

AMPLIACIÓN DE LA RED DE NIVELACIÓN GEOMÉTRICA DE LA MARISMA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA (2005-06); EVOLUCIÓN DE SU SOLERA ENTRE 2007-12 Y ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO ENTRE 1995-2012

JOSÉ CARLOS ROBREDO SÁNCHEZ¹; JUAN ÁNGEL MINTEGUI AGUIRRE¹;
PABLO HUELIN RUEDA¹; CARLOS DE GONZALO ARANO¹
Y JUAN IGNACIO GARCÍA VIÑAS²

RESUMEN

Este artículo es una continuación del publicado en «*Ecología* núm. 21, 2007, pp. 11-42», en el que se expuso el levantamiento de una Red de Nivelación Geométrica en la marisma del Parque Nacional de Doñana entre 1995-99 y la posterior utilización de los hito-fenos, instalados en ella en el transcurso de los trabajos de nivelación, para conocer las oscilaciones de su solera tras los periodos estacionales de inundación. Se inicia sintetizando el contenido fundamental del artículo de partida, para describir a continuación la ampliación de dicha Red, al incorporarse nuevas superficies de marisma al Parque Nacional de Doñana con el Proyecto Doñana 2005. Se aporta información complementaria del engrase de las escalillas de los hito-fenos con la solera de la marisma en el periodo 2007-12. Por último, se analiza la evolución de ésta a lo largo del periodo 1995-2012.

Palabras clave: marisma, ampliación de la nivelación geométrica, grado de sedimentación.

SUMMARY

This article is a continuation of the article published in «*Ecología* num. 21, 2007, pp. 11-42», where the topographic survey of a Geometric Levelling Network was explained and the subsequent use of landmarks, which were set up during levelling works to record the oscillations of sediments after seasonal flooding. The Network was carried out in the marsh of the Doñana National Park (DNP) between 1995-1999. Firstly, it summarizes the basic content of the previous article, to describe afterwards the extension of the Network when new areas of the marsh of DNP incorporate with the Doñana 2005 Project. Supplementary information is given about the level of terrain of the marsh in the scale of each landmark in the period 2007-2012. Lastly, the evolution of the marsh in the period 1995-2012 is analysed.

Key words: marshes, extension geometrical levelling, sedimentation range.

¹ Unidad de Hidráulica e Hidrología. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 MADRID. E-mail: josecarlos.robredo@upm.es

² Grupo de Investigación Ecogefor. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 MADRID

INTRODUCCIÓN

Resumen de los trabajos ejecutados con el Proyecto 174/93 en la marisma del Parque Nacional de Doñana entre 1995-99

Entre 1995-99 se llevó a cabo el levantamiento de una Red de Nivelación Geométrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana (en adelante PND) en el transcurso del Proyecto núm. 174/93 «Dinámica sedimentaria de las marismas del Parque Nacional de Doñana. Evolución, prospectiva y alternativas de gestión futura». La ejecución de esta red se debe a la circunstancia, que al inicio de este Proyecto se considerase como uno de sus principales objetivos la necesidad de definir el relieve de la marisma con precisión suficiente, como para que se pudiera detectar cualquier variación de su micro-relieve por pequeña que fuera a lo largo del tiempo, especialmente en sus elementos más singulares los «lucios» y los «caños»; para lo que se recurrió a una nivelación de precisión de los parámetros más representativos de dichos elementos. Junto con los técnicos del PND se planteó efectuar en el caso de los lucios una topografía de detalle de sus ejes longitudinales y, tratándose de los caños, se adoptaron una serie de secciones transversales a los mismos, en los que se llevarían a cabo dichas operaciones topográficas de precisión. Se tenía la idea, muy pronto desestimada debido a la composición de los suelos que constituyen la marisma, que la ejecución de dos nivelaciones con precisión del mismo eje o sección transversal, según se tratara de un lucio o un caño, suficientemente distanciadas en el tiempo, podrían aportar directamente información sobre la sedimentación en dichos perfiles y por ende en la marisma. Aunque esta hipótesis no era acertada, al menos planteada en el sentido estricto que se ha referido; la adopción del método topográfico, acomodado a la realidad física de la situación, permitió obtener un conocimiento de las variaciones experimentas por la solera de la marisma a lo largo del tiempo y, además, ofreció en su momento una base para el modelo del terreno

de la misma y permitió definir la distribución de la vegetación permanente marismeña al final del siglo pasado entre 1995-2000.

La metodología seguida consistió en las siguientes operaciones. En primer lugar, se acordó con los técnicos del PND, L. DOMÍNGUEZ NEVADO y C. URDIALES ALONSO, llevar a cabo una nivelación con precisión de los ejes longitudinales de los principales lucios situados en el interior del Parque (lucios del Lobo⁽¹⁾, Mari López⁽²⁾, Mari López chico⁽³⁾, complejo lucio del Rey⁽⁴⁾ - lucio de los Ánsares⁽⁵⁾, lucios de Sánlucar⁽⁶⁾, Sevilla⁽⁷⁾, el Molinillo⁽⁸⁾, Vetallenga grande⁽⁹⁾, Vetallenga chico⁽¹⁰⁾ y del Membrillo⁽¹¹⁾); para los dos lucios de mayor extensión (lucio del Membrillo y el complejo de lucios del Rey - de los Ánsares) se proyectó también la nivelación de su eje transversal. Tratándose de los caños se incluyó en el inventario la nivelación con precisión cuatro secciones transversales en el caño de la Madre^{(12),(13),(14),(15)}, el más largo de los cauces que atraviesa la marisma, dos secciones transversales en el caño Guadamar^{(16),(17)} y otras dos secciones en el caño Travieso^{(18),(19)}. Los superíndices numerados que acompañan a los nombres de los diferentes lucios o secciones transversales de los caños, se corresponden con la numeración que aparece en la Figura 1, sobre una representación de la marisma del PND, en la que se señalan también al río Guadalquivir y los topónimos de algunos parajes que posteriormente se mencionan.

A continuación se llevó a cabo la nivelación con precisión de los ejes de los lucios y de las secciones transversales seleccionadas en los caños, que permitió obtener unos perfiles detallados de los mismos. Para su ejecución se dividieron las longitudes a nivelar en tramos de 500 m (medidos con cinta métrica) y en sus extremos se instalaron unos hito-fenos (Figura 2). La nomenclatura utilizada para definir cada tramo se iniciaba con una N seguido del código de los hito-fenos que lo integraban (ejemplo: N-H05-H06, para definir la nivelación con precisión entre los hito-fenos H05 y H06). En total se instalaron 97 hito-fenos numerados de H03 a H99. La operación de nivelación en cada tramo se realizó con un nivel de burbuja abarcando distancias de 50 m, en

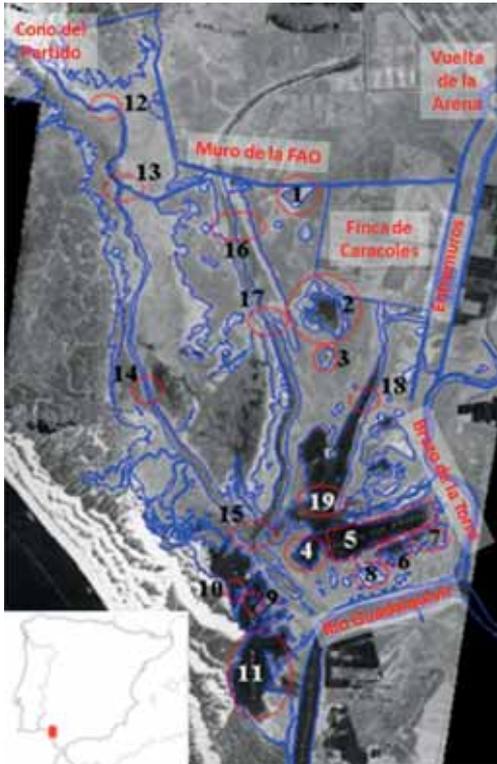


Figura 1. Ubicación de los elementos singulares en la marisma del PND, donde se realizaron las nivelaciones geométricas con precisión (ejes de los lucios y secciones transversales de los caños) y parajes que se comentan posteriormente.

Figure 1. Location of most singular DNP elements, where the precise geometric levelling was carried out (temporary ponds axes and stream cross sections) and other locations mentioned afterwards.

cuyo centro se estacionaba el aparato; se efectuó el itinerario de ida y vuelta dentro del tramo y se compensó en el mismo el error cometido, tras comprobar que éste era tolerable. Para el trazado de los ejes de los lucios se trató de adoptar la dirección que mejor definiera su sección central; para ello, además de utilizar la cartografía disponible en su momento, se atendió a la experiencia y sugerencias de la guardería y se emplearon también referencias concretas fácilmente identificables en el horizonte.

Aunque inicialmente estas operaciones de nivelación se concibieran como un simple procedimiento para cuantificar a través de ellas la

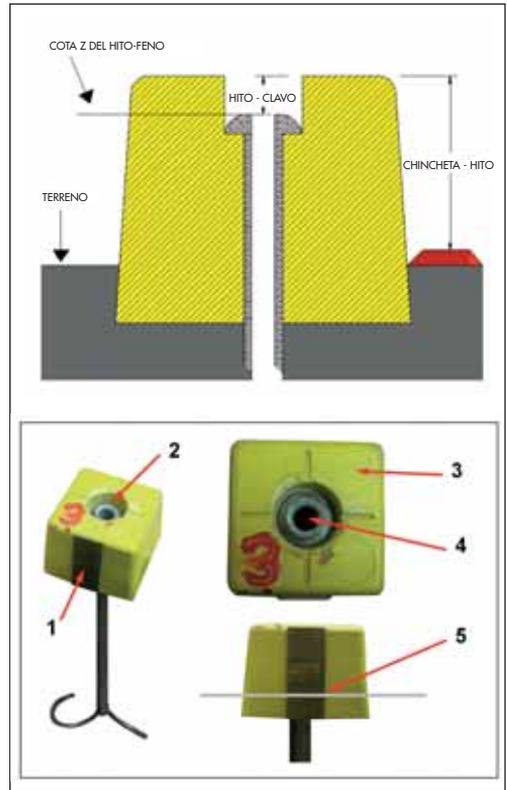


Figura 2. Arriba: Esquema de un hito-feno de los utilizados en las operaciones topográficas de nivelación geométrica en la marisma del PND, con la indicación del emplazamiento de la cota z. Abajo: Hito-feno H03, en el que se muestra: 1) su escalilla; 2) su círculo central; 3) la superficie superior (que al finalizar los años hidrológicos muy húmedos suele encontrarse cubierto de sedimentos); 4) el círculo central concéntrico por el que penetra el eje que sujeta al hito-feno a la marisma; y 5) el esquema del modo en el que se realiza el enrase de la solera de la marisma en la escalilla.

Figure 2. Left; scheme of landmarks used for geometric levelling operations at the DNP marshes with the z elevation reference. Right: landmark H03 with 1) the scale, 2) central circle, 3) upper surface (which is covered with sediments at the end of very wet hydrological years), 4) concentric central circle where the shaft penetrate to fix the landmark to the marsh, and 5) scheme of how the level of the marsh is measured in the scale.

sedimentación o erosión en los ejes de los lucios y en las secciones transversales seleccionadas de los caños, utilizando de referencia una posición concreta de la marisma; el método topográfico utilizado permitía y demandaba un mejor uso de los datos obtenidos. Al respecto se comenta que al inicio del Proyecto

núm. 174/93 se planificó la localización de los hito-fenos mediante rumbo (brújula) y distancia (cinta métrica) a partir de puntos concretos identificados en el terreno; pero a partir de septiembre 1996 se incorporó un GPS (con precisión de 2-5 m) en los trabajos de campo para dotar de coordenadas planimétricas (x , y) a los 97 hito-fenos, que a lo largo del desarrollo del Proyecto (1995-99) se instalaron repartidos por toda la marisma. La dotación de la coordenada altimétrica z a cada hito-feno requería disponer de un punto de cota conocida que sirviera de referencia; para este propósito en un primer momento (18-09-96) se planteó y realizó la nivelación geométrica con precisión entre el vértice geodésico de Trigo (situado en una pequeña colina al borde del lucio del Membrillo) de primer orden dentro de la clasificación del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el hito-feno H81, situado en el extremo del eje transversal del lucio del Membrillo y el más próximo al citado vértice; con ello se dotó de cota ortométrica (ajustado al geoido) al hito-feno H81 y a todos los puntos obtenidos por «nivelación geométrica con precisión» (como se denominó a partir de esa fecha) en los ejes longitudinal y transversal del lucio del Membrillo. Al vértice de Trigo se le definió en dicha Red por VG1.

Para enlazar entre sí las «nivelaciones geométricas con precisión» levantadas en los elementos singulares de la marisma (lucios y caños) se ejecutaron las «nivelaciones geométricas de unión». En estas últimas el itinerario abarcaba un mayor número de tramos de nivelación antes de cerrar en el punto de partida o en un punto de cota conocida, repartiéndose a continuación los errores por toda la malla, tras comprobar que el error total cometido en la misma resultaba admisible. Además, los tramos de nivelación eran abiertos (normalmente entre los hito-fenos de los extremos de dos elementos singulares de la marisma, bien se tratara de lucios o de caños) y dentro del tramo las operaciones de nivelación se hicieron cada 100 m, con un nivel automático (de péndulo) colocando el aparato en su centro. La nomenclatura utilizada para definir las se iniciaba con una U seguida de los códigos de los hito-fenos

afectados (ejemplo: U-H40-H41, para definir la nivelación geométrica de unión entre los hito-fenos H40, situado en el extremo este de la segunda sección transversal del caño Travieso, y el H41, situado en el extremo norte del eje transversal del lucio de los Ánsares). Con las nivelaciones de unión se enlazaron entre sí todos los tramos en los que se efectuaron las nivelaciones geométricas con precisión y se dotó de cota ortométrica a todos los hito-fenos instalados en los ejes de los lucios y en las secciones transversales de los caños.

Para ejecutar la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND se dividió a ésta en 17 áreas. Estas áreas se establecieron de manera que en cada una de ellas se realizasen las nivelaciones geométricas con precisión que afectaban a los componentes singulares ubicados en ellas y las nivelaciones geométricas de unión con algún componente de otra de las restantes áreas en las que se dividió la marisma; de modo que finalmente la red topográfica de nivelación geométrica de la marisma agrupara a todas las áreas en una estructura única, como aparece en la Figura 3. (la numeración de la Figura 3 no se corresponde con la que aparece en la Figura 1, cuyo objetivo es diferente). Las áreas mencionadas son las siguientes: Área 1. Membrillo. Área 2. Vetalengua. Área 3. El Rey-Los Ánsares. Área 4. Molinillo-Sanlúcar-Sevilla. Área 5. Brenes. Área 6. Las Nuevas. Área 7. Leo Biaggi. Área 8. Cherry-Entremuros. Área 9. Juncabalejo. Área 10. Mari López. Área 11. Travieso. Área 12. Guadamar 2. Área 13. Guadamar 3. Área 14. Lobo. Área 15. Guadamar 1. Área 16. Resolimán y Área 17. Las Yeguas. MINTEGUI & ROBREDO (2001), ROBREDO *et al.* (2007).

El 21-11-98 se tuvo conocimiento de otro punto de cota conocida, distinto del vértice geodésico de Trigo VG1, situado junto al Guadalquivir cerca de la «montaña del río», al que se definió por VG3 (Figura 4). Dicho punto es un clavo de bronce con las iniciales J. P. S.-N. T. 106, empujado en el basamento de una antigua baliza del río próxima a la casa de la salina de San Isidoro, su cota es de 4,018 m respecto del nivel del mar en Alicante. Dado que la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) uti-

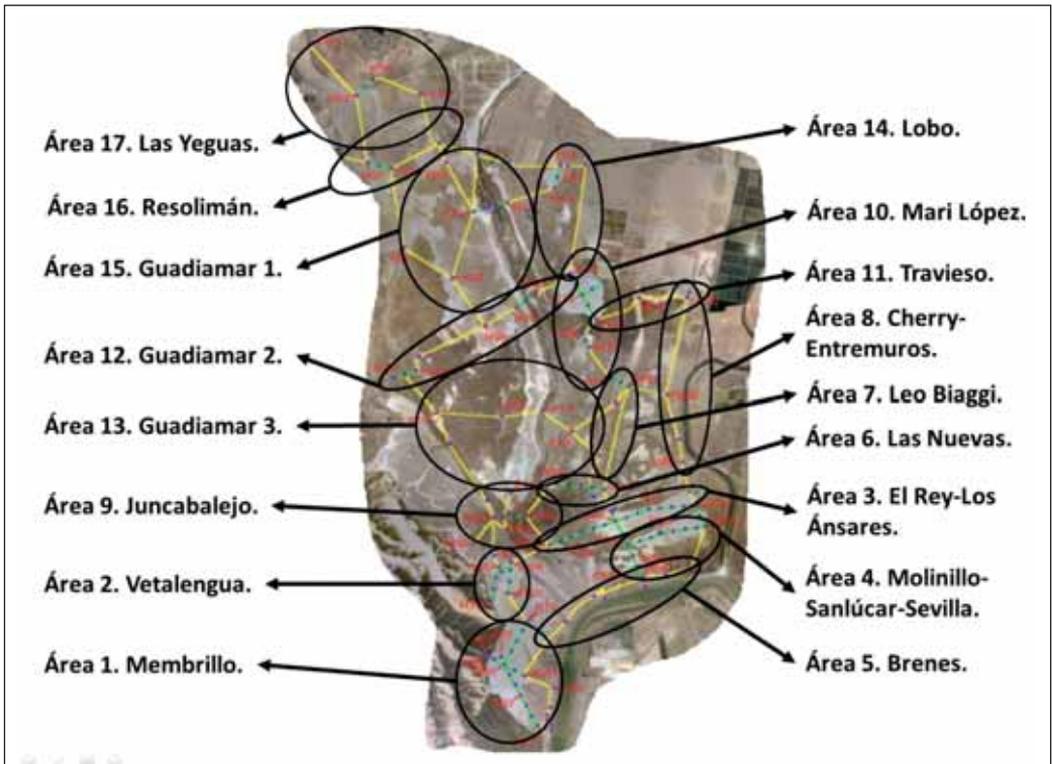


Figura 3. Estado final de las operaciones topográficas de nivelación geométrica realizadas en la marisma del PND entre 1995-99. Encerradas en elipses aparecen las 17 áreas en las que se dividió la marisma, para enlazar las diferentes nivelaciones y agrupar a todas ellas en una estructura única. Además, en verde las nivelaciones con precisión realizadas en los lucios y en las secciones transversales de los caños; en amarillo las nivelaciones de unión. Los puntos azules representan los hito-fenos o puntos de cota conocida.

Figure 3. Final state of topographical works of geometric levelling carried out in the marsh of DNP between 1995-1999. The marsh was divided in 17 areas in order to put together different levelling and making a single structure. Those areas are shown inside ellipses. Moreover, precision levelling carried out in the ponds and cross sections in the streams are in green; joining levelling are in yellow. Blue points represent landmarks or points of known height.

lizaba esta cota en las obras que se estaban realizando en la montaña del río; en lo sucesivo se le utilizó como referencia altimétrica para los hito-fenos y demás puntos singulares de la marisma previstos en el Proyecto; previamente se realizó una nivelación geométrica con ida y vuelta U-VG3-H84; para integrar el clavo J. P. S.-N. T. 106 a la Red. De este modo todos los puntos singulares quedaron referenciados por sus coordenadas (x, y, z) respecto del punto VG3. Las planimétricas (x, y) obtenidas con un GPS convencional y la altimétrica z a través de los citados trabajos de nivelación geométrica.

Al tiempo que se efectuaban las operaciones topográficas para crear la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND, a los hito-fenos ubicados al inicio y final de cada tramo de nivelación se les incorporó una escalilla (una pequeña placa de latón graduada entre 0 y 6,2 cm, máxima altura permitida por el hito-feno), con el propósito de obtener información de las variaciones que se fueran observando en el enrase de dicha escalilla con la solera de la marisma, en especial respecto de la medida anotada al enrasarlo por primera vez, tras fijar el hito-feno en la marisma. Se consideró



Figura 4. Izquierda: Vértice Geodésico de Trigo (VG1). Centro y derecha: Antigua baliza del río Guadalquivir, en cuya base se encuentra el clavo de bronce J. P. S.-N. T. 106 (VG3).

Figure 4. Left: Geodesic Vertex of Trigo (VG1). Centre and right: old marker of the Guadalquivir river, on which base the bronze nail J. P. S.-N. T. 106 is placed (VG3).

que esta variación en la escalilla se correspondía con la capa superficial de la marisma y que el hito-feno permanecía fijo al terreno.

Las medidas anuales obtenidas en las escalillas de los hito-fenos no representan en sentido estricto la sedimentación en los lucios o en los caños, pues los suelos de la marisma son entre arcillosos y limoso-arcillosos y están sometidos a retracción-expansión, pero una serie larga de estos datos define la tendencia de erosión o sedimentación; el efecto de retracción-expansión se ha comprobado que puede superar el cm de un año para otro, dependiendo de la posición del hito-feno en la marisma y de las características de humedad del año registrado; esta oscilación contrasta con el rigor empleado en las operaciones de nivelación realizadas en los lucios o en las secciones transversales de los caños, en las que se trató de precisar el mm. Para subsanar en lo posible este efecto, las operaciones de enrase del terreno en las escalillas de los hito-fenos se planificaron para que coincidieran todos los años con las mismas fechas y con la marisma completamente seca; como norma general las lecturas se han realizado entre los meses de julio y septiembre y en los años húmedos en septiembre. El protocolo seguido para medir el enrase, se limita a apoyar una superficie dura (un cartón) sobre la superficie del lucio o caño y deslizarlo hasta que le corte perpendicularmente al plano de la escalilla. Para facilitar la labor, normalmente se le adosa a la escalilla fija al hito-feno (que suele

encontrarse oxidada) otra escalilla portátil, igual pero limpia, en la que se hace la lectura. Esta escalilla portátil sustituye a la fija, cuando el hito-feno ha perdido la suya. Las lecturas se han realizado siempre en la misma cara del hito-feno, en la que se encuentra la escalilla o se encontraba si lo ha perdido. En cualquier caso, la toma de esta medida funcionalmente enlaza con las operaciones de la red de nivelación, pues se realiza en puntos que han sido nivelados.

En los veranos de los dos primeros años 1995-96 solo se obtuvo la información del enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos; siendo éste el dato más preciso de los obtenido a través de ellos. Pero a partir del verano de 1997 se pensó que, analizando el estado que presentan los hito-fenos en el momento en el que en ellos se tomaba el enrase de la solera de marisma en su escalilla, se podría obtener una información adicional respecto al modo que se hubieran comportado los sedimentos durante la inundación del invierno anterior; que podía venir dada por: *a)* la presencia de sedimentos encima del hito-feno; *b)* que los sedimentos detectados se redujeran a su círculo central o *c)* que simplemente hubiera sedimentos en el interior del círculo concéntrico del eje de anclaje del hito-feno al terreno (Figura 2). También proporciona una información complementaria el que el hito-feno hubiera cambiado de color y se mimetizase con la marisma a lo largo de los años o, por el contrario, conserve su color amarillo inicial.

Lógicamente para mantener activa esta nueva información, los hito-fenos, tras obtener la información anual, se limpiaban. Sin embargo, estos datos, que se han registrado hasta el 2012, no han sido suficientemente analizados y la información que se ha facilitado hasta el presente y la nueva que se incorpora en este artículo se refiere únicamente al enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos, estando la marisma completamente seca.

La cota del hito-feno en las operaciones de nivelación geométrica se corresponde con la cabeza de su clavo de sujeción al terreno. En las operaciones de nivelación geométrica se definió también la cota del terreno de la marisma en el entorno del hito-feno, como aparece en la imagen izquierda de la Figura 2; en la que también aparece una chincheta apoyada en el terreno, sobre la que se colocaba la mira durante las operaciones de nivelación. Dado que la altura de la chincheta era conocida, la cota del terreno se determinaba directamente una vez concluidas las operaciones de nivelación.

Los resultados de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND se publicaron en el texto «Bases para la elaboración de un modelo del terreno de la marisma del PND», MINTEGUI & ROBREDO (2001). La citada Red abarcaba en 1999 prácticamente toda la superficie de marisma comprendida en la fecha dentro de los límites del Parque Nacional (en adelante PN), 26.572 ha (Figuras 1 y 3). La Red permitía identificar 2.281 puntos de cota conocida repartidos por toda la marisma. Aunque la identificación in situ de la mayor parte de esos 2.281 puntos implicaba lógicamente su replanteo; 152 de ellos se podían localizar directamente con un GPS, porque quedaron materializados sobre el terreno. De ellos 2 son puntos de cota conocida por una nivelación anterior (VG1 y VG3); 97 se corresponden con la cabeza del clavo de anclaje al terreno de los hito-fenos instalados en la marisma con ocasión de su nivelación geométrica entre 1995-99; otros 29 son la base de las primitivas escalas de medida del nivel de agua en la marisma, que también se utilizaron para enrasar con la solera de la marisma, y el resto corresponden a distintos elementos de la infraes-

tructura de la marisma, tales como compuertas, pozos, piezómetros, etc.

Los enrases de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos durante el periodo 1995-99 se publicaron también en el texto anteriormente indicado y los enrases durante el periodo siguiente 2000-06 en el artículo de Ecología núm. 21, ROBREDO *et al.* (2007). En ambos documentos se planteó un análisis sobre la sedimentación en la marisma en la fecha de su publicación, llegándose a la conclusión de que, aunque los perfiles de sus elementos singulares (lucios y caños) habían sufrido modificaciones, la continuidad de éstos no estaba comprometida, salvo que se tratara a muy largo plazo, en el transcurso del cual pueden ocurrir múltiples eventos.

El impacto de los trabajos realizados en la marisma con el Proyecto 174/93 en los años siguientes a su conclusión

La Red de Nivelación Geométrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana sirvió de apoyo a posteriores trabajos efectuados en ella. Al mismo tiempo que se levantaba la Red, se llevó a cabo un modelo de la vegetación permanente de la marisma del PND en relación con su régimen hidráulico (GARCÍA VIÑAS *et al.* 2005); en él se define cuantitativamente la mesología de las principales agrupaciones vegetales perennes de la marisma, en correspondencia con su cota en el terreno, la salinidad del suelo y su dependencia con la lámina de inundación de la marisma, utilizando para esta última tres parámetros: *a)* la media interanual de la suma de los cm de agua-día en un punto dado, expresado en cm/año, que representa una aproximación al área de la función hidroperiodo; *b)* la media interanual en un punto de cota conocida de los días con agua al año, expresado en días/año, que representa el tiempo de resistencia y *c)* la media interanual en cm del calado medio del periodo de inundación, expresado en cm de agua/periodo de inundación, que representa el calado medio de los días de inundación. El inventario de la vegetación de la ma-

risma que implicó la realización de este modelo, muestra un panorama bastante completo de la vegetación permanente de la marisma del PND al final del siglo pasado (1995-2000).

En el verano de 2002 la CHG, en el contexto del Proyecto Doñana 2005, realizó un vuelo «Lidar» a marisma del PND. Este vuelo aportó un elevadísimo número de puntos de la marisma, en ningún modo comparable con los que se puedan obtener con una nivelación geométrica; por tanto su utilidad resultaba incuestionable. Pero se trata de una información diferente y complementaria a la aportada por la nivelación geométrica; ya que esta última, aunque establezca un número muy limitado de puntos, éstos tienen una mayor precisión por tratarse de puntos ajustados al geode; por esta razón la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND sirvió de apoyo para ajustar el modelo Lidar y se comprobó también que ambas formas de representar el territorio son complementarias. Se han comparado los resultados del vuelo Lidar con los posteriores trabajos topográficos levantados en la marisma del PND; imprescindibles para identificar sus problemas reales MINTEGUI *et al.* (2004).

OBJETIVOS

Este artículo pretende: *a)* Describir los trabajos de ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND entre 2005-06 a las nuevas superficies de marisma incorporadas al PND con el Proyecto Doñana 2005; *b)* Ampliar la información del enrase de la solera de marisma en los hito-fenos instalados en ella y en la base de las antiguas escalas de medida de su inundación, aportando los datos del periodo 2007-12 y *c)* Analizar el comportamiento de la solera de la marisma del PND durante el periodo 1995-2012.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada no varía sustancialmente de la utilizada en el Proyecto 74/93. En lo que se refiere a la ampliación de la Red

de Nivelación Geométrica de la marisma del PND, al igual que en el periodo 1995-99, se levantaron tramos de «nivelación geométrica con precisión» y tramos de «nivelación geométrica de unión». Los primeros destinados a definir los perfiles considerados estratégicos en el Proyecto Doñana 2005; los segundos para dar cota ortométrica a los puntos de estos perfiles estratégicos, a partir de cotas conocidas de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND de 1995-99.

En lo que se refiere a los enrases de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos y en la base de las antiguas escalas de medida del nivel de su inundación durante el periodo 2007-12, se continuó con el procedimiento expuesto en la introducción de este artículo.

Ampliación con nuevos levantamientos topográficos (2005-06) de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND a las nuevas superficies incorporadas al PN con el Proyecto Doñana 2005

Se describe a continuación las circunstancias que motivaron y concurrieron en la ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND; los perfiles considerados estratégicos en la misma para los objetivos del proyecto de «Seguimiento» de las «Actuaciones del Proyecto Doñana 2005» y el conjunto de todas las operaciones topográficas implicadas en el ámbito de la citada ampliación.

En el año 2004 el Proyecto Doñana 2005 amplió los límites por el norte del PND; al noreste se le incorporó la finca de Caracoles (2.627 ha) y al noroeste la finca de La Dehesilla (una superficie notablemente inferior, pero de especial significado porque toda ella constituye parte del nuevo cono de sedimentación del arroyo del Partido sobre la marisma de El Rocío). El Proyecto Doñana 2005 se puso en marcha para conseguir la «Regeneración

hídrica de las cuencas y cauces vertientes a la marisma del PND» (SAURA *et al.*, 2001) y para ello se le dotó de once «Actuaciones», de las que las ocho primeras corresponden a obras y trabajos a realizar en el entorno de la marisma del PND para el cumplimiento sus objetivos. Al Proyecto en cuestión se le asoció un «Plan de Seguimiento» para las «Actuaciones» realizadas y en este ámbito se incluyen los trabajos que a continuación se comentan. En primer lugar, se amplió la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND por las nuevas superficies incorporadas al PN especialmente por la finca de Caracoles, afectada por la «Actuación núm. 6» del Proyecto Doñana 2005; pero también se densificó la Red en la zona norte de la marisma, para poder precisar los efectos de las «Actuaciones números. 4 y 5» del citado Proyecto, que incide directamente a esta zona.

Aunque el «Seguimiento» se aplicó también a la «Actuación núm. 3» del Proyecto Doñana 2005, ésta no es objeto de este artículo, porque su complejidad merece una atención especial centrada únicamente en ella; solo se comenta que la Actuación núm. 3 afecta a la restauración hidráulico-sedimentaria del tramo final del arroyo del Partido e incluye a 448 ha de la marisma de El Rocío (dato de 2003, MAO, 2005; MINTEGUI *et al.*, 2006) donde el arroyo generó su nuevo cono de sedimentación y a los 7 Km del arroyo del Partido anteriores a su desembocadura en la marisma. Asimismo se indica que las operaciones de «Seguimiento» permitieron: *a)* enlazar las operaciones topográficas realizadas en el citado cono (nivelaciones geométricas de 1998 y 2003 y el levantamiento con un DGPS de 2008) con la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND de 1995-99 a través del hito-feno H03 y *b)* prolongar en siete Km. los levantamientos topográficos, iniciados en el nuevo cono de sedimentación, por el cauce del arroyo aguas arriba de la marisma; hasta el puente de la carretera de El Rocío a Hinojos situado próximo a la casa de la Matanza.

En relación con las restantes Actuaciones, la «Actuación núm. 6» se proyectó para restaurar

la funcionalidad del caño Travieso, desde su arranque en el Brazo de la Torre a la altura de la Vuelta de la Arena en Entremuros (Figura 1), hasta su desembocadura en el lucio de Los Ánsares; pero el objetivo específico se centra en la restauración de dicho caño en su recorrido por la finca de Caracoles, desde una abertura proyectada en la mota derecha de Entremuros por el noreste, en el lugar donde ésta es interceptada por el antiguo perfil del caño (Figura 10 imagen de la derecha), hasta donde el caño atraviesa el antiguo límite del PND en el paraje en cuestión por el sur. Dicho límite desapareció funcionalmente al incorporarse la finca de Caracoles al PND y en consecuencia desmontar sus drenajes y eliminar los obstáculos que lo separaban del PN; dentro del cual el caño Travieso siempre ha conservado su perfil, aunque no recibiera más caudal que el de las aguas pluviales, las escorrentías directas del lugar y el procedente de las mareas que suben por él desde el sur. En definitiva, se pretende conocer el comportamiento del cauce del caño Travieso en su recorrido por la citada finca, cuando se practique la abertura en Entremuros que le incorpore un caudal de proyecto. Para ello se planteó efectuar dentro de la mencionada finca cuatro secciones transversales a dicho caño, que aún conservaba vestigios de su antiguo trazado, mediante nivelaciones geométricas con precisión; para que una vez completada la «Actuación núm. 6» levantar de nuevo las nivelaciones geométricas de precisión a dichas secciones y verificar las variaciones con los perfiles anteriormente obtenidos. En esta ocasión el efecto de retracción-expansión de la solera de la marisma, aunque exista, se estima poco relevante en comparación con el efecto esperable del paso de la lámina de avenida por dichos perfiles, tras la descarga incorporada en la abertura a realizar en Entremuros. El Seguimiento de la Actuación se completó con el levantamiento de una nueva sección transversal al caño Travieso dentro de los antiguos límites del PN, pero próximo a la finca de Caracoles, con el mismo objetivo de comprobar los efectos del paso del flujo incorporado en Entremuros por el mismo. Además, aguas abajo de esta última sección transversal, el caño Travieso dispone de otras dos secciones transversales

levantadas con nivelación geométrica con precisión en los parajes de Leo Biaggi y Las Nuevas durante la ejecución de la primitiva Red de 1995-99 (Figuras 1 y 3), que se pueden utilizar para los mismos fines que los perfiles efectuados con motivo del «Seguimiento».

Las cuatro secciones transversales levantadas al caño Travieso en su recorrido por la finca de Caracoles, la sección transversal levantada aguas abajo de dicha finca pero próxima a ella y las secciones levantadas en los parajes de Leo Biaggi y Las Nuevas con la Red de Nivelación de 1995-99 constituyen perfiles estratégicos para el Seguimiento de la «Actuación núm. 6»; mientras que las nivelaciones que se hicieron desde el hito-feno H29 de la antigua Red de Nivelación a los hito-fenos de los nuevos perfiles estratégicos, para dotarlos de cota ortométrica, constituyen nivelaciones geométricas de unión.

De las distintas alternativas proyectadas para la «Actuación núm.5», la que se comenta es la mejor definida y consiste en la aportación de un caudal al caño Guadimar desde el arroyo de la Cigüeña, a través de un canal que condujera una descarga máxima de $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ al caño del Pescador, para entregar finalmente a la sección del caño Guadimar en el muro de la FAO. Este caño es un elemento singular del PND que debe conservarse y se debe poder detectar su evolución en el tiempo (Figura 1). Sin la «Actuación núm. 5» la única descarga que recibe es la de origen pluvial, directa y la procedente de las escorrentías de sus vertientes dentro del PN. La nueva descarga fluvial contribuiría a renovar y mantener el perfil del caño y en tal sentido su resultado sería beneficioso para su morfología en particular y para la de la marisma en general; sin contar con el efecto que supone la aportación hídrica al desarrollo de la marisma.

Atendiendo estrictamente a los aspectos morfológicos, en el caño Guadimar existían dos secciones transversales al mismo levantados durante la ejecución de la primitiva Red de 1995-99. La primera situada en el paraje de los Pocitos del Rocío y la segunda en el entorno de la cancela Millán. Ambas secciones pueden utilizarse en el proyecto de «Seguimiento de la

Actuación núm. 5», pues permiten detectar si el incremento de caudal que discurra por el caño Guadimar, como consecuencia de la aportación suministrada al mismo con dicha Actuación, puede afectar a las mencionadas secciones. Para ello sólo se precisa levantar unas nuevas nivelaciones geométrica con precisión en cada una de las citadas secciones tras la puesta en funcionamiento de la «Actuación núm. 5» y comprobar las alteraciones de sus perfiles anteriores y posteriores. El «Seguimiento» reforzó la comprobación de este efecto con una nueva sección transversal en el caño en medio de las dos anteriores. Las tres secciones mencionadas se consideran estratégicas para conocer el futuro comportamiento de la «Actuación núm. 5».

Lo que el «Seguimiento» tenía previsto en relación con la «Actuación núm. 4» era definir con precisión el relieve del terreno, en el área donde a través de ella se ponían en contacto un sector del Parque Nacional, conocido como la marisma gallega, con otro del Parque Natural en el paraje del muro de la FAO, especialmente en el entorno de las baterías de tubos habilitadas para que el agua circule entre ambos espacios protegidos. Para ello se recurrió a las operaciones siguientes: *a)* Realizar una nivelación geométrica entre ambos lados del muro en las tres zonas de éste en las que se instalaron las baterías de tubos. En dichas operaciones se partía de un punto materializado por un hito-feno instalado en el Parque Nacional, situado a 100 m de distancia del centro de la zona entubada del muro y en dirección perpendicular al mismo, para llegar a otro punto alineado con el hito-feno en cuestión y con el centro de la zona entubada y situado a 100 m en el interior del Parque Natural (este punto sólo se materializó con un hito-feno en una de las operaciones, en el resto se definió como un punto virtual, expresándolo con una V). El itinerario de la nivelación geométrica en cuestión se realizó en las tres baterías de entubados formando un rombo, que comenzaba y concluía en el hito-feno situado en el Parque Nacional; *b)* Dotar de cota ortométrica a todos los puntos de las nivelaciones anteriores, fueran hito-fenos o puntos virtuales, en especial a la cabeza de los ejes de anclaje a la marisma de los primeros; para lo que se proce-

dió a transmitir dicha cota mediante nivelación geométrica de unión desde el vértice geodésico de Cerrabarba VG2 ($z = 4,241$ m, en su punto más alto). La cota ortométrica de este vértice se estableció durante el levantamiento de la Red efectuada entre 1995-99.

La Figura 5.a muestra el estado que presentaba en el verano de 1999 el área septentrional de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND. A esta área afectan las «Actuaciones» mencionadas, proyectadas para proporcionar nuevos aportes de agua a la marisma, pero también para conseguir la naturalización de la red de drenaje de alimentación hídrica a la misma en sus zonas respectivas. La Figura 5.b detalla sobre la misma área la ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND en el verano de 2006; con las cuatro nuevas secciones transversales levantadas al caño Travieso en su recorrido por la finca de Caracoles y su densificación en los entornos de los caños Guadiamar y Travieso y en las zonas de conexión de ambos Parques, Nacional y Natural, en el paraje del muro de la FAO.

La Red original concluida el año 1999 tenía repartidas en toda la marisma 97 hito-fenos, numerados del H03 al H99. Posteriormente, coincidiendo con los trabajos de nivelación geométrica del cono de sedimentación del arroyo del Partido en junio de 2003, se instaló un nuevo hito-feno H02, que se enlazó con la citada red. Al conjunto de estos 98 hito-fenos, definidos con una H inicial, se le denominó «serie HXX». El hito-feno H01 no existe como tal, pero responde a la cota de la estructura de hormigón de los vertederos del arroyo de la Rocina y se materializó con un clavo topográfico que se fijó en la misma en septiembre de 2005.

En julio del año 2000 se instalaron en el lucio de Mari López dos nuevos hito-fenos, que se identificaron por J01 y J02, para delimitar con ellos el eje transversal del mismo. No se volvieron a instalar nuevos hito-fenos en la marisma hasta julio de 2005. Ese año se colocaron 19 hito-fenos numerados del J03 al J22 (se saltó el J10), todos ellos coincidiendo con las operaciones de nivelación geométrica de las

nuevas secciones transversales efectuadas a los caños afectados por las «Actuaciones núm. 5 y núm. 6» del Proyecto Doñana 2005. En julio del año 2006 se instalaron 4 nuevos hito-fenos, numerados del J23 al J26, para utilizarlos de referencia en los trabajos de «Seguimiento de la Actuación núm. 4». En resumen, todos los hito-fenos instalados en la marisma con las operaciones de campo efectuadas en el contexto del Proyecto Doñana 2005 se integraron en una nueva «serie JXX» y como tales aparecen en las tablas y figuras de este texto. El hito-feno J10 se trata de una situación muy especial y no está instalado en la marisma. Dicho código se reservó para designar un clavo topográfico, anclado en el suelo el 10-06-1999, en el extremo superior izquierdo del puente sobre el arroyo del Partido del camino asfaltado entre El Rocío y Villamanrique de la Condesa y está relacionado con los levantamientos topográficos realizados en el entorno del arroyo del Partido. MINTEGUI *et al.* (2010).

La Figura 5.b muestran las cuatro nuevas secciones transversales al caño Travieso definidas por N-J12-J11-J13; N-J15-J14-J16; N-J18-J17-J19 y N-J21-J20-J22 levantadas en la finca de Caracoles con los trabajos de ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND; así como el itinerario seguido por las nivelaciones de unión, para dotar de cota altimétrica a las nuevas secciones transversales, desde el hito-feno H29 ($z = 1,292$ m) hasta la compuerta C15 ($z = 3,182$ m) de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND de 1995-99. Los tramos de las citadas nivelaciones mantienen la nomenclatura indicada en la introducción de este artículo. En la misma Figura 5.b se muestra la sección transversal N-J07-J08-J09 efectuada en el caño Travieso inmediatamente aguas abajo de la finca de Caracoles y las nivelaciones de unión que enlazan el hito-feno H29 con los extremos de dicha sección para dotar a ésta de altimetría y, también, la nueva sección transversal N-J03-J04-J05-J06 realizada en el caño Guadiamar, ubicada en medio de dos secciones transversales existentes de la Red anterior (la situada en el paraje de los Pocitos del Rocío y la ubicada en el entorno de la cancela Millán), junto con las nivelaciones

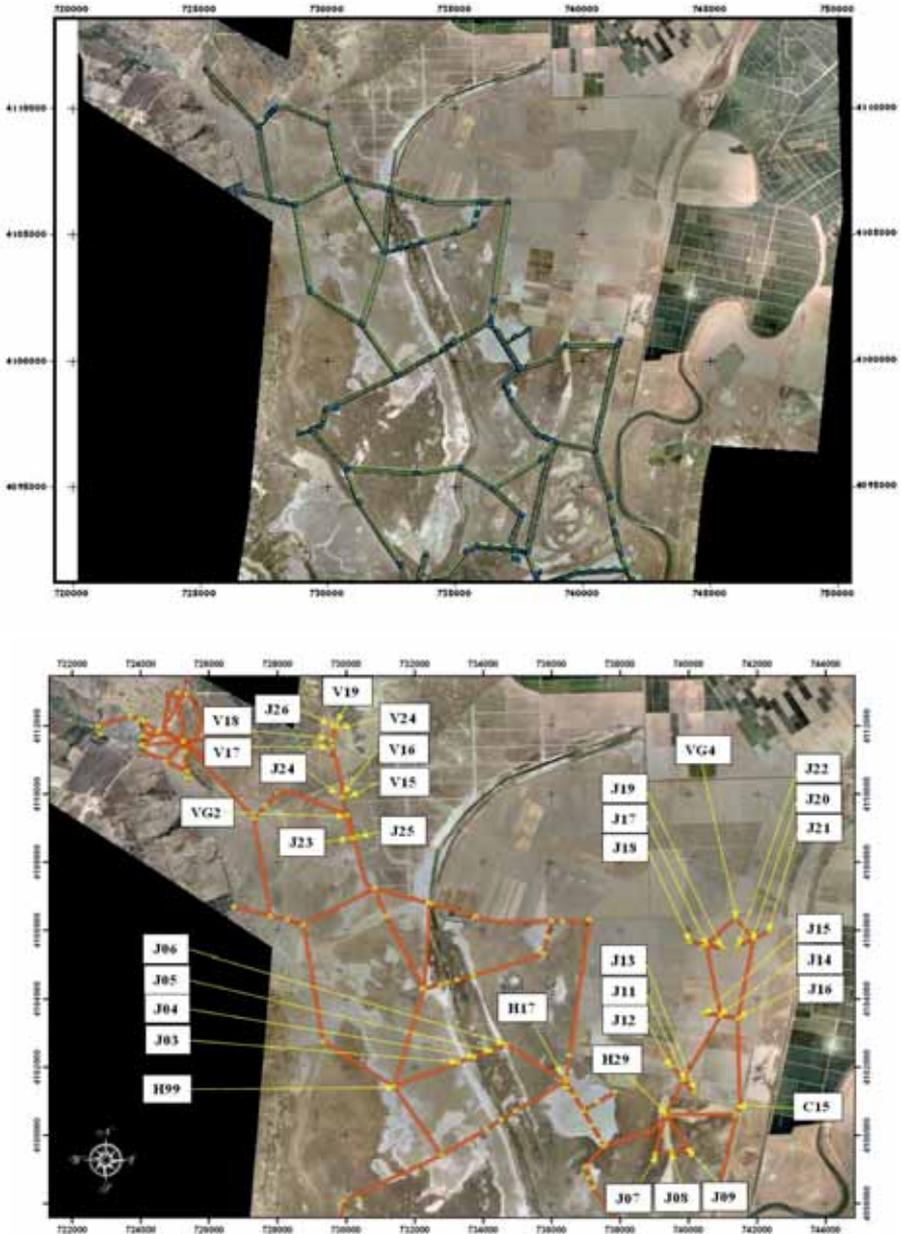


Figura 5. Detalle del área septentrional de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND. Imagen superior: en 1999. Imagen inferior: en el verano de 2006, con su ampliación en la finca de Caracoles y su densificación en los entornos de los caños Guadiamar y Travieso y en las zonas de conexión de los Parques Nacional y Natural en el paraje del muro de la FAO.

Figure 5. Detail of the northern area of the Geometric Levelling Network of the DNP marsh. Upper picture: in 1999. Lower picture: in summer of 2006, once the Network was extended to Caracoles state and it got denser around the Guadiamar and Travieso streams, and the connection areas of National and Natural Park close to the wall of FAO.

geométricas de unión U-H99-J03 y U-J06-H17 que le enlazan con la Red de 1995-99 para dotarle de cota altimétrica. Asimismo se pueden reconocer las nuevas nivelaciones geométricas realizadas en el paraje del muro de la FAO, a las que se les dotó de cota altimétrica a partir del vértice geodésico de Cerrabarba VG2 ($z = 4,018$ m, en su punto más alto).

RESULTADOS

Levantamientos topográficos de la Ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND en las superficies incorporadas al PN con el Proyecto Doñana 2005

Se muestran a continuación los resultados de las nivelaciones geométricas con precisión (Tabla 1, Figura 6, *a* y *b*) y las nivelaciones geométricas de unión (Tabla 2, Figura 7), levantadas para el «Seguimiento de la Actuación núm. 6» en el caño Travieso a su paso por la finca de Caracoles.

Las nivelaciones geométricas de unión partieron del hito-feno H29 ($z = 1,292$ m, situado en el centro del caño Travieso, aguas abajo de la

finca de Caracoles, dentro de los antiguos límites del PND y al pie de la escala E21) y generaron dos mallas como se muestra en la Figura 6 *a*. La primera incluye los itinerarios U-H29-J11-J14; N-J14-J16 y U-J16-C15 para cerrar en la compuerta C15 de cota definida en la Red de 1995-99 ($z = 3,182$ m, situada en la esquina sureste de la estructura de desagüe de la finca de Caracoles a Entremuros). La segunda malla se inicia en el hito-feno J14 continuando su recorrido por los tramos U-J14-J17-VG4-J20-J16, que junto con el tramo N-J14-J16, cierra la malla en el punto de partida.

Las operaciones de «Seguimiento de la Actuación núm. 6» también implicaron una nueva sección al caño Travieso, levantada mediante nivelación geométrica con precisión, aguas abajo de la finca de Caracoles y aguas arriba de la sección definida en el paraje de Leo Biaggi con la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND de 1995-99. Esta nueva sección, N-J07-J08-J09, tiene ubicado su hito-feno central en un estrechamiento del caño Travieso como se aprecia en la Figura 8. En la Tabla 3 se resumen los trabajos de nivelación geométrica con precisión para definir el perfil de la sección transversal N- J07-J08-J09 (sección *a*) y las nivelaciones geométricas de unión, para dotar de cota altimétrica a todos sus puntos, entre los hito-fenos de los extremos de dicha sección y el hito-feno H29 (sección *b*).

Sección transversal	Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
					Inicio	Final
N-J12-J11-J13	N-J11-J12	25-07-2005	502,30	501	1.174	1.675
	N-J11-J13	25-07-2005	499,00	419	1.174	1.593
N-J15-J14-J16	N-J14-J15	24-07-2005	499,05	405	1.385	1.790
	N-J14-J16	24-07-2005	498,05	716	1.385	2.101
N-J18-J17-J19	N-J17-J18	23-07-2005	477,10	793	1.519	2.312
	N-J17-J19	23-07-2005	496,61	799	1.519	2.318
N-J21-J20-J22	N-J20-J21	22-07-2005	502,45	662	1.461	2.123
	N-J20-J22	22-07-2005	499,00	829	1.461	2.290

Tabla 1. Secciones transversales levantadas mediante nivelación geométrica con precisión en el caño Travieso en su recorrido por la finca de Caracoles (julio de 2005).

Table 1. Cross sections surveyed by precision geometric levelling in the caño Travieso in Caracoles state (July 2005).

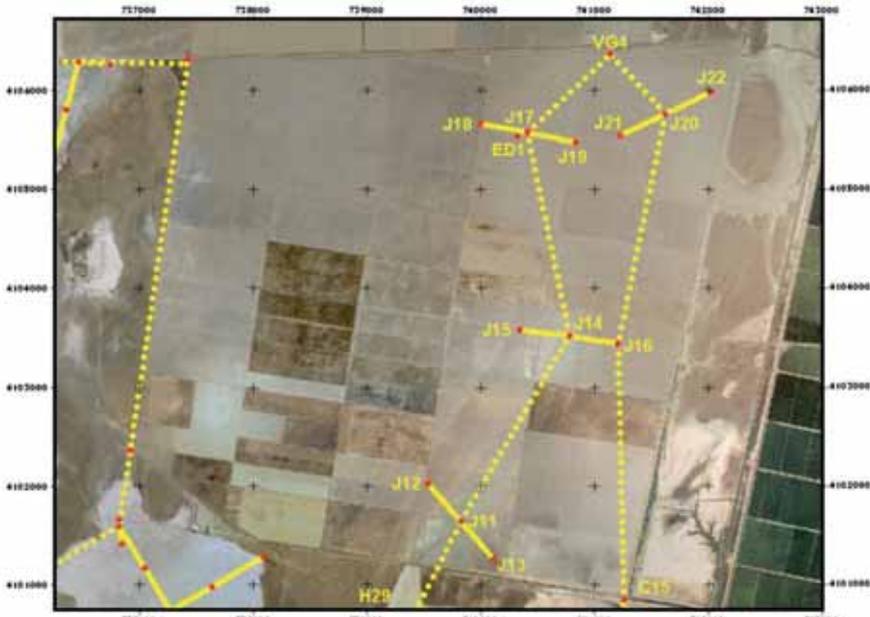


Figura 6 a. Situación en planta de las cuatro secciones transversales efectuadas en el caño Travieso a su paso por la finca de Caracoles mediante nivelación geométrica con precisión en julio de 2005 y de las nivelaciones de unión para dar cota ortométrica a los puntos de dichas secciones entre julio y septiembre del mismo año.

Figure 6 a. Plan situation of the four cross sections made in Travieso stream in the Caracoles state by precise geometric levelling in July 2005 and joining levelling made between July and September of the same year in order to assign orthometric height to the points.

Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
				Inicio	Final
U-H29-J11	5-09-2005	1.121,49	-118	1.292	1.174
U-J11-J14	5-09-2005	2.170,99	211	1.174	1.385
U-J14-J17	6-09-2005	2088,49	134	1.385	1.519
U-J17-ED1*	23-07-2005	107,36	187	1.519	1.706
U-J17-VG4	7-09-2005	1.146,30	4.579	1.519	6.098
U-J20-VG4	7-09-2005	815,79	4.637	1.461	6.098
U-J20-J16	8-09-2005	2.365,35	640	1.461	2.101
U-J16-C15	8-09-2005	2.590,14	1.081	2.101	3.182

NOTACIONES:

*ED1, es una estación de medida de variables hidráulicas e hidro-meteorológicas, situada en el paraje en cuestión y el tramo U-J17-ED1 no forma parte de ninguna de las mallas de nivelación de unión.

Table 2 . Nivelaciones geométricas de unión efectuadas para dotar de cota altimétrica a los puntos de las cuatro secciones transversales estratégicas definidas en el caño Travieso a su paso por la finca de Caracoles (especialmente a las cabezas de los clavos de anclaje al terreno de los hito-fenos que determinan el centro y los extremos de dichas secciones); julio y septiembre de 2005.

NOTES:

*ED1, it is a hydraulic and hydro-meteorologic station placed in the state in question. The stretch U-J17-ED1 is not part of the levelling net for joining.

Table 2. Geometric levelling carried out to assign height and to join points of the four cross sections defined in caño Travieso in its path through Caracoles state (specially to the top of the landmarks at the centre and extremes of such cross sections). July and September 2005.

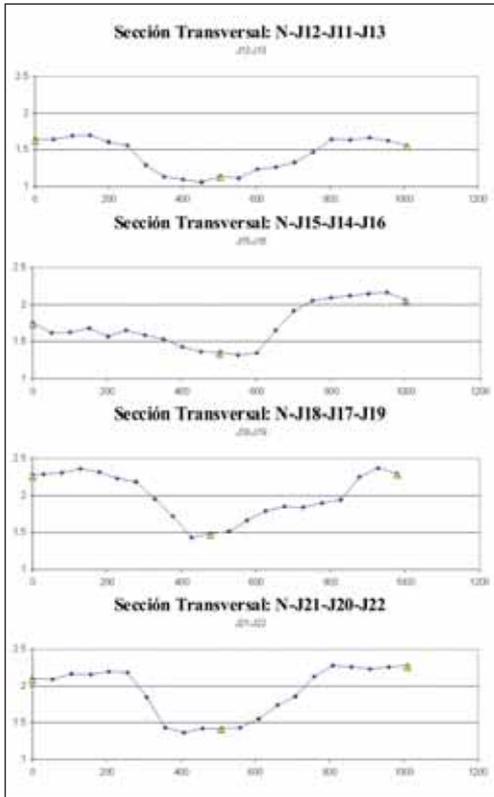


Figura 6 b. Perfiles de las cuatro secciones transversales efectuadas en el caño Travesio a su paso por la finca de Caracoles con nivelación geométrica con precisión en julio de 2005
Figure 6 b. Profiles of the four cross sections made in Travesio stream in Caracoles state by precision geometric levelling in July 2005.

Al final de la introducción de este artículo, se comenta que el vuelo Lidar realizado a la marisma por la CHG (2002) se ha utilizado como complemento en los trabajos de nivelación geométrica llevados directamente sobre la marisma. A modo de ejemplo, en la Figura 9 se muestra la superposición del perfil obtenido de la sección N- J07-J08-J09 por nivelación geométrica con precisión (9-09-2005) y la que le correspondería de aplicar a la misma sección el vuelo Lidar (2002). La diferencia entre la línea naranja y la azul es el desplazamiento que requiere la sección Lidar para encajar con el levantamiento ortométrico. Se aprecia la complementariedad y coincidencia de ambos pro-

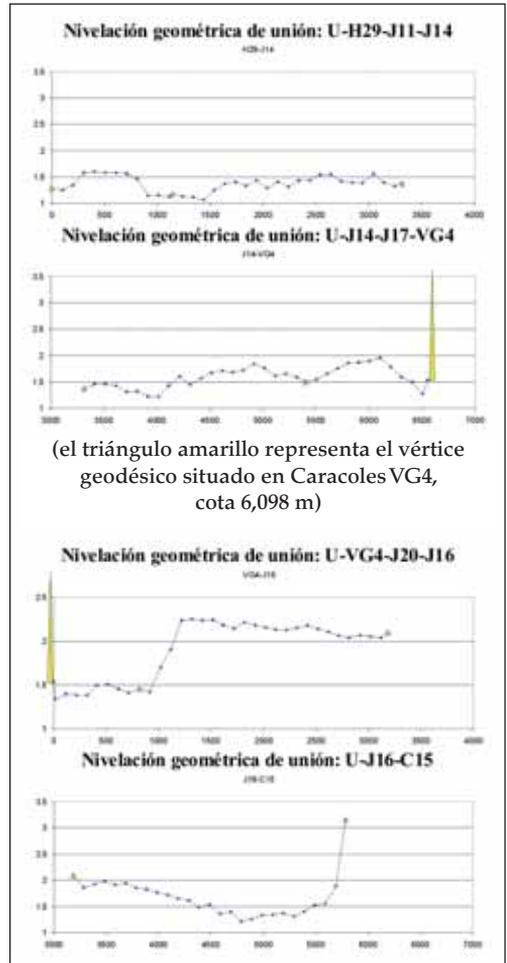


Figura 7. Perfiles de las nivelaciones geométricas de unión efectuadas en el caño Travesio a su paso por la finca de Caracoles en septiembre de 2005.
Figure 7. Profiles of the joining geometric levelling made in Travesio stream in Caracoles state in September 2005.

cedimientos. El intervalo entre ambos perfiles oscila entre +/- 15 cm.

La «Actuación núm. 6» está terminada, a falta de construir en Entremuros la estructura que permita descargar un caudal de proyecto al cauce del caño Travesio, en el lugar donde su muro derecho y el caño están en contacto (Figura 10, imagen derecha). Pero conviene señalar que ya ha surtido algunos de los efectos

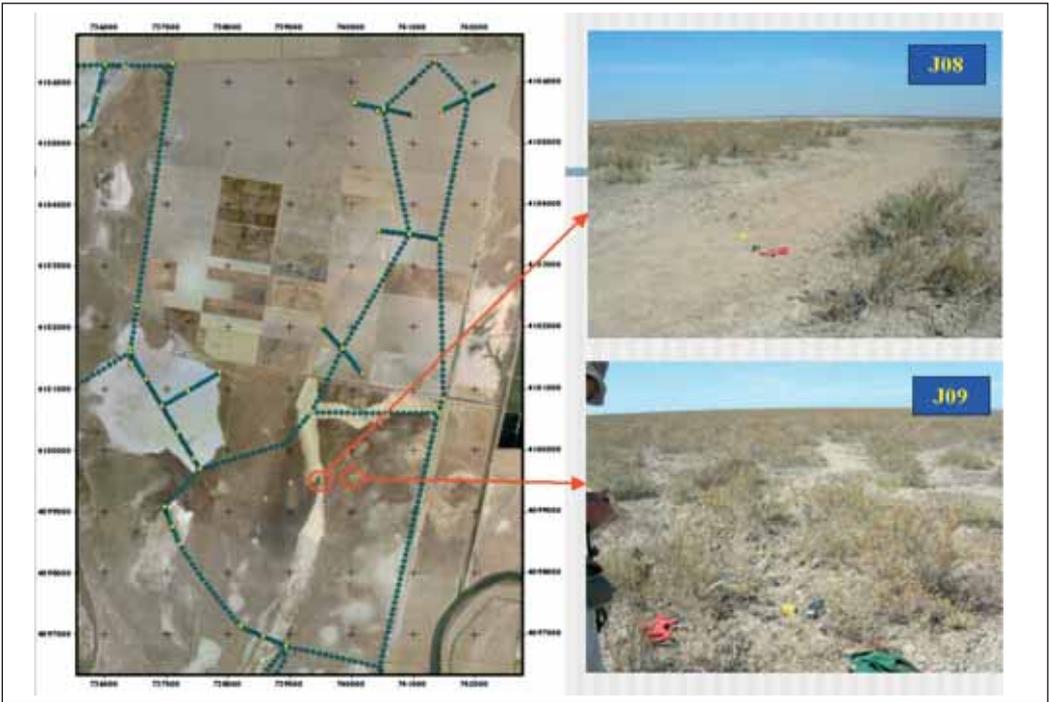


Figura 8. Instalación del hito-feno J08 en el centro de la sección transversal del caño Travieso definida por N- J07-J08-J09, el 9 de septiembre de 2005.

Figure 8. Establishment of landmark J08 in the centre of cross section in Travieso stream defined as N-J07-J08-J09, on 9-09-2005.

SECCIÓN a)

Sección transversal	Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
					Inicio	Final
N-J07-J08-J09	N-J08-J07	7-07-2006	498,79	390	1.116	1.506
	N-J08-J09	7-07-2006	499,49	497	1.116	1.613

SECCIÓN b)

Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
				Inicio	Final
U-H29-J07	9-07-2006	1.211,28	214	1.292	1.506
U-J09-H29	9-07-2006	1.241,08	-321	1.613	1.292

Tabla 3. Nivelación geométrica con precisión que define la sección transversal N- J07-J08-J09 en el caño Travieso (sección a) y nivelaciones geométricas de unión para dotar de cota altimétrica a sus puntos, haciendo bucle de salida y entrada en el hito-feno H29 (sección b).

Table 3. Precision geometrical levelling that defines the cross section N-J07-J08-J09 in caño Travieso (section a) and joining geometric levelling to assign height to its points, with entrance and exit in landmark H29 (section b).



Figura 9. Perfil de la sección transversal N- J07-J08-J09 levantada en el caño Travieso con la Ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND (2005-06). En azul la nivelación geométrica con precisión (9-09-2005). En rosa el mismo perfil determinado con el del vuelo Lidar (2002). La diferencia entre la línea naranja y la azul es el desplazamiento que requiere la sección Lidar para encajar con el levantamiento ortométrico.

Figure 9. Profile of the cross section N-J07-J08-J09 surveyed in Travieso stream during the Extension of the Geometric Levelling Network of the DNP marsh (2005-2006). In blue, precision geometric levelling (9-09-2005). In pink, the same profile determined by Lidar technology (2002). The difference between the orange and blue lines is the displacement needed by the Lidar cross section to match the orthometric survey.



Figura 10. Dos situaciones del caño Travieso al norte de la finca de Caracoles. Izquierda: caño inundado en el meandro que discurre cerca del vértice geodésico de Caracoles el 27-10-2008, tras unas ligeras precipitaciones en los días anteriores. Derecha: el caño Travieso totalmente inundado en el mismo paraje el 13-03-2010; fotografía aérea cedida por el PND.

Figure 10. Two different situation of Travieso stream north in the Caracoles state. Left: stream flooded in the meander close the geodesic vertex of Caracoles on 27-10-2008, after light precipitation the days before. Right: Travieso stream totally flooded in the same area on 13-03-2010. Photography given up by DNP.

esperados de ella; porque al quitar las barreras que separaban a la finca de Caracoles del resto del PND, el agua asciende por el caño durante las mareas desde el lucio de Los Ánsares hasta el norte de la finca de Caracoles, como se aprecia imagen izquierda de la Figura 10, obtenida desde el muro de la FAO el 27-10-2008, en la que aparecen el meandro que hace el caño Travieso en dicho paraje y el vértice geodésico de Caracoles VG4 ($z = 6,098$ m.). La imagen de la derecha corresponde al mismo lugar y procede de un vuelo fotográfico del 13-03-2010; al fondo de la misma se encuentra Entremuros y en primer plano el meandro que hace el caño Travieso en el paraje en cuestión.

En el «Seguimiento de la Actuación núm. 5» la única sección transversal levantada con nivelación de precisión es la N-J03-J04-J05-J06 que se muestra en la Tabla 4 (sección a), junto con las nivelaciones geométricas de unión para dotar a sus puntos de cota ortométrica, efectuadas desde los hito-fenos H17 y H99 pertenecientes a la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND de 1995-99 (sección b). La Figura 11 muestra dicho perfil, levantado el 8-07-2006 (en azul) y obtenido utilizando el vuelo Lidar

(en rosa). La diferencia entre la línea naranja y la azul es el desplazamiento que requiere la sección Lidar para encajar con el levantamiento ortométrico. Se aprecia un buen ajuste entre ambos perfiles, con un desplazamiento inferior a +/- 10 cm.

En lo que respecta al «Seguimiento de la Actuación núm. 4», los resultados de las nivelaciones geométricas levantadas en el paraje del muro de la FAO, especialmente en el entorno de las tres baterías de tubos que permiten la circulación del agua del sur al norte y viceversa entre la marisma gallega (PND) y el Parque Natural, se muestran en la Tabla 5.

La Figura 12 a, b, c, muestra las nivelaciones geométricas con precisión realizadas en los entornos de la primera, segunda y tercera batería de tubos instalados en el muro de la FAO. El sentido de las baterías de tubos es de oeste a este, de El Rocío hacia el Centro de Interpretación José Antonio Valverde. La Figura 13 muestra a la izquierda un plano con la ubicación en coordenadas UTM (USO 29) de las nivelaciones geométricas con precisión levantadas en torno a las tres baterías de tubos

SECCIÓN a)

Sección transversal	Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
					Inicio	Final
N-J03-J04-J05-J06	N-J03-J04	8-07-2006	497,33	-563	1.715	1.152
	N-J04-J05	8-07-2006	499,78	-13	1.152	1.139
	N-J06-J05	8-07-2006	499,29	-582	1.721	1.139

SECCIÓN b)

Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
				Inicio	Final
U-J03-H99	10-07-2006	1.988,58	119	1.715	1.834
U-J06-H17	10-07-2006	2.034,05	-519	1.721	1.202

Tabla 4. Nivelación geométrica con precisión de la sección transversal N-J03-J04-J05-J06 en el caño Guadamar (sección a) y nivelaciones geométricas de unión para dotar de cota altimétrica a sus puntos, que parten de los hito-fenos H17 y H99 de la Red de Nivelación de 1995-99 y se dirigen a los extremos este y oeste de sección en cuestión (sección b)

Table 4. Precision geometric levelling for cross section N-J03-J04-J05-J06 in the caño Guadamar (section a) and joining geometric levelling to assign height to its points, which starts in landmarks H17 and H99 of the Levelling Network 1995-1999 and it goes to eastern and western extremes of the cross section (section b).

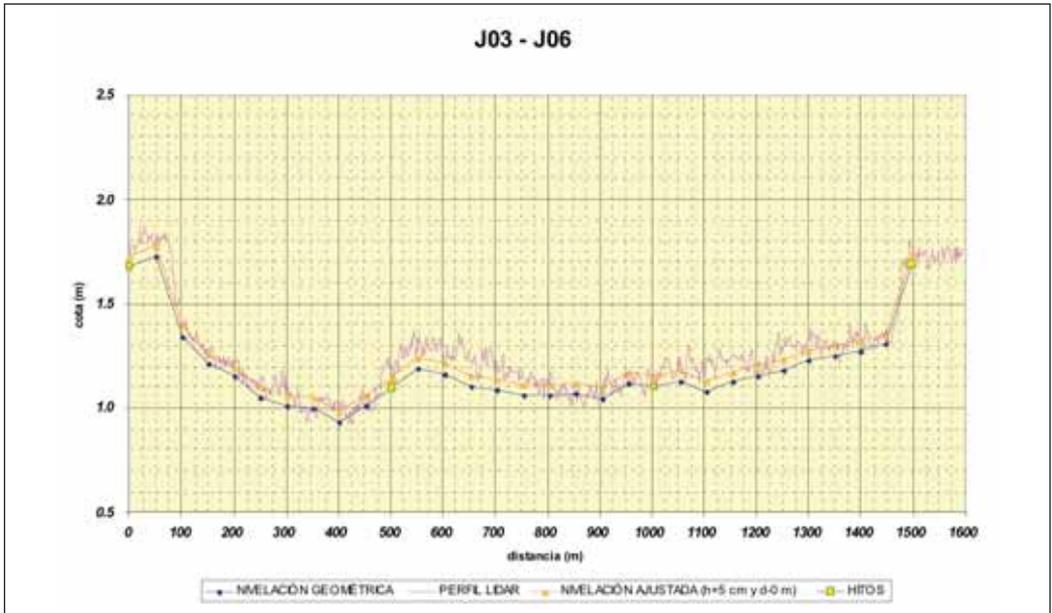


Figura 11. Nueva sección transversal del caño Guadamar, definida por N-J03-J04-J05-J06, ubicada entre dos secciones transversales anteriores (una situada aguas arriba, en el paraje de los Pocitos del Rocío y otra aguas abajo, en el entorno de la cancela Millán). Nivelación geométrica con precisión sobre el terreno el 8-07-2006 (en azul), obtenida utilizando del vuelo Lidar 2002, (en rosa). La diferencia entre la línea naranja y la azul es el desplazamiento que requiere la sección Lidar para encajar con el levantamiento ortométrico

Figure 11. New cross section of Guadamar stream, defined as N-J03-J04-J05-J06, placed between two older cross sections (one upstream in the Pocitos del Rocío area, and another downstream in the Millán gate area). Precision geometric levelling on the terrain obtained on 8-07-2006 (blue), and profile from Lidar technology 2002 (pink). The difference between orange and blue lines is the displacement needed by the Lidar cross section to match the orthometric survey.

Nivelación	Fecha	Distancia (m)	Variación de cotas (mm)	Cotas (mm)	
				Inicio	Final
U-J24-VG2	11-07-2006	546,60	2.556	1.685	4.241
U-VG2-J23	11-07-2006	675,95	-2.742	4.241	1.499
N-J23-J23	11-07-2006	412,11*	0	1.499	1.499
N-J24-J24	12-07-2006	409,58*	0	1.685	1.685
U-V16-V19(1)	12-07-2006	2.111,28	261	3.329	3.590
N-J26-J26	13-07-2006	362,18*	0	2.267	2.267

NOTACIONES:

(1) V16 y V19 son puntos virtuales de cota conocida y situados en el camino del muro de la FAO. La cota de V16 se obtuvo durante la nivelación N-J24-J24 y está situado encima de la batería de tubos central. Desde él se aportó la cota al hito-feno J26, a partir del punto V19 que está ubicado encima de la primera batería de tubos, la situada al oeste.

* En estos casos se refiere a la longitud de todo el itinerario de la nivelación.

Tabla 5. Trabajos de nivelación geométrica (N, nivelación con precisión; U, nivelación de unión) efectuados en el paraje del muro de la FAO, en las tres baterías de tubos que permiten el paso del agua del sur al norte y viceversa entre el PND y el Parque Natural.

NOTES:

(1) V16 and V19 are virtual points of known height placed on wall of FAO. The level of V16 was obtained in the levelling N-J24-J24 and it is placed on the central set of drainages. From it the height was translated to landmark J26 through V19 placed on the first set of drainages at west.

*In these cases it refers to the total length of the levelling itinerary.

Table 5. Works of geometric levelling (N, precision levelling; U, levelling for joining) carried out in the three sets of drainages in the area of the wall of FAO, which allow the flow between South and North, the DNP and the Natural Park.

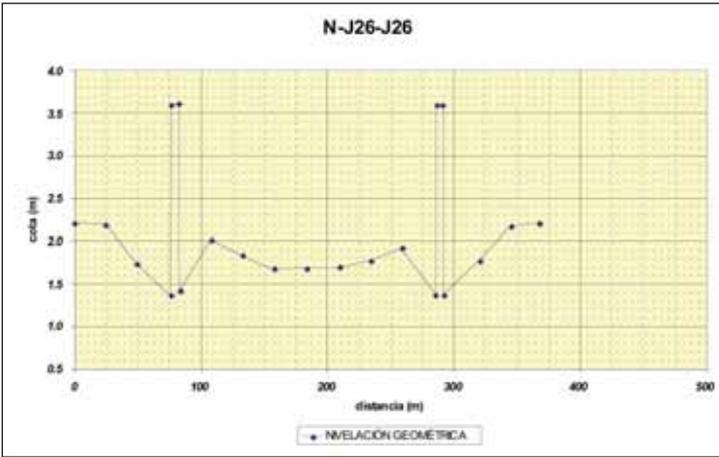


Figura 12 a. Perfil de la nivelación geométrica con precisión N-J26-J26, levantada en el entorno de la primera batería de tubos que conectan la marisma gallega (PND) con el Parque Natural y viceversa. Las cotas más altas corresponden al nivel del camino sobre el muro de la FAO (en este tramo del camino se ubica el punto virtual V19).

Figure 12 a. Profile of the precision geometric levelling N-J26-J26 surveyed in the area of the first set of drainages which connects Gallega marsh (DNP) with the Natural Park. The highest points correspond to the level of the road over the wall of FAO. Virtual point V19 is placed in this section.

Figura 12 b. Perfil de la nivelación geométrica con precisión N-J24-J24, levantada en el entorno de la segunda batería de tubos que conectan la marisma gallega (PND) con el Parque Natural y viceversa. Las cotas más altas corresponden al nivel del camino sobre el muro de la FAO (en este tramo del camino se ubica el punto virtual V16).

Figure 12 a. Profile of the precision geometric levelling N-J24-J24 surveyed in the area of the second set of drainages which connects Gallega marsh (DNP) with the Natural Park. The highest points correspond to the level of the road over the wall of FAO. Virtual point V16 is placed in this section.

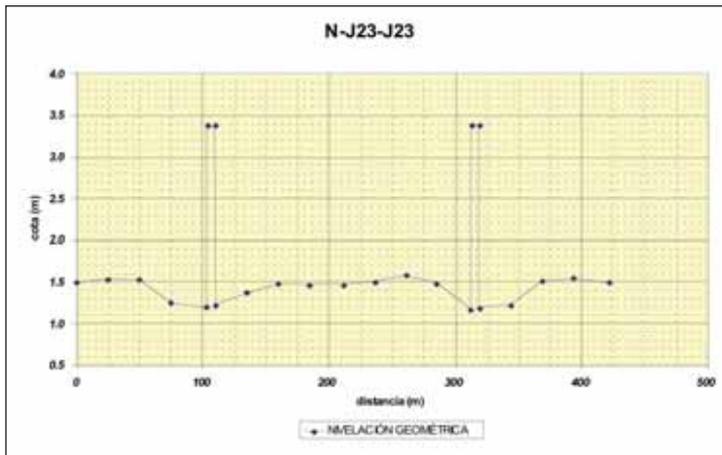
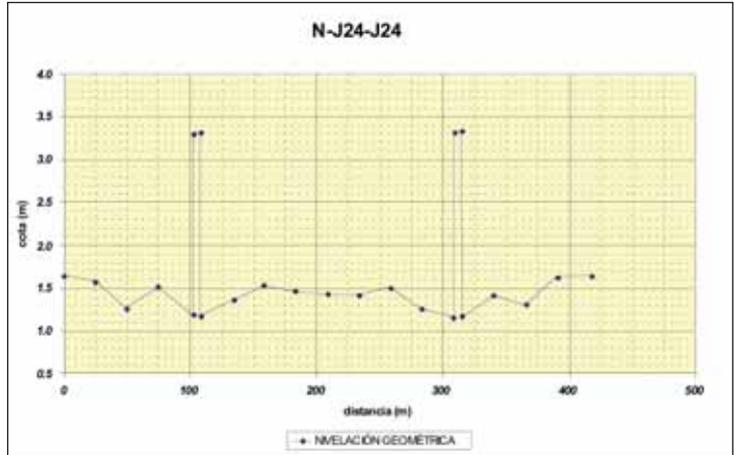


Figura 12 c. Perfil de la nivelación geométrica con precisión N-J23-J23, levantada en el entorno de la tercera batería de tubos que conectan la marisma gallega (PND) con el Parque Natural y viceversa. Las cotas más altas corresponden al nivel del camino sobre el muro de la FAO.

Figure 12 c. Profile of the precision geometric levelling N-J23-J23 surveyed in the area of the third set of drainages which connects Gallega marsh (DNP) with the Natural Park. The highest points correspond to the level of the road over the wall of FAO.

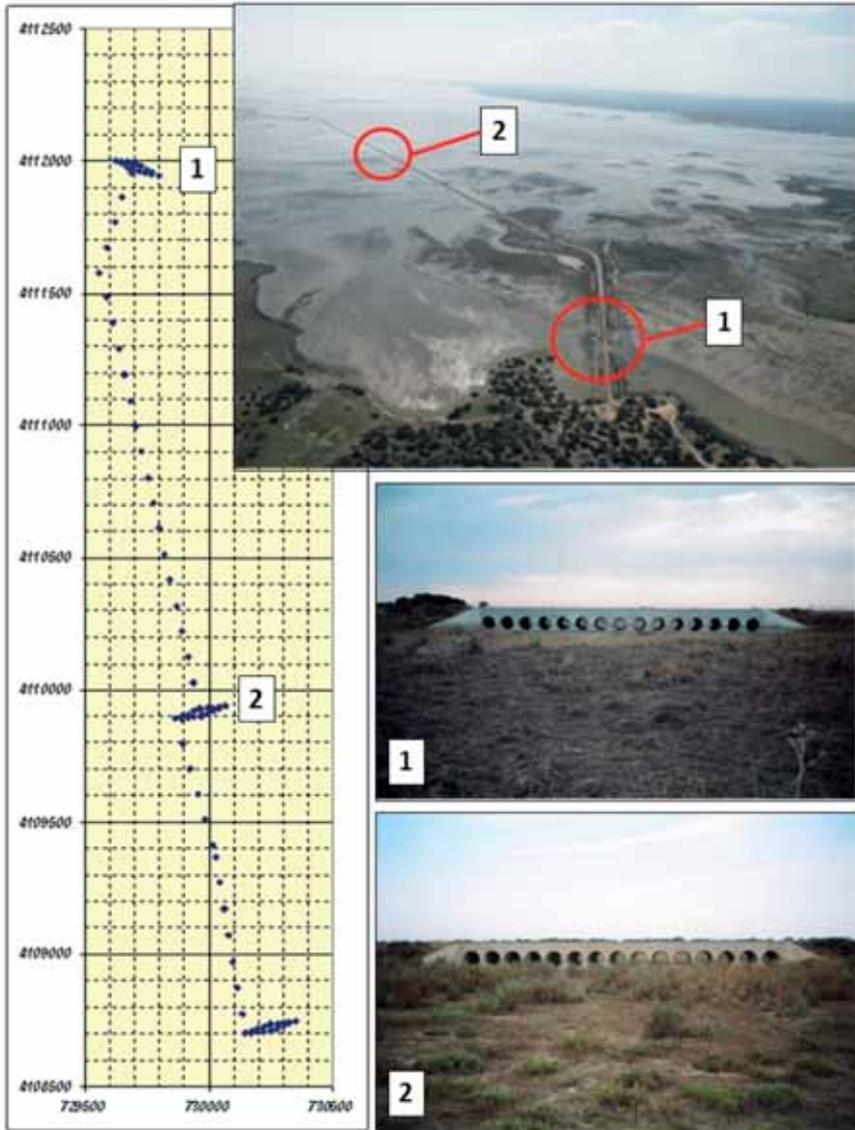


Figura 13. Izquierda: Ubicación en coordenadas UTM (USO 29) de las nivelaciones geométricas con precisión levantadas en torno a tres baterías de tubos ejecutadas en el muro de la FAO (en el sentido de El Rocío al centro de interpretación José Antonio Valverde en Cerrado Garrido), para poner en comunicación a la marisma gallega (PND) con el Parque Natural y viceversa El rombo superior corresponde a la nivelación N-J26-J26; el del medio a la N-J24-J24 y el inferior a la N-J23-J23. Derecha: La imagen superior muestra la Actuación núm. 4 en pleno funcionamiento durante una avenida el 13-03-2010 (fotografía aérea cedida por el PND). Las imágenes central e inferior corresponden a la primera batería de tubos situada al inicio del muro de la FAO y a la segunda situada al este de la anterior.

Figure 13. Left: situation of the precision geometric levelling (UTM time zone 29) in the area of the three set of drainages of the wall of FAO, moving from El Rocío towards Cerrado Garrido and its interpretation centre José Antonio Valverde. Those connect Gallega marsh (DNP) with the Natural Park. The upper diamond correspond to levelling N-J26-J26; the one in the centre to levelling N-J24-J24 and the lower one to levelling N-J23-J23. Right: upper photograph shows Actuation number 4 working during the flood on 13-03-2010 (photography given up by DNP). The central and lower photographs shows the first and second sets of drainages in the wall of FAO.

ejecutadas en el muro de la FAO, para poner en comunicación a la marisma gallega (PND) con el Parque Natural y viceversa. A la derecha imágenes de las baterías.

Siguiendo el esquema adoptado en 1995-99 con el Proyecto 174/93 para establecer las conexiones entre las diferentes nivelaciones geométricas y conformar conjuntamente la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND; en su Ampliación, efectuada entre 2005-96, se añadieron tres nuevas áreas: *a*) en el extremo noreste del PND, el Área 18. Caracoles; *b*) al norte del mismo, el Área 19. Muro de la FAO y *c*) en el extremo noroeste, el Área 20. Cono de sedimentación del arroyo del Partido. Estas áreas se integraron en la Red de 1995-99 a partir de elementos de cota conocida de esta última. El hito-feno H29 situado en el Área 11. Travieso aportó la cota al Área 18, que además dispone de otra referencia en la compuerta C15 que pertenece también al Área 11. El vértice geodésico de Cerrabarba VG2 situado en el Área 17. Las Yeguas aportó la cota al Área 19, que también dispone de otra referencia en la

C10 situada en la misma área que el VG2. Por último, el Área 20 recibe la cota del hito-feno H03 situado en el extremo noroeste del Área 17. Las Yeguas (Tabla 6). La Figura 14 muestra la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND en 2012, incluyendo las nuevas Áreas 18, 19 y 20 que aparecen encerradas en elipses rojas.

El Área 18 engloba todas las operaciones topográficas realizadas en la finca de Caracoles, tanto nivelaciones con precisión como nivelaciones de unión. En el Área 19 se concentran todas las operaciones topográficas (nivelaciones con precisión y nivelaciones de unión) relacionadas con la circulación del agua entre la marisma gallega (PND) y el Parque Natural y viceversa en el entorno occidental del muro de la FAO. Finalmente, el Área 20 recoge todas las operaciones topográficas realizadas en el nuevo cono de sedimentación del arroyo del Partido en la marisma de El Rocío. (Tabla 6).

La nivelación geométrica con precisión N-J7-J8-J9 levantada a la sección transversal del

Área de nivelación			Enlace con otras áreas de nivelación			
núm.	Nombre	Nivelaciones realizadas en el interior del área	Código enlace	Área enlazada	Puntos de contacto	
					Base	Otros
18.	Caracoles	- Nivelación con precisión de cuatro secciones transversales al caño Travieso en su recorrido por la finca de Caracoles.	18.11.	Travieso	H29	C15
		- Nivelaciones de unión en el área de Caracoles.	18.11.	Travieso	H29	C15
19.	Muro de la FAO	- Nivelaciones con precisión entre los hito-fenos situados a ambos lados de las baterías de tubos aplicados al muro de la FAO, que ponen en comunicación el Parque Nacional con el Parque Natural - Nivelaciones de unión en el entorno del muro de la FAO	19.17.	Las Yeguas	VG2	C10
20.	Nuevo cono de sedimentación del Partido	- Nivelaciones de unión en el nuevo cono de sedimentación del arroyo del Partido en la marisma de El Rocío.	20.17.	Las Yeguas	H03	

Tabla 6. Nuevas nivelaciones geométricas levantadas en la marisma del Parque Nacional de Doñana entre 2005-06, que enlazan con la anterior Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND (1995-99)

NOTA: Esta Tabla adopta el esquema definido en la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND (1995-99)

Table 6. New geometric levelling surveyed in the marsh of the Doñana National Park between 2005-2006, which connect with the previous Geometric Levelling Network of the marsh of DNP (1995-1999).

NOTE: This table has the sketch defined in the Geometric Levelling Network of the marsh of DNP (1995-1999)

caño Travieso situada aguas abajo del hito-feno H29, del que recibe cota, se integró en el Área 11. Travieso (esta nivelación aparece en la Figura 14 encerrada en una elipse azul). La nivelación geométrica con precisión N-J03-J04-J05-J06 levantada en el caño Guadiamar, aguas abajo de la nivelación realizada al mismo en el paraje de los Pocitos de El Rocío en 1998, se ha integrado en el Área15. Guadiamar1 (en la Figura 14 está encerrada en un círculo azul).

La Ampliación de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND incrementó el número de puntos de coordenadas (x, y, z) conocidas en 495; de los que 26 están materializados sobre el terreno; los 25 que se corresponden con la cabeza del clavo de anclaje al terreno de los nuevos hito-fenos incorporados a la marisma (serie JXX) y el vértice de Caracoles VG04, que al igual que el vértice de Cerrabarba VG02 se encontraba descatalogado al iniciar la Red.

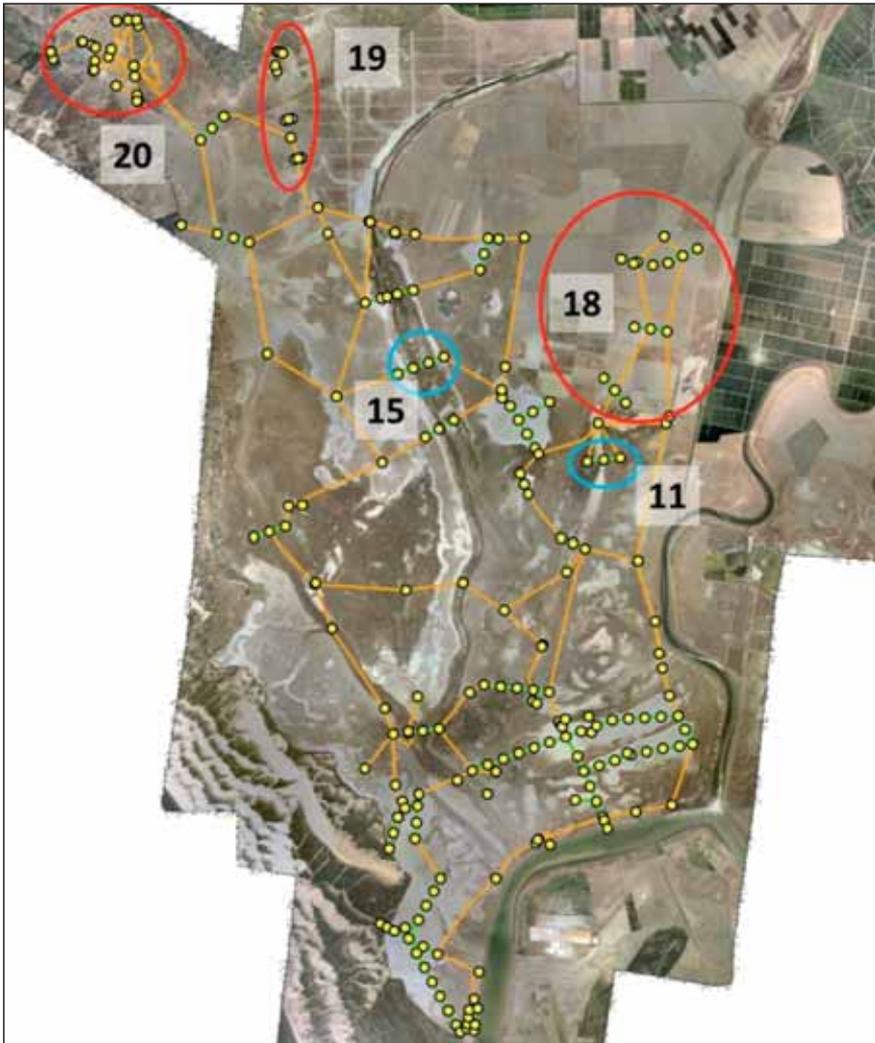


Figura 14. Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND actualizada (octubre 2012)
Figure 14. Geometrical Levelling Network of the DNP marsh updated (October 2012)

Enrases de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos y en la base de las antiguas escalas de medida del nivel de su inundación durante el periodo 2007-12

Los resultados de los enrases de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos y en la base de las antiguas escalas de medida del nivel de su inundación en el periodo 2007-12, obtenidos siguiendo el procedimiento tradicional expuesto en la introducción de este artículo, se adjuntan en las Tablas 7 y 8. Los resultados en las escalas EXX y en los hito-fenos de la serie HXX se adjuntan en la Tabla 7 y los de los hito-de la serie JXX en la Tabla 8. En esta última se incluyen también los enrases de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos desde la fecha en la que se instalaron, dado que no se aportaron en el artículo de *Ecología*, núm. 21, 2007, pp.11-42; por ello la Tabla 8 se ha desdoblado en tres secciones: Tabla 8.a, en la que se dan los resultados del periodo 2007-12; Tabla 8.b, en la que se recogen los resultados de los dos años anteriores 2005-06 y Tabla 8.c, que se refiere al periodo 2000-04, que solo afecta a los hito-fenos J01 y J02.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al finalizar en 1999 el Proyecto 174/93 sus resultados atendieron a dos aspectos: 1) presentar los perfiles de los parámetros representativos de los elementos singulares de la marisma, es decir, los ejes longitudinales y en ocasiones también los transversales de los lucios y las secciones transversales elegidas al efecto en los caños; que se obtuvieron levantando una nivelación con precisión a los mismos; 2) analizar la evolución de dichos perfiles en el tiempo, utilizando para ello las operaciones de enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos instalados en ellos. Ambos apartados tenían un propósito común: conocer si la micro-topografía de los elementos singulares de la marisma se mantenía o si, por el contra-

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	
E03	14/07/07	30,5	30,0	12/07/08	07/07/09	31,0	09/09/10	30,0	16/07/11	30,0	22/09/12	26,0
E04	15/07/07	18,0	12,0	12/07/08	08/07/09	18,5	16/07/10	21,0	16/07/11	18,5	22/09/12	18,0
E05	15/07/07	9,5	8,5	12/07/08	08/07/09	10,0	16/07/10	9,0	16/07/11	9,0	22/09/12	8,0
E06											22/09/12	17,0
E07	15/07/07	20,0			08/07/09	15,0	09/09/10	16,0		22/09/12	11,0	
E08					07/07/09	4,0	09/09/10	5,0		22/09/12	2,5	
E09			4,5	05/09/08	08/07/09	5,0	09/09/10	6,0		22/09/12	3,0	
E10			20,0	05/09/08	08/07/09	22,0	06/09/10	22,5		06/09/12	24,0	
E11	15/07/07	9,5	11,0	12/07/08	07/07/09	9,0	09/09/10	10,0		09/09/12	9,0	
E12					07/07/09	16,0	09/09/10	16,0		09/09/12	14,0	

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Fecha	Enrase (cm)										
E13							09/09/10	12,0			22/09/12	9,0
E14					08/07/09	7,5					22/09/12	2,5
E15												
E16											06/09/12	2,0
E17	14/07/07	15,5	10/07/08	14,0	04/07/09	14,0	08/09/10	14,5	09/09/11	15,0	09/09/12	14,0
E18	14/07/07	10,5	11/07/08	11,0	06/07/09	10,0	08/09/10	11,0	09/09/11	13,0	09/09/12	11,0
E19									18/07/11	10,0	08/09/12	11,0
E20					05/09/09	9,5	09/09/10	16,0			08/09/12	10,0
E21	14/07/07	10,0	05/09/08	9,0	05/09/09	8,0	15/07/10	10,0	09/09/11	10,0	08/09/12	10,0
E22					04/09/09	8,5	07/09/10	10,0			08/09/12	10,0
E23					04/09/09	5,5	07/09/10	6,0			23/09/12	4,0
E24					04/09/09	5,0	07/09/10	2,5			23/09/12	4,0
E25			14/07/08	3,0	04/09/09	5,0	07/09/10	6,0			06/09/12	6,0
E26			14/07/08	1,0	04/09/09	1,0	07/09/10	0,5	06/09/11	2,0	07/09/12	0,0
E27			14/07/08	0,0	04/09/09	-1,0	07/09/10	-1,1	06/09/11	2,0	07/09/12	-2,0
E28			13/07/08	7,0	03/09/09	6,0	04/09/10	7,0	07/09/11	7,0	06/09/12	6,0
E29	19/07/07	2,5	13/07/08	2,0	03/09/09	1,0	04/09/10	0,5	06/09/11	3,0	07/09/12	-0,5
E30											23/09/12	6,5
E31			05/09/08	12,5	09/07/09	14,0	05/09/10	16,0	08/09/11	inund	06/09/12	14,0
E32	17/07/07	10,0	04/09/08	6,0	09/07/09	9,0	05/09/10	6,0	08/09/11	6,5	05/09/12	3,0
H02			06/09/08	30,0								
H03	14/07/07	ars	15/07/08	ars								

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)	Fecha								
H04	14/07/07	1,9	12/07/08	0,9	07/07/09	2,2	09/09/10	2,1	16/07/11	2,3	22/09/12	0,3
H05	14/07/07	30,5	12/07/08	30,0	07/07/09	31,0	09/09/10	30,0	16/07/11	30,0	22/09/12	26,0
H06	14/07/07	1,5	12/07/08	1,2	07/07/09	0,0	16/07/10	1,2	16/07/11	1,8	22/09/12	0,0
H07	20/07/07	3,7	12/07/08	4,9	08/07/09	4,2	09/09/10	3,4			22/09/12	3,9
H08	15/07/07	4,0	12/07/08	4,8	08/07/09	3,9	16/07/10	5,3	16/07/11	5,1	22/09/12	3,4
H09	15/07/07	2,4	12/07/08	2,2	08/07/09	0,9	16/07/10	1,9	16/07/11	2,2	22/09/12	1,6
H10	15/07/07	1,4	12/07/08	1,4	07/07/09	0,6	16/07/10	0,8	16/07/11	1,0	09/09/12	0,0
H11	15/07/07	2,3	12/07/08	2,3	07/07/09	2,5	16/07/10	3,2	16/07/11	3,8	09/09/12	1,0
H12			11/07/08	2,2	07/07/09	1,3	08/09/10	2,0			09/09/12	0,5
H13			11/07/08	1,3	07/07/09	0,6	08/09/10	-0,6	09/09/11	-0,5	09/09/12	0,0
H14	14/07/07	3,9	10/07/08	2,8	04/07/09	3,3	08/09/10	2,9	09/09/11	4,7	09/09/12	2,7
H15	14/07/07	3,5	10/07/08	2,4	04/07/09	2,7	08/09/10	1,7	09/09/11	1,4	09/09/12	0,1
H16	14/07/07	-1,5	10/07/08	-6,0	04/07/09	-5,3	08/09/10	-2,3	09/09/11	-1,2	09/09/12	-4,2
H17	14/07/07	4,5	11/07/08	3,5	06/07/09	4,0	08/09/10	2,1	09/09/11	3,3	09/09/12	1,7
H18	14/07/07	5,3	11/07/08	3,0	06/07/09	2,5	08/09/10	4,0	09/09/11	4,0	09/09/12	0,8
H19			11/07/08	5,2	06/07/09	4,2	08/09/10	4,8	09/09/11	5,9	09/09/12	3,8
H20			11/07/08	2,8	06/07/09	4,6	08/09/10	4,0	09/09/11	3,8	09/09/12	1,7
H21			11/07/08	6,2	06/07/09	5,5	08/09/10	3,5	09/09/11	6,5	09/09/12	3,6
H22			11/07/08	-1,4	06/07/09	1,9	08/09/10	3,0	09/09/11	3,4	09/09/12	1,5
H23					07/07/09	-0,9	09/09/10	1,1			09/09/12	2,1
H24					07/07/09	3,2	09/09/10	3,2			09/09/12	2,0
H25					07/07/09	1,7	09/09/10	3,0	09/09/11	3,4	09/09/12	2,0
H26					06/07/09	0,0	08/09/10	0,8	09/09/11	2,3	08/09/12	0,4

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)	Fecha								
H27					06/07/09	4,0	08/09/10	4,4	09/09/11	6,0	08/09/12	4,7
H28					06/07/09	5,0	08/09/10	4,0	09/09/11	4,5	08/09/12	0,5
H29	14/07/07	4,4	05/09/08	2,5	05/09/09	2,4	15/07/10	4,7	09/09/11	3,5	08/09/12	2,0
H30					08/07/09	2,0	09/09/10	2,5			22/09/12	7,2
H31					07/07/09	3,3	09/09/10	3,9			22/09/12	3,0
H32					08/07/09	6,2	09/09/10	6,2			22/09/12	6,2
H33			05/09/08	2,1	04/09/09	-0,4	07/09/10	4,4			08/09/12	1,8
H34			05/09/08	-1,2	04/09/09	1,3	07/09/10	-0,2			08/09/12	0,0
H35			05/09/08	0,2	04/09/09	1,0	07/09/10	2,3			08/09/12	0,3
H36			14/07/08	0,4	08/07/09	1,2	06/09/10	3,5			06/09/12	1,5
H37			14/07/08	0,0	08/07/09	0,1	06/09/10	1,5			06/09/12	0,0
H38			14/07/08	3,5	04/09/09	3,5	06/09/10	5,3			06/09/12	4,5
H39			14/07/08	4,4	04/09/09	0,0	07/09/10	5,0			06/09/12	1,2
H40			14/07/08	-0,1	04/09/09	-1,0	07/09/10	0,0			06/09/12	-1,0
H41			14/07/08	1,0	04/09/09	0,5	07/09/10	-1,2	07/09/11	0,1	07/09/12	-1,1
H42			13/07/08	0,3	03/09/09	0,9	04/09/10	1,6	07/09/11	1,5	06/09/12	0,0
H43			13/07/08	2,4	03/09/09	0,9	04/09/10	3,6	07/09/11	2,5	06/09/12	0,8
H44			13/07/08	3,0	03/09/09	2,0	04/09/10	3,8	07/09/11	3,0	06/09/12	0,9
H45			13/07/08	0,7	03/09/09	0,0	07/09/10	1,7	07/09/11	1,6	06/09/12	-0,3
H46			13/07/08	5,2	04/09/09	3,9	07/09/10	5,0	07/09/11	6,2	07/09/12	4,6
H47			14/07/08	-2,4	04/09/09	-1,6	07/09/10	-0,7	07/09/11	0,0	07/09/12	-1,5
H48			14/07/08	2,8	04/09/09	1,3	07/09/10	1,0	07/09/11	1,8	07/09/12	0,0

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012		
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)										
	H49			14/07/08	3,5	04/09/09	3,4	07/09/10	3,2	07/09/11	3,7	07/09/12	2,4
	H50			14/07/08	3,5	04/09/09	3,5	07/09/10	3,4	07/09/11	4,3	07/09/12	3,3
	H51			14/07/08	3,6	04/09/09	3,9	07/09/10	3,7	07/09/11	4,8	07/09/12	3,8
	H52			14/07/08	1,3	04/09/09	2,1	07/09/10	2,1	06/09/11	2,3	07/09/12	1,4
	H53			14/07/08	1,0	04/09/09	0,0	07/09/10	-0,2	06/09/11	2,4	07/09/12	-0,8
	H54			14/07/08	1,0	04/09/09	2,2	07/09/10	2,0	06/09/11	1,1	07/09/12	0,0
	H55	19/07/07	5,0	14/07/08	2,3	04/09/09	2,2	07/09/10	1,3	06/09/11	3,3	07/09/12	1,4
	H56			13/07/08	1,3	04/09/09	0,0	04/09/10	0,9	07/09/11	2,9	07/09/12	0,9
	H57	18/07/07	5,0	13/07/08	4,2	03/09/09	2,5	04/09/10	4,4	05/09/11	4,3	07/09/12	2,2
	H58	19/07/07	3,5	13/07/08	2,7	03/09/09	1,9	04/09/10	3,3	06/09/11	3,4	07/09/12	2,1
	H59	19/07/07	3,3	13/07/08	1,2	03/09/09	1,9	04/09/10	3,1	06/09/11	3,1	07/09/12	1,0
	H60	19/07/07	3,8	13/07/08	1,8	03/09/09	1,6	04/09/10	2,0			07/09/12	0,0
	H61	19/07/07	2,0	13/07/08	-0,1	03/09/09	0,9	04/09/10	2,6	06/09/11	2,3	07/09/12	0,0
	H62	19/07/07	4,5	13/07/08	1,4	03/09/09	1,4	04/09/10	4,0	06/09/11	4,7	07/09/12	3,0
	H63	19/07/07	3,7	13/07/08	2,6	03/09/09	3,5	04/09/10	3,9	06/09/11	4,6	07/09/12	3,3
	H64	19/07/07	2,8	13/07/08	2,0	03/09/09	2,3	04/09/10	3,0	06/09/11	4,6	07/09/12	2,5
	H65	18/07/07	4,0	13/07/08	4,5	03/09/09	2,7	04/09/10	3,8	05/09/11	5,0	07/09/12	3,3
	H66	18/07/07	2,2	13/07/08	3,5	03/09/09	1,3	04/09/10	3,3	05/09/11	2,7	07/09/12	1,4
	H67	18/07/07	2,4	13/07/08	1,3	03/09/09	1,4	04/09/10	0,9	05/09/11	1,8	07/09/12	0,0
	H68	18/07/07	1,5	13/07/08	0,8	03/09/09	0,9	04/09/10	-0,3	05/09/11	0,0	07/09/12	-0,8
	H69	18/07/07	-0,3	04/09/08	-1,3	09/07/09	-1,3	05/09/10	-1,1	07/09/11	0,0	05/09/12	-1,4
	H70	17/07/07	ars	04/09/08	ars	03/09/09	ars	05/09/10	5,8	08/09/11	ars	06/09/12	ars

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)	Fecha								
H71	17/07/07	2,4	04/09/08	0,0	03/09/09	0,7	05/09/10	2,5	08/09/11	3,8	06/09/12	0,9
H72	17/07/07	2,0	04/09/08	1,0	03/09/09	1,0	05/09/10	2,8	08/09/11	3,3	06/09/12	1,7
H73	17/07/07	2,7	04/09/08	1,3	09/07/09	1,6	05/09/10	2,0	07/09/11	2,1	05/09/12	0,7
H74	17/07/07	1,8	04/09/08	0,3	09/07/09	1,4	05/09/10	1,3	07/09/11	8,5	05/09/12	6,3
H75	17/07/07	3,5	04/09/08	0,7	09/07/09	0,7	05/09/10	---	07/09/11	7,0	05/09/12	6,3
H76	17/07/07	-9,3	04/09/08	dob	09/07/09	1,5	05/09/10	0,3	08/09/11	0,0	05/09/12	-0,6
H77	17/07/07	3,7	04/09/08	1,2	03/09/09	1,8	05/09/10	1,5	08/09/11	4,2	05/09/12	2,4
H78	17/07/07	4,3	04/09/08	3,3	03/09/09	3,2	05/09/10	3,7	08/09/11	4,0	05/09/12	6,2
H79	17/07/07	5,7	04/09/08	4,7	09/07/09	6,0	05/09/10	6,2	08/09/11	6,2	05/09/12	5,3
H80	17/07/07	5,3	04/09/08	2,5	09/07/09	4,0	05/09/10	5,0	08/09/11	5,3	05/09/12	3,0
H81	17/07/07	ars	04/09/08	ars	09/07/09	ars	05/09/10	ars	08/09/11	ars	05/09/12	ars
H82	17/07/07	4,5	04/09/08	2,9	09/07/09	4,3	05/09/10	5,7	08/09/11	5,5	05/09/12	3,8
H83	17/07/07	2,5	04/09/08	0,8	09/07/09	1,4	05/09/10	1,8	08/09/11	1,8	05/09/12	0,3
H84	17/07/07	-1,0	04/09/08	-1,3	09/07/09	-1,7	05/09/10	-2,0	17/07/11	-2,1	05/09/12	-2,3
H85	17/07/07	3,7	04/09/08	0,2	09/07/09	-0,6	05/09/10	1,2	08/09/11	1,8	05/09/12	-0,3
H86	17/07/07	0,1	04/09/08	-1,2	09/07/09	0,0	05/09/10	-2,3	08/09/11	-2,0	05/09/12	-3,6
H87	17/07/07	3,2	04/09/08	2,1	09/07/09	2,9	05/09/10	2,6	08/09/11	3,2	05/09/12	3,0
H88	17/07/07	4,1	04/09/08	4,4	09/07/09	5,5	05/09/10	5,5	08/09/11	5,9	05/09/12	6,2
H89	17/07/07	2,9	04/09/08	2,0	09/07/09	2,3	05/09/10	3,2	05/09/11	3,9	05/09/12	2,6
H90	17/07/07	0,0	04/09/08	0,4	09/07/09	0,2	05/09/10	0,5	17/07/11	1,2	05/09/12	0,6
H91			04/09/08	des	09/07/09	0,0	18/07/10	2,9	17/07/11	6,2	05/09/12	5,0
							05/09/10	2,4	05/09/11	5,7		

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)	Enrase (cm)
	H92		05/09/08	1,2	08/07/09	0,7	06/09/10	0,8	08/09/11	2,0	06/09/12	0,9
	H93		05/09/08	4,9	08/07/09	5,2	06/09/10	4,7			06/09/12	4,8
	H94		05/09/08	1,0	08/07/09	2,5	06/09/10	2,8			06/09/12	0,4
	H95		05/09/08	-0,3	08/07/09	-2,0	06/09/10	-0,8			06/09/12	-0,3
	H96		04/09/08	5,5	09/07/09	4,5	05/09/10	6,2	08/09/11	6,7	06/09/12	6,2
	H97	19/07/07		3,3	03/09/09	1,5	04/09/10	2,5	06/09/11	2,3	07/09/12	0,8
	H98											
	H99		12/07/08	3,0	08/07/09	2,7	16/07/10	2,6			22/09/12	3,2

NOTACIONES:

inund: área inundada en la fecha

ars: Hito feno cubierto de arenas. Los hito-fenos H03 y H04 se ubican en el cono de sedimentación del arroyo del Partido sobre la marisma de El Rocio; ambos están cubiertos de arena. El 6-09-2008, cuando se estaba ejecutando un levantamiento a dicho cono con un GPS Diferencial (DGPS) se desenterró el hito H02 que estaba a 30 cm. de profundidad. Los hito-fenos H70 y H81 también están situados en arenas, en los extremos de los ejes de los lucios de Vetalegua chico y del Membrillo respectivamente.

dob: El 4-09-2008 se encontró el eje de anclaje del hito-feno H76 en la marisma doblado; el año anterior el hito-feno estaba 9,3 cm. descolgado del suelo (17-07-2007), pues en el extremo noreste del lucio del Membrillo, donde se encuentra, hay un proceso de erosión acelerado. El año siguiente (9-07-2009) se incorporó un nuevo hito-feno en el mismo lugar H76B, que al instalarlo en la marisma su escalilla enrasó con la solera del lucio en 1,5 cm.

des: Este hito-feno se encontró enterrado (enrasando con la solera de la marisma a 6,2 cm) por última vez el 6-09-2003. Los años siguientes no se le detectó, incluso utilizando detector de metales. Como se situó en el extremo sur-occidental del lucio del Membrillo, cerca de un muro, donde se realizaron obras, se llegó a la conclusión que podría haber sido retirado con ocasión de las mismas. El 9-07-2009 se instaló un nuevo hito-feno H91B, que enrasó con la solera de la marisma a 0,0 cm.

Tabla 7. Resultados de los enrasos de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos (serie HXX) y en la base de las antiguas escalas de medida del nivel de su inundación (EXX), en cm., en el periodo 2007-12

NOTES:

inund: flooded area on the date

ars: landmark covered with sand. Landmarks H03 and H04 are placed on the alluvial fan of the Partido stream, on the marsh of El Rocio. Both are covered with sand. During the survey of the fan with differential GPS on 6-09-2008 (DGPS) the landmark H02 was dug up, which was 30 cm deep. Landmarks H70 and H81 are placed on sand as well, on the extremes of axis in Vetalegua chico and Membrillo ponds respectively.

dob: Landmark H76 was found bended on 4-09-2007. The year before the landmark had a level of -9.3 cm over the soil (17-07-2007); this was due to the accelerated erosion process in the northeast of the Membrillo pond. The following year (9-07-2009) a new landmark named H76B was established at the same spot, with a level of 1.5 cm in its scale at that moment.

des: this landmark was found for last time buried (6.2 cm according to its scale and the level of the marsh) on 6-09-2003. It was not found again the following years even with the support of a metal detector. It is thought that the landmark placed south-west of Membrillo pond was removed when works were made on the wall close to it. A new landmark named H91B was established on 9-07-2009, marking 0.0 cm with the level of the marsh.

Table 7. Results of measures of level of the marsh in the scale of landmarks (series HXX) and at the base of the old flooding scales (EXX) in the period 2007-2012, in cm.

Año	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)	Fecha								
J01					06/07/09	5,5	08/09/10	6,2	09/09/11	6,2	09/09/12	4,4
J02					06/07/09	-1,0	08/09/10	-5,0	09/09/11	-6,0	09/09/12	-6,0
J03	15/07/07	2,7	12/07/08	2,7	07/07/09	3,0	16/07/10	4,1	16/07/11	3,0	09/09/12	3,2
J04					07/07/09	2,5	09/09/10	4,5			09/09/12	2,4
J05					07/07/09	1,5	08/09/10	1,2			09/09/12	0,0
J06			11/07/08	-1,0	07/07/09	0,0	08/09/10	0,0	09/09/11	1,0	09/09/12	0,8
J07	14/07/07	3,4	05/09/08	4,9	05/09/09	2,8	09/09/10	6,2			08/09/12	3,2
J08			05/09/08	2,2	05/09/09	0,0	08/09/10	0,3			08/09/12	0,4
J09	14/07/07	4,5	05/09/08	2,8	05/09/09	2,1	09/09/10	3,0			08/09/12	3,5
J10	13/07/07	2,8	10/07/08	1,7	06/07/09	1,4	15/07/10	1,7	18/07/11	2,7	08/09/12	0,0
J11	13/07/07	2,3	10/07/08	1,7	05/07/09	1,1	15/07/10	1,7	18/07/11	1,7	08/09/12	1,5
J12	13/07/07	2,8	10/07/08	2,2	06/07/09	2,3	15/07/10	1,8	18/07/11	1,2	08/09/12	0,4
J13	13/07/07	3,4	10/07/08	0,0	05/07/09	-0,5	15/07/10	-1,0	18/07/11	-2,9	08/09/12	-4,7
J14	13/07/07	3,5	10/07/08	3,4	03/07/09	3,4	15/07/10	2,9	18/07/11	3,1	08/09/12	2,3
J15	13/07/07	2,2	10/07/08	3,5	05/07/09	2,1	15/07/10	2,7	18/07/11	2,7	08/09/12	1,7
J16	13/07/07	4,8	10/07/08	3,6	03/07/09	3,8	15/07/10	4,0	18/07/11	5,3	08/09/12	2,3
J17	13/07/07	3,5	11/07/08	3,0	03/07/09	2,7	15/07/10	3,6	18/07/11	2,7	08/09/12	2,4
J18	13/07/07	2,8	10/07/08	2,7	03/07/09	3,9	15/07/10	3,6	18/07/11	3,3	08/09/12	2,8
J19	13/07/07	2,5	10/07/08	1,3	04/07/09	1,3	15/07/10	1,8	18/07/11	0,7	08/09/12	-0,5
J20	13/07/07	4,7	10/07/08	4,9	04/07/09	3,5	15/07/10	3,9	18/07/11	4,6	08/09/12	3,0
J21	13/07/07	3,7	10/07/08	3,2	03/07/09	2,9	15/07/10	3,7	18/07/11	3,5	08/09/12	3,6
J22	15/07/07	4,3	12/07/08	4,7	07/07/09	4,3	16/07/10	4,7	16/07/11	3,9	22/09/12	2,7
J23	15/07/07	2,1	12/07/08	0,6	07/07/09	0,0	16/07/10	1,1	16/07/11	3,0	22/09/12	3,3
J24					16/07/10	4,8	16/07/10	4,8	16/07/11	5,6		
J25					16/07/10	2,7	16/07/10	2,7	16/07/11	3,2		
J26	15/07/07	0,3	12/07/08	0,0	07/07/09	2,4	16/07/10	2,7	16/07/11	3,2	22/09/12	1,1

Tabla 8.a. Resultados de los enrases de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenós (serie JXX), en cm., en el periodo 2007-12.
 Table 8. a. Results of the level of the marsh in the scale of landmarks (series JXX) in the period 2007-2012, in cm.

Año	2005		2006	
	Fecha	Enrase (cm)	Fecha	Enrase (cm)
J01	22/07/05	5,5	09/07/06	6,0
J02			09/07/06	-0,2
J03	09/09/05	2,0	08/07/06	1,8
J04	09/09/05	1,0	08/07/06	0,4
J05	09/09/05	1,3	08/07/06	2,2
J06	09/09/05	1,0	08/07/06	1,4
J07	09/09/05	3,4	07/07/06	4,0
J08	09/09/05	1,4	07/07/06	3,0
J09	09/09/05	3,4	07/07/06	3,8
J11	24/07/05	3,0	07/07/06	3,8
J12	24/07/05	1,8	07/07/06	2,2
J13	25/07/05	2,1	07/07/06	3,5
J14	24/07/05	2,8	07/07/06	2,8
J15	24/07/05	2,3	07/07/06	3,0
J16	24/07/05	3,0	07/07/06	2,5
J17	23/07/05	4,3	07/07/06	2,9
J18	23/07/05	3,5	07/07/06	3,5
J19	23/07/05	3,0	07/07/06	4,0
J20	22/07/05	1,4	07/07/06	2,2
J21	22/07/05	4,5	07/07/06	4,9
J22	22/07/05	4,5	07/07/06	3,7
J23			11/07/06	2,6
J24			11/07/06	1,8
J25			11/07/06	2,6
J26			13/07/06	1,0

Tabla 8.b. Resultados de los enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos (serie JXX), en cm., en el periodo 2005-06.

Table 8. b. Results of the level of the marsh in the scale of landmarks (series JXX) in the period 2005-2006, in cm.

rio, experimentaba un proceso más o menos rápido de anulación por sedimentación de sus cuencos.

Los resultados del apartado 1 se sintetizaron en una tabla con dos epígrafes, dependiendo si los componentes analizados eran lucios o caños. En el caso de los lucios, se establecieron seis zonas: 1) Membrillo; 2) Vetallengua (incluyendo los lucios grande y chico); 3) El Rey-Los Ánsares; 4) Molinillo-Santlúcar-Sevilla; 5) Mari López (incluyendo los lucios grande y chico) y 6) Lobo. Con los resultados de las nivelaciones geométricas con precisión levantados en cada lucio, se elaboró una tabla recogiendo: a) los

Año	2000		2001		2002		2003		2004		
	Elemento	Fecha	Enrase (cm)								
J01		22/07/00	2,8	11/09/01	4,4	10/09/02	4,9	09/09/03	5,3	09/09/04	6,0
J02		22/07/00	1,5	11/09/01	3,9	10/09/02	3,3	09/09/03	1,2		

Tabla 8.c. Resultados de los enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos (serie JXX), en cm., en el periodo 2000-04.
Table 8. c. Results of the level of the marsh in the scale of landmarks (series JXX) in the period 2000-2004, in cm.

Caño	Sección.		Hito-fenos que definen la sección										Cajado estimado para la sección (m)	Observaciones	
	Núm.	Paraje	Núm.	Cota (m)	Núm.	Cota (m)	Núm.	Cota (m)	Núm.	Cota (m)	Núm.	Cota (m)			Núm.
La Madre	1	Las Yeguas	H 04	1,681	H 05	1,540	H 06	1,809						0,141	
	2	Resolimán	H 07	1,620	H 08	1,398	H 09	1,523						0,125	
	3	Palacio de Doñana	H 30	1,265	H 31	1,175	H 32	1,069						0,090	El hito-feno H32 está ubicado en los Hondones
Guadamar	4	Juncabalejo	H 92	1,540	H 93	1,235	H 94	1,193	H 95	1,339				0,042	
	1	Pocitos del Rocío	H 10	1,423	H 11	1,366	H 12	1,365	H 13	1,918				0,058	
	2	En medio ⁽¹⁾	J03	1,715	J04	1,152	J05	1,139	J06	1,721				0,576	
	3	Cancela Millán	H 23	1,427	H 24	1,155	H 25	1,243						0,088	
	1	Finca de Caracoles	J 12	1,675	J 11	1,174	J 13	1,593						0,419	
	2		J 15	1,790	J 14	1,385	J 16	2,101						0,405	
3	J 18		2,312	J 17	1,519	J 19	2,318						0,793		
Traveso	4	En medio ⁽²⁾	J 21	2,123	J 20	1,461	J 22	2,290						0,662	
	5		J 07	1,506	J 08	1,116	J 09	1,613						0,390	
	1	Leo Biaggi	H 33	1,545	H 34	1,161	H 35	1,755						0,384	
	2	Las Nuevas	H 36	1,294	H 37	1,277	H 38	1,096	H 39	1,106	H 40	1,229		0,133	

NOTACIONES

- (1) Esta sección se sitúa en medio de las secciones levantadas en el paraje de Los Pocitos del Rocío, por el norte, y de la Cancela Millán, por el sur.
 - (2) Esta sección está situada aguas abajo del hito-feno H29, entre la sección más meridional de la finca de Caracoles y la sección de Leo Biaggi.
- Tabla 9.** Cotas de los puntos extremos (más altos) y de los puntos medios (más bajos) en las secciones transversales seleccionadas en los caños del PND, establecidas a través de los hito-fenos instalados en ellos, tanto durante la ejecución de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND entre 1995-99, como durante su ampliación (2005-06).

NOTES

- (1) This cross section is placed between those surveyed in the area Los Pocitos del Rocío, north, and Millán gate, South.
 - (2) This cross section is placed downstream landmark H29, between the most southern cross section of Caracoles state and the cross section of Leo Biaggi.
- Table 9.** Level of the extreme points (higher) and intermediate points (lower) in the cross sections selected in the streams of the DNP. The cross sections are defined by the landmarks established within the streams, during the works of the Geometric Levelling Network of the DNP marsh 1995-1999 as well as during its extension (2005-2006).

hito-fenos extremos del lucio (sus números de identificación HXX; sus posiciones geográficas dentro del lucio y sus cotas z , en m.); *b*) los hito-fenos centrales del lucio (número de identificación y cota z en m.) y *c*) la estimación del calado inicial del lucio (diferencia entre la cota más baja de los hito-fenos extremos del lucio y la cota central). Esta operación se realizó para todos los lucios y sus resultados fueron los siguientes. 1) Membrillo (0,444 m.); 2) Vetallengua grande (0,071 m.); Vetallengua chico (0,065 m.); 3) El Rey (0,195 m.); Los Ánsares (0,343 m.); 4) Molinillo-Sanlúcar-Sevilla (0,205 m.); 5) Mari López (0,156 m.) Mari López chico (0,084 m.) y 6) Lobo (0,273 m.). Como la ampliación de la Red de Nivelación Geométrica no afectó a ningún nuevo lucio, dicha tabla permanece sin variaciones, ROBREDO *et al.* (2007)

Los caños se analizaron considerando todas las secciones analizadas en cada uno de ellos. En la Tabla 9 se establecen las cotas de los puntos extremos (más altos) y de los puntos medios (más bajos) en las secciones transversales seleccionadas en los caños del PND, registrada a través de los hito-fenos instalados en ellos; tanto para las secciones definidas en la primera Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND (1995-99), como para las levantadas con la ampliación de dicha Red entre 2005-06. Los valores de estos últimos se corresponden con hito-fenos de la serie JXX.

Los resultados del análisis de la evolución en el tiempo de los perfiles de los elementos singulares, en el caso de los lucios se presentan en las Tablas 10 y 11 para los periodos analizados 1995-99; 1995-2006 y 1995-2012, utilizando los mismos algoritmos que se plantearon en el Proyecto 174/93 que se explican a continuación. En esta ocasión se ha prescindido de los enrase de la solera de la marisma en la base de las antiguas escalas de medida de su inundación, porque sus datos difieren en ocasiones con los de los hito-fenos situados próximos a ellas. Por esta razón no se ha analizado el lucio del Lobo, porque la información disponible del mismo se reducía a los hito-fenos H14 y H15, al no contar con la que podía aportar la escala E17 situada en el mismo; ni tampoco

con la del hito-feno H16 cuyos datos, al estar situado junto al muro de la FAO, resultan muy alterados por el entorno, donde en el invierno se detectan fuertes oleajes contra dicho muro.

En ambas Tablas 10 y 11:

Columna 1, Lucio (tratándose del lucio del Membrillo) o grupo de lucios (en los restantes casos establecido por cercanía geográfica entre ellos) a los que se refieren los resultados de la investigación.

Columna 2, 4 y 6, Periodos analizados

Específicamente en la Tabla 10:

Columnas 3 y 5 y 7, «Media de las variaciones absolutas» D_{Amedio} , que representa la media aritmética para todos los hito-fenos del grupo de la amplitud máxima del rango de variación, en términos absolutos, de dos enrase anuales de la solera de la marisma efectuados en la escalilla del mismo hito-feno durante el periodo observado.

Específicamente en la Tabla 11:

Columnas 3 y 5 y 7, «Media de las variaciones temporales» D_{Tmedio} , que representa la media aritmética para todos los hito-fenos del grupo de la diferencia entre el enrase de la solera en la escalilla de cada uno de los hito-fenos en el último año del periodo observado y el enrase que se registró en la escalilla del mismo hito-feno en la fecha en que éste se instaló en el lucio.

En anteriores ocasiones MINTEGUI & ROBREDO (2001), ROBREDO *et al.* (2007), junto a los algoritmos D_{Amedio} y D_{Tmedio} se adjuntaban también los D_{Amedio}^* y D_{Tmedio}^* que representaban los mismos conceptos que D_{Amedio} y D_{Tmedio} pero prescindiendo de los valores extremos, más alto y más bajo. Este enfoque se planteaba porque la información disponible era todavía reducida; pero en esta ocasión, que para el último periodo considerado se analizan 18 años, se han obviado los algoritmos con asterisco, Sin embargo, hay situaciones particulares, en concreto para el valor de D_{Amedio} en el lucio del Membrillo en el periodo 1995-2012, que esta

Lucio o grupo de lucios	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)
Membrillo	1995-99	2,25	1995-2006	3,65	1995-2012	4,83 ⁽²⁾
Vetalengua grande y chico	1997-99	0,97	1997-2006	2,37	1997-2012	3,56
El Rey - Los Ánsares	1996-99	1,52	1996-2006	3,10	1996-2012	3,74
Molinillo-Sanlúcar-Sevilla ⁽¹⁾	1996-99	1,15	1996-2006	2,18	1996-2012	2,91
Mari López - Mari López chico	1995-99	1,42	1995-2006	2,13	1995-2012	3,87
Media	1995-99	1,46	1995-2006	2,69	1995-2012	3,78

NOTACIONES:

- (1) La fecha inicial varía de 1996 a 1997 dependiendo de la instalación de los hito-fenos en el lucio.
- (2) Si se prescinde de los hito-fenos extremos, ya que el hito-feno H76, situado al noreste, está sometido a un fuerte proceso de erosión; mientras que el hito-feno H91, ubicado al suroeste, presenta un fuerte proceso de sedimentación, el valor de D_{A medio} = 2,81 cm., que responde mejor al estado físico que presenta el conjunto del lucio.

Tabla 10. Resumen de las variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en un mismo lucio o grupo de lucios utilizando el parámetro D_{A medio} para los periodos 1995-99, 1995-2006 y 1995-2012.

NOTES

- (1)The initial date varies from 1996 to 1997 depending the establishment of the landmark in the pond.
- (2) Ignoring the extreme landmarks the value of D_{Average} = 2.81 cm, what fits better the physical state that the pond presents as a whole. Those points are discarded due to the serious erosion process in landmark H76, placed northeast, and serious sedimentation process in landmark H91, placed southeast.

Table 10. Summary of average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the pond itself, or group of ponds. It has been used the parameter D_{Average} for the periods 1995-1999, 1995-2006 and 1996-2012.

matización resulta muy oportuna; pues en el caso de este lucio los hito-fenos de los extremos distorsionan el resultado global; ya que el hito-feno H76, situado al noreste, está sometido a un fuerte proceso de erosión; mientras que el hito-feno H91, ubicado al suroeste, pre-

senta un fuerte proceso de sedimentación. Si se tienen en cuenta a ambos, el valor de D_{A medio} = 4,83 cm.; pero, si se prescinde de los dos valores extremos, se reduce a D_{A medio} = 2,81 cm., que responde mejor al estado físico que presenta el conjunto del lucio.

Lucio o grupo de lucios	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)
Membrillo	1995-99	-0,30	1995-2006	-0,83	1995-2012	-0,33
Vetalengua grande y chico	1997-99	-0,20	1997-2006	-0,51	1997-2012	-0,52
El Rey - Los Ánsares	1996-99	-0,51	1996-2006	-1,06	1996-2012	-1,62
Molinillo-Sanlúcar-Sevilla ⁽¹⁾	1996-99	-0,21	1996-2006	-0,45	1996-2012	-0,95
Mari López - Mari López chico	1995-99	-0,50	1996-2006	0,27	1995-2012	-1,77
Media	1995-99	-0,34	1995-2006	-0,52	1995-2012	-1,04

NOTACIONES

- (1) La fecha inicial varía de 1996 a 1997 dependiendo de la instalación de los hito-fenos en el lucio.

Tabla 11. Resumen de las variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en un mismo lucio o grupo de lucios utilizando el parámetro D_{T medio} en los periodos 1995-99, 1995-2006 y 1995-2012.

NOTES

- (1) The initial date varies from 1996 to 1997 depending the establishment of the landmark in the pond.

Table 11. Summary of average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the pond itself, or group of ponds. It has been used the parameter D_{T average} for the periods 1995-1999, 1995-2006 and 1996-2012.

La simple observación de la Tabla 10 pone de manifiesto que el valor de $D_{A \text{ medio}}$ crece en función del periodo analizado, lo que es lógico, porque cuanto más largo sea el período de observación más posibilidad existe que se den mayor número de resultados en el enrase de la solera de la marisma en la escalilla de los hito-fenos; pero esta variación tiende a moderarse e incluso a estabilizarse. La variación media para el lucio del Membrillo y los otros cuatro grupos de lucios entre los periodos 1995-99 y 1995-2006 es: $\Delta D_{A \text{ medio}}(1995-99)-(1995-2006) = 1,23 \text{ cm.}$; entre los periodos 1995-99 y 1995-2012 lógicamente aumenta: $\Delta D_{A \text{ medio}}(1995-99)-(1995-2012) = 2,32 \text{ cm.}$; aunque si se eliminan los datos de los hito-fenos H76 y H91 situados en los extremos del lucio del Membrillo el resultado se reduce hasta: $\Delta D_{A \text{ medio}}(1995-99)-(1995-2012) = 1,92 \text{ cm.}$ Pero si consideramos el intervalo entre 1995-2006 y 1995-2012 el incremento disminuye: $\Delta D_{A \text{ medio}}(1995-06)-(1995-2012) = 1,09 \text{ cm.}$ y, si para dicho intervalo se prescinde de los hito-fenos extremos del lucio del Membrillo, se reduce aún más hasta: $\Delta D_{A \text{ medio}}(1995-06)-(1995-2012) = 0,69 \text{ cm.}$ Sintetizando, existe un aumento lógico del algoritmo $D_{A \text{ medio}}$, pero también una limitación lógica (en este caso más física que matemática) para su valor; aunque con la serie de 18 años observada no se pueda asegurar que se ha alcanzado. Pero se detecta que el incremento marginal se va reduciendo conforme el periodo observado se prolonga; sobre todo si se eliminan los valores que aportan los hito-fenos cuyo comportamiento resulta anómalo con el resto de los hito-fenos del lucio o grupo de lucios.

Conviene aclarar que la instalación de los hito-fenos (serie HXX) en la marisma del PND se hizo durante los veranos comprendidos entre 1995-1998, circunstancia que se refleja en la columna 2 de las tablas correspondientes. Pero en el texto se utiliza de forma genérica la fecha de 1995 como referencia de todos los procesos de medición para simplificar la redacción, dado que la cuestión queda aclarada con los comentarios añadidos en las tablas.

En cuanto al algoritmo $D_{T \text{ medio}}$ sus resultados son más complicados de explicar (Tabla 11). Su valor medio para los cinco lucios o grupo de

lucios entre 1995-99 es: $D_{T \text{ medio}} = -0,34 \text{ cm.}$; para el periodo 1995-2006 aumenta en valor absoluto hasta: $D_{T \text{ medio}} = -0,52 \text{ cm.}$ y en el periodo 1995-2012 resulta: $D_{T \text{ medio}} = -1,04 \text{ cm.}$ Pero si el periodo observado se limita al 1995-2010 (Tabla 12) resulta: $D_{T \text{ medio}} = -0,11 \text{ cm.}$; lo que implica que hipotéticamente los perfiles de los lucios serían los mismos que en 1995 (con solo -1,1 mm. de diferencia) y hay que tener en cuenta que en este periodo se dieron todo tipo de años hidrológicos; desde muy lluviosos y húmedos como los del trienio 1995-98 o el mismo año que cierra el periodo 2009-10; húmedos aunque con precipitaciones moderadas como el año 2006-07 o el 2008-09 y también muy secos como el 1998-99 o el 2004-05.

Una cuestión que se ha considerado al respecto, es el comportamiento del lucio o grupo de lucios en dos años hidrológicos completamente distintos: el de 2009-10, que resultó uno de los más torrenciales y húmedos de los 18 años observados, y el de 2011-12 que ha sido uno de los más secos. En la Tabla 12 se comparan los resultados en los parajes analizados para cada uno de dichos años y la variación media detectada entre ambos es:

$$\Delta D_{T \text{ medio}}(1995-2010)-(1995-2012) = (D_{T \text{ medio}} 1995-2010 - D_{T \text{ medio}} 1995-2012) = 0,93 \text{ cm.}$$

Valor que se puede considerar que se debe casi exclusivamente del tipo de año húmedo o seco y que afecta esencialmente a los procesos de retracción-expansión de los suelos que constituyen la marisma, más que a los procesos de erosión-sedimentación que tengan lugar en ella. Una comprobación que corrobora esta hipótesis es que en el algoritmo $D_{T \text{ medio}}$ influye su signo (+/-) y en la Tabla 12 se observa que en el año seco 2011-12 la solera de la marisma se retrae más que en el año húmedo; lo que es coherente con el propio fenómeno físico de retracción-expansión de los suelos pesados. Atendiendo a esta circunstancia, se ha vuelto a reconstruir la Tabla 11 restando a cada uno de los resultados que aparecen en la misma el valor 0,93 cm., para tratar de reducir con ello los efectos del comportamiento de los suelos de la marisma por su condición de ser suelos

Lucio o grupo de lucios	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Variación 2010-12 D _{T medio} (cm.)
Membrillo	1995-2010	-0,03	1995-2012	-0,33	0,30
Vetalengua grande y chico	1997-2010	0,15	1997-2012	-0,52	0,67
El Rey - Los Ánsares	1996-2010	-0,66	1996-2012	-1,62	0,96
Molinillo-Sanlúcar-Sevilla ⁽¹⁾	1996-2010	0,42	1996-2012	-0,95	1,37
Mari López - Mari López chico	1995-2010	-0,44	1995-2012	-1,77	1,33
Media	1995-2010	-0,11	1995-2012	-1,04	0,93

NOTACIONES:

(1) La misma que en la Tabla 11.

Tabla 12. Variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en un mismo lucio o grupo de lucios utilizando el parámetro D_{T medio} entre un año hidrológico húmedo 2009-10 y un año hidrológico seco 2011-12.

NOTES

(1) Same as that in Table 11.

Table 12. Summary of average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the pond itself, or group of ponds. It has been used the parameter D_{T average} between a wet hydrological year 2009-2010 and a dry hydrological year 2011-2012.

Lucio o grupo de lucios	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)
Membrillo	1995-99	0,63	1995-2006	0,10	1995-2012	0,60
Vetalengua grande y chico	1997-99	0,73	1997-2006	0,42	1997-2012	0,41
El Rey - Los Ánsares	1996-99	0,42	1996-2006	-0,13	1996-2012	-0,69
Molinillo-Sanlúcar-Sevilla ⁽¹⁾	1996-99	0,72	1996-2006	0,48	1996-2012	-0,02
Mari López - Mari López chico	1995-99	0,43	1996-2006	1,20	1995-2012	-0,84
Media	1995-99	0,59	1995-2006	0,41	1995-2012	-0,11

NOTACIONES:

(1) La misma que en la Tabla 11.

Tabla 13. Resumen de las variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en un mismo lucio o grupo de lucios utilizando el parámetro D_{T medio} en los periodos 1995-99, 1995-2006 y 1995-2010, aplicando una corrección de (-0,93 cm.) para reducir los efectos de retracción-expansión que experimentan los suelos de la marisma.

NOTES

(1) Same as that in Table 11.

Table 13. Summary of average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the pond itself, or group of ponds. It has been used the parameter D_{T average} for the periods 1995-1999, 1995-2006 and 1996-2010. A correction of -0.93 cm has been applied in order to reduce the effects of retraction-expansion that the soils of the marsh experience.

pesados y tratar de ajustarlos a los procesos de erosión-sedimentación en la misma. Su resultado se expone en la Tabla 13.

La Tabla 13 muestra que las oscilaciones medidas en los puntos observados (hito-fenos instalados en los ejes de los lucios) son muy pequeñas, en general menores de un centímetro salvo situaciones muy particulares, y que esas oscilaciones pueden ser positivas o negativas,

por lo que la marisma presenta una resiliencia importante para mantener la morfología de sus lucios, aunque la tendencia a muy largo plazo sea ir atenuando sus perfiles.

En lo que respecta a los caños, las Tablas 14 y 15 muestran los resultados de aplicar los algoritmos D_{A medio} y D_{T medio} a los mismos para los tres periodos 1995-99, 1995-2006 y 1995-2012; si bien en el caso del primer periodo la falta de

Secciones transversales de los caños	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)
De la Madre ⁽¹⁾	1995-99*	2,49*	1995-2006	4,88	1995-2012	4,76
Guadamar	1998-99*	0,69*	1998-2006	2,83	1998-2012	2,99**
Travieso ⁽²⁾	1997-99*	1,01*	1997-2006	2,59	1996-2012	3,38**
Media	1995-99*	1,40	1995-2006	3,43	1995-2012	3,71

NOTACIONES

(1) La fecha inicial varía de 1995 a 1998 dependiendo de la colocación de los hito-fenos en las distintas secciones transversales.

(2) La fecha inicial varía de 1997 a 1998 dependiendo de la colocación de los hito-fenos en cada una de las secciones transversales.

* Valores poco significativos por la escasez de datos disponibles.

** Se ha añadido el perfil N-J03-J04-J05-J06 en el caño Guadamar y el perfil N-J07-J08-J09 en el caño Travieso

Tabla 14. Resumen de las variaciones medias de los enrase de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en las secciones transversales de los principales caños que lo atraviesan, utilizando el parámetro D_{A medio} en los periodos 1995-99; 1995-2006 y 1995-2012.

NOTES

(1) The initial date varies from 1995 to 1998 depending the establishment of the landmark in the different cross sections.

(2) The initial date varies from 1997 to 1998 depending the establishment of the landmark in the different cross sections.

* Non significant values due to the scarcity of available data.

** Profile H-J03-J04-J05-J06 in the Guadamar stream and the profile N-J07-J08-J09 in the Travieso stream have been added.

Table 14. Summary of average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the cross sections of the main streams. It has been used the parameter D_{Average} for the periods 1995-1999, 1995-2006 and 1995-2012.

Secciones transversales de los caños	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)
De la Madre ⁽¹⁾	1995-99*	0,85*	1995-2006	2,78	1995-2012	2,07
Guadamar	1998-99*	-0,60*	1998-2006	-0,14	1998-2012	-0,49**
Travieso ⁽²⁾	1997-99*	-0,72*	1997-2006	-1,34	1997-2010	-1,25**
Media	1995-99*	-0,16	1995-2006	0,43	1995-2012	0,11

NOTACIONES

Las mismas de la Tabla 14.

Tabla 15. Resumen de las variaciones medias de los enrase de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en las secciones transversales de los principales caños que lo atraviesan, utilizando el parámetro D_{T medio} en los periodos 1995-99; 1995-2006 y 1995-2012.

NOTES

Same as that in Table 14.

Table 15. Summary of average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the cross sections of the main streams. It has been used the parameter D_{Taverage} for the periods 1995-1999, 1995-2006 and 1995-2012.

datos es evidente, lo que los hace poco significativos. También se comenta que para los dos primeros periodos sólo se han tenido en cuenta los hito-fenos de la serie HXX, mientras que para el tercer periodo se ha ampliado, en el caso del caño Guadamar, con el perfil N-J03-J04-J05-J06 (intervalo 2005-12) y en el caso del caño

Travieso con el perfil N-J07-J08-J09 (intervalo 2005-12); ambos perfiles se levantaron a raíz del «Seguimiento» efectuado a las «Actividades del Proyecto Doñana 2005». Como en el caso de los lucios, tampoco en los caños se han tenido en cuenta las lecturas del enrase de la marisma en las escalas de medición de su inundación.

Secciones transversales de los caños	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Variación 2010-12 D _{T medio} (cm.)
De la Madre ⁽¹⁾	1995-2010	2,58	1995-2012	2,07	0,51
Guadamar	1998-2010	0,06**	1998-2012	-0,49**	0,55
Travieso ⁽²⁾	1997-2010	0,30**	1997-2012	-1,25**	1,55
Media	1995-2010	0,98	1995-2012	-0,11	0,87

NOTACIONES

Las mismas de la Tabla 14.

Tabla 16. Variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en las secciones transversales de los principales caños que lo atraviesan, utilizando el parámetro D_{T medio} entre un año hidrológico húmedo 2009-10 y un año hidrológico seco 2011-12.

NOTES

Same as that in Table 14.

Table 16. Average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the cross sections of the main streams. It has been used the parameter D_{T average} between a wet hydrological year 2009-2010 and a dry hydrological year 2011-2012.

Secciones transversales de los caños	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Variación 2010-12 D _{T medio} (cm.)
De la Madre ⁽¹⁾	1995-2010	0,27	1995-2012	0,05	0,22
Guadamar	1998-2010	0,06**	1998-2012	-0,49**	0,55
Travieso ⁽²⁾	1997-2010	0,30**	1997-2012	-1,25**	1,55
Media	1995-2010	0,21	1995-2012	-0,56	0,77

NOTACIONES

Las mismas de la Tabla 14.

Tabla 17. Variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos situados en las secciones transversales de los principales caños que lo atraviesan, utilizando el parámetro D_{T medio} entre un año hidrológico húmedo 2009-10 y un año hidrológico seco 2011-12 y prescindiendo del efecto de sedimentación que tiene lugar en la primera sección transversal del caño de la Madre, situado en el paraje de Las Yeguas.

NOTES

Same as that in Table 14.

Table 17. Average variations of the level of the marsh in the landmarks placed in the cross sections of the main streams. It has been used the parameter D_{T average} between a wet hydrological year 2009-2010 and a dry hydrological year 2011-2012, disregarding the effect of sedimentation that the first cross section of caño de la Madre has in the area of Las Yeguas.

También en los caños se planteó analizar las variaciones que se presentan en el enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos instaladas en ella; según se trate de un año hidrológico muy húmedo como el 2009-10 o muy seco como el 2011-12. Los resultados se muestran en la Tabla 16 y la diferencia media en el enrase resulta:

$$\Delta D_{T \text{ medio } (1995-2010)-(1995-2012)} = 0,87 \text{ cm.}$$

Este valor se puede considerar afectado por el comportamiento anómalo de la primera

sección del caño de la Madre, el situado en el paraje de Las Yeguas, hasta donde llegaron sedimentos procedentes del nuevo cono de sedimentación del arroyo del Partido situado aguas arriba. Si se prescinde de dicha sección, la Tabla 16 se trasformaría en la Tabla 17 y la $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-2010)-(1995-2012)} = 0,77 \text{ cm.}$

Por último, se analiza el comportamiento de las cuatro secciones levantadas en el verano de 2005 en el caño Travieso a su paso por la finca de Caracoles de forma independiente, pero utilizando los mismos algoritmos D_{A medio} y D_{T medio}

Secciones transversales de los caños	Periodo analizado	D _{A medio} (cm.)	D _{T medio} (cm.)	Periodo analizado	D _{T medio} (cm.)	Variación 2010-12 D _{T medio} (cm.)
Caño Travieso a su paso por Caracoles	2005-12	2,60	-1,78	2005-2010	-0,48	1,30

Tabla 18. Variaciones medias de los enrasos de la solera de la marisma en los hito-fenos instalados en las cuatro secciones transversales levantadas al caño Travieso a su paso por la finca de Caracoles en el verano de 2005, utilizando los parámetros D_{A medio} y D_{T medio}; también se aporta la $\Delta D_{T medio (2005-10)-(2005-12)}$ entre un año hidrológico húmedo 2009-10 y un año hidrológico seco 2011-12.

Table 18. Average variations of the level of the marsh in the landmarks established in the four cross sections surveyed in Travieso stream in the Caracoles state in summer of 2005. Parameters D_{Average} and D_{Taverage} were used. It is also provided $\Delta D_{T average (2005-2010)-(2005-2012)}$ between a wet hydrological year 2009-2010 and a dry hydrological year 2011-2012.

(Tabla 18). Se han considerado los periodos 2005-12 y 2005-10. En ambas situaciones los llenados del caño durante los inviernos han motivado que éste haya ido configurando su perfil y resulta especialmente significativo este efecto en el verano de 2012; pero incluso en el verano de 2010 es notorio. Asimismo, es elevado, aunque lógico, que el $\Delta D_{T medio (2005-10)-(2005-12)} = 1,30$ cm., porque se trata, además de dos años diferentes uno muy húmedo y otro muy seco, de un terreno que previamente había sido intervenido.

CONCLUSIONES FINALES

El principal logro de los proyectos que se comentan en este artículo y que han permitido su redacción, ha sido la creación de una Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND y su utilización posterior para estimar la evolución de su solera. Evidentemente la Red, como tal, tiene un potencial que rebasa la aplicación que de ella se hace en este texto: la estimación de los procesos erosivo-sedimentarios que tienen lugar en la marisma, que pueden alterar la morfología de sus elementos singulares, los lucios y los caños. También se reconoce que para estimar, incluso para evaluar, en términos planimétricos las modificaciones que experimenten dichos elementos singulares, existen procedimientos que no demandan la existencia de dicha Red; pero ésta le aporta una dimensión geodésica del espacio que de otro modo no es posible alcanzar; por ello tiene interés tanto desde el punto de vista científico como en el manejo práctico de la marisma del PND.

En lo que respecta a la cuestión de la sedimentación en la marisma del PND, los algoritmos utilizados no permiten ir más allá de la estimación de los procesos de erosión-sedimentación. No se pretende analizar exhaustivamente el contenido de todas las tablas del epígrafe anterior dedicado al análisis de resultados, porque el significado de las mismas es más de conjunto que de cada una de ellas en particular; los hito-fenos aportan datos reales de puntos concretos y estratégicos, pero hay otros muchos puntos que también contribuyen en los resultados finales y de los que sólo se puede intuir su tendencia. Pero, en cualquier caso, lo aportado se fundamenta en datos reales, tanto espaciales como temporales, que admiten ser complementados con otras investigaciones para tratar de precisar cuantitativamente los resultados. Por tanto, centrándose en las conclusiones específicas que lo expuesto en el artículo, dejando un cierto margen de interpretación debido a la escala del trabajo, se deduce lo siguiente:

1) Resulta comprobado que la marisma presenta una elevada resiliencia a conservar su fisonomía, a pesar de las alteraciones que ha sufrido en sus zonas perimetrales. Ello se debe fundamentalmente a su dinámica interna generada por tres factores: a) el llenado y vaciado anual de importantes superficies de la misma, que comienza por ocupar sus elementos singulares y que dinamiza los procesos de expansión-retracción de los suelos que constituyen la marisma; b) los vientos dominantes que imprimen movimiento a las masas de

agua durante los periodos de inundación y c) la vegetación perenne de la marisma que actúa como un factor de rozamiento selectivo. Los tres factores citados contribuyen a equilibrar y redistribuir por la marisma tanto los sedimentos contenidos en las masas de agua, como los que se encuentran en la capa superficial de la solera de la marisma.

2) En relación con el primer factor, que es el analizado en este artículo, se destaca la gran diferencia en el proceso de retracción de los suelos de la marisma, dependiendo que el año hidrológico sea húmedo o seco; especialmente si se trata de un año muy húmedo como el 2009-10 o muy seco como el 2011-12. Utilizando un parámetro definido en el propio artículo $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-10)-(1995-12)}$ su valor para el conjunto de los lucios resulta 0,0093 m., valor que representa un porcentaje importante en el relieve de los elementos singulares de la marisma. Tratándose de los lucios, el valor que se ha definido como su calado inicial (la diferencia entre la cota más baja de los hito-fenos extremos del lucio y la cota central) oscila entre 0,444 m. y 0,343 m. en los lucios del Membrillo y los Ánsares respectivamente (valores más altos) y 0,071 m. y 0,065 m. en los lucios de Vetallengua grande y chico (valores más bajos); pudiéndose tomar como un valor medio de la superficie ocupada por los lucios de 0,204 m. Si se compara esta cifra con la obtenida por $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-10)-(1995-12)} = 0,0093 \text{ m.}$, se constata que esta última representa el 4,56 % de la anterior, lo que evidencia la elevada capacidad interna de la marisma para mantener el relieve de sus lucios, por el mero comportamiento de los suelos que configuran sus cuencos.

3) En el caso de los caños el resultado del parámetro $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-10)-(1995-12)}$ resulta menor. Para el estado general contemplado en este artículo $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-10)-(1995-12)} = 0,0087 \text{ m.}$ Teniendo en cuenta que en el mismo se ha incluido una situación particular que pudiera distorsionar los resultados finales (se trata de la sección primera del caño de la Madre), se ha procedido a eliminar esta sección y replantear el valor de $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-10)-(1995-12)} = 0,0077 \text{ m.}$, que resulta más bajo. Aparentemente se podría pensar que

en los caños el valor del coeficiente en cuestión debería ser mayor, por la existencia de circulación de la corriente por ellos, que erosiona su cauce; pero los caños de la marisma tienen su pendiente de compensación, es decir, los sedimentos arrancados del lecho por la corriente y los depositados por la corriente sobre el lecho se compensan, permitiendo a la corriente mantener su pendiente. Este concepto fue explicado por GARCÍA NAJERA (1943) para torrentes de montaña, pero su sentido hidráulico es de aplicación en todo tipo de cauces abiertos, que transporten sedimentos y se encuentren saturados, como ya se planteó en el nuevo cono de sedimentación del arroyo del Partido MINTEGUI *et al.* (2010).

Otras razones que justifican también el menor valor del coeficiente $\Delta D_{T \text{ medio } (1995-10)-(1995-12)}$ en los caños son las siguientes: a) la menor superficie afectada por los procesos de expansión-retracción, al ser menor la sección de los mismos; a lo que se suma que los hito-fenos de los extremos del caño en muchos casos están fuera del alcance de la inundación, salvo en eventos extraordinarios y b) el propio comportamiento de los caños de la marisma en su estado natural; porque, por un lado, en ellos el incremento de caudal implica un aumento inmediato de la superficie mojada, pero prácticamente no se da un aumento significativo de su calado y, por consiguiente, tampoco de su tensión de arrastre; salvo situaciones que el caño haya sido intervenido, como puede ser en los drenados; por otro lado, en algunos caños de la marisma la corriente tiene un doble sentido, descendente por gravedad y ascendente por el efecto de las mareas, con lo que las tensiones en el lecho tienden a compensarse.

4) El caño Travieso a su paso por la finca de Caracoles hay que contemplarlo como una situación particular. La finca de Caracoles tuvo una importante intervención con el desarmado de sus drenajes e incluso el propio cauce fue objeto de un pequeño rebaje; esto puede explicar que el $\Delta D_{T \text{ medio } (2005-10)-(2005-12)} = 1,30 \text{ cm.}$, pero conforme transcurra el tiempo la situación se irá normalizando, asentando el terreno y recomponiendo su sistema de drenaje a las

condiciones de equilibrio natural del lugar. En concreto el caño Travieso tiene una dinámica propia, que es la que con la «Actuaciones números 6 y 7» del Proyecto Doñana 2005 se trata de restablecer.

5) Finalmente sugerir que el estado natural de la marisma del PND es la de permanecer lo más abierta posible al exterior, porque con ello se potencia su dinámica natural. Esta disposición le hace más vulnerable ante los posibles contaminantes; pero a su vez contribuye a mantener la estabilidad de sus áreas perimetrales en situaciones de máximo llenado y favorece los ciclos de la naturaleza en flora y fauna en su interior.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es resultado de los trabajos realizados en la marisma del PND y su entorno, en el desarrollo del Proyecto 174/93 «Dinámica sedimentaria de las marismas del PND. Evolución prospectiva y alternativas de gestión futura» (1995-99) y en el «Seguimiento a las Actuaciones del Proyecto Doñana 2005 en relación con su impacto sobre la hidrología superficial

y en las posibles alteraciones morfológicas sobre la marisma». El primero financiado por el Organismo Autónomo Parques Nacionales y el segundo por el Proyecto Doñana 2005, tras ser aprobado por su Comisión Científica (2003). También ha contribuido aunque en menor medida, dada la temporalidad de lo que se expone en el artículo, el «Proyecto de ampliación, seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del PND» (2006-2010) iniciado con el apoyo del Organismo Autónomo Parques Nacionales y continuado con el de la Red de Espacios Naturales Protegidos de la Junta de Andalucía. El equipo responsable de los mencionados proyectos expresamos nuestro agradecimiento a cuantas personas relacionadas con el ámbito de Doñana que nos han ayudado a entender mejor su singularidad; especialmente a D. Carlos Urdiales Alonso, Técnico del Área de Conservación del PND, que nos ha aportado sus conocimientos sobre la marisma y ayudado a solventar cuantos problemas específicos nos han ido surgiendo a lo largo de nuestros trabajos en la misma y también al Ingeniero de la CHG D. Benigno Bayán Jardín, responsable técnico del Proyecto Doñana 2005 en el periodo en el que se desarrolla el contenido de este documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GARCÍA NÁJERA, J. M. 1943, 1962. Principios de Hidráulica Torrencial y su aplicación a la corrección de torrentes, 297 pp., IFIE. Madrid.
- GARCÍA VIÑAS, J. I.; MINTEGUI, J. A. & ROBREDO, J. C. 2005. La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación con su régimen hidráulico, 297 pp., Naturaleza y Parques Nacionales, Serie Técnica, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- MAO L. 2005. Análisi comparativa del trasporto solido di corsi torrentizi in diversi ambiti geografici. Tesis Doctoral, pp. 307, Universidad de Padova (Italia).
- MINTEGUI, J. A.; ROBREDO, J. C.; ELORRIETA, J. & GARCÍA VIÑAS, J. I. 1998. Planificación y desarrollo de los trabajos de campo para la estimación de la sedimentación en las marismas del Guadalquivir, 21ª Reunión del Grupo de Trabajo sobre Ordenación de Cuencas Hidrográficas de Montaña, Comisión Forestal Europea, Sesión FAO.-IUFRO, 20 pp. Marienbad (República Checa).
- MINTEGUI, J. A. & ROBREDO, 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), 244 pp., Serie Técnica, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.

- MINTEGUI, J. A. 2001. El futuro de las zonas húmedas: Síntesis de los trabajos de campo realizados en la marisma del Parque Nacional de Doñana, para avanzar en un modelo del terreno. Ponencias y Conclusiones de la 1ª Reunión Internacional de Expertos sobre la Regeneración Hídrica de Doñana.- Proyecto Doñana 2005, pp. 39-50, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J. C. & GARCÍA VIÑAS, J. I. 2004. La importancia de los trabajos de campo en la confección del modelo del terreno para aplicaciones en ecología, Investigación Agraria - Sistemas y Recursos Forestales, Fuera de serie: Homenaje al Profesor D. José Manuel Gandullo, pp. 164-175.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A.; LENZI, M. A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J. C. & MAO, L. 2006. Movilización versus estabilización de los sedimentos en cursos sometidos a la dinámica torrencial, pp. 143, Naturaleza y Parques Nacionales, Serie Técnica, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A. & ROBREDO SÁNCHEZ, J. C. 2006. Análisis del impacto sobre la hidrología superficial y en las posibles alteraciones morfológicas sobre la marisma. Informe: Seguimiento de las Actuaciones de Recuperación Hídrica en la marisma del Parque Nacional de Doñana. Proyecto Doñana 2005, 129 pp., 7 anexos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J. C.; GONZALO ARANOVA, C. DE & HUELÍN RUEDA, P. 2010. Recuperación del régimen hidráulico e hidrológico del arroyo del Partido en el tramo anterior a su afluencia en la marisma de El Rocío (Parque Nacional de Doñana), *Ecología*, núm. 23, pp. 9-37, Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.; MINTEGUI AGUIRRE, J. A. & ELORRIETA JOVE, J. 2007. Estudio del comportamiento de la solera en los lucios y caños de la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación con los procesos de llenado y vaciado de la misma, a través de mediciones en el campo en el periodo 1995-2006, *Ecología*, núm. 21, pp. 11-42, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- ROBREDO SÁNCHEZ, J. C. & MINTEGUI AGUIRRE, J. A. 2010. Proyecto de ampliación seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del Parque Nacional de Doñana - Memoria Final. 223 pp. Espacio Natural de Doñana - Parque Nacional de Doñana, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.
- ROBREDO, J. C.; MINTEGUI, J. A.; GONZALO ARANOVA, C. DE & GARCÍA VIÑAS, J. I. 2011. Monitoring of the Morphologic Evolution of the Doñana National Park Marsh by Means of Micro-topography Analysis. IUGG - XXV General Assembly, Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet, IAHS-HW07 Hydro-Geomorphology, 28 June-7 July. Melbourne (Australia).
- SAURA, J.; BAYÁN, B.; CASAS, J.; RUIZ DE LARRAMENDI, A. & URDIALES, C. 2001. Documento Marco para El Desarrollo Del Proyecto Doñana 2005, Regeneración hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana, pp. 201, Ministerio de Medio Ambiente.