

## La importancia de los trabajos de campo en la confección del modelo del terreno para aplicaciones en ecología

J. A. Mintegui Aguirre<sup>1\*</sup>, J. C. Robredo Sánchez<sup>1</sup> y J. I. García Viñas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Unidad de Hidráulica e Hidrología.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid. España

<sup>2</sup> Departamento de Producción Vegetal: Botánica y Protección Vegetal. Unidad de Botánica.

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid. España

---

### Resumen

Se pretende demostrar la extraordinaria incidencia que tienen los trabajos de campo en la confección de determinados modelos ecológicos, en los que el relieve del terreno condiciona el hábitat de sus principales comunidades vegetales. Se ilustra esta hipótesis con un ejemplo extraído de la marisma del Parque Nacional de Doñana, donde su morfología es uno de los factores principales que configura la fisonomía del paisaje vegetal, al condicionar la expansión de las principales agrupaciones vegetales perennes del sistema marismeano.

**Palabras clave:** nivelación geométrica, cota del terreno, hito-feno, hábitat central, hábitat marginal, valencia ecológica.

### Abstract

#### Importance of field inspections to carry out terrain model for applications on ecology

The main aim of this paper is to highlight the extraordinary importance of field surveying for carrying out certain ecological models in which habitats of vegetal communities are conditioned by land elevation. An illustrated case study in the wetlands of Doñana National Park shows the key role of Field Inspections, particularly since morphology (altitude attribute) is one of the first factors that condition the superficial expansion of the main vegetal perennial communities within the wetland system.

**Key words:** geometric levelling, land elevation, landmark, central habitat, marginal habitat, ecological valency.

---

### Introducción

Cuando en 1995 iniciamos el estudio de los procesos sedimentarios en la marisma del Parque Nacional de Doñana, en adelante PND, se nos recomendó atender de un modo especial a la incidencia de tales procesos en el relieve de sus elementos más singulares, como son los *lucios* y los *caños*. Tal exigencia sólo se podía garantizar con una nivelación geométrica de las secciones más representativas de los citados elementos, por lo que se efectuaron las operaciones topográficas destinadas a tal fin. La posterior extensión de éstas por toda la marisma del PND entre 1995-99, permitió obtener una red de nivelación altimétrica para todo el territorio. Esta red ha supuesto, además de una base para un futuro modelo del terreno de la ma-

risma, el soporte de la investigación que a continuación se expone sobre la relación entre las cotas del terreno y las agrupaciones vegetales permanentes existentes en las mismas; una relación que científicamente resulta compleja de abordarla de otra manera; aunque su conocimiento empírico cualitativo nunca haya sido desconocido para la gente del lugar.

La marisma del PND, cuyos elementos más significativos de su relieve se exponen como paso previo y obligado al contenido de este artículo, está situada en el margen derecho de la desembocadura del río Guadalquivir, entre las provincias de Huelva y Sevilla. Sus límites geográficos están incluidos en el Huso 29 entre las coordenadas UTM siguientes: extremo septentrional: Y = 4.011.126 m; extremo meridional: Y = 4.081.934 m; límite occidental: X = 722.739 m y límite oriental: X = 743.295 m; que se corresponden con las coordenadas geográficas tradicionales: 36° 12' 49,8" y 36° 51' 23,4" de latitud N y 6° 17' 37,1" y 6°

---

\* Autor para la correspondencia: [jmintegui@montes.upm.es](mailto:jmintegui@montes.upm.es)  
Recibido: 29-09-03; Aceptado: 19-12-03.

30' 6,0" de latitud W. Tiene una superficie de 26.572 ha, en las que no se incluyen ni la pequeña porción de terreno situada más allá de *Entremuros*, llamada *El Matochal* (aproximadamente 530 ha) al este; ni la finca de *Caracoles* (algo más de 2.600 ha) al noreste.

Su relieve presenta un modelado fluvio-litoral que es el resultado final del último ascenso post-glacial del nivel del mar, llamado *Transgresión Flandriense* (Rodríguez A., 1998, tomado de Lario J., 1996). En fases posteriores, pequeñas variaciones del nivel del mar interaccionaron con el flujo de los cauces y favorecieron la sedimentación; de este modo poco a poco fue evolucionando a un sistema de marisma y la influencia mareal fue perdiendo peso frente a la de los cauces. Se estima que la marisma quedó parcialmente continentalizada con anterioridad al 4.000 BP (Rodríguez A., 1998). Los ríos, ya entonces el Guadalquivir y la Rocina, así como los caños del Guadiamar y Travieso, cambiaron varias veces la posición de sus cursos. Hoy en día, prácticamente solo existe influencia fluvial.

Resultado de esta compleja interacción de las fuerzas fluviales y mareales a lo largo del tiempo, es un relieve casi llano, con pequeñas elevaciones y depresiones, en la actualidad muy reducidas. En esa gran llanura se distinguen fundamentalmente las siguientes unidades:

— Los *lucios*, considerados huellas de los antiguos cauces del Guadalquivir, son depresiones de una cierta extensión, donde se localizan las cotas más bajas de la marisma; en la mayor parte de sus superficies están desprovistas de vegetación.

— Los *caños*, se trata de las otras zonas de menores cotas y son las prolongaciones de los cauces tributarios en el interior de la marisma. Muchas veces están cubiertos de vegetación, pero también presentan importantes tramos descubiertos.

— Los *paciles*, son las grandes áreas prácticamente llanas que se encuentran entre los *lucios* o entre los *caños*. Son zonas de cota relativamente elevada, en las que la inundación toma muy poco calado (algún centímetro) y resulta breve. Están dominados por matas de almajor (*Arthrocnemum macrostachyum* (Moris.) Moris).

— Los *hondones*, son superficies de cota más baja que los *paciles* y de menor extensión, en los que la inundación se prolonga; están ubicados en el interior de la marisma y con frecuencia cubiertos de castañuela (*Scirpus maritimus* L.) o de bayunco dulce (*Scirpus lacustris* L.).

— Las *quebradas*, son pequeños escalones de erosión fluvial, que se encuentra junto al lecho de algunos caños.

— Las *vetas*, son unas áreas elevadas, poco extensas y de textura arenosa, intercaladas en la gran superficie arcilloso-limosa de la marisma; proceden de playas (paleomárgenes) del estuario del pasado y han sido datadas por (Rodríguez A., 1998). Cuando las vetas son pequeñas se llaman *vetones*.

— El *levé* (o *levée*), es una elevación natural longitudinal que recorre el margen del río Guadalquivir. En los últimos años ha sufrido una sensible degradación y en la actualidad se ha levantado un muro paralelo para recrecerlo artificialmente (*montaña del río*).

— Los *ojos*, son zonas de surgencia de agua de superficie reducida. El mayor, *Juncabalejo*, está rodeado de carrizos (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel); los restantes son pequeños.

También existen transformaciones antrópicas que se han introducido en tiempos recientes, entre las que se pueden destacar:

— La actual *montaña del río*, es un dique de tierra de cota algo inferior a los 3 m que bordea el río Guadalquivir al sur de la marisma, impidiendo que ésta desagüe al Guadalquivir. Pretende ser un recrecimiento artificial del antiguo levé del río.

— Los *muros*, el situado al norte del PND o *muro de la FAO* y los situados al este del mismo, conocidos como *Entremuros*, junto con la posterior prolongación de estos últimos para evitar la entrada en la marisma del PND de las aguas con lodos tóxicos procedentes del Guadiamar, tras la rotura de la presa de Aznalcóllar (1998).

— Los *sacatierras*, son una especie de pequeños *lucios artificiales*. Se originaron, unos con la toma de tierras para la construcción de la *montaña del río* y otros con la reciente prolongación del muro de *Entremuros*. Están situados en las proximidades de los muros, generalmente alineados con ellos y son de superficies reducidas y de poca profundidad.

— Ciertas alteraciones en el desarrollo de los caños que desembocan directamente al Guadalquivir, como en los caños de *Brenes* o de la *Figuerola*.

— Las viejas y abandonadas Salinas de San Rafael.

Todas estas unidades naturales y artificiales regulan la distribución espacial del agua en la marisma y condicionan con ello su vegetación. Como recogen (Clemente L. *et al.*, 1998), siguiendo a otros investigadores anteriores, tradicionalmente se han distinguido en la marisma del PND tres grandes zonas: la llamada *marisma alta*, a la que se le atribuye una cota mayor de 3 m; la *marisma media*, entre 2 y 3 m y la *marisma baja*, de altitud menor de 2 m.

El presente estudio profundiza en el relieve de la marisma del PND, precisando la altimetría de sus diferentes zonas, a través de la información obtenida de los trabajos de nivelación geométrica efectuados en la misma; para posteriormente concretar las relaciones entre las cotas del terreno y las agrupaciones vegetales permanentes que las ocupan.

## Material y Método

Se tratan por separado las operaciones topográficas desarrolladas en la marisma, de los trabajos de reconocimiento e inventario de la vegetación en la misma, que se apoyan en la altimetría del terreno obtenida con las operaciones anteriores y cuya realización se efectuó con un pequeño desfase respecto de las primeras.

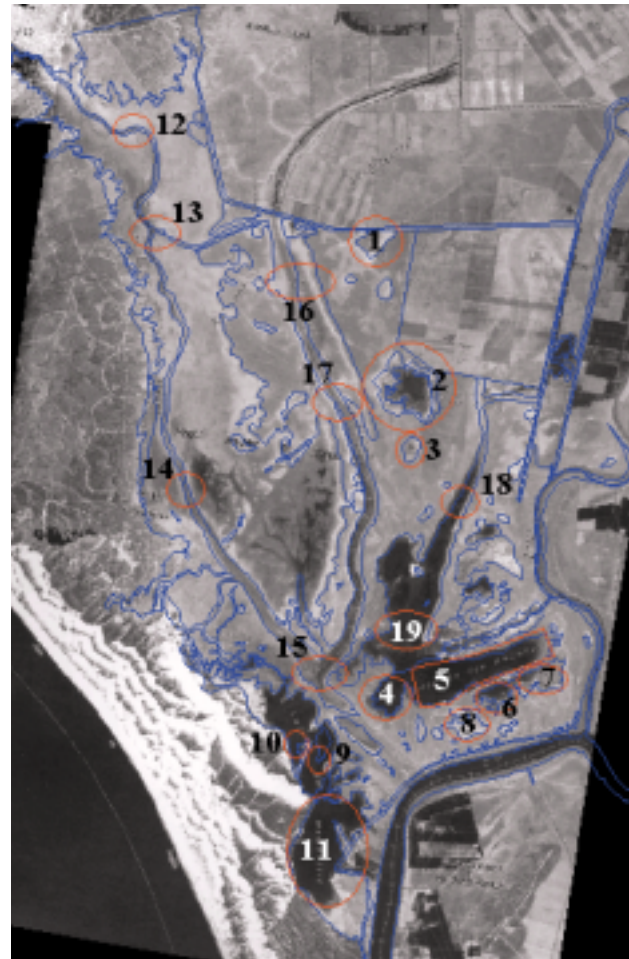
### Las operaciones topográficas efectuadas en la marisma: Altimetría del terreno

En la marisma la altitud del terreno es un factor relevante para la vegetación, por la influencia directa que ejerce sobre la distribución espacial y temporal del agua, que condiciona los hábitats de las diferentes agrupaciones vegetales de la misma. En las zonas más bajas, la altura media del agua y el tiempo de permanencia son mayores, frente a las más elevadas, en que ocurre todo lo contrario.

El objetivo inicial de los trabajos de nivelación geométrica desarrollados en la marisma del PND entre 1995-99, fue tratar de cuantificar a través de los mismos la sedimentación que tenía lugar en los *lucios* y en las secciones transversales de los *caños*. Pero simultáneamente y desde el primer momento, se consideró que la disposición de las operaciones en el campo se podría realizar de forma tal, que la información obtenida fuera válida para el desarrollo de los posteriores modelos hidráulico y sedimentario, que lógicamente se asentarían sobre el *modelo del terreno* obtenido a través de las operaciones topográficas mencionadas. Éstas también han servido para el objetivo que se expone en este trabajo: la relación dentro de la marisma entre las cotas del terreno y las agrupaciones vegetales permanentes existentes en las mismas.

Se acordaron con los técnicos del PND los criterios a seguir en los trabajos de campo; de este modo, se decidió llevar a cabo una *nivelación de precisión* de los

ejes longitudinales de los principales *lucios* situados en el interior del Parque. Éstos, que aparecen señalados en la Figura 1, son los siguientes: lucios del Lobo (1), Mari López (2) y Mari López Chico (3), complejo lucio del Rey (4)-lucio de los Ánsares (5), lucios de Sanlúcar (6), Sevilla (7), el Molinillo (8), Vetallengua grande (9), Vetallengua chico (10) y del Membrillo (11). Para el caso de los *lucios* de mayor extensión (lucio del Membrillo y complejo de lucios del Rey – de los Ánsares) se proyectó también la nivelación de su eje transversal en su tramo central. También se incluyó en el inventario de los tramos a *nivelar con precisión* cuatro secciones transversales en el caño de la Madre, el más largo de los cauces que atraviesa la marisma (12), (13), (14) y (15); dos secciones transver-



**Figura 1.** Ubicación de los elementos singulares donde se efectuaron nivelaciones de precisión (lucios y secciones transversales de los caños) en la marisma del Parque Nacional de Doñana. Fondo: Imagen LANDSAT-5TM de 9-7-90, editada por la Junta de Andalucía.



**Figura 2.** Hito-feno H55, en el extremo oriental del lucio de los Ánsares, en una zona de almajar mixto.

sales en el caño Guadiamar (16) y (17) y otras secciones en el caño Travieso (18) y (19) (Figura 1).

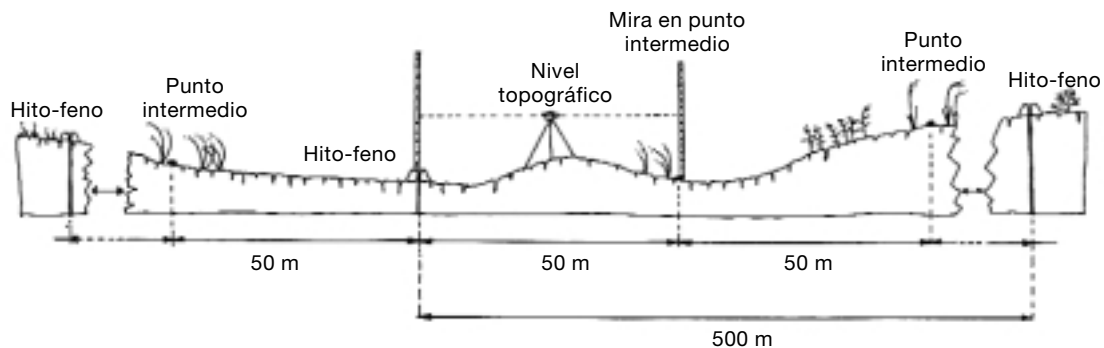
Para llevar a cabo la nivelación de precisión, tanto en los ejes de los citados *lucios* como en las *secciones transversales de los caños*, se comenzó delimitando los mismos en tramos de 500 m (medidos con cinta métrica) que se orientaron con una brújula, en cuyos extremos se colocaron unos hito-fenos de referencia (Figura 2), operación habitual en los trabajos topográficos. Los hito-fenos se numeraron y marcaron, para facilitar su posterior identificación en el campo. En total se instalaron en la marisma 97 hito-fenos.

Dentro de cada tramo, la nivelación se realizó para distancias de 50 m con un nivel de burbuja (Wild-Heerbrugg n° 6863, de 25 aumentos). El tiempo empleado para completar un tramo (replanteo e itinerario de ida y vuelta nivelando), aunque variable dependiendo de las condiciones meteorológicas del día, superaba en cualquier caso las tres horas. En la Figura 3 se mues-

tran gráficamente las operaciones de *nivelación de precisión*, que además de permitir la definición de la altimetría del terreno en la marisma del PND; sirvió también de apoyo para las posteriores operaciones de identificación e inventario de las principales agrupaciones vegetales perennes presentes en la marisma.

Desde el inicio de las operaciones topográficas, se planificó unir las *nivelaciones de precisión* unas con otras, para construir una red que facilitara la confección de un futuro *modelo del terreno de la marisma*. Ello se podía abordar mediante una triangulación convencional de toda la marisma; pero las características físicas de ésta, sobre todo los problemas de reverberación atmosférica, dificultaban este tipo de operaciones. Por ello se optó por utilizar un GPS para dotar de coordenadas planimétricas ( $x, y$ ) a los 97 hito-fenos instalados y repartidos por toda la marisma y determinar la cota altimétrica ( $z$ ) mediante una *nivelación geométrica* (de *precisión* tratándose de los *lucios* y de las secciones transversales elegidas en los *caños* y de *unión* para enlazar los citados elementos, *lucios* y secciones transversales de los *caños*, repartidos por toda la extensión de la marisma).

Para referenciar con un punto común las cotas altimétricas de los 97 hito-fenos, en un primer momento (18-09-1996) se planteó y llevó a cabo la nivelación de precisión entre el vértice geodésico de Trigo (pequeña colina próxima al lucio del Membrillo), de primer orden dentro de la clasificación adoptada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el hito-feno H81, situado en el extremo del eje transversal del lucio del Membrillo más próximo al citado vértice. Más adelante (20-11-98) se tuvo conocimiento de otro punto de cota conocida, situado cerca de la *montaña del río*, junto al Guadalquivir. Dicho punto, definido y ma-



**Figura 3.** Esquema general del procedimiento de la nivelación de precisión. Con indicación de los hito-fenos y de los puntos intermedios generados en el proceso de la nivelación, alrededor de los cuales se ubicaron las parcelas del posterior inventario de la vegetación.

terializado por una placa de bronce empotrada en el basamento de una antigua baliza del río con las iniciales *J.P.S.-N.T. 106* (*Junta del Puerto de Sevilla-Nivel del Terreno 106*) junto a la casa de san Isidoro, tiene de cota 4,018 m respecto del nivel del mar en Alicante.

Dado que la cota de la citada placa de bronce sirvió de referencia para las obras de construcción de la *montaña del río*, en lo sucesivo se optó como punto de referencia para dar cota altimétrica a los hito-fenos y demás puntos singulares de la marisma que constituyen su red altimétrica. De este modo las cotas de todos los puntos singulares quedaban mejor referenciadas con el río y sus mareas.

Volviendo nuevamente a las *nivelaciones de unión*, estas operaciones permitieron enlazar entre sí todos los tramos en los que se llevaron a cabo las *nivelaciones de precisión*. Realizar las mismas con igual rigor que el empleado en la medición de los elementos singulares (*lucios* y secciones transversales de los *caños*) resultaba inviable, debido a la gran extensión que ocupa la marisma del PND; pero, por otro lado, se deseaba continuar con un nivel de precisión adecuado en la definición de la coordenada altimétrica *z*, correspondiente a cada uno de los 97 hito-fenos repartidos por el Parque.

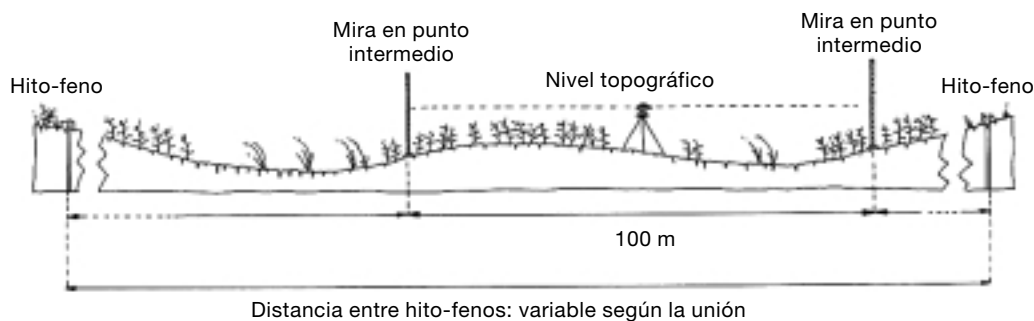
Por ello se optó por continuar con la nivelación geométrica, utilizando en este caso un nivel automático (Pentax AML 320, de 32 aumentos) operando con tramos de 100 m (Figura 4), situando en el centro el aparato. De este modo se operó en todas las *nivelaciones de unión* entre los hito-fenos instalados en la marisma (entre los situados en los extremos de dos *lucios* consecutivos; así como entre éstos y los de los *caños* y también entre estos últimos entre sí).

En estas *nivelaciones de unión* no se planteó efectuar el itinerario de ida y vuelta, sino nivelar forman-

do polígonos que se cerraban en el punto de partida, después de enlazar varios elementos singulares. Como conclusión, tras el cierre de los polígonos de nivelación y la comprobación de que el error cometido en el cierre resultaba admisible, se compensaron los errores y se determinaron los valores definitivos de las cotas altimétricas *z* de cada uno de los 2.281 puntos establecidos con la nivelación; de ellos 160 puntos disponen de elementos de identificación sobre el terreno y de estos últimos 97 corresponden a los hito-fenos (en los que la cota se definió en la coronación del clavo de anclaje al terreno) y 30 se refieren a la base de las escalas de medida de inundación de la marisma. Salvo en los hito-fenos, en los casos restantes la cota *z* se refiere directamente a la cota del terreno y en todos los casos tienen precisión de milímetro; superando las necesidades para el posterior análisis de la vegetación, pero dentro de lo exigido para conocer los procesos de sedimentación en la marisma.

### Operaciones de identificación e inventario de las principales agrupaciones vegetales presentes en la marisma

Su objetivo era conseguir una caracterización de la fitocenosis de la marisma del PND, para lo que se tomó una muestra de 1.390 parcelas repartidas por la misma, en las que se identificaron las agrupaciones vegetales existentes en ellas, así como otras características relacionadas con su presencia, con las que se completó un inventario de la vegetación de la marisma. A cada parcela se le asoció su cota altimétrica, procedente de los trabajos topográficos comentados en el epígrafe anterior, que se le hizo corresponder con su punto central y ofrecía una precisión de milímetro. Las



**Figura 4.** Esquema general del procedimiento de la nivelación de unión. Con indicación de los hito-fenos y de los puntos intermedios generados en el proceso de la nivelación, alrededor de los cuales se ubicaron las parcelas del posterior inventario de la vegetación.

distancias a las que se tomaron las parcelas fueron de 50 ó 100 m, según el tipo de nivelación topográfica sobre la que se apoyó (de *precisión* o de *unión*). De los 1.390 inventarios efectuados sobre parcelas de cota conocida, se desestimaron algunos, porque estaban localizados en puntos atípicos (interior de un corral, encima de un muro, etc.), o porque concurrían otras circunstancias particulares, quedando finalmente 1.289. Estas operaciones de campo se realizaron básicamente durante los veranos de los años hidrológicos 1998-2000, con la marisma completamente seca, circunstancia que condicionó a que el estudio se refiriera con mayor detalle a las agrupaciones vegetales perennes.

Para clasificar las agrupaciones vegetales se adaptó el sistema del *Mapa Forestal de España* (Ruiz de la Torre J., 1990). De acuerdo con él, la vegetación de la marisma está situada en *Cubierta Intrazonal*, con dos *Tipos* que se suceden sin solución de continuidad y con una distribución espacial compleja: *Halohidrófilo* (de aguas más o menos salinas) y *Glicohidrófilo* (de aguas dulces o ligeramente salinas), con un total de 17 agrupaciones vegetales y 2 agrupaciones sin vegetación que se han llamado desiertos. La Figura 5 detalla las diferentes agrupaciones establecidas en la marisma.

En cuanto al tamaño de las parcelas del inventario, tras de un periodo de prospección, se eligió un tama-

ño de 2 × 2 m. Este valor se consideró lo suficientemente pequeño para que se le pudiera atribuir la misma cota a toda la parcela y adecuado para reflejar la estructura y diversidad de la composición florística. Para el modelo de inventario de la vegetación se realizó una adaptación del propuesto por Ruiz de la Torre J., Ruiz del Casdtillo J., 1978, que se representa en la Figura 6. Los campos de registro y los parámetros considerados en el mismo se detallan a continuación.

— *Número*: Número ordinal de inventario.

— *Fecha*: La del día en el que se realizó el inventario y se tomó la muestra de suelo

— *Punto del itinerario*: Código numérico empleado en los trabajos topográficos y que caracteriza cada punto. Por ejemplo, NH64H63P01, en la nivelación de precisión entre los hito-fenos H64 y H63, el punto de estación 1°, a 50 m del H64 y en sentido hacia H63.

— *Fotos*: Para indicar si se tomó alguna imagen fotográfica.

— *Agrupación vegetal*: Tomada según la comunidad vegetal presente en la propia parcela y su entorno inmediato. En casos de duda, por aparentar o manifestarse entremezcladas o superpuestas dos agrupaciones, se procedió a indicar la existencia de ambas.

— *Talla*: La estimada como promedio. Medida con cinta métrica y expresada en metros.

— *Cubierta total*: En otras metodologías se conoce por *cobertura*. Es la estimación de la proyección horizontal de la componente vegetal en la parcela. Se valora por comparación visual con una plantilla con diversos porcentajes definidos, como la que se puede encontrar en Ruiz de la Torre J., Ruiz del Castillo J., 1978. En algunos casos se procedió a realizar estimaciones intermedias entre los modelos preestablecidos.

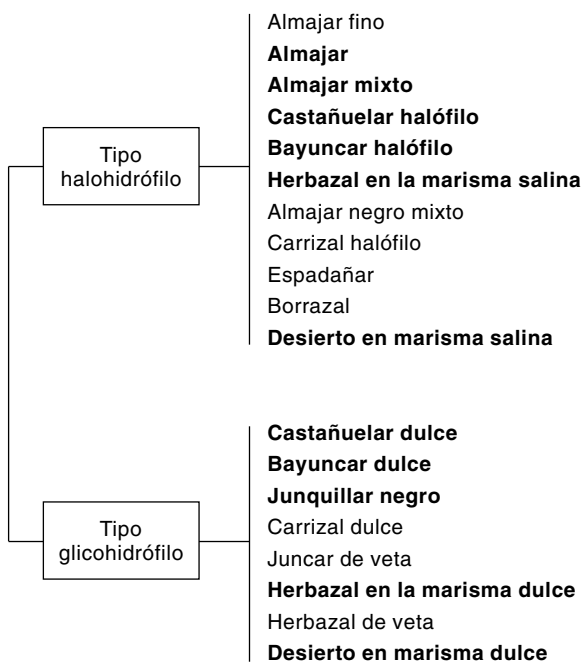
— *N° de estratos*: Indica la existencia de uno o más estratos verticales.

— *Modelos de distribución horizontal*: Indica la forma de distribución de las plantas en la parcela, de acuerdo con 3 tipos fundamentales:

- *Uniforme*: Cuando las plantas se distribuyen por igual en la parcela, esto es, sin discontinuidades apreciables a simple vista.

- *Mosaico irregular*: Cuando se presentan, en una parcela prácticamente plana, piezas con plantas y sin ellas distribuidas de forma irregular.

- *Mosaico de altura*: Correspondiente a un perfil ondulado. Es muy característico de determinadas zonas de la marisma, en las que se presenta un microgradiente altitudinal, como ocurre con frecuencia en el almajar mixto; en el que hay una red de pequeñas



**Figura 5.** Esquema general de la vegetación de la marisma del PND. En negrita las agrupaciones tratadas en este estudio.

Número:	Fecha:	
Punto del itinerario:	.....	
Fotos:	Agrupación veg.:	
Talla media:	Cubierta total:	Nº estratos:
Modelo de distribución horizontal:		
Cubierta estrato super.:	Cubierta estrato infer.:	
Muestra de suelo:	Situación:	Ganado:
<b>ESPECIES:</b>	<b>% Cubt.</b>	
.....	.....	
.....	.....	
.....	.....	
.....	.....	
.....	.....	
.....	.....	
<b>Observaciones:</b>		

**Figura 6.** Modelo de la ficha del inventario.

depresiones, con la zona más baja generalmente sin plantas, en los márgenes, algo más altos, se sitúa el candilejo (*Juncus subulatus* Forsskal) y a cierta altura, en la parte superior, el almajo (*Artrocnum macrostachyum*).

— *Cubierta del estrato super.:* Cubierta del estrato superior. Cuando hay varios estratos, es el porcentaje de proyección horizontal del superior. Estimada por el mismo procedimiento que la cubierta total.

— *Cubierta del estrato infer.:* Cubierta del estrato inferior. Cuando hay varios estratos, es el porcentaje de proyección horizontal del inferior. Estimada por el mismo procedimiento que la cubierta total.

— *Muestra de suelo:* Señala si se tomó muestra de suelo para estimar la conductividad.

— *Situación:* Indica la posición relativa en el entorno próximo. Valor 1, cuando está en un entorno semejante y valor 2, para cuando está en un borde o zona de transición.

— *Ganado:* Valoración de la influencia del ganado en la vegetación de la parcela, de acuerdo con una apreciación visual expresada mediante los siguientes grados:

- *Grado 0:* Sin influencia apreciable. Sin plantas comidas.
- *Grado 1:* Algún extremo de alguna planta mordida, pero sin influencia aparente en la estructura.
- *Grado 2:* Alguna planta comida, pero con baja influencia en la estructura.
- *Grado 3:* Menos del 50% de las plantas comidas, pero con una clara influencia en la estructura de la vegetación de la parcela.
- *Grado 4:* Más del 50% de las plantas comidas.
- *Grado 5:* Todas las plantas comidas casi hasta la base.

— *Especies y % Cubt.:* Relación de especies presentes en la parcela, con sus respectivos porcentajes de cubierta, estimados de la misma forma que la cubierta total.

— *Observaciones:* cualquier anotación de algún aspecto que se consideró relevante.

Cada parcela se definió por el binomio: *agrupación vegetal-cota del terreno*. Al conjunto de las parcelas de cada una de las agrupaciones analizadas (señaladas en negrita en la Figura 5) se le consideró una muestra

del binomio anterior y, tras un proceso de selección y filtrado, se le aplicaron los diez estadísticos siguientes para definir el *hábitat actual*: 1) Tamaño de la muestra:  $M$ , es decir, número de parcelas; 2) Límite inferior:  $z_1$ , la cota más baja de las parcelas de la muestra; 3) Límite superior:  $z_n$ , la cota más alta de las parcelas de la muestra; 4) Rango de la muestra:  $R$ ; 5) Media de la muestra:  $\bar{z}$ ; 6) Varianza:  $\sigma$ ; 7) Desviación típica:  $\sigma^2$ ; 8) Mediana:  $md$ ; 9) Primer cuartil:  $Q_1$ ; 10) Tercer cuartil:  $Q_3$ .

Se analizó si las distintas muestras de cada uno de los binomios, definidos en las diferentes agrupaciones vegetales, se podían considerar que se ajustaban con una distribución normal; aplicando los tests Chi-cuadrado y Kolmogorof-Smirnov y se determinaron los coeficientes de asimetría y de Kurtosis estandarizados y los diagramas P-P.

A continuación, utilizando la metodología propuesta por Gandullo J. M., Sánchez Palomares O., 1994, se definieron el *hábitat central* y los *hábitats marginales* de las diferentes agrupaciones vegetales. Para ello, se determinaron los parámetros siguientes:

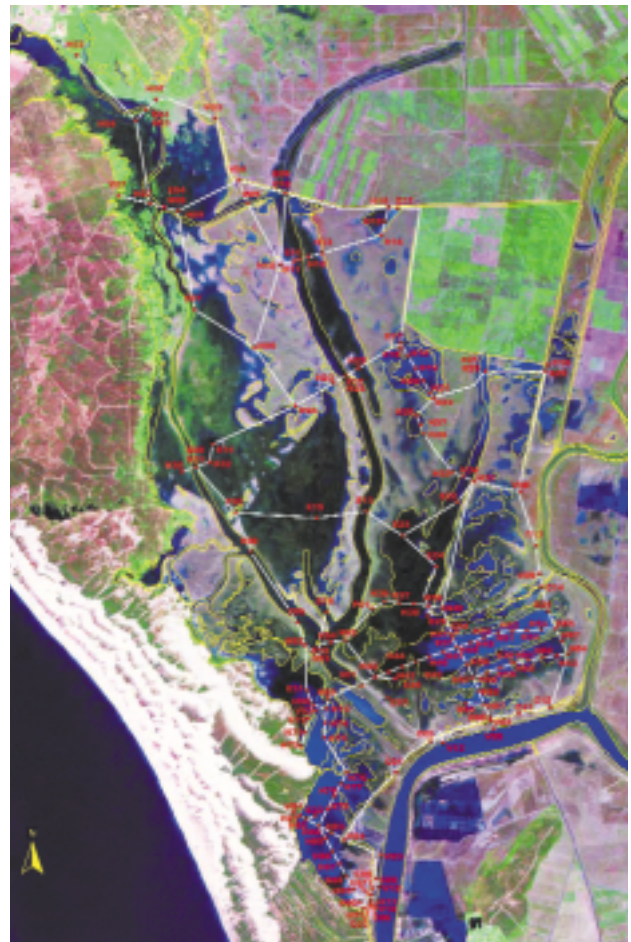
1) *Hábitat central*, definido por el Umbral inferior UI, el Umbral superior US y el Rango central  $R_c$ ; 2) *Hábitat actual marginal inferior*, definido por el límite inferior  $z_1$  y el umbral inferior UI y 3) *Hábitat actual marginal superior*, definido por el límite superior  $z_n$  y el umbral superior US.

Prosiguiendo con la citada metodología, se determinó la *valencia ecológica*, y los *índices de fragilidad* y de *agresividad* de las diferentes agrupaciones vegetales estudiadas, para concluir exponiendo la matriz de las distancias parciales entre dichas agrupaciones vegetales en relación con la cota del terreno y representando el dendrograma del análisis clúster del parámetro cota del terreno en relación con las agrupaciones vegetales estudiadas.

## Resultados

### Operaciones topográficas de nivelación geométrica

Las operaciones de nivelación geométrica efectuadas en la marisma del PND entre 1995-1999 (Figura 7), aportaron unas cotas altimétricas más precisas, permitiendo ajustar mejor los intervalos altimétricos de las zonas tradicionalmente conocidas como la *marisma alta*; la *marisma media*, y la *marisma baja*. La nue-



**Figura 7.** Localización de los hito-fenos en la marisma del PND e itinerarios de las nivelaciones geométricas efectuadas en la misma entre 1995-1999 [imagen de fondo: Earth Science Application Directorate (<http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>)].

va clasificación establece los siguientes niveles altimétricos:

— *Primer nivel o de cotas más bajas*, lo forman las superficies de cotas inferiores a los 1,30 m sobre el nivel del mar en Alicante. Se divide a su vez en 4 sub-niveles, que si bien tienen rangos de cota que se superponen algo en determinados casos, constituyen unidades propias. Estos son:

*Cota:  $z < 1,00$  m.*

1) La mayor parte del área central del lucio de los Ánsares. 2) Los Hondones y la confluencia del caño Travieso con el lucio de los Ánsares y 3) Las zonas centrales de los lucios del Membrillo y de Vetalegua.

*Cota:  $1,00 < z < 1,10$  m*

1) El contorno de las zonas más bajas antes citadas. 2) El caño Travieso parcialmente (en adelante: p. p.) y el caño de la Madre p. p.



Cota:  $1,00 < z < 1,20$  m.

1) Solera del lucio del Rey. 2) Lucio de Mari López, excluida su periferia. 3) Lucio de Sanlúcar. 4) Caño del Guadiamar p. p; caño Travieso p. p. y caño de la Madre p. p.

Cota:  $1,00 < z < 1,30$  (1,40) m.

1) Lucios de Sevilla y el Molinillo. 2) Lucio de Mari López Chico. 3) Lucio del Lobo. 4) Caño Travieso p. p. y caño del Guadiamar p. p.

— *Segundo nivel*, lo constituyen varias zonas de altimetría variable,  $1,40$  ( $1,60$ )  $< z < 2,00$  m. Se trata de las siguientes:

1) La casi totalidad de los espacios comprendidos entre las áreas del *primer nivel*.

2) La mayoría de los puntos de contacto de la marisma con la *vera* y la *retuerta*.

3) Levé actual del río Guadalquivir.

— *Tercer nivel*, comprende un conjunto de áreas singulares de la marisma de altimetría superior a 2,00 m s. n. m. en Alicante. Está integrado por:

1) Las vetas de la marisma, como Veta la Arena, Veta Carrizosa, etc. 2) El muro del norte de la marisma o muro de la FAO. 3) El muro sur de la *montaña del río*, en su mayor parte. 4) *Entremuros* y su prolongación de 1998 por el este. 5) Los muros de las salinas de San Rafael y 6) La parte principal del nuevo cono de deyección del arroyo del Partido.

La menor cota conocida de 0,712 m se determinó en la escala E31 del lucio de Vetalegua chico y las mayores cotas, que oscilan alrededor de los 3 m, se ubicaron en el cono de deyección del arroyo del Partido.

## Operaciones de identificación e inventariación de las agrupaciones vegetales

Los principales estadísticos de la relación entre las agrupaciones vegetales consideradas y la cota del terreno en la marisma del PND se sintetizan en la Tabla 1 y la Figura 8 ilustra con los diagrama de cajas lo consignado en la Tabla 1.

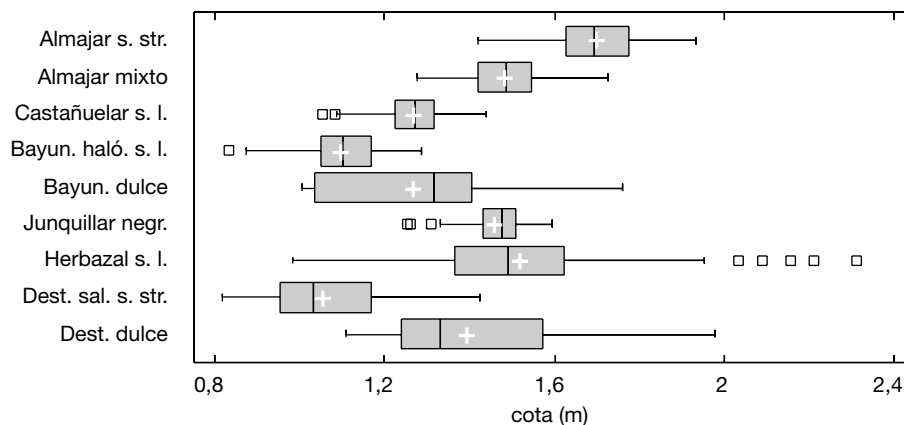
La Tabla 1 y la Figura 8 permiten distinguir dos conjuntos en las agrupaciones vegetales investigadas. El primero, lo forman las agrupaciones que se ordenan claramente en una secuencia altitudinal, que expresada de mayor a menor cota, es la siguiente: (1) *almajar*, (2) *almajar mixto* y *junquillar negro*, (3) *castañuelar s. l.*, (4) *bayuncar halófilo s. l.* y (5) *desierto en la marisma salina s. str.* Se puede interpretar que estas agrupaciones se distribuyen en el terreno condicionadas por la altitud y en consecuencia por los demás factores supeditadas por ella como los de carácter hidráulico. El segundo, lo constituyen las restantes agrupaciones vegetales cuyo ámbito altitudinal se superpone con alguna (o algunas) de las agrupaciones del primer grupo; por lo que la interpretación más acertada es suponer que en su distribución influye también de forma significativa otro (u otros) factores distintos a la altitud.

La Tabla 2 detalla los patrones de distribución de las agrupaciones vegetales frente al parámetro cota y la Tabla 3 muestra los porcentajes de superposición entre los hábitat centrales de las diferentes agrupaciones vegetales en relación con la cota del terreno.

**Tabla 1.** Valores fundamentales de las cotas correspondientes a las principales agrupaciones vegetales de la marisma del PND

Agrupación vegetal	Tamaño (parcelas)	$z_1$	UI	US	$z_n$	$\bar{z}$	$\sigma$	Valencia ecológica
Almajar	170	1,217	1,444	1,820	1,933	1,651	0,023	—
Almajar s.str.	129	1,421	1,582	1,837	1,933	1,699	0,010	2,5
Almajar mixto	113	1,278	1,364	1,608	1,726	1,485	0,009	2,4
Castañuelar s. l.	173	1,057	1,181	1,358	1,438	1,267	0,005	1,7
Bayuncar dulce	17	1,007	1,019	1,461	1,762	1,270	0,050	4,4
Bayuncar halófilo	131	0,878	0,992	1,211	1,264	1,095	0,007	—
Bayuncar halófilo s. l.	167	0,835	1,000	1,213	1,287	1,104	0,007	2,1
Junquillar negro	60	1,256	1,347	1,540	1,594	1,462	0,005	1,9
Herbazal s. l.	102	0,985	1,257	1,778	2,309	1,521	0,055	5,1
Desierto mar. salina	461	0,765	0,765	1,275	1,572	1,073	0,022	—
Dest. mar. salina s.str.	350	0,821	0,821	1,280	1,423	1,073	0,022	4,5
Desierto mar. dulce	26	1,110	1,178	1,646	1,979	1,399	0,042	4,6

Tamaño: tamaño de la muestra.  $z_1$ : valor inferior de la muestra. UI: valor del umbral inferior de la muestra. US: valor del umbral superior de la muestra.  $z_n$ : valor superior de la muestra.  $\bar{z}$ : media de los valores de la muestra. Valores expresados en metros.



**Figura 8.** Diagrama comparativo entre las distintas agrupaciones vegetales y la cota del terreno. Se representan los diferentes diagramas de caja de las agrupaciones vegetales en relación a sus valores de cota más representativas.

Respecto de las valencias ecológicas de las distintas agrupaciones vegetales en relación con la cota, es decir, la distancia que separa los valores mínimos y máximos a los que puede vivir una agrupación, son amplios en los casos del *herbazal s. l.* (5,1); los *desiertos de ambas marismas salina y dulce* (4,5 y 4,6 respectivamente) y en el *bayuncar dulce* (4,4).

Mientras que son muy reducidos en los casos del *castañuelar s. l.* (1,7); el *junquillar negro* (1,9) y el *bayuncar halófilo s. l.* (2,1). El *almajar s. str.* y el *almajar mixto* presentan valores intermedios (2,5 y 2,4 respectivamente).

En relación a los rangos de los hábitats centrales y marginales, salvo para el *herbazal s. l.*, en las restantes agrupaciones los hábitats centrales tiene rangos mayores que los marginales. El *almajar s. str.* presenta un rango del hábitat marginal inferior muy amplio (0,227 m) y el mayor rango del hábitat marginal superior le corresponde al *desierto dulce* (0,333 m).

Los mayores índices de fragilidad, es decir, que su hábitat central puede ser ocupado por las restantes agrupaciones, son en orden decreciente: el *junquillar negro* (456); el *castañuelar s.l.* (437); el *almajar mixto* (423) y el *desierto dulce* (418). Mientras que las agrupaciones vegetales de mayor índice de agresividad, es decir, son las que ocupan el hábitat central de

las restantes agrupaciones, son en orden decreciente: el *desierto dulce* (602); el *herbazal* (568); el *bayuncar dulce* (546) y el *desierto salino s str.* (341).

La matriz siguiente (Tabla 4) muestra las distancias parciales entre cada una de las agrupaciones vegetales en relación con el parámetro cota del terreno y la Figura 9 representa el dendrograma del análisis clúster correspondiente a dicha matriz.

Las agrupaciones que presentan la mínima distancia son el *castañuelar s.l.* y el *bayuncar dulce* (0,132); mientras que la mayor distancia se encuentra entre el *bayuncar halófilo s.l.* y el *almajar s, strc.* (4,751).

## Discusión

La nueva clasificación propuesta para establecer las diferentes zonas de la marisma en función de las cotas del terreno  $z$ , que establece un *primer nivel* ( $z < 1,300$  m sobre el nivel del mar en Alicante); un *segundo nivel* ( $1,300 < z < 2,000$  m) y un *tercer nivel* ( $z > 2,000$  m), resulta más precisa que la clasificación tradicional de la marisma en *alta, media y baja* para determinar los calados de inundación en la misma y, en consecuencia, para el estudio de las agrupaciones vegetales marismeñas dependiente de los mismos.

**Tabla 2.** Relación de las agrupaciones vegetales y sus patrones de distribución

Agrupación vegetal	Almajar	Almajar s. str.	Almajar mixto	Castañuelar s. l.	Bayuncar dulce	Bayuncar halófilo	Bayuncar hal. s. l.	Junquillar negro	Herbazal s. l.	Desierto m. sal.	Desierto m. sal. s. str.	Desierto m. dulce
Distribuc.	D	N	N	N	D	N	N	D	D	D	D	D

N: distribución normal. D: patrón de distribución desconocido.

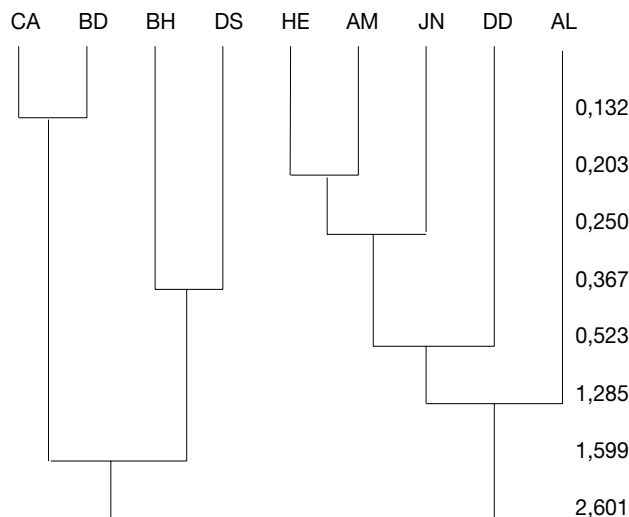
**Tabla 3.** Porcentajes de superposición entre los hábitats centrales de las agrupaciones vegetales indicadas en relación con la cota del terreno, índices de fragilidad y de agresividad en relación a la cota del terreno

% de solape de A respecto de B (A en filas, B en columnas)	Almajar s. str.	Almajar mixto	Castañuelar s. l.	Bayuncar dulce	Bayuncar halófilo s. l.	Junquillar negro	Herbazal s. l.	Desierto sal. s. str.	Desierto dulce	Índice fragilidad
Almajar s. str.	100	10	0	0	0	0	77	0	25	212
Almajar mixto	11	100	0	40	0	72	100	0	100	423
Castañuelar s. l.	0	0	100	100	18	6	57	56	100	437
Bayuncar dulce	0	22	40	100	44	26	46	59	64	401
Bayuncar halófilo s.l.	0	0	15	91	100	0	0	100	16	323
Junquillar negro	0	91	6	59	0	100	100	0	100	456
Herbazal s.l.	38	47	19	39	0	37	100	4	75	359
Desierto sal. s. str.	0	0	22	57	46	0	5	100	22	252
Desierto dulce	14	52	38	60	7	41	83	22	100	418
Índice de agresividad	162	322	240	546	216	282	568	341	602	

**Tabla 4.** Matriz de las distancias parciales entre las agrupaciones vegetales para el parámetro cota del terreno

Agrupación vegetal	Junquillar negro	Castañuelar s. l.	Almajar mixto	Bayuncar halóf. s. l.	Almajar s. str.	Dest. mar. sal. s. str.	Dest. mar. dulce	Hesbazal s. l.	Bayuncar dulce
Junquillar negro	0,000								
Castañuelar s.l.	2,683	0,000							
Almajar mixto	0,263	2,656	0,000						
Bayuncar halóf. s.l	4,301	2,087	4,245	0,000					
Almajar s. str.	2,285	4,751	1,954	6,082	0,000				
Dest. mar. sal. s.str.	2,948	1,686	3,173	0,367	4,548	0,000			
Dest. mar. dulce	0,433	1,411	0,639	2,792	2,114	2,346	0,000		
Hesbazal s.l.	0,307	1,640	0,203	2,617	0,895	2,753	0,495	0,000	
Bayuncar dulce	1,660	0,132	1,909	1,428	3,309	1,339	0,710	1,135	0,000

La relación dentro la marisma del PND entre la cota del terreno y la agrupación vegetal ocupada por la misma, se verifica en orden decreciente de cota para las agrupaciones siguientes: 1) *almajar s. str.*, 2) *almajar mixto* y *junquillar negro*, 3) *castañuelar s. l.*, 4) *bayuncar halófilo s. l.* y 5) *desierto en la marisma salina s. str.* Esta conclusión extraída de la Tabla 1, se refuerza por las razones siguientes: a) Todas estas agrupaciones tienen su hábitat central de mayor rango que los marginales y en general muy definido, solo el *almajar* presenta un rango marginal inferior amplio, que se explica porque en los periodos de sequía esta agrupación vegetal coloniza las cotas más bajas de la marisma. b) Salvo el *almajar*, el *bayuncar halófilo* y el *desierto en marisma salina*, las restantes agrupaciones vegetales tienen un índice de fragilidad alto, lo que implica que su hábitat central puede ser ocupado por otras agrupaciones. En el caso del *almajar*, ya se ha comentado su tendencia a ocupar las cotas más bajas en periodos de sequía; en cuanto al *bayuncar halófilo* y al *desierto en la marisma salina*, se señala que los

**Figura 9.** Dendrograma del análisis clúster del parámetro cota. AL: almajar s. str. AM: almajar mixto. BD: bayuncar dulce. BH: bayuncar halófilo. CA: castañuelar, s.l. DD: desierto en la marisma dulce. DS: desierto en la marisma salina. HE: herbazal s.l. JN: junquillar negro. La columna de números, en la derecha, muestra las distancias de las sucesivas uniones.

reconocimientos e inventarios de campo permitieron comprobar que ambas se encuentran prácticamente en el mismo rango de altitud, habiéndose verificado en los años más húmedos, 1996-97 y 1997-98, la presencia de matas aisladas de bayunco hasta en la cota más baja de la marisma, junto a la escala E31 en el lucio de Vetallengua chico (0,712 m). *c)* En el conjunto de las agrupaciones vegetales que se comenta, se ha considerado el *almajar s. str.* en lugar del *almajar*, porque la primera tiene un patrón de distribución normal al igual que las restantes agrupaciones de la citada relación, a excepción del *desierto en la marisma salina*, que puede presentar una ampliación de su rango hacia las cotas más bajas, pero en las más altas se encuentra con la limitación que aparece el *bayuncar halófilo*, luego su intervalo de cota en la marisma queda definido.

Las restantes agrupaciones vegetales estudiadas no presentan una clara correlación con la cota del terreno, lo que se puede deber a diferentes causas: *a)* En el caso del *herbazal*, porque incluye un conjunto heterogéneo de comunidades vegetales; pero también por la presencia del ganado, que lo utiliza para su alimentación y, en menor medida pero por el mismo motivo, por la fauna del PND *b)* En el caso del *bayuncar dulce*, se trata de una muestra muy reducida para sacar conclusiones definitivas, pero se intuye que no es la cota del terreno lo que demarca su hábitat, sino la salinidad del suelo; aspecto sumamente interesante, pero que no es objeto del presente estudio. *c)* Por último, el *desierto en la marisma dulce*, es la ausencia de la vegetación y además presenta el mayor índice de agresividad de todas las agrupaciones estudiadas (602). Este dato es relevante, pues indica que, dentro del conjunto de las agrupaciones estudiadas, la posibilidad de que una agrupación concreta sea sustituida por el *desierto en la marisma dulce* es elevada; no existiendo una escala suficientemente definida de avances y regresiones de unas agrupaciones a otras dentro de la marisma dependiendo de su inundación. Con ello no se afirma que estas oscilaciones no existan, sino que una desacertada actuación puede alterarla a favor del *desierto en la marisma dulce*.

Es preciso señalar que todo lo consignado en la Tabla 1 y las consecuencias que de ella se derivan, están muy afectados por las condiciones de la marisma du-

rante el periodo estudiado, en especial los tres años hidrológicos 1995-98, que fueron extraordinariamente húmedos; por lo que el estudio ganaría en fiabilidad y eficacia si se prolongara el periodo analizado.

## Agradecimientos

El presente estudio se integra dentro del **Proyecto 174 / 93 Dinámica sedimentaria de las marismas del Parque Nacional de Doñana. Evolución, prospectiva y alternativas de gestión futura**, financiado por el **Organismo Autónomo Parques Nacionales**. Los autores queremos agradecer la colaboración del Dr. José Elorrieta Jove (Profesor de Topografía de la ETSI de Montes de la UPM) y de los becarios Luca Mao y Javier Loza.

## Referencias bibliográficas

- CLEMENTE SALAS L., GARCÍA FERNÁNDEZ L.V., SILJESTROM RIBED P., 1999. Los suelos del Parque Nacional de Doñana. MMA-Organismo Autónomo Parques Nacionales. Serie Técnica, Madrid, 205 pp.
- GARCÍA VIÑAS J.I., 2003. Dinámica vegetal de la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación con su régimen hidráulico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- GANDULLO GUTIÉRREZ J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. MMA-ICONA. Serie Técnica. Madrid, 188 pp.
- MINTEGUI AGUIRRE J.A., ROBREDO SÁNCHEZ J.C. 2001. Bases para la elaboración de un modelo del terreno de la Marisma del Parque Nacional de Doñana (Trabajos topográficos y de estimación de la sedimentación). MMA-Organismo Autónomo Parques Nacionales. Serie Técnica. Madrid, 244 pp.
- RODRÍGUEZ RAMÍREZ A., 1999. Geomorfología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. MMA-Organismo Autónomo Parques Nacionales. Serie Técnica. Madrid, 146 pp.
- RUIZ DE LA TORRE J., RUIZ DEL CASTILLO J., 1987. Metodología y codificación para el análisis de la vegetación española. Trabajos de la Cátedra de Botánica III. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, 47 pp.
- RUIZ DE LA TORRE J., 1990. Memoria General del Mapa Forestal de España, escala 1:200.000. ICONA. Madrid, 191 pp.