas que pueden originar una degradación de la misma, y debe actuarse evitando los vertidos incontrolados urbanos e industriales y controlando al máximo el uso de abonos, fertilizantes, etc, en la agricultura y regímenes de bombeo en áreas costeras y próximas a marismas.

En cuanto a la explotación de las aguas subterráneas, el planteamiento es más complejo, ya que su cuantía depende de la recarga natural, reservas, características hidrodinámicas, etc, del acuífero y de las demandas generadas. En este sentido es preciso definir un orden de prioridades. Inicialmente, cuando se concibe y realiza el Plan Almonte-Marismas, el desarrollo agrícola de la zona tuvo un carácter prioritario. Con posterioridad y en la actualidad la necesidad de compatibilizar conservación y desarrollo ha condicionado las actuaciones haciéndolas más específicas y selectivas, con una marca de prioridad a la protección y conservación del medio físico y biológico. La importancia de esta estrategia incide, además, en los planteamientos originales, ya que ahora, no solo se solicitan caudales de agua, sino conocimientos muy específicos sobre el comportamiento del acuífero frente al medio físico. Es con este nuevo enfoque con el que trabaja actualmente el ITGE, lo que le permitirá aproximarse más a la realidad, y poder eliminar algunas simplificaciones, sin interés a escala del sistema, que fueron asumidas para la realización del modelo matemático actual.

Todos estos estudios, y los que en cada momento se consideren de interés, quedarán perfilados e integrados dentro de la estrategia del Patronato del Parque Nacional de Doñana, organismo encargado de velar por la conservación de esta importante reserva, y del que el ITGE forma parte como miembro del Pleno General.



*Frente de dunas móviles*



### 4.- AGRADECIMIENTOS

El ITGE agradece la colaboración prestada para la realización de este Informe a todos los Organismos y Personas, públicos y privados en especial a los siguientes:

- Instituto Andaluz de Reforma Agraria (IARA):
- Instituto Nacional de Conservación de la Naturaleza (ICONA):
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir:
- Agencia de Medio Ambiente de Andalucía
- Ayuntamientos de la zona: Almonte, Hinojos, Aznalcazar, Pilas, Villamanrique de la Condesa, Palos de la Frontera y Moguer.
- Estación Biológica del Parque Nacional de Doñana.
- Patronato del Parque Nacional de Doñana.



### 5.- BIBLIOGRAFIA

CAUCE 2000.- "Doñana, con el agua al cuello". Revista cultural, técnica y profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos. Número 16 enero-febrero 1986.

COMISARIA DE AGUAS DEL GUADALQUIVIR (1982).- "Hidrología isotópica de las aguas subterráneas del Parque Nacional y zona de influencia".

COMISARIA DE AGUAS DEL GUADALQUIVIR (1982).- Varios años, datos calidad aguas superficiales. Inédito.

ELIAS CASTILLO, F. y JIMENEZ ORTIZ, R.- "Evapotranspiraciones potenciales y balances de agua en España". Ministerio de Agricultura. Madrid, 1965.

ELIAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRAN, L. (1977).- "Agroclimatología de España". INIA. Cuaderno número 7.

GRAN ENCICLOPEDIA DE ANDALUCIA.

IARA.- Datos piezométricos Almonte-Marismas. Inédito.

ICONA.- "Parque Nacional de Doñana". Mapa ecológico.

ICONA (1967).- "Las Marismas del Guadalquivir y su rescate". Estudios. Vol. V, nº 29. Madrid.

IRYDA (1976).- "Informe final de los sondeos de la zona regable de Almonte-Marismas y síntesis hidrogeológica".

IRYDA (1978).- "Informe sobre el control y vigilancia del acuífero Almonte-Marismas durante los años 1975 a 1977".

IRYDA (1978).- "El Estuario del Guadalquivir y su problemática agro-social. IRYDA información. Número extraordinario 8. Madrid.

ITGE (1971).- "Programa Nacional de Investigación Minera. Mapa Hidrogeológico Nacional y programa previo de investigación de aguas subterráneas".

ITGE (1974).- "Memoria del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares".

ITGE (1975).- "Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS):

- "Primer informe sobre el modelo matemático del acuífero de Almonte-marismas".
- "Informe hidrogeológico de Mazagón (Huelva)".
- "Informe hidrogeológico abastecimiento a la Palma del Condado (Huelva)"

ITGE (1976).- "Evolución de niveles piezométricos en los sistemas acuíferos". Cuenca del Guadalquivir. Serv. Publ. del Ministerio de Industria y Energía.

- "Informe preliminar sobre la realización y resultados del modelo matemático de Almonte-Marismas".
- "Modelo matemático del sistema acuífero de Almonte-Marismas".
- "Mapa hidrogeológico de Sevilla-Carmona".
- "Sondeo abastecimiento Mazagón I (Huelva)".
- "Informe técnico sondeo abastecimiento a Chucena (Huelva)".
- "Aforos sondeos finca Marismillas T.M. La puebla del Río".
- "Manto acuífero Almonte-Marismas".

ITGE (1977).- "Estudio hidrogeológico Mazagón (Huelva)".

ITGE (1978).- "Contaminación de las aguas subterráneas en la región andaluza. Aspectos generales".

ITGE (1978).- "Informe técnico sondeo abastecimiento de Mazagón V (Huelva)".

ITGE (1979).- "Informe técnico sondeo abastecimiento a Pilas (Sevilla)".

ITGE (1980).- "Estudio gráfico del grado de cobertura por estudios hidrogeológicos en la cuenca del Guadalquivir".

ITGE (1985).- "Calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del Sur de España". Programa Nacional de Gestión y Conservación de los Acuíferos. Colección Informe.

ITGE (1982).- "Estudio hidrogeológico actualizado del sistema acuífero nº 27: Unidad Almonte-Marismas".

ITGE (1982).- "Modelo matemático bidimensional del sistema nº 27: Unidad Almonte-Marismas".

ITGE (1985).- "Calidad de las aguas subterráneas en la cuenca baja del Guadalquivir".

ITGE (1982) "Evolución piezométrica de los acuíferos de la cuenca baja del Guadalquivir hasta 1980-81".

ITGE (1984) "Síntesis hidrogeológica del Guadalquivir".

ITGE (1984) "Calidad de las aguas subterráneas en Andalucía: Situación actual y focos potenciales de contaminación".

ITGE (1984) "Hoja hidrogeológica de Sevilla. Escala 1:200.000".

ITGE (1984) "Hoja hidrogeológica de Huelva. Escala 1:200.00".

ITGE (1984) "Estudio hidrogeológico del acuífero Palos-Moguer (Huelva)".

ITGE (1982).- "Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno". Colección Informe.

ITGE (1983).- "Estudio hidrogeológico del acuífero Almonte-Marismas. Estudio Geofísico de la interfase agua dulce-agua salada".

ITGE (1986).- "Actualización de los datos hidrogeológicos de Almonte - Marismas. Aplicación del modelo matemático bidimensional del sistema acuífero nº 27. Procesamiento de datos de ordenador.

ITGE (1987).- "Simulación de la evolución piezométrica del acuífero Almonte-Marismas. Horizonte año 2.010".

ITGE (1987).- "Mapas de Normas de explotación de acuíferos". Escala 1:50.000. 982 (La Palma del Condado), 983 (Sanlúcar La Mayor), 999 (Huelva), 1000 (Moguer), 1001 (Almonte), 1017 (El Abalario), 1018 (El Rocío), 1033 (Palacio de Doñana), 1047 (Sanlúcar de Barrameda).

ITGE.- "Mapa Geológico de España". Escala 1:50.000 Segunda serie (MAGNA), 1000 (Moguer), 1001 (Almonte), 1017 (El Abalario), 1018 (El Rocío), 1019 (Palacios y Villafranca), 1033 (Palacio de Doñana). (1975 - 1977)

J.A. CONSEJERIA DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES (1987).- "Plan Director territorial de coordinación de Doñana y su entorno".

LUCENA, C. y GARCIA, E. (1978).- "El modelo matemático del sistema acuífero de Almonte-Marismas". Bol. Geol. y Min. T. LXXXIX-II. Madrid.

MAPA DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTO.- Escala 1:50.000 IRYDA. Serv. Publ. del Ministerio de Agricultura.

JUNTA DE ANDALUCIA (1982).- "Publicaciones de las Jornadas Andaluzas para el estudio de la problemática de las zonas húmedas".

LOIC MENANTEAU (1980).- "Les Marismas del Guadalquivir".  
Exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du quaternaire recent".  
Tesis doctoral.

LOPEZ VILCHEZ, L, MARTIN MACHUCA, M. (1983).- "Las aguas subterráneas en el P.N. de Doñana. Hidrogeología del sistema acuífero nº 27, Almonte-Marismas". III Simposio Nacional de Hidrogeología. Madrid.

MOPU (1979), DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS.- "Informe hidrogeológico y de recursos hidráulicos, desagües y vertidos, y posibles incidencias de los mismos en el parque Nacional de Doñana".

MOPU (1984).- "Las zonas húmedas en Andalucía". Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente.

PROYECTO DEL GUADALQUIVIR. IGME-FAO (1964).- "Requete du Gouvernement de l'Espagne au Fond Special des Nations Unies. Etude des resouces en eaux souterraines du bassin du Guadalquivir".

PROYECTO DEL GUADALQUIVIR. IGME-FAO (1967).- "Informe hidrogeológico sobre la región del Bajo Guadalquivir y la región de Huelva". Informe técnico.

- "Rappot sur les resultats de la prospection Geophysique" por STIER; J.L. Roma. Informe interno.
- "Recherches hydrogeologiques dans le bassin du Guadalquivir. Note sur l'écoulement des pluies" por DE CAZENEUVE, E. Informe interno.
- "Finca piloto Las Marismas". FAO. Roma. "Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir".

PROYECTO DEL GUADALQUIVIR. IGME-FAO (1975).- "Proyecto de transformación de la zona regable Almonte-Marismas". Informe técnico. J. PNUD-FAO. Roma.

RODRIGUEZ AREVALO, F. JAVIER (1984).- "Estudio hidrogeológico de la zona de contacto entre los depósitos eólicos y de marisma en el área de Doñana (La Vera-La Retuerta): Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

SCOPE (1987).- "La cantidad y calidad del agua disponible en el Coto de Doñana". Informe final reunión de trabajo. Sevilla.

TENAJAS LOPEZ, JESUS, L. (1984).- "Contribución a la hidrogeología e hidroquímica de las marismas del parque Nacional de Doñana con aplicación del análisis de imágenes Landsat". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas Universidad Complutense de Madrid.

VELA GUZMAN, ANTONIO, L. (1984).- "Estudio preliminar de la hidrogeología e hidroquímica del sistema de dunas móviles y flecha litoral del Parque Nacional de Doñana". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

c/ Rios Rosas, 23. 28003 MADRID  
Tel.: 441 65 00 - Fax: 442 62 16

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO  
SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

